

**Curso de Doutoramento em Geografia**  
**Vertente de Geografia Física**

**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**Faculdade de Letras da Universidade do Porto**

**A ilha de calor urbano e o contexto sinóptico.**  
**Topoclima urbano - domínio ou sujeição?**

**Dezembro 2013**

# **A ilha de calor urbano e o contexto sinóptico. Topoclima urbano - domínio ou sujeição?**

Departamento de Geografia da FLUP  
Dezembro 2013

Dissertação apresentada à faculdade de Letras da  
Universidade do Porto para prestação de Provas de  
Doutoramento.

Curso de Doutoramento em Geografia  
Vertente de Geografia Física  
Área de Climatologia Urbana - Topoclimatologia

Tese realizada sob orientação da Sr<sup>a</sup> Professora Doutora Ana Monteiro

Licinia Caldeira Balkestahl

---

## AGRADECIMENTOS

O meu profundo agradecimento a todos quantos contribuíram para que este trabalho se concretizasse, na partilha de saber, na orientação, disponibilidade e amizade demonstradas:

À Senhora Professora Doutora Ana Monteiro, sem a qual a concretização deste trabalho jamais teria sido possível, pelo interesse e incentivo manifestados, pela orientação metodológica e bibliográfica, na procura incessante de novos caminhos para dar resposta a questões que foram surgindo ao longo desta investigação.

Ao Senhor Professor Engenheiro Joaquim Góis, pelo interesse, orientação metodológica e bibliográfica no campo da Estatística e da Geoestatística e pela grande disponibilidade sempre revelada.

Ao Senhor Professor *emeritus* Doutor Roger Taesler, pela enorme disponibilidade, apesar da grande distância que nos separa, e também pela orientação metodológica e bibliográfica.

Aos Senhores Professores Coordenadores da 1ª Edição do Curso de Doutoramento em Geografia, Senhor Professor Doutor José Alberto Rio Fernandes, Senhora Professora Doutora Maria Assunção Pedrosa Araújo e Senhor Professor Doutor Luis Paulo Saldanha Martins, pela orientação metodológica e bibliográfica gerais e pela permanente disponibilidade e empenhamento, e ainda aos Senhores Professores, atuais Coordenadores do Curso de Doutoramento em Geografia.

À Senhora Doutora Maria Aurora Santos Pereira, minha professora dos tempos de liceu, a quem devo o gosto adquirido pela Geografia, e ao Senhor Doutor Eduíno Neves, a quem devo o gosto pelo estudo do Clima.

À Senhora Doutora Maria Celeste Alves, pela revisão de grande parte deste texto.

A todos os colegas do Curso de Doutoramento em Geografia, pelo ótimo ambiente que sempre proporcionaram e por toda a ajuda prestada em inúmeras situações.

A todos os Colegas do Projetos Ondas, pelo apoio prestado em muitos assuntos que não domino, particularmente ao Mestre Luís Fonseca.

---

Aos Amigos, Colegas, Alunos e Familiares, que tantas vezes me apoiaram em tarefas várias e frequentemente fizeram parte da equipa técnica de medições e descarga de dados, pela paciência e amizade.

Licínia Caldeira Balkeståhl

---

## RESUMO

Em face da extensiva mudança ocorrida nas últimas décadas, na área da cidade do Porto nomeadamente, no que respeita ao tipo e densidade de ocupação do solo, e considerando sobretudo que grande parte da população mundial atualmente vive em meio urbano, propusemo-nos avaliar os impactes gerados no balanço térmico local, procurando identificar a existência de anomalias térmicas, relacionando-as com as diversas situações sinópticas.

Para a prossecução do nosso objetivo utilizamos como principal metodologia a aquisição direta de informação através do recurso a medições de temperatura efetuadas em postos fixos, em permanência, a intervalos de hora a hora, em locais previamente estabelecidos, privilegiando assim a vertente temporal em detrimento da vertente espacial de *Ilha de Calor Urbano*, no seu sentido tradicional.

Os registos de aquisição direta foram comparados com os dados da estação oficial de Porto-Aeroporto de Pedras Rubras e posteriormente foram alvo de tratamento estatístico e cartográfico, nomeadamente estatística de tendência central e dispersão, Geoestatística e Estatística Multivariada com análise fatorial. A caracterização dos locais de medição baseou-se fundamentalmente numa abordagem experimental e simplificada do sistema de classificação das LCZ (*Local Climate Zones*), numa tentativa de harmonizar a caracterização dos locais de instalação das sondas, uniformizar a terminologia utilizada e de facilitar comparações de resultados.

Ao analisar os resultados obtidos, e tendo identificado alguns dos principais fatores de índole geográfica que podem condicionar a temperatura à escala local, concluímos que existe *Ilha de Calor* com magnitude e extensão temporal consideráveis, sobretudo nas áreas das ruas mais antigas e com maior movimento de trânsito rodoviário. Contudo, face às diversas geometrias do edificado, geram-se, em alguns casos, situações altamente propícias ao aparecimento e manutenção de ICU e noutras situações, em que as excelentes condições de arejamento, ao diluir e/ou inibir o armazenamento de energia na *canopy layer* e ao dificultar a manutenção dos poluentes na baixa atmosfera, atenuam substantivamente a magnitude do fenómeno de *ilha de calor*.

Finalmente, devido ao rumo do desenvolvimento da investigação, aquilo que começou por ser um estudo sobre *Ilha de Calor Urbano*, acabou por se tornar extensivo ao perfil térmico de algumas áreas da cidade do Porto.

---

## RÉSUMÉ

Devant l'ampleur des changements survenus au cours des dernières décennies dans la région de Porto, particulièrement en ce qui concerne le type et la densité d'occupation des sols, et d'autant plus que la plupart de la population mondiale vit actuellement dans des zones urbaines, nous avons décidé d'évaluer les impacts générés en équilibre thermique local, en essayant d'identifier l'existence d'anomalies thermiques, et de les relier aux différentes situations synoptiques.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons utilisé comme méthodologie l'acquisition directe d'informations en réalisant des mesures de température à des stations fixes prédéfinies, en permanence, à des intervalles de chaque heure, privilégiant ainsi l'aspect temporel au détriment de la composante spatiale de *l'Île de Chaleur Urbain*, dans son sens traditionnel.

Les enregistrements de l'acquisition directe ont été comparés avec les informations de la station officielle de Porto-Aéroport Pedras Rubras et après ils ont passé par un traitement statistique et cartographique, notamment les statistiques de tendance centrale et de dispersion, la géostatistique et la statistique multivariée de l'analyse factorielle. La description des lieux de mesure s'est appuyée essentiellement dans une approche expérimentale et simplifiée du système de classification des LCZ (*Local Climate Zones*), dans un essai de trouver une harmonie dans le choix et la description des endroits d'installation des sondes, de rendre uniforme la terminologie utilisée et de faciliter les comparaisons de résultats.

En considérant les résultats obtenus, et en faisant l'identification de quelques-uns des plus importants facteurs de nature géographique qui puissent conditionner la température à l'échelle locale, nous avons conclu qu'il y a *Île de Chaleur* urbain avec une magnitude et une étendue temporelle considérables, en particulier dans les rues plus anciennes où il existe une circulation automobile plus intense. Cependant, en raison de la différente géométrie du bâtiment il arrive que, dans certains cas, il y a des situations fortement favorables à l'apparition et le maintien de l'île de chaleur urbain; et d'autres cas où les excellentes conditions d'aération, en diluant et/ou en annulant l'accumulation d'énergie dans la *canopy layer* et en devenant difficile l'entretien des polluants dans l'atmosphère inférieure, elles réduisent substantivement l'ampleur du phénomène *Île de Chaleur* urbain.

---

Enfin, en raison de l'orientation du développement de la recherche, ce qui a commencé comme une étude sur *Île de Chaleur Urbain*, s'est étendu, par la suite, au profil thermique de quelques endroits de la ville de Porto.

## **ABSTRACT**

Considering the deep changes occurred in the last decades in the area of Porto city, namely concerning the type and density of land use and especially considering that much of the world population currently lives in urban environments, our aim is to verify the possible existence of the local thermal characteristics effects, in order to identify the existence of thermal anomalies and relating them to the various synoptic situations.

The methodology chosen to achieve our aim, is based on the direct acquisition of information through the use of temperature data measurements performed on stationary stations, continuously, at intervals of every hour, in places previously established, thus privileging the temporal aspects, to the detriment of spatial aspects of the Urban Heat Island, in its traditional sense.

The records of direct acquisition have been compared with data of the official station in Porto-Pedras Rubras Airport, being later statistically and cartographically processed, i.e. statistic of central tendency and spread, Geostatistic and Multivariate Statistic with factor analysis. The characterization of the measurement places was based fundamentally in an experimental and simplified approach of the LCZ (*Local Climate Zones*) classification system, in an attempt of harmonizing the characterization of the places where probes have been installed, unifying the terminology used and facilitating comparisons of results.

When analyzing the results, having identified some of the main geographical factors that may condition the temperature to the local scale, we have concluded that there is an Urban Heat Island which comprises a considerable magnitude and temporal extent, particularly in the areas of the oldest streets and those with more traffic. However, due to the different geometric display of the buildings in the city, in some cases, there are situations being generated which are highly conducive to the emergence and maintenance of the UHI and in other cases, due to excellent aeration conditions, diluting and/or inhibiting the storage of energy in the *canopy* layer and hindering the maintenance of pollutants in the lower atmosphere, they substantially attenuate the magnitude of the *Urban Heat Island* phenomenon.

---

Finally, as a result of the development direction of this research, what began as a study on *Heat Island*, eventually was extended to the analysis of the thermal profile of some areas of the city of Porto.



---

## Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	1
RESUMO.....	3
RÉSUMÉ.....	4
ABSTRACT.....	5
<b>I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</b> .....	18
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1. PERGUNTAS DE PARTIDA.....	19
1.1. Objeto de estudo: relação entre situação sinóptica e padrão territorial, magnitude e frequência da Ilha de Calor Urbano .....	23
1.1.1. Quais as situações sinópticas que potenciam/inibem a formação da ilha de calor urbano na área de estudo? .....	23
1.1.2. Podemos contribuir para avaliar/controlar o efeito da ilha de calor atual e futura?.....	23
2. OPÇÃO TEMÁTICA – sua justificação.....	24
3. OBJETIVOS.....	27
<b>II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ENQUADRAMENTO DOS OBJETIVOS NA GEOGRAFIA, NA SINÓPTICA E NA CLIMATOLOGIA URBANA</b> .....	33
1. OS OMNIPRESENTES RISCOS CLIMATOLÓGICOS.....	34
2. PRINCÍPIOS ORIENTADORES DA INVESTIGAÇÃO.....	36
3. A ESCALA SINÓPTICA DOS FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS.....	47
4. CLIMA URBANO – CORPO TEÓRICO, breve síntese da evolução do conhecimento em climatologia urbana.....	76
<b>III. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E BREVE CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	116
1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E LIMITES.....	116
2. BREVE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA ENVOLVENTE.....	120
2.1. Geomorfologia e Rede Hidrográfica .....	120
2.2. Clima da região do Porto .....	130
3. BREVE CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICO-DEMOGRÁFICA.....	144
3.1. Introdução Histórica .....	144

3.2. Evolução Demográfica recente .....	148
<b>IV. METODOLOGIA.....</b>	<b>151</b>
INTRODUÇÃO .....	151
1. OPÇÕES METODOLÓGICAS .....	152
2. AQUISIÇÃO DE DADOS .....	155
2.1. Aquisição Indireta de Dados.....	156
2.1.1. Aquisição Indireta de Dados e Cartas de Apoio à Informação .....	156
2.1.2. Definição da(s) Estação(ões) de Referência .....	159
2.2. Processos de Aquisição Direta de Dados.....	163
2.2.1. Primeira Fase de Aquisição Direta da Informação .....	165
2.2.2. Segunda Fase de Aquisição Direta da Informação .....	172
2.2.3. Aquisição recente de dados termográficos .....	193
3. TRATAMENTO DOS DADOS - Modelos adotados .....	197
3.1. Processos de Tratamento dos Dados .....	197
3.1.1. Tratamento dos dados das medições itinerantes .....	198
3.1.2. Tratamento dos dados dos postos fixos .....	200
3.1.3. Pesquisa sobre Exposição/Ocultação solar das sondas térmicas .....	235
3.1.4. Pesquisa sobre eventual efeito das Brisas .....	252
3.1.5. Tratamento das imagens termográficas .....	254
3.2. Seleção de Fatores Potencialmente Condicionantes .....	255
4. PROCESSOS DE REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS - opção pela estatística, geoestatística e estatística multivariada .....	258
4.1. Geoestatística.....	258
4.1.1. Geoestatística espacial (com recurso à georreferenciação) .....	258
4.1.2. Geoestatística temporal .....	264
4.2. Estatística Multivariada .....	266
4.2.1. Análise Fatorial de Correspondências Binárias - AFCB .....	266
<b>V. ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>270</b>
1. COMPORTAMENTO TÉRMICO DA ÁREA DE ESTUDO ao longo dos períodos de medições .....	271

1.1.	MEDIÇÕES ITINERANTES – Resultados da primeira fase da aquisição de informação, estatísticos simples.....	271
1.2.	RECURSO À ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA.....	277
1.2.1.	Formas de Representação Gráfica e Cartográfica.....	277
1.3.	RESULTADOS OBTIDOS COM CÂMARA TÉRMICA.....	290
1.4.	RESULTADOS DOS POSTOS FIXOS – informação das duas fases de aquisição .....	292
1.4.1.	Comportamento térmico dos 6 postos fixos (primeira fase).....	292
1.4.2.	Comportamento térmico dos postos fixos (segunda fase) .....	295
1.4.3.	Estrutura espacial da Ilha de Calor Urbano (1ª e 2ª fases) .....	297
1.4.4.	Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano .....	314
1.5.	RECURSO À ESTATÍSTICA MULTIVARIADA .....	349
2.	RESULTADOS DA EXPOSIÇÃO/OCULTAÇÃO SOLAR dos abrigos das sondas térmicas	380
3.	RESULTADOS DA ANÁLISE DO EFEITO DAS BRISAS	382
3.1.	Relação Magnitude média dos desvios térmicos/setores do vento.....	382
3.2.	Relação evolução horária dos desvios térmicos/direção do vento .....	383
4	JUSTIFICAÇÃO DE RESULTADOS – principais fatores explicativos detetados	385
4.1	Hipsometria .....	385
4.2.	Ocupação do solo .....	386
4.2.1.	Densidade de ocupação do solo .....	386
4.2.2.	<i>Sky view factor (svf)</i> .....	387
4.3.	Ventos .....	389
4.4.	Situações Sinópticas .....	390
VI.	CONCLUSÕES .....	394
1.	CONCLUSÕES relativas às medições itinerantes	394
2.	CONCLUSÕES RELATIVAS à estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano	395
3.	CONCLUSÕES RELATIVAS à ilha diurna de calor	400

BIBLIOGRAFIA .....	411
--------------------	-----

### Índice de Figuras

FIGURA 1 - TESE DE DISSERTAÇÃO DE JOAQUIM GUILHERME GOMES COELHO, ARQUIVO DA BIBLIOTECA DO ATENEU COMERCIAL DO PORTO (BALKESTÄHL, 2005) .....	26
FIGURA 2 - PERSPETIVA SISTÉMICA DA CLIMATOLOGIA .....	39
FIGURA 3 - ESCALA TEMPORAL E ESPACIAL DE VÁRIOS FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS. ....	41
FIGURA 4 – PERÍODOS DE MISTURAÇÃO DO AR NA TROPOSFERA, RESPETIVAMENTE NOS MOVIMENTOS VERTICAIS E HORIZONTAIS. ....	48
FIGURA 5 - EQUILÍBRIO ENTRE AS FORÇAS DA GRAVIDADE E DO GRADIENTE .....	48
FIGURA 6 – MODELO DA CÉLULA ÚNICA, DE ORIGEM TÉRMICA, SEGUNDO HALLEY, 1686.....	51
FIGURA 7 – MODELO DE HADLEY, 1735: A-ASCENSÃO DO AR QUENTE NO EQUADOR E DESCIDA DO AR FRIO NAS ÁREAS TROPICAIS; B-CONTRA-ALÍSIOS E RESPETIVO DESVIO, SEGUNDO HADLEY.....	53
FIGURA 8 – ADAPTAÇÃO DA RECONSTRUÇÃO GRÁFICA FEITA A PARTIR DAS NOTAS MANUSCRITAS DAS AULAS DE .....	59
FIGURA 9 – <i>CICLONE</i> EM MOVIMENTO, RESPETIVAS LINHAS DE FLUXO E DESIGNAÇÕES ORIGINAIS, POR J. BJERKNES:.....	68
FIGURA 10 - <i>CICLONES</i> DAS LATITUDES MÉDIAS E ESQUEMA DA FRENTE POLAR:.....	69
FIGURA 11 - CORRELAÇÃO POPULAÇÃO/ILHA MÁXIMA DE CALOR URBANO, PARA ALGUMAS CIDADES NORTE AMERICANAS (OS PONTOS SEM NOME CORRESPONDEM A CIDADES NA PROVÍNCIA DE QUEBEC) .....	85
FIGURA 12 – A E B: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA COPA URBANA E DA CAMADA LIMITE .....	91
FIGURA 13 – ZONAS DE CLIMA TÉRMICO (TCZ's): DIVISÃO LÓGICA DO “UNIVERSO” PAISAGEM EM SÉRIES E SUBCLASSES. ....	104
FIGURA 14 - ORGANIZAÇÃO HIERÁRQUICA DAS ZONAS DE CLIMA LOCAL (LOCAL CLIMATE ZONES-LCZ, 1ª VERSÃO) .....	106
FIGURA 15 – ORGANIZAÇÃO HIERÁRQUICA DAS ZONAS DE CLIMA LOCAL (LCZ, 2ª VERSÃO) .....	109
FIGURA 16 - ORGANIZAÇÃO HIERÁRQUICA DAS ZONAS DE CLIMA LOCAL (LCZ, 3ª VERSÃO).....	113
FIGURA 17 - ENQUADRAMENTO DO PORTO: LOCALIZAÇÃO DO PAÍS, DISTRITOS, CONCELHO DO PORTO E RESPETIVAS FREGUESIAS .....	117
FIGURA 18 - ENQUADRAMENTO DAS FREGUESIAS DO CONCELHO DO PORTO (2012).....	118
FIGURA 19 - EXCERTO DO ESBOÇO GEOMORFOLÓGICO DA PLATAFORMA LITORAL.....	121
FIGURA 20 – MORFOLOGIA DA PLATAFORMA LITORAL.....	122
FIGURA 21 – DESENVOLVIMENTO DO RELEVO MARGINAL E DO TOPO DA PLATAFORMA LITORAL.....	123
FIGURA 22 - PERFIL TOPOGRÁFICO S-N.....	124
FIGURA 23 - PERFIL TOPOGRÁFICO W-E .....	125
FIGURA 24 - PERFIL TOPOGRÁFICO DO PERCURSO DE MEDIÇÕES ITINERANTES .....	126
FIGURA 25 – ÁREA DE ESTUDO: SELEÇÃO INICIAL DOS LOCAIS DOS POSTOS FIXOS, (PORTO, PORTUGAL) – ALTITUDE DE VISUALIZAÇÃO, 5 KM.....	127
FIGURA 26 - ESBOÇO GEOLÓGICO E ESTRUTURAL DA CIDADE DO PORTO .....	129

FIGURA 27 - ESBOÇO PROVISÓRIO DAS REGIÕES CLIMÁTICAS (S. DAVEAU ET AL, 1985).....	132
FIGURA 28 – OS CINCO DOMÍNIOS BIOCLIMÁTICOS EM PORTUGAL CONTINENTAL .....	133
FIGURA 29 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES CUJA INFORMAÇÃO FOI UTILIZADA PO A. MONTEIRO, NO ESTUDO DO PERÍODO DE 20 ANOS, 1970/1989 (ATUALMENTE, S. TIRSO E S. GENS NÃO SE ENCONTRAM EM FUNCIONAMENTO) .....	136
FIGURA 30 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DA ESTAÇÃO PORTO-SERRA DO PILAR.....	138
FIGURA 31 - VELOCIDADE E RUMOS DO VENTO, PORTO-SERRA DO PILAR (NORMAIS DE 1961/90).....	139
FIGURA 32: NO GRÁFICO, FREQUÊNCIA E VELOCIDADE MÉDIA DOS RUMOS DOS VENTOS, DURANTE OS EPISÓDIOS DE MEDIÇÃO; NO QUADRO, NÚMERO DE OCORRÊNCIAS DAS VELOCIDADES DO VENTO ...	142
FIGURA 33 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO RESIDENTE, NO PERÍODO DE 1864-2001, POR FREGUESIAS DO PORTO.....	149
FIGURA 34 - POSIÇÃO DOS SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS E DE ÓRBITA POLAR DA NOAA E DOS SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS EUROPEUS METEOSAT .....	159
FIGURA 35 - LOCALIZAÇÃO DAS SEIS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS CUJOS DADOS FORAM UTILIZADOS POR A. MONTEIRO. ....	162
FIGURA 36 - TIPOS DE ABRIGOS E SONDAS UTILIZADOS NOS POSTOS DE MEDIÇÃO:.....	164
FIGURA 37 – ÁREA DE ESTUDO, LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO E TIPOS DE INSTRUMENTOS (MEDIÇÕES ITINERANTES E PERÍODO EXPERIMENTAL DE REGISTO EM POSTOS FIXOS). .....	171
FIGURA 38 - ENQUADRAMENTO E LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS FIXOS - 2ª FASE DE AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO - ALTITUDE DE VISUALIZAÇÃO DA CARTA DE MAIOR PORMENOR, 5 KM .....	173
FIGURA 39 - EXEMPLOS DE LOCAIS DE INSTALAÇÃO DE ALGUNS POSTOS FIXOS .....	174
FIGURA 40 - TERMOGRAFIAS DE INFRAVERMELHOS, OBTIDAS COM CÂMARA TÉRMICA, RESPETIVAMENTE: .....	194
FIGURA 41 - LOCALIZAÇÃO DOS LOCAIS DE INSTALAÇÃO DOS ABRIGOS DAS SONDAS NAS DUAS FASES DE AQUISIÇÃO DE DADOS - POSTOS FIXOS .....	196
FIGURA 42 - ICU NORMALIZADA RELATIVAMENTE AO POSTO G-COVELO E RESPETIVO VARIOGRAMA EXPERIMENTAL, JANEIRO DE 2011 .....	230
FIGURA 43 - NORMALIZADA RELATIVAMENTE AO POSTO G-COVELO, JULHO DE 2011 .....	231
FIGURA 44 - LOCALIZAÇÃO/CARATERIZAÇÃO DO POSTO A-RUA DO TEJO E RESPETIVA ENVOLVENTE DE EDIFICADO. ....	236
FIGURA 45 - LOCALIZAÇÃO/CARATERIZAÇÃO DO POSTO C-COSTA CABRAL E RESPETIVA ENVOLVENTE DE EDIFICADO. ....	237
FIGURA 46 - PROJEÇÃO, NO PLANO HORIZONTAL, DOS OBJETOS/EDIFÍCIOS OPOSTOS AO HIPOTÉTICO POSTO DE MEDIÇÃO P, SEGUNDO OS ÂNGULOS DAS DIVERSAS DIREÇÕES DE EXPOSIÇÃO AO SOL .....	242
FIGURA 47 - PROJEÇÃO, NO PLANO VERTICAL, DOS OBJETOS/EDIFÍCIOS OPOSTOS AO HIPOTÉTICO POSTO DE MEDIÇÃO P, E RESPETIVOS ÂNGULOS DE OCULTAÇÃO NAS DIVERSAS DIREÇÕES DE EXPOSIÇÃO AO SOL .....	243
FIGURA 48 - EXEMPLO DE DIAGRAMA SOLAR, EM 15/06/2011, PARA O POSTO M-FARIA GUIMARÃES SUL: EXPOSIÇÃO/OCULTAÇÃO DO HORIZONTE, SEGUNDO A PERSPETIVA DO LOCAL DE OBSERVAÇÃO. ....	244

FIGURA 49 - INSCRIÇÃO, EM DIAGRAMAS SOLARES, DOS VALORES DOS ÂNGULOS DE OCULTAÇÃO/EXPOSIÇÃO AO SOL, POSTO E-ARCA D'ÁGUA, 01/06/2011: LADO ESQUERDO, ESTIMATIVA EMPÍRICA POR OBSERVAÇÃO DIRETA; LADO DIREITO, SEGUNDO OS RESULTADOS PROPORCIONADOS PELO MODELO TEÓRICO DE CÁLCULO MATEMÁTICO.....	245
FIGURA 50 - ALTURAS/POSIÇÕES DO SOL EM TRÊS DATAS (DEZEMBRO/MARÇO/JUNHO): POSTOS G-COVELO (LADO ESQUERDO) E J-S. JOÃO DE BRITO (LADO DIREITO), E RESPECTIVA OCULTAÇÃO DO HORIZONTE .....	248
FIGURA 51 – ALTURAS/POSIÇÕES DO SOL EM TRÊS DATAS (DEZEMBRO/MARÇO/JUNHO): POSTOS C-COSTA CABRAL (LADO ESQUERDO) E M-FARIA GUIMARÃES SUL (LADO DIREITO), E RESPECTIVA OCULTAÇÃO DO HORIZONTE.....	249
FIGURA 52 – POSTO A-TEJO: ENQUADRAMENTO DO ABRIGO ESPECIAL E DO ABRIGO DO POSTO A (LADO ESQUERDO); PORMENOR DO ABRIGO DO POSTO A, EXPOSTO AO SOL DURANTE GRANDE PARTE DO DIA, COM AS CINCO SONDAS EM CONJUNTO (LADO DIREITO). .....	250
FIGURA 53 – DETALHE DO ABRIGO EM ESFEROVITE, DE GRANDES DIMENSÕES (1M X 1M X 0,5M) E MUNIDO DE ABERTURAS AMPLAS, ESPECIALMENTE CONCEBIDO PARA ALBERGAR SONDAS TÉRMICAS PROVENIENTES DOS ABRIGOS DE OUTROS POSTOS, COLOCADO À SOMBRA JUNTO DO POSTO A-TEJO. ....	251
FIGURA 54 - SETORES DE DIREÇÕES DE CLASSES DE VENTO .....	253
FIGURA 55 – ABORDAGEM SEQUENCIAL DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS GEOESTATÍSTICAS À INFORMAÇÃO GEOREFERENCIADA. ....	259
FIGURA 56 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS GEOESTATÍSTICOS APLICADOS AO REGISTO DOS DESVIOS TÉRMICOS. ....	260
FIGURA 57 - DETERMINAÇÃO DE UM VARIOGRAMA EXPERIMENTAL NA DIRECÇÃO W – E .....	261
FIGURA 58 - MODELO VARIOGRÁFICO TEÓRICO ESFÉRICO PASSÍVEL DE APLICAÇÃO E AJUSTE AOS VARIOGRAMAS EXPERIMENTAIS EM ANÁLISES. ....	263
FIGURA 59 - MATRIZ DE KRIGAGEM.....	264
FIGURA 60 - EXEMPLO DE QUADRO DE DESCRIÇÃO LÓGICA (PRESENÇA – AUSÊNCIA), MATRIZ DE DADOS CODIFICADA EM DISJUNTIVA COMPLETA. ....	268
FIGURA 61 - AFC, PROJEÇÃO DAS MODALIDADES DAS VARIÁVEIS NO PLANO FACTORIAL.....	269
FIGURA 62 - VARIOGRAFIA E REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DOS DESVIOS TÉRMICOS EM RELAÇÃO AO AEROPORTO (22/11/2003, 22H59).....	279
FIGURA 63 - REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA SEQUENCIAL DE DESVIOS TÉRMICOS DE 16/11/2003 A 17/11/2003.....	282
FIGURA 64 - REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA SEQUENCIAL DE DESVIOS TÉRMICOS DE 23/11/2003 A 24/11/2003.....	285
FIGURA 65 - REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA SEQUENCIAL DE DESVIOS TÉRMICOS DE 23/09/2004 A 24/09/2004.....	287
FIGURA 66 - REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA SEQUENCIAL CONSECUTIVA DE DESVIOS TÉRMICOS DE 04/01/2005 E 05/01/2005 .....	289
FIGURA 67 – TERMOGRAMAS ADQUIRIDOS NOS POSTOS B-AVAL DE BAIXO E C-COSTA CABRAL, DE ACORDO COM O LOCAL E HORÁRIOS REFERIDOS JUNTO A CADA IMAGEM .....	291

FIGURA 68 – A: SITUAÇÕES SINÓPTICAS DE ESTABILIDADE, COM AC ATL; .....	307
FIGURA 69 – MASSA DE AR COM: C- TRAJETO MARÍTIMO; D- TRAJETO CONTINENTAL.....	308
FIGURA 70 - SITUAÇÕES SINÓPTICAS DE ESTABILIDADE, COM AC CONT: .....	309
FIGURA 71 - SITUAÇÕES SINÓPTICAS DE INSTABILIDADE, COM C (AC ATL), EM QUE A DEPRESSÃO ESTÁ LOCALIZADA SOBRE A PENÍNSULA IBÉRICA .....	310
FIGURA 72 - SITUAÇÕES SINÓPTICAS DE INSTABILIDADE, COM C (AC ATL), EM QUE A DEPRESSÃO ESTÁ LOCALIZADA NO SW OU A SW DA PENÍNSULA IBÉRICA .....	311
FIGURA 73 - SITUAÇÕES SINÓPTICAS DE RELATIVA ESTABILIDADE, COM CC (AC ATL).....	312
FIGURA 74 - MAPAS DE ISOTÉRMICAS DOS DESVIOS URBANOS POTENCIAIS MÉDIOS, ILUSTRATIVOS DO DECURSO MÉDIO DIÁRIO/MENSAL DA ICU EM TRÊS ESTAÇÕES REPRESENTATIVAS DE ENVOLVENTES URBANAS DISTINTAS. ....	335
FIGURA 75 – FREQUÊNCIAS RELATIVAS DOS DESVIOS TÉRMICOS, MÊS DE JANEIRO DE 2011 .....	342
FIGURA 76 - FREQUÊNCIAS RELATIVAS DOS DESVIOS TÉRMICOS DIÁRIOS/MENSAIS DE 2011(EM RELAÇÃO AO POSTO G-COVELO), ILUSTRATIVOS DE TRÊS MESES DE DISTINTAS ÉPOCAS DO ANO .....	343
FIGURA 77 - AFC: DIVISÃO DAS VARIÁVEIS EM CLASSES (MODALIDADES), DESVIOS EM RELAÇÃO À ESTAÇÃO DE PORTO-AEROPORTO .....	359
FIGURA 78 - A A K: HISTOGRAMAS DAS MODALIDADES DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NA AFC (TOTALIDADE DOS REGISTOS):.....	361
FIGURA 79 - AFC: DIVISÃO DAS VARIÁVEIS EM CLASSES (MODALIDADES), DESVIOS EM RELAÇÃO AO POSTO G-COVELO .....	362
FIGURA 80 - A A F: HISTOGRAMAS DAS MODALIDADES DA VARIÁVEL DESVIOS TÉRMICOS UTILIZADA NA AFC (TOTALIDADE DOS REGISTOS): 2ª EXPERIENCIA – DESVIOS EM RELAÇÃO À ESTAÇÃO POSTO G-COVELO .....	363
FIGURA 81 - AFCB, TODAS AS VARIÁVEIS: PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL (F1, F2), INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 1 (F1).....	367
FIGURA 82 - AFCB (A1-DESVIOS EM RELAÇÃO A PORTO-AEROPORTO) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL (F1, F2). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 1 (F1).....	368
FIGURA 83 - AFCB (A1-DESVIOS EM RELAÇÃO A PORTO-AEROPORTO) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO SEGUNDO PLANO FATORIAL (F1, F3). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 3 (F3).....	369
FIGURA 84 - AFCB (A1-DESVIOS EM RELAÇÃO A PORTO-AEROPORTO) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO TERCEIRO PLANO FATORIAL (F1, F4). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 4 (F4) .....	370
FIGURA 85 - AFCB (A1-DESVIOS EM RELAÇÃO A PORTO-AEROPORTO) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO QUARTO PLANO FATORIAL (F1, F5). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 5 (F5).....	371
FIGURA 86 - AFCB (G1-DESVIOS EM RELAÇÃO AO POSTO G) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL (F1, F2). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 1 (F1).....	373
FIGURA 87 - AFCB (DESVIOS EM RELAÇÃO AO POSTO G) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO PRIMEIRO PLANO FATORIAL (F1, F2). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 2 (F2).....	375
FIGURA 88 - AFCB (DESVIOS EM RELAÇÃO AO POSTO G) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO SEGUNDO PLANO FATORIAL (F1, F3). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 3 (F3).....	376
FIGURA 89 - AFCB (DESVIOS EM RELAÇÃO AO POSTO G) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO TERCEIRO PLANO FATORIAL (F1, F4). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 4 (F4).....	377

FIGURA 90 - AFCB (DESVIOS EM RELAÇÃO AO POSTO G) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO QUARTO PLANO FATORIAL (F1, F5). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 5 (F5). .....	378
FIGURA 91 - AFCB (DESVIOS EM RELAÇÃO AO POSTO G) – PROJEÇÃO DAS MODALIDADES NO QUINTO PLANO FACTORIAL (F1, F6). INTERPRETAÇÃO AO LONGO DO EIXO 6 (F6). .....	379
FIGURA 92 - RELAÇÃO MAGNITUDE MÉDIA DESVIOS/SETORES DE VENTO (MÉDIA DE 40 DIAS, DESDE 21/08 ATÉ 30/09 DE 2008).....	382
FIGURA 93 - RELAÇÃO DA EVOLUÇÃO HORÁRIA DOS DESVIOS/DIREÇÕES DE VENTO (EXEMPLO DE 10 DIAS) .....	384

## Índice de Tabelas

TABELA 1 - TEMPERATURAS MEDIDAS REGISTRADAS HORA A HORA, PERÍODO EXPERIMENTAL .....	201
TABELA 2 - TEMPERATURAS CORRIGIDAS A UM REFERENCIAL COMUM (NÍVEL MÉDIO DAS ÁGUAS DO MAR) .....	202
TABELA 3 - DESVIOS TÉRMICOS POTENCIAIS, NOS DIFERENTES POSTOS DE MEDIÇÃO, CALCULADOS RELATIVAMENTE À ESTAÇÃO DE PORTO-AEROPORTO .....	203
TABELA 4 - RELAÇÃO ENTRE A MÁXIMA INTENSIDADE DA ICU NOTURNA E AS VARIÁVEIS EM ANÁLISE ..	205
TABELA 5 - MÉDIAS HORÁRIAS E DIÁRIAS DOS DESVIOS URBANOS POTENCIAIS $(\Delta\theta)_U$ DOS SEIS POSTOS FIXOS .....	207
TABELA 6 - TEMPERATURAS MEDIDAS REGISTRADAS HORA A HORA, 2ª FASE DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	210
TABELA 7 - TEMPERATURAS POTENCIAIS (CORRIGIDAS AO NÍVEL DO MAR), 2ª FASE DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	210
TABELA 8 - DESVIOS TÉRMICOS POTENCIAIS (2010/2012), RELATIVAMENTE À ESTAÇÃO PORTO-AEROPORTO* .....	211
TABELA 9 (EXCERTO) - RELAÇÃO ENTRE $((\Delta\theta)_U)_{MAX}$ E VARIÁVEIS SINÓPTICAS EM ANÁLISE .....	212
TABELA 10 – DESVIOS TÉRMICOS POTENCIAIS URBANOS (2010/2012), CALCULADOS RELATIVAMENTE À ESTAÇÃO PORTO- AEROPORTO .....	213
TABELA 11 - VALORES DE $R$ (COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR) .....	214
TABELA 12 - ANÁLISE DE REGRESSÃO (REGRESSÃO LINEAR MONOVARIÁVEL, EQUAÇÕES DAS RECTAS DE REGRESSÃO E QUALIDADE DO AJUSTAMENTO - $R^2$ ) .....	216
TABELA 13 - SÍNTESE DOS VALORES DE $R^2$ , ORGANIZADOS POR ORDEM DECRESCENTE, E RESPECTIVA MÉDIA .....	221
TABELA 14 - MODELO TEÓRICO PARA O CÁLCULO DO ÂNGULO DE OBSTRUÇÃO DOS EDIFÍCIOS CIRCUNDANTES E/OU DEMAIS OBJETOS.....	246
TABELA 15 - FREQUÊNCIAS RELATIVAS DOS DESVIOS TÉRMICOS REPRESENTADAS NAS TABELAS D (INTERVALOS DE 1°C, JANEIRO 2011, REF. POSTO G-COVELO,) .....	341
TABELA 16 - DADOS ORIGINAIS: DESVIOS TÉRMICOS REFERENCIADOS À ESTAÇÃO DE PORTO-AEROPORTO .....	357
TABELA 17 - DADOS CODIFICADOS EM MATRIZ DISJUNTIVA COMPLETA PARA APLICAÇÃO DA ANÁLISE FATORIAL DAS CORRESPONDÊNCIAS BINÁRIAS:.....	357
TABELA 18 - 1ª EXPERIENCIA AFCB: VALOR PRÓPRIO E PERCENTAGEM EXPLICATIVA DOS EIXOS .....	364
TABELA 19 - CONTRIBUIÇÕES ABSOLUTAS MAIORES DO QUE $100/57 = 1.76$ .....	366



TABELA 20 - 2ª EXPERIENCIA AFCB: VALOR PRÓPRIO E PERCENTAGEM EXPLICATIVA DOS EIXOS .....	371
TABELA 21 - CONTRIBUIÇÕES ABSOLUTAS MAIORES DO QUE 100/53 = 1.89 .....	372
TABELA 22 – EXCERTO DO REGISTO DAS TEMPERATURAS OBTIDAS A PARTIR DE SONDAS INSTALADAS NA SOMBRA (ABRIGO ESPECIAL) E AO SOL (ABRIGO COMUM), EXEMPLO DE 14-15 SETEMBRO 2012 .....	380
TABELA 23 – RESULTADOS DAS REGRESSÕES DOS DESVIOS TÉRMICOS <i>VERSUS</i> GEOMETRIA URBANA .....	388

## Índice de Quadros

QUADRO I - CAUSAS HIPOTÉTICAS DA ILHA DE CALOR URBANO NA "CANOPY LAYER" .....	87
QUADRO II - CAUSAS HIPOTÉTICAS DA ILHA DE CALOR URBANO NA "BOUNDARY LAYER" .....	88
QUADRO III - TIPOS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS E RESPECTIVAS FONTES .....	95
QUADRO IV – PAISAGEM URBANO-RURAL: RESENHA EVOLUTIVA DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO.....	102
QUADRO V - AMOSTRA-EXEMPLO DA COMPLEIÇÃO DA FICHA TÉCNICA DE CARATERIZAÇÃO DAS LCZ ...	114
QUADRO VI – COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE TEMPERATURA REGISTRADOS EM: POSTO FIXO G; MEDIÇÕES ITINERANTES;E ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA AEROPORTO À HORA DE INÍCIO DAS MEDIÇÕES .....	141
QUADRO VII – SÍNTESE DE MEDIÇÕES ITINERANTES (2003).....	273
QUADRO VIII - SÍNTESE DE MEDIÇÕES ITINERANTES (2004).....	274
QUADRO IX - SÍNTESE DAS MEDIÇÕES ITINERANTES (2005) .....	274
QUADRO X – QUADRO SÍNTESE DOS PARÂMETROS ASSOCIADOS À ANÁLISE VARIOGRÁFICA PARA OS 16 PERCURSOS EM ESTUDO. ....	278
QUADRO XI - OCORRÊNCIAS TOTAIS DE MÁXIMA INTENSIDADE DE ICU E SUA RELAÇÃO COM A SITUAÇÃO SINÓPTICA- 2004/2005 .....	298
QUADRO XII - OCORRÊNCIAS DE MÁXIMA INTENSIDADE DE ICU POR POSTO, RELAÇÃO COM A SITUAÇÃO SINÓPTICA, PERÍODO PRIMAVERA/VERÃO 2010 .....	300
QUADRO XIII - OCORRÊNCIAS DE MÁXIMA INTENSIDADE DE ICU POR POSTO, RELAÇÃO COM A SITUAÇÃO SINÓPTICA, PERÍODO VERÃO/OUTONO 2010 .....	302

## Índice de Ilustrações

ILUSTRAÇÃO 1 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO A-TEJO, SEGUNDO AS LCZ .....	180
ILUSTRAÇÃO 2 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO B-AVAL DE BAIXO, SEGUNDO AS LCZ .....	181
ILUSTRAÇÃO 3 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO C-COSTA CABRAL, SEGUNDO AS LCZ.....	182
ILUSTRAÇÃO 4 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO E-ARCA D'ÁGUA, SEGUNDO AS LCZ.....	183
ILUSTRAÇÃO 5 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO G-QUINTA DO COVELO, SEGUNDO AS LCZ.....	184
ILUSTRAÇÃO 6 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO H-PADRÃO NORTE, SEGUNDO AS LCZ.....	185
ILUSTRAÇÃO 7 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO I-FARIA GUIMARÃES NORTE, SEGUNDO AS LCZ .....	186
ILUSTRAÇÃO 8 – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO J-S. JOÃO DE BRITO, SEGUNDO AS LCZ.....	187
ILUSTRAÇÃO 9 - – CLASSIFICAÇÃO DO POSTO M-FARIA GUIMARÃES SUL, SEGUNDO AS LCZ.....	188
ILUSTRAÇÃO 10 - ALTURA E AZIMUTE SOLAR, DEZEMBRO A JUNHO PARA COVELO-PORTO, PORTUGAL (APROXIMADAMENTE, LATITUDE 41°N E LONGITUDE 8°W).....	239

## Índice de Gráficos

GRÁFICO 1 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO TEJO/AVAL DE BAIXO .....	217
GRÁFICO 2 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO TEJO/COSTA CABRAL.....	217
GRÁFICO 3 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO TEJO/ARCA D'ÁGUA .....	218
GRÁFICO 4 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO TEJO/COVELO.....	218
GRÁFICO 5 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO TEJO/PADRÃO.....	219
GRÁFICO 6 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO TEJO/FARIA GUIMARÃES.....	219
GRÁFICO 7 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO TEJO/S. JOÃO DE BRITO .....	220
GRÁFICO 8 - DESVIOS POTENCIAIS: CORRELAÇÃO AVAL DE BAIXO/COSTA CABRAL.....	220
GRÁFICO 9 - MÉDIAS HORÁRIAS DOS DESVIOS URBANOS ( $\Delta\theta$ °C), EXEMPLO DE 6 DIAS DE VERÃO, ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PORTO-AEROPORTO.....	315
GRÁFICO 10 - MÉDIAS HORÁRIAS DOS DESVIOS URBANOS ( $\Delta\theta$ °C), EXEMPLO DE 6 DIAS DE INVERNO, ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PORTO-AEROPORTO .....	316
GRÁFICO 11 - MÉDIAS HORÁRIAS DOS DESVIOS URBANOS ( $\Delta\theta$ °C), EXEMPLO DE 10 DIAS DE VERÃO E 10 DIAS DE INVERNO, ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PORTO-AEROPORTO .....	317
GRÁFICO 12 – CONTRASTES SAZONAIS DOS DESVIOS MÉDIOS HORÁRIOS (CÁLCULOS EFETUADOS PARA OS PERÍODOS EM ESTUDO, ENTRE 2004 E 2005, RELATIVAMENTE À ESTAÇÃO DE PORTO-AEROPORTO)	319
GRÁFICO 13 – COMPARAÇÃO ENTRE O ESQUEMA TEÓRICO DE VARIAÇÃO DA ICU E OS CONTRASTES SAZONAIS DOS DESVIOS MÉDIOS HORÁRIOS DA ÁREA DE ESTUDO: A - VARIAÇÃO TEMPORAL TÍPICA DA INTENSIDADE DA ILHA DE CALOR URBANO ( $\Delta T_{u-r}$ ), ADAPTADO DE T.R.OKE, 1978/1987; B - ANOMALIAS TÉRMICAS MÉDIAS DA ÁREA DE ESTUDO, POR PERÍODOS SAZONAIS, 2004/2005 (DESVIOS AO AEROPORTO) .....	320
GRÁFICO 14 – EXEMPLO DE GRÁFICO DE SÍNTESE DO COMPORTAMENTO INDIVIDUAL DOS DESVIOS TÉRMICOS DOS 6 POSTOS FIXOS, ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PORTO-AEROPORTO. ....	322
GRÁFICO 15 - MÉDIA DOS DESVIOS TÉRMICOS, TODOS OS POSTOS, CALCULADOS COM E SEM O POSTO B-AVAL BAIXO, EXEMPLO DE PERÍODO DE VERÃO, ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PORTO-AEROPORTO....	323
GRÁFICO 16 - MÉDIA DOS DESVIOS TÉRMICOS, TODOS OS POSTOS, CALCULADOS COM E SEM O POSTO B-AVAL BAIXO, EXEMPLO DE PERÍODO DE INVERNO, ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA PORTO-AEROPORTO.	324
GRÁFICO 17 – MÉDIAS SEMANAIS DOS DESVIOS TÉRMICOS (AO POSTO G-COVELO), DO CONJUNTO DE TODOS OS POSTOS, SEMANAS DE 1-20, ANO DE 2010. ....	327
GRÁFICO 18 – VALORES MÉDIOS DA ILHA DE CALOR URBANO, POR GRUPOS DE SEMANAS.....	328
GRÁFICO 19 – MÉDIA SEMANAL DOS DESVIOS TÉRMICOS, POSTOS A-J, EXEMPLOS DE 4 SEMANAS DO ANO 2011 REPRESENTATIVAS DE DIFERENTES ESTAÇÕES: A-SEMANA DE INVERNO; B-SEMANA DE PRIMAVERA; C-SEMANA DE VERÃO; D-SEMANA DE OUTONO. ....	329
GRÁFICO 20 - CONTRASTES SAZONAIS DOS DESVIOS MÉDIOS HORÁRIOS (CÁLCULOS EFETUADOS PARA OS PERÍODOS EM ESTUDO, ENTRE 2010 E 2011, RELATIVAMENTE À ESTAÇÃO DE POSTOG-COVELO) ...	330
GRÁFICO 21 – PERFIL TÉRMICO ANUAL DA ICU (2010/2011/2012).....	331

---

GRÁFICO 22 – COMPARAÇÃO ENTRE O ESQUEMA TEÓRICO DE VARIAÇÃO DA ICU E OS CONTRASTES SAZONAIS DOS DESVIOS MÉDIOS HORÁRIOS DA ÁREA DE ESTUDO: A - VARIAÇÃO TEMPORAL TÍPICA DA INTENSIDADE DA ILHA DE CALOR URBANO ( $\Delta T_{U-R}$ ), ADAPTADO DE T.R.OKE, 1978/1987; B - ANOMALIAS TÉRMICAS MÉDIAS DA ÁREA DE ESTUDO, 2004/2005 (DESVIOS AO AEROPORTO); C - ANOMALIAS TÉRMICAS MÉDIAS DA ÁREA DE ESTUDO, 2010/2011 (DESVIOS AO POSTO G-COVELO)	333
GRÁFICO 23 – VARIABILIDADE INTRA-URBANA, MÉDIA DIÁRIA DE TODOS OS POSTOS DA ÁREA DE ESTUDO, JANEIRO DE 2011 .....	346
GRÁFICO 24 – DESENVOLVIMENTO DIÁRIO/MENSAL DAS ANOMALIAS TÉRMICAS NO POSTO G, NOS MESES COM DADOS DISPONÍVEIS EM 2010 .....	347

---

# I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

## INTRODUÇÃO

Este trabalho de investigação foi iniciado no ano letivo de 2007/2008, aquando da 1ª edição do Curso de Doutoramento em Geografia, da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, integrado na vertente de Geografia Física.

O facto de a frequência do Curso de Doutoramento ter passado a ser realizada em regime de tempo parcial, a partir do 2º ano do curso, por condicionalismos de ordem profissional e pessoal, justifica a demora na apresentação desta tese de Doutoramento que tem por título: “A ilha de calor urbano e o contexto sinóptico. Topoclima urbano - domínio ou sujeição?”.

Cedo definimos os nossos objetivos e, com a ajuda dos Senhores Professores do Curso de Doutoramento em Geografia, também cedo conseguimos consolidar o rumo da nossa investigação individual, como o atestam os diversos “artigos/papers” que foram sendo produzidos. Se o projeto de investigação acabou por se prolongar demasiado no tempo – e desse facto assumo pessoalmente toda a responsabilidade como doutoranda – essa circunstância permitiu, por um lado, aperfeiçoar e amadurecer os projetos, facilitando a sua revisão e o seu desenvolvimento; e por outro lado, constituiu um desafio que favoreceu o reconhecimento/deteção de problemas que se foram colocando e foram surgindo no decurso da investigação, potenciando simultaneamente um enriquecimento dos temas e um avanço mais consistente e mais consolidado da elaboração da nossa dissertação de doutoramento.

---

## 1. PERGUNTAS DE PARTIDA

No início desta investigação, quiçá por falta de experiência, foram formuladas numerosas perguntas de partida, algumas das quais, pouco a pouco e ao longo do percurso, fui abandonando, até chegar às que agora apresento, numa decisão de humildade que definitivamente privilegia a qualidade de poucos assuntos, mas estudados com rigor, em detrimento de muitos temas que provavelmente nunca teria tempo nem conhecimentos para abordar com profundidade.

Para a seleção das nossas perguntas de partida, tentei seguir os critérios que são normalmente preconizados para a sua formulação, o que espero ter minimamente conseguido.

Das aulas teóricas e da bibliografia que foi fornecida ao longo do ano curricular, retive que o primeiro problema que se põe ao investigador principiante é muito simplesmente o de saber como começar bem o seu trabalho, e que este problema resulta geralmente de uma preocupação de *“formular desde logo um projeto de investigação de forma totalmente satisfatória”* (Raymond Quivy, 1998). Recorde-se que, para Quivy, o facto de se pretender tanta perfeição logo de início é um erro e que *“uma investigação é, por definição, algo que se procura... É um caminhar para um melhor conhecimento... com todas as hesitações, desvios e incertezas que isso implica”*<sup>1</sup>. De imediato me identifiquei duplamente com esta obra: primeiro, porque me incentivou a abalançar-me, ainda que de forma hesitante e com consciência de poder estar a cometer os chamados erros de principiante, na escolha de um ponto de partida e de um caminho a seguir; depois, porque me forneceu o “alibi” perfeito para justificar as possíveis referidas *“hesitações, desvios e incertezas”*, na eventualidade de vir a concluir pela inviabilidade do projeto inicial e de necessitar de mudar de perspetiva ao longo do percurso que então iniciei.

### **Abordagem teórica às etapas do procedimento**

As etapas do procedimento a seguir numa investigação em ciências sociais, obedecem a uma ordem hierárquica de atos epistemológicos que configuram a rutura, a construção e a verificação. Estes três atos do procedimento científico implicam um

---

<sup>1</sup> Quivy, R., Campenhoudt, van L., Manual de Investigação em Ciências Sociais. Gradiva, Lisboa, 1998, ISBN 972-662-275-1.

---

percurso progressivo, teoricamente com sete etapas de operações sequenciais abaixo apresentadas, embora algumas dessas etapas, em termos práticos, exijam circuitos de retroação devido à interação que lhes é inerente.

- **Sobre a pergunta de partida** - A experiência de quem trabalha em investigação científica em ciências sociais aconselha a que se comece por enunciar o projeto de investigação sob a forma de uma pergunta de partida, mesmo que provisória. Para que a pergunta de partida seja eficaz e permita avançar na investigação, ela deve ser formulada de modo a obedecer a vários critérios: **clareza** (precisão, univocação e concisão), **exequibilidade** (adaptada à realidade em termos de tempo, meios logísticos e custos) e **pertinência** (eventual enquadramento ético, político ou prático, o qual não deve ultrapassar a intenção de análise e de compreensão dos fenómenos investigados).
- **Trabalho exploratório** – Após a formulação da pergunta de partida provisória, surge a necessidade de saber qual a forma correta de prosseguir para obter informação relevante e com qualidade sobre o tema em estudo. A etapa da exploração inclui habitualmente pelo menos dois tipos de ações: as operações de leitura bibliográfica que possam garantir a qualidade da posterior problematização e a seleção do tipo de entrevistas e/ou de outros métodos complementares que ajudem o investigador a contactar diretamente com a realidade em que se insere o problema<sup>2</sup>. A seleção das leituras exploratórias deve obedecer a critérios bem definidos, nomeadamente ter ligação com a pergunta de partida, comportar abordagens diversificadas, permitir períodos de tempo votados à reflexão e às trocas de pontos de vista, assim como à permuta de ideias. O ato de ler deve ser acompanhado pelo preenchimento de grelhas de leitura adequadas aos objetivos que se pretendem atingir e devem ainda ser estruturados resumos que permitam por em evidência as ideias chaves dos textos e que facilitem a sua comparação. As entrevistas e os métodos complementares, como a análise de documentos ou recolha de dados técnicos, permitem a abordagem de aspetos diretamente relacionados com a realidade prática e para os quais as leituras geralmente não estão direcionadas.

---

<sup>2</sup> No nosso caso não houve lugar à realização de entrevistas mas sim à recolha de dados próprios através de instrumental técnico adequado aos objetivos.

---

• **A problemática** - Com base nos resultados da etapa exploratória procede-se à elaboração de um sistema conceptual organizado que permita fazer a abordagem do problema suscitado pela nossa pergunta de partida. A conceção da problemática pretende, pois, dar resposta à questão de como abordar o fenómeno em causa e pode processar-se em dois momentos:

- ✓ com a ajuda de elementos de referência, nomeadamente as matérias abordadas nas aulas teóricas ou através de obras de referência, após o balanço das diversas problemáticas possíveis;
- ✓ quando se tem um domínio suficiente do problema e, com conhecimento de causa, se escolhe e se explicita a sua própria problemática.

• **Construção do modelo de análise** – Após a conceção da problemática define-se qual a terminologia apropriada e qual a forma de orientar o trabalho seguinte. Para cumprir este objetivo passa-se à fase da construção do modelo de análise, o qual apresenta características fundamentais, sendo certo que a sua elaboração deve obedecer a determinados princípios: o modelo de análise é composto por conceitos e hipóteses que se articulam entre si e que, em conjunto, devem formar um quadro de análise coerente. A conceptualização, isto é, a construção dos conceitos, não comporta todos os aspetos de uma realidade mas sim aqueles aspetos que melhor exprimem o essencial dessa realidade. Portanto, a construção de um conceito consiste em definir com rigor as dimensões que o constituem e em precisar os indicadores relativamente aos quais essas dimensões podem ser medidas. Consideram-se dois tipos de conceitos:

- ✓ os conceitos operatórios isolados, construídos empiricamente a partir da observação e/ou de informação;
- ✓ os conceitos sistémicos, construídos a partir de raciocínio abstrato, caracterizados por um grau mais elevado de rutura com os preconceitos.

Por sua vez, a hipótese é uma proposição provisória que sugere uma relação entre dois termos/variáveis (esses dois termos podem ser conceitos ou fenómenos); é também uma suposição que irá ser verificada posteriormente, isto é, confrontada com os dados provenientes da observação.

---

• **A observação** - A etapa da observação consiste num conjunto de operações através das quais o modelo de análise, constituído por conceitos e hipóteses, vai ser testado relativamente aos factos e confrontado com os dados de observação. Durante a etapa da observação é recolhida a informação que será analisada na fase seguinte. Portanto, a observação constitui uma etapa fundamental que estabelece a ligação entre a construção do modelo de análise (conceptualização e hipóteses) e a análise dos resultados utilizados para testar a/as hipóteses. A etapa da observação engloba três operações:

- ✓ definição dos dados pertinentes (observar o quê?) – informação que sirva para testar as hipóteses, determinados pelos indicadores das variáveis;
- ✓ delimitação do campo de análise e a seleção das unidades de observação (observar o quê/quem?) – circunscrever o campo da análise, quer no espaço geográfico, quer no tempo (estudo do conjunto do universo considerado ou apenas de uma amostra considerada significativa/representativa);
- ✓ seleção/construção dos instrumentos de observação e recolha de dados (observar como?) – escolher/produzir instrumento(s) que permita(m) obter a informação prescrita pelos indicadores (observação direta e indireta), para testar as hipóteses.

Não se trata unicamente de recolher dados indiscriminados, mas sim de selecionar informação pertinente para o tratamento necessário à verificação das hipóteses.

• **Análise das informações/resultados** - Esta etapa tem duas funções fundamentais: verificar se os resultados obtidos correspondem efetivamente aos resultados expectáveis segundo a hipótese; interpretar os factos não esperados, revelados pela observação, e que permitem rever ou afinar as hipóteses. A etapa da análise das informações compreende pelo menos três operações obrigatórias:

- ✓ descrição e preparação dos dados necessários para testar as hipóteses;
- ✓ análise das relações entre as variáveis (os conceitos implicados na hipótese, as dimensões que a definem e os indicadores);
- ✓ comparação dos resultados observados com os resultados pressupostos (havendo divergência entre os resultados observados e os inicialmente esperados, o que é frequente, procurar as razões dessas diferenças e elaborar novas hipóteses).



- 
- **Conclusões** - A conclusão de um trabalho de investigação compreende geralmente três partes distintas:

- ✓ uma retrospectiva das grandes linhas do procedimento que foi seguido, inclusivamente a apresentação de pergunta de partida na sua última versão;
- ✓ uma apresentação pormenorizada dos contributos para o conhecimento, originados pelo trabalho desenvolvido;
- ✓ considerações finais de ordem prática (nem sempre as conclusões de uma investigação conduzem a aplicações práticas claras e indiscutíveis).

### **1.1. Objeto de estudo: relação entre situação sinóptica e padrão territorial, magnitude e frequência da Ilha de Calor Urbano**

Partindo do pressuposto, amplamente provado nos trabalhos e bibliografia específica nacional e estrangeira<sup>3</sup> sobre o tema em análise, de que há evidentes diferenças entre as características do clima das áreas urbanas relativamente às áreas rurais envolventes e de que existe uma relação intrínseca entre as situações sinópticas e a presença/ausência do fenómeno da Ilha de Calor Urbano, propusemo-nos investigar o seguinte:

#### **1.1.1. Quais as situações sinópticas que potenciam/inibem a formação da ilha de calor urbano na área de estudo?**

- a1) Quais as situações sinópticas que **potenciam/inibem** a intensificação (no sentido de aumento da sua **magnitude**) da ilha de calor urbano na área de estudo?
- b1) Quais as situações sinópticas que **potenciam/inibem** a intensificação (no sentido de tipo de **padrão territorial /extensão temporal**) da ilha de calor urbano na área de estudo?
- c1) Qual a **frequência** das diferentes situações sinópticas que potenciam/inibem a formação da ilha de calor urbano na área de estudo?

#### **1.1.2. Podemos contribuir para avaliar/controlar o efeito da ilha de calor atual e futura?**

- d2) É possível definir a **previsibilidade da ocorrência** dessas situações?
- e2) É possível o **estabelecimento de padrões espaciais e/ou temporais** na configuração da ilha de calor urbano?

---

<sup>3</sup> Londres, Chandler, 1965; Nova Iorque, Bornstein, 1968; St. Louis, Changnon Jr., 1978; Montreal, T. Oke, 1975; Uppsala, A. Sunborg, 1950 e R. Taesler, 1980; Madrid, A. López Gómez, 1984; Lisboa, M.J. Alcoforado, 1986; Porto, A. Monteiro, 1993; Coimbra, Ganho,N., 1995.

---

f2) A cidade pode/deve ser planeada para limitar/minimizar os efeitos das eventuais modificações climáticas, no que se refere a *stress* térmico e à Ilha de Calor Urbano, particularmente em Portugal<sup>4</sup>?

## 2. OPÇÃO TEMÁTICA – sua justificação

A ideia de enveredar por uma abordagem à climatologia urbana aplicada foi ganhando corpo à medida que decorria a frequência do Curso de Doutoramento em Geografia. Foi especialmente durante o primeiro ano de frequência do curso – com assistência a aulas e conferências – que se consolidou o interesse pela climatologia, por nós considerada um tema fascinante, uma vez que constitui uma componente essencial no diagnóstico e na avaliação dos impactes ambientais em espaços profundamente antrópicos. Se é verdade que temos bem presente a opinião de F. Rebelo (1994) ao afirmar que o Homem pouco ou nada “*poderá fazer contra as características climáticas*”<sup>5</sup>, no presente estágio do conhecimento científico e sem recurso a técnicas demasiado onerosas, também por outro lado reconhecemos como digna de ponderação a posição de A. Monteiro (1994)<sup>6</sup> ao defender que a atuação humana pode e deve ter grande significado na prevenção do risco e na mitigação das consequências no que se refere ao ordenamento do território e à definição das estratégias de planeamento dos espaços urbanizados.

Foram várias as condicionantes que levaram à opção pela área de estudo, a qual incide essencialmente em determinadas zonas da cidade do Porto. A acentuada tendência na literatura temática atual<sup>7</sup> para abordagens à escala topo-climática<sup>8</sup>, é uma realidade. No

---

4 A inserção de Portugal nos climas de cunho mediterrânico (M. Alcoforado, 1998), caracterizados por uma estação seca estival, confere-lhe uma variabilidade intrínseca que distancia as suas características climáticas reais das médias teóricas das normais climatológicas; essa variabilidade acarreta diversos riscos climatológicos, por vezes descontextualizados temporalmente, quer ligados a paroxismos pluviométricos inseridos ou não no período invernal, quer a secas prolongadas em pleno inverno ou ainda a episódios de temperaturas extremas, tornando assim o nosso país altamente vulnerável a riscos do foro climatológico.

<sup>5</sup> “Do ordenamento do território à gestão dos riscos naturais. A importância da Geografia Física salientada através de casos de estudo selecionados em Portugal”, *Territorium*, Minerva, Coimbra 1994, pág. 10.

<sup>6</sup> “A Climatologia como componente essencial no diagnóstico e na avaliação dos impactes ambientais em espaços urbanizados. O caso da cidade do Porto”, *Territorium*, Minerva, Coimbra 1994, pág. 18-19.

<sup>7</sup> Já H. Lautensach havia considerado “...estes estudos de casos particulares são indispensáveis para que se possa progredir e passar da climatologia dos valores médios a uma verdadeira climatologia interpretativa.” Daveau, S. et al., texto de Lautensach, H., *Geografia de Portugal*, vol. II- O Ritmo Climático e a Paisagem, 2ª Ed., 1994, pág. 369.

<sup>8</sup> Alcoforado, M.J., “...A palavra topo-clima foi proposta, em 1953, por C. W. Thornthwaite, durante a primeira reunião da Comissão de Climatologia da W.M.O., para designar o clima diretamente dependente das características do substrato... ou seja, o clima local. Alguns autores (A. Bitan, 1975 e J. Paszynski, 1983) preferem a utilização do termo topo-clima em vez de clima local...”, *O Clima da Região de Lisboa*, 1993, pág. 11.

---

entanto, houve um conjunto de circunstâncias – que passam pelo interesse e conhecimento prévio da área, pela vivência do dia-a-dia, e também pelo facto de termos já anteriormente efetuado um estudo específico sobre Paranhos<sup>9</sup>, uma das freguesias do Porto – que pesaram na escolha do tema. Este último fator foi até decisivo na medida em que a comparação da área de Paranhos com outras áreas da cidade poderia constituir uma mais-valia para a investigação, uma vez que na última metade do século XX (mais precisamente, desde 1950 e praticamente até à atualidade) esta cidade tem assistido a significativas alterações, nomeadamente no que respeita à densidade populacional, ao alargamento dos espaços impermeabilizados e urbanizados e à profunda modificação do uso do solo. Entretanto, e na sequência da dissertação de mestrado, realizámos alguns trabalhos<sup>10</sup> sobre a área de estudo, já com vista ao prolongamento da investigação desta temática.

No prosseguimento da nossa investigação, pretendemos alargar espacialmente este estudo para o exterior do perímetro da freguesia de Paranhos, no sentido de que abranja também outras partes mais densamente ocupadas da cidade do Porto, através da recolha de dados em postos fixos, segundo dois cortes aproximadamente N-S e W-E e aplicando uma metodologia que, além de incidir sobre diferentes espaços da cidade com características distintas, permita anular o efeito do fator altitude<sup>11</sup> na variação térmica. Entendemos que esta metodologia, recorrendo a postos fixos mais do que às clássicas medições itinerantes, nos permitirá alargar o conhecimento da extensão espacial da ilha de calor, determinar com maior rigor a sua efetiva evolução temporal e a sua real magnitude na área de estudo, privilegiando desta forma, a vertente temporal em detrimento da vertente espacial de *Ilha de Calor Urbano*, no seu sentido tradicional.

---

<sup>9</sup> Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>10</sup> Balkeståhl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesle, R., Quenol, H., *The Influence of weather types on the urban heat island's magnitud and patterns at Paranhos, Oporto – a case study from November 2003 to January 2005*”, “6<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, ICUC6”, Gotemburgo, Suécia, 2006; Balkeståhl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesle, R., “*Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: estudo de caso no pólo da Asprela*”, 5<sup>o</sup> Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia/2<sup>o</sup> Congresso de Engenharia de Moçambique (CLME' 2008), Edições INEGI, Maputo, Moçambique, Agosto 2008; Balkeståhl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesle, R., “*Urban geometry parameters as indicators for urbanization effects: a case study in Paranhos, Portugal*”, “Climate Change and Urban Design - The Third Congress of the Council for European Urbanism”, Actas do Congresso, Oslo, Noruega, Setembro 2008.

<sup>11</sup> Andersson, K., C., Ekeblad, Högsommardagar i Sverige 1917-2003. Department of Physical Geography, Earth Sciences Centre Göteborg University, Göteborg, 2004.

---

Já no século XIX, mais concretamente em 1861, o escritor Júlio Dinis – pseudónimo de Joaquim Guilherme Gomes Coelho<sup>12</sup>, habitante de Paranhos, área de estudo original<sup>13</sup> onde se iniciou esta pesquisa em 2004 – havia escrito uma tese intitulada “Da Importância dos Estudos Meteorológicos para a Medicina e especialmente de suas aplicações ao ramo operatório” (figura 1), demonstrando dessa forma grande preocupação pelas questões da relação entre clima urbano e saúde humana. Para além de médico e escritor, esta eminente personalidade exerceu também funções como diretor do Observatório Meteorológico da Escola Médico-Cirúrgica do Porto, entretanto designado por “Instituto Geofísico da Universidade do Porto” (IGUP)<sup>14</sup>, hoje Instituto Geofísico, estabelecimento dependente da Faculdade de Ciências da UP.

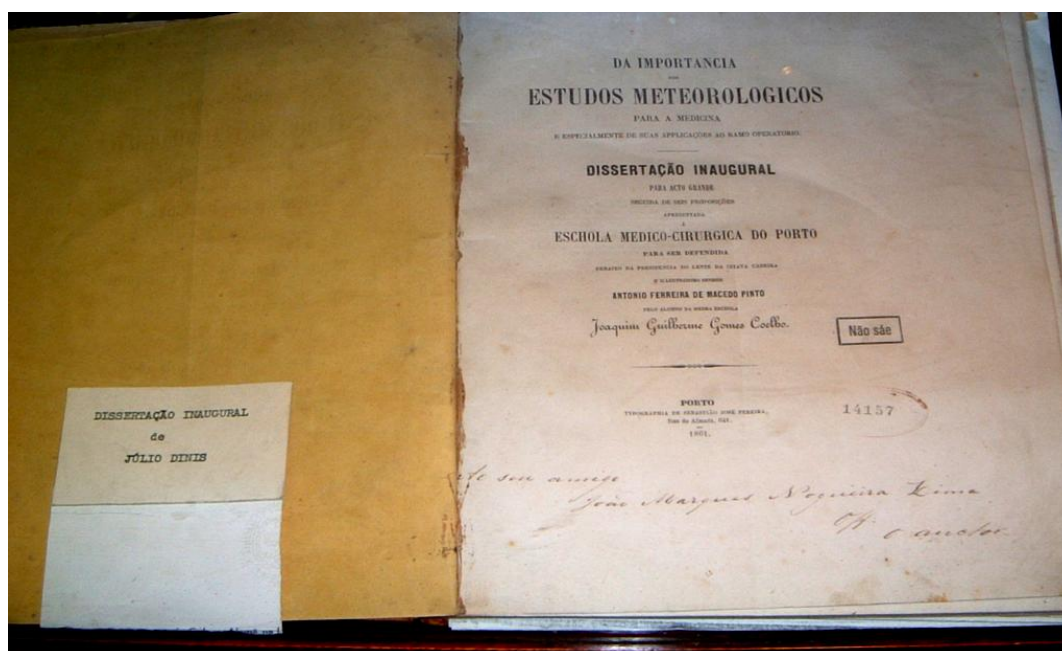


Figura 1 - Tese de dissertação de Joaquim Guilherme Gomes Coelho, Arquivo da Biblioteca do Ateneu Comercial do Porto (Balkestâhl, 2005)

É curioso constatar que o tema da dissertação de Júlio Dinis veio a revelar-se como sendo um estudo precursor, pois foi posteriormente desenvolvido um outro trabalho de pesquisa da máxima importância para a saúde pública, na cidade do Porto. Em 1899, escrito pelo

---

<sup>12</sup> Júlio Dinis viveu algum tempo e faleceu na freguesia de Paranhos, no n.º 323 da Rua de Costa Cabral, que hoje corresponde ao edifício do Cine-Teatro homónimo do escritor.

<sup>13</sup> Balkestâhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>14</sup> No decurso deste trabalho a estação meteorológica do Instituto Geofísico da Universidade do Porto (IGUP) passará a ser designada por Porto-Serra do Pilar.

---

Dr. Ricardo Jorge, surge um trabalho intitulado: *Demografia e Higiene da Cidade do Porto*. Tanto nessa obra como noutras da sua autoria, o Dr. Ricardo de Almeida Jorge salienta a ideia que “*A limpeza Deus a amou, afirma o dicto popular; e ama-a também a hygiene. A limpeza da cidade não é só uma obra meritoria ao creador, é uma obra redemptora das creaturas. D’essa purificação depende, nada mais nem nada menos, que o estado sanitário da população; a doença e a morte prosperam com a immundicie*”<sup>15</sup>. Embora neste caso concreto, a ligação ao tema da climatologia urbana seja apenas marginal, certo é que uma das questões pelas quais o Dr. Ricardo Jorge mais ficou conhecido – o surto de peste bubónica do Porto, em 1899 – poderá indiretamente estar-lhe relacionada, não como efeito mas como presumível causa, e relativo a tempos muito anteriores<sup>16</sup>.

### 3. OBJETIVOS

- a) Aprofundar conhecimentos teóricos sobre as questões centrais da climatologia urbana, nas suas diversas escalas espaciais e sobretudo temporais.
- b) Discutir de que forma a intensidade e frequência da ilha de calor urbano podem ser influenciadas (se não manipuladas) por uma conceção/gestão alternativa do planeamento e das figuras urbanas de plano.
- c) Consubstanciar a introdução de um conjunto de técnicas e ferramentas geoestatísticas, no tratamento da informação normalmente associada às questões do clima urbano.
- d) Abordar sucintamente as orientações recentes do desenvolvimento da climatologia urbana na sua tentativa de dar resposta a problemas da atualidade, nomeadamente eficácia energética/edificado.

---

<sup>15</sup> Ricardo Jorge, *Saneamento do Porto. Relatório apresentado á Comissão Municipal de Saneamento*, Porto, Typographia de António José da Silva Teixeira, 1880, p. 10. Citado por Viegas, V. et al, A Direcção Geral de Saúde, Notas históricas, Lisboa, 2006, pág. 20.

<sup>16</sup> De acordo com um estudo publicado na revista científica *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, por um grupo de investigadores holandeses da Universidade de Utreque, liderados por Thomas van Hoof, o surto de Peste Negra que dizimou um terço da população europeia na primeira metade do século XIV poderá supostamente ter sido o acontecimento-chave que desencadeou a mini era glacial conhecida por Pequena Era Glaciar (PEG) ou Pequena Idade do Gelo, uma vez que vastas áreas agrícolas ficaram abandonadas por todo o continente europeu, o que terá provocado uma reflorestação por milhões de novas árvores e estas, por sua vez, absorveram grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, o principal gás com efeito de estufa da atmosfera. No entanto, esta hipótese teve grandes opositores e outras explicações totalmente diferentes.

---

e) Aprofundar o conhecimento da ilha de calor da área de estudo (no sentido de tentar alertar para a intervenção em situações concretas de planeamento/gestão/políticas territoriais) para minimizar os seus efeitos, a diferentes escalas espaciais e sobretudo temporais.

Para a prossecução dos nossos objetivos começámos por efetuar uma abordagem à natureza da baixa atmosfera, tendo em conta que as suas características são o resultado da forma individualizada e única como cada superfície reage à atuação de elementos forçadores externos, tais como radiação solar, precipitação e fluxos de ar: esse tipo de abordagem, mais do que uma simples caracterização tradicional baseada em normais climatológicas, proporciona um enquadramento dinâmico de causa-efeito que configura uma plataforma mais objetiva para a análise dos impactos humanos nos ambientes antrópicos. Por razões logísticas e de carácter conceptual, a nossa abordagem à natureza da baixa atmosfera revestiu-se de aspetos mais qualitativos e/ou fundamentados na aplicação de princípios simples da física da atmosfera que, mesmo imbuídos dessa simplicidade, nos permitiram compreender o papel da baixa atmosfera no ambiente urbano, nomeadamente nas questões especificamente geográficas e de ordenamento do território.

Com este trabalho pretendeu-se confirmar a existência de ilha de calor urbano na cidade do Porto e aprofundar o conhecimento sobre as suas características. A fundamentação teórica baseou-se, entre outros, em T.R. Oke (1978), que defende que o processo de urbanização induz/produz mudanças radicais na natureza da superfície e nas propriedades da atmosfera de uma região, tendo como consequência, o aparecimento de áreas de risco, prejudiciais não só para a saúde dos habitantes, como para a degradação do património. Tendo em conta que a existência de ilha de calor urbano na cidade do Porto, assim como a sua magnitude, já haviam sido anteriormente demonstradas por A. Monteiro (1997)<sup>17</sup>, J. Góis (2004)<sup>18</sup> e L. Balkeståhl (2005, 2009, 2010)<sup>19</sup>, foram neste trabalho

---

<sup>17</sup> Cf. MONTEIRO, A. “O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território”, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, págs. 290-292.

<sup>18</sup> Góis, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, tese de doutoramento, FEUP, Porto, 2004.

<sup>19</sup> Balkeståhl, L.: Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005; “*Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano (Porto)*”, Ciclo de Colóquios Geografia aos Sábados, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 1, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Outubro 2009, pág. 11-31, ISSN 978-972-8932-44-2; “Características Dominantes da Ilha de Calor Diurna (Paranhos-Porto)”, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 2, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Julho 2010, pág. 11-21, ISSN 1647-6506.

---

definidos objetivos parcelares que pensámos serem relevantes para a prossecução da investigação referente ao último dos objetivos gerais acima referidos:

- Procurar confirmar a existência de ilha de calor urbano na área de estudo;
- Procurar estabelecer relações entre as eventuais alterações das características do clima urbano e os riscos, que daí podem advir, para os cidadãos;
- Procurar avaliar o modo como a população utilizadora do espaço urbano do Porto – enquanto elemento interatuante no metabolismo urbano – pode constituir uma causa externa ao subsistema climático geradora de contributos que modificam o comportamento das anomalias térmicas (especialmente em determinadas situações sinópticas e em certas épocas do ano).

O processo metodológico seguido teve por base a recolha e análise de dados de temperatura da baixa atmosfera de diversos locais da área portuense, fundamentalmente obtidos em dez postos fixos. Para fins comparativos e de tratamento da informação, os dados por nós adquiridos foram complementados pela análise de registos de pressão atmosférica e temperatura à superfície, humidade relativa e vento, da estação de Porto-Aeroporto de Pedras Rubras (seguidamente designada por Porto-Aeroporto). Posteriormente, estabeleceu-se a comparação temporal e espacial entre os dados recolhidos e os dados das estações de referência, inicialmente, como referido, a estação de Porto-Aeroporto e, posteriormente, o Posto G-Covelo. Estas análises conduziram à delimitação da **efetiva extensão temporal** dos fenómenos de ilhas de calor/ilhas de frio, assim como a determinação das **reais magnitudes** dos seus desvios térmicos.

Não será inédita a técnica de efetuar novas medições de temperatura numa parte da cidade do Porto já anteriormente estudada, tendo como objetivo a comparação de épocas distintas. A ideia surgiu da consulta de outros trabalhos, concretamente “Studies of the development and thermal structure of the urban boundary layer in Uppsala” (1980) – em que o autor, Roger Taesler<sup>20</sup>, utiliza dados de medições de temperatura anteriores, obtidos em Uppsala-Suécia (1947-49) por Sundborg (1951)<sup>21</sup>, para comparar as medições verificadas em épocas diferentes.

---

<sup>20</sup> C.f. Taesler, Roger, “...effects of  $\approx$  25 years of urban development are demonstrated by comparison with Sundborg’s earlier results for Uppsala.” *in* Studies of the Development and Thermal Structure of the Urban Boundary Layer in Uppsala, Part II, Data analysis and results, Uppsala, 1980, pág 110.

<sup>21</sup> Sundborg, Å., Climatological Studies in Uppsala, Geographica n° 22, Dept. of Geography, Univ. of Uppsala, Suécia, 1951.

---

Na obra acima referida, Roger Taesler defende que até 1980 os efeitos que a urbanização provocou na alteração do clima se verificaram essencialmente a nível local. Contudo, interroga-se se os efeitos do incremento da urbanização e da industrialização, para áreas cada vez maiores, gerando paisagens de grande artificialidade, não se terão já alargado até à meso-escala<sup>22</sup>.

Segundo o mesmo autor, (Taesler, 1980)<sup>23</sup>, o objetivo do projeto de meteorologia urbana aplicada de Uppsala, que se tinha iniciado em 1972, era melhorar os dados experimentais para o cálculo dos ventos de rajada. Essas informações foram consideradas da maior relevância, uma vez que tinham sido verificadas na prática três anos antes (1969), através dos efeitos de destruição de edifícios em extensas áreas no sul da Suécia, provocados por uma tempestade de grandes proporções.

Ainda no que diz respeito à climatologia urbana aplicada, é de notar a seguinte questão que T. R. Oke levantou em 1984, e cuja pertinência levou a que fosse posteriormente retomada por Eliasson (2000): serão os estudos de climatologia “*irrelevantes, incompreensíveis e inaplicáveis?*”

A importância da climatologia urbana aplicada reside também no facto de ela poder constituir um bom indicador de qualidade de vida e de sustentabilidade e de poder contribuir consideravelmente para minimizar/evitar situações de perigo, ou simplesmente de falta de conforto bioclimático, para a população urbana.

O estudo do comportamento de alguns elementos climáticos, levado a cabo por A. Monteiro (1997)<sup>24</sup> durante o período de 1900-1989, deixou bem claro que se verificou um aumento consecutivo da temperatura (especialmente das temperaturas mínimas) e que a alteração no ritmo climático interestacional é um facto inegável. Estas conclusões,

---

<sup>22</sup> Taesler, Roger, “So far, the urban effects on climate have been established on the local scale. As urbanization and industrialization grow over larger and larger areas, creating a virtually man-made landscape, the possibility exists of mesoscale climatic effects, some of which may be a reality today”, *in* Studies of the Development and Thermal Structure of the Urban Boundary Layer in Uppsala, Part I, Experimental Program, pág.1.

<sup>23</sup> Taesler, Roger, “The Uppsala urban meteorological project started in 1972 with the main purpose of improving the experimental data for calculations of wind loads on buildings in a typical Swedish town. This matter had been brought into focus as a result of very severe storm damage in 1969 on buildings in large areas in the southern part of the country”, *in* Studies of the Development and Thermal Structure of the Urban Boundary Layer in Uppsala, Part II, Data analysis and results, 1980, pág. 3.

<sup>24</sup> Cf. Monteiro, A., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, págs. 70-91.



---

juntamente com a tendência para extremar o comportamento da precipitação (aumento dos totais mensais nos períodos já normalmente chuvosos e diminuição nos períodos habitualmente mais secos), tornaram evidentes a tendência para manifestações de mudança climática, facto que acaba sempre por ter consequências ao nível da vivência dos cidadãos.

Outra abordagem exemplificativa do que acaba de ser referido é o estudo efetuado em Lisboa, na área de Telheiras, sobre a forma integrada como a influência dos elementos atmosféricos é exercida sobre os seres humanos (H. Andrade, 2004)<sup>25</sup>.

Entre os muitos e variados exemplos existentes, os casos que aqui foram mencionados respondem por si só à questão atrás referida, pertinentemente levantada por T. R. Oke em 1984: os seres humanos apresentam uma capacidade limitada de adaptação às mudanças climáticas e há inconvenientes sociais, económicos, políticos e ambientais decorrentes das alterações climáticas que não podem ser ignorados, seja qual for a escala a que ocorram. Assim sendo, facilmente se compreende a *relevância* dos estudos de climatologia urbana aplicada para a melhoria da qualidade de vida; a extensão do problema será *compreensível* desde que os dados sejam transmitidos, de forma simples mas eficaz, ao cidadão comum e aos gestores; e verificar-se-á com certeza a necessidade imperiosa da sua *aplicabilidade* sempre que ocorram, no território urbano, intervenções de maior ou menor risco.

Este trabalho de investigação movimenta-se fundamentalmente nos níveis da escala topo-climática, abordando também o nível meso-climático sempre que se mostre necessário e quando surja algum tipo de interação com fenómenos de outras escalas.

Se é verdade que, na atualidade, os conhecimentos em climatologia urbana se direcionam sobretudo para as modificações à escala meso-climática e topo-climática, também não podemos deixar de constatar que cada vez mais surgem trabalhos de

---

<sup>25</sup> Andrade, Henrique, “Microclimatologia em Telheiras: uma abordagem bioclimática”, colóquio Clima e Ambiente Urbano, Março 2004, Lisboa

---

investigação à escala da microclimatologia urbana<sup>26</sup>, uma vez que, mesmo considerando a sua enorme importância para o avanço científico e para a grande relevância da sua aplicabilidade, esses estudos proporcionam pouca informação à microescala.

Seria bom que o estudo empreendido com este trabalho de investigação pudesse constituir um alerta para esta e outras questões que entretanto vão surgindo; e se, de algum modo, ele puder alertar ou ajudar a prevenir eventuais efeitos indesejáveis das alterações climáticas, à escala topo-climática, terá valido a pena todo o empenho e esforço despendido, pois o seu objetivo terá sido atingido.

---

<sup>26</sup>Desde os primeiros anos do Séc.XXI e perante a comprovada importância dos estudos à escala microclimática, começam a surgir no panorama científico internacional estudos como os de: Charabi, Y., Quenol, H., Beltrando, G., Kergomard, C., “Variation du Champ Thermique Nocturne Estival a l’Interieur d’un Fragment Urbain”, Laboratoires des milieux anthropisés, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2003; e Bridier, S., Quenol, H., “L’indice de proximité automobile: vers une approche géographique de la pollution à l’échelle individuelle”, Laboratoire DYNMERIS UMR PRODIG, 2002.

---

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ENQUADRAMENTO DOS OBJETIVOS NA GEOGRAFIA, NA SINÓPTICA E NA CLIMATOLOGIA URBANA

*“The climate system ... is an interactive system consisting of five major components: the atmosphere, the hydrosphere, the cryosphere, the land surface and the biosphere, forced or influenced by various external forcing mechanisms, the most important of which is the Sun. Also the direct effect of human activities on the climate system is considered an external forcing.”*

E. Ahlonsou, Y. Ding, D. Schimel,  
*in The Climate System: an Overview, 2001*

Nesta parte da investigação faz-se uma abordagem às relações teóricas que se estabelecem entre os diversos traços de feição geográfica, o sistema climático e os riscos que lhes são inerentes.

Referem-se os princípios orientadores da investigação, faz-se uma súmula da bibliografia consultada no campo dos climas de escala “fina” e temas subsidiários, com abordagem especialmente orientada para os climas urbanos, e procede-se ainda à compilação e síntese da bibliografia consultada sobre evolução e estado atual da Ciência sinóptica e da Climatologia Urbana Aplicada (“Mesoclima”, “Topoclima” e “Microclima”).

---

## 1. OS OMNIPRESENTES RISCOS CLIMATOLÓGICOS

*“Ever since cities developed in antiquity, people noticed that urban air was different from rural air. They sensed a persistent evil of cities with that highly sensitive chemical monitor, the nouse.”*

Helmut E. Landsberg (1981)

O território e os seus recursos têm sido largamente utilizados pelo Homem ao longo dos tempos. As razões são diversas e vão desde a pura necessidade de assegurar a sua sobrevivência, até à legítima e acrescida atitude voluntariosa de melhorar o seu bem-estar e elevar cada vez mais os seus padrões de vida. Contudo, o Homem moderno, ao estabelecer como meta prioritária a promoção da qualidade de vida e do conforto, individual ou coletivo, nem sempre tem em conta uma realidade que se vem tornando cada vez mais premente – a de que o território e os seus recursos, património comum da humanidade, não são ilimitados, e que, como tal, necessitam de ser preservados, daí decorrendo a necessidade de um sério e eficaz planeamento e regulamentação.

O poder de dominar a Natureza e as suas forças tem constituído um desafio constante à inteligência do Homem que, aliando-se à tecnologia e à ciência, tem patenteado uma confiança, por vezes exagerada, na sua capacidade de atuação face aos fenómenos naturais. No entanto, com essa atitude, o Homem esquece-se muitas vezes da importância inadiável de reverter a tendência de subalternização do que é natural. Por outro lado, apesar da atual consciencialização crescente, aos mais diversos níveis da sociedade, de que é necessária a gestão do território em geral, e dos recursos naturais em particular, numa perspectiva integrada, configurando-os numa abordagem multidimensional como “fisicamente possível, culturalmente aceitável e economicamente viável,”<sup>27</sup> desde a

---

<sup>27</sup> “O Nosso Futuro Comum”, Relatório da Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), também conhecida como Comissão Brundtland, Conferência das Nações Unidas, 1992 .

---

Conferência do Rio-92 que os passos dados nesse sentido não têm sido tão grandes e significativos como seria desejável e necessário.

Seja qual for a sua natureza, origem ou localização, a maioria das atividades humanas induz amplas alterações nos espaços antropicamente modificados. Mas, inequivocamente, é em meio urbano que essas atividades suscitam impactos de maior extensão, magnitude e intensidade. Muitas vezes, os processos de urbanização mais ou menos complexos, implicam a reorientação e artificialização de linhas de água, alterando os sistemas hídricos superficiais e subterrâneos, e levando à impermeabilização generalizada de solos, o que traz como consequência uma interferência profunda no ciclo hidrológico, modificações na topografia original e, frequentemente, uma contaminação quase irreversível do meio hídrico, dos solos, da atmosfera, ou até de todo o meio envolvente.

Portugal está localizado numa área climática temperada que se integra nas variantes de cunho mediterrânico (M. Alcoforado, 1998) e que se caracteriza genericamente pela existência de uma estação seca estival, mas em que se verificam diferenciações consideráveis a nível do clima regional e local. Esta localização confere-lhe características climatológicas específicas que distanciam consideravelmente as normais climáticas médias teóricas das suas características atmosféricas reais, as quais revelam, no pormenor, grande variabilidade interanual e intra-anual. Essas condições de grande variabilidade potenciam a ocorrência de diversos riscos climatológicos, por vezes fora de época, mas quase sempre ligados a paroxismos de chuvas intensas (dentro ou fora do período invernal) ou, pelo contrário, relativos a secas prolongadas em pleno inverno ou ainda a episódios de temperaturas extremas – fatores que tornam Portugal bastante vulnerável aos vários riscos climatológicos.

Há ainda a ter em conta que as emissões acrescidas dos gases, da responsabilidade das atividades humanas, contribuem para intensificar o “efeito de estufa” natural da atmosfera, sendo que alguns deles acarretam também outras consequências nefastas ao atuarem na catalisação de reações químicas altamente delapidadoras da camada de ozono. Está comprovado que alguns desses gases, além de serem poluentes, atuam seletivamente e com grande eficácia no aprisionamento das radiações solares da banda de grande comprimento de onda, e sobretudo no aprisionamento das radiações caloríficas

---

provenientes da irradiação infravermelha emitida pela superfície da Terra. Assim sendo, podemos concluir que as ações humanas se revestem da maior importância, pois têm potenciado diretamente a modificação da composição química da atmosfera e, indiretamente, podem estar a contribuir para modificar o comportamento de alguns elementos do sistema climático, particularmente a temperatura<sup>28</sup>.

## 2. PRINCÍPIOS ORIENTADORES DA INVESTIGAÇÃO

### Hierarquia climática à superfície do globo

O espaço climático hierarquiza-se, segundo P. Pagny (1976), em climas zonais, regionais, locais e microclimas<sup>29</sup>.

Os climas zonais ou planetários, assim chamados por se disporem em faixas sensivelmente paralelas ao equador – zonas climáticas – são determinados fundamentalmente pela latitude, como síntese dos fatores cósmicos e planetários (radiação solar, esfericidade e movimentos da Terra) e da circulação geral atmosférica. Estes climas seriam os únicos existentes à superfície do globo, caso este fosse inteiramente oceânico.

Porém, a distribuição, o desenho e o relevo dos continentes, as correntes marítimas e restantes fatores geográficos, exercem uma importante influência e vão modificar a distribuição zonal dos climas. O resultado é o aparecimento de mais de um tipo de clima no interior de determinadas zonas climáticas, assim surgindo os climas regionais ou geográficos, os quais, segundo P. Pagny, "*podem considerar-se como fácies dos climas zonais*"<sup>30</sup>.

Por sua vez, os climas locais representam uma acentuação da tendência que originou os climas regionais, levada ao pormenor (isto é, resultam de fatores muito localizados e limitados a um número modesto de quilómetros quadrados). Climats locais são, por exemplo, os das áreas montanhosas muito influenciadas pelas formas do relevo: climas de fundo de vale e de linha de cumeeiras, climas de vertente soalheira e umbria, climas de encosta barlavento e sotavento, climas das aglomerações urbanas.

---

<sup>28</sup> Cf. Relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Citado por MONTEIRO, A., Perceptibilidade, risco e vulnerabilidade em Climatologia, Territorium, Minerva, Coimbra, 1995, pág. 55.

<sup>29</sup> Pagny, Pierre - *Les Climats de la Terre*, Ed. Elsevier Masson, 1976, 2<sup>ème</sup> édition 1994 - ISBN : 2-225-84368-6, pág. 15.

<sup>30</sup> Pagny, Pierre - *Les Climats de la Terre*, Ed. Elsevier Masson, 1976, 2<sup>ème</sup> édition 1994 - ISBN : 2-225-84368-6, pág. 15.

---

Por fim, "os microclimas – mais circunscritos ainda, relativamente aos climas locais – resultam de condições mais restritas, em geral criadas pela ação do Homem, podendo considerar-se como o termo limite dos climas locais. Assim, se a cidade, no seu conjunto, pode corresponder a um clima local, ela própria cria no seu seio uma diversidade de microclimas. Daí que, por vezes, seja difícil distinguir e passar da noção de clima local para a de microclima, porquanto não é fácil delimitar condições locais e condições microclimáticas. Serão exemplos de microclimas uma rua muito ventosa, isto é, com o seu eixo paralelo ao da direção dos ventos dominantes, uma artéria mais quente ou mais fria, conforme esteja bem exposta à radiação solar em contraste com outra abrigada do sol pelo casario envolvente"<sup>31</sup>.

### **O Sistema Climático**

O sistema climático é em geral definido como um sistema global, constituído por cinco subsistemas, em permanente interação: atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera – interagindo entre si como um sistema aberto, não isolado e politérmico<sup>32</sup>, ou como explicitamente J. P. Peixoto (Revista Colóquio/Ciências nº6) também refere<sup>33</sup>:

*“Se recorrermos à metodologia termodinâmica, podemos dizer que a atmosfera, tomada como um sistema termodinâmico, não se pode considerar separadamente dos sistemas vizinhos, adjacentes. Estes compreendem o hidrossistema, que inclui os oceanos, lagos e rios; o criossistema, formado pelas massas de gelo e de neve da Terra; o litossistema subjacente; e o biosistema, da flora e da fauna. Todos estes sistemas naturais, de composição e de propriedades físicas tão diferentes, estão ligados entre si por fluxos de massa e de energia, constituindo um sistema global que é o sistema climático”.*

---

<sup>31</sup> Adaptado de Pagny, P. - *Les Climats de la Terre*, Ed. Elsevier Masson, 1976, 2ème édition 1994 - ISBN: 2-225-84368-6, pág. 134-135.

<sup>32</sup> Cf. Peixoto, J. P., “O Sistema Climático e as Bases Físicas do Clima”, Ed. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território, 1987, pág 46 a 50; Peixoto, J. P., “ A Água no Ambiente”, Ed. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território, 1989, pág.21.

<sup>33</sup> Peixoto, J. P., *O que é o Clima: Quid est Clima?* Revista Colóquio/Ciências, Nº 6, 17-30, pág 18.

---

Numa outra perspetiva, essencialmente dirigida aos níveis inferiores da hierarquia climática da superfície do globo (climas locais e microclimas), C. A. F. MONTEIRO (1976) ao construir o seu Sistema Clima Urbano (adiante designado por SCU), baseado na Teoria Geral dos Sistemas (TGS) criada por Ludwig Von Bertalanffy (biólogo alemão com trabalhos publicados entre 1950 e 1968)<sup>34</sup>, mas ainda associada ao *princípio do holismo* de Arthur Koestler (escritor, jornalista, ativista político com trabalhos publicados entre 1938 e 1984)<sup>35</sup> – define o sistema climático como uma estrutura global implicando uma organização hierarquizada em dois patamares distintos, o funcional e o estrutural<sup>36</sup>. Nesta perspetiva entende-se que há uma hierarquia funcional estratificada verticalmente, desde o nível superior ao nível inferior (cujos estratos estão ligados respetivamente às entradas de energia e ao controlo dos fluxos de matéria produzida no sistema), e uma estrutura organizada hierarquicamente, no sentido horizontal, em clima global, regional e local (figura 2).

Para o autor do SCU (Sistema Clima Urbano) a cidade é cada vez mais o habitat preferencial que o homem elege para se instalar e, por isso mesmo, o meio urbano constitui o ambiente em que se verifica a maior interação entre o homem e a natureza (Monteiro, 2003). Sobre o espaço que a natureza lhe proporciona, o homem promove um conjunto de mudanças abrangentes e espacialmente muitas vezes bastante concentradas, que se aglutinam sob a forma do edificado urbano: os elementos e formas da arquitetura citadina, os sistemas viários, os aterros com vista a mais construções, as reservas de água das albufeiras, a supressão dos acidentes topográficos inconvenientes ao conforto humano, as alterações drásticas na vegetação autóctone, e outras.

---

<sup>34</sup> A Teoria Geral dos Sistemas de L. Bertalanffy propõe a visão do planeta como um sistema único, composto por partes harmoniosamente integradas em subsistemas. Em 1950 Bertalanffy publica uma série de artigos onde desenvolve a noção de sistema aberto que constituirá a base da Teoria Geral dos Sistemas; em 1954 funda a *Society for General Systems Research* com o objetivo de aprofundar o estudo da sua teoria e em 1968 publica a sua obra fundamental, “*General System Theory*” - Bertalanffy, L. V. - Teoria geral dos sistemas, G. Braziller, New York, 1975.

<sup>35</sup> As décadas de 1950/60 foram marcadas por uma nova conceção dos estudos climáticos pautados por uma visão dinâmica e integrada da natureza, muito baseada no Holismo de Arthur Koestler (cuja discussão teórica vai do atomismo ou parte básica, fundamental do sistema até ao holismo ou integração e discussão do todo - *The Ghost in the Machine*, 1967). Mas a ideia do holismo já remonta à Antiguidade Clássica, com Aristóteles (“*O todo é maior do que a simples soma das suas partes*”), embora a palavra só tenha surgido com Jan Smuts (*Holism and Evolution*, 1926), tendo sido esta ideia posteriormente trabalhada por diversos pensadores, até aos nossos dias.

<sup>36</sup> MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo de, “Teoria e clima urbano”, IGEOG, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976, citado por MONTEIRO, A., O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território. Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 12.



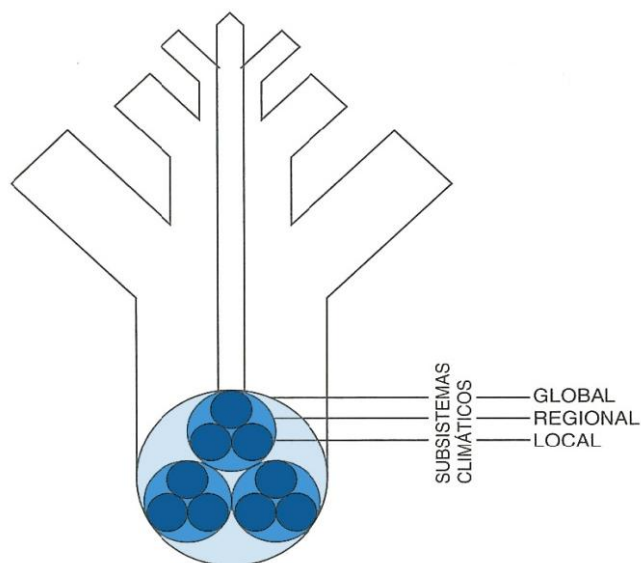


Figura 2 - Perspetiva sistémica da Climatologia

(Fonte: adaptado de A. Monteiro, “O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território”, pág. 12, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997)

Sobre estes *espaços “reinventados”* a população de utilizadores, urbanos ou flutuantes, exerce uma enorme pressão, circulando e desempenhando as suas diversas funções e atividades, fazendo com que *“as cidades sejam os lugares onde as resultantes ambientais se configuram como obra conjunta de uma natureza retrabalhada e aperfeiçoada aos propósitos do viver humano”* (Monteiro, 2003)<sup>37</sup>. O autor configurou o seu SCU como um sistema complexo, aberto, dinâmico e interatuante, que ao receber a energia do ambiente de nível superior no qual se insere (a energia solar), a transforma ao ponto de ele próprio gerar um produto que, por sua vez, é exportado para o interior do sistema. Desta forma, na opinião do autor, dentro desse espaço urbano *“retrabalhado e aperfeiçoado”*, o homem:

*[...] na medida em que conhece e é capaz de detetar suas disfunções, pode, através do seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas”.*<sup>38</sup>

<sup>37</sup> Monteiro, C.A.F. & Mendonça, F., (Org.) Clima Urbano. São Paulo. Editora Contexto, 2003, pág.10.

<sup>38</sup> Monteiro, C.A.F. & Mendonça, F., (Org.) Clima Urbano. São Paulo. Editora Contexto, 2003, pág.25.

---

No Sistema Clima Urbano são ainda evidenciados os elementos que caracterizam a coparticipação urbana no desenvolvimento do próprio sistema. Dada a complexidade desse sistema aberto, constatou-se que seria imprescindível proceder a uma simplificação classificativa dos elementos que o constituem, a qual foi expressa pelo autor através dos designados “canais de percepção humana”. Uma vez que as ilhas de calor urbano, a poluição atmosférica e as inundações assumem recorrentemente, quer espacial, quer temporalmente, uma posição de destaque nos eventos extremos associados aos climas urbanos, na referida análise classificativa, o seu autor, C. A. F. MONTEIRO (2003), considera três tipos de “canais de percepção humana”, cada um deles ligado a um subsistema do SCU, o Termodinâmico, o Físico-Químico e o Hidrometeorológico:

- o Termodinâmico ou do Conforto Térmico (engloba as componentes derivadas do calor/ventilação e da humidade e tem grande aplicabilidade em questões de Arquitetura e Urbanismo, uma vez que está diretamente ligado ao conforto ambiental humano);
- o Físico-Químico ou da Qualidade do Ar (expressa-se pela poluição atmosférica e apresenta uma ligação direta com os diversos estados de tempo, geradores da concentração ou da dispersão da poluição);
- e o Hidrometeorológico ou dos Meteoros de Impacto (refere-se às manifestações meteorológicas, às hídricas como chuva ou neve, às mecânicas, como os tornados, e às elétricas, como tempestades – fenómenos que têm a possibilidade de, eventualmente, se manifestar com grande intensidade e podem resultar em impactos urbanos de grandes proporções, causando perturbações abrangentes e desorganizando consideravelmente a circulação e os serviços urbanos).

Correspondendo o clima urbano a um dos subsistemas climáticos dos níveis da organização hierárquica estruturalmente inferior, constata-se que este – o clima urbano – não existe como entidade isolada e, pelo contrário, deve ser entendido como parte integrante de todo o sistema atmosférico em constante interação com os diversos subsistemas em presença, desde os níveis superior e intermédio, respetivamente macro e meso-climático, aos níveis inferiores (local e microclimático).

Posteriormente, Timothy Oke, 1978<sup>39</sup> fez também uma abordagem muito completa a esta questão, introduzindo na visão sistémica da atmosfera e dos seus climas, não só a

---

<sup>39</sup> OKE, T.R. *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 4.

escala espacial, com quatro e não três níveis hierárquicos (macro, meso, local e micro), como também a dimensão da escala temporal dos fenômenos atmosféricos (figura 3).

Nesta obra de referência, constituída por três partes que, por sua vez, se subdividem em vários capítulos e considerada por muitos investigadores da área como a “bíblia” da climatologia urbana<sup>40</sup>, Tim. R. OKE consegue efetuar uma sùmula aprofundada do conhecimento dedicado à camada da baixa atmosfera, mais próxima do solo, constituindo um dos estudos mais exaustivos e rigorosos na área da Climatologia Urbana.

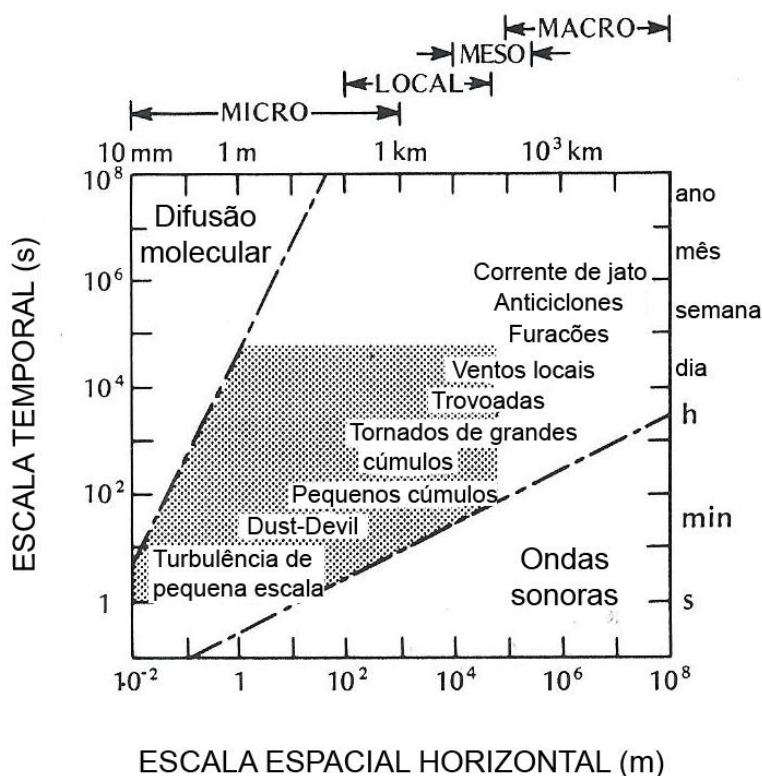


Figura 3 - Escala temporal e espacial de vários fenômenos atmosféricos.  
(Fonte: adaptado de T. Oke, Boundary Layer Climates, 1987, Routledge, London and New York, pág 4)

A Parte I, onde são abordados os “Sistemas Atmosféricos”, compreende dois capítulos cujos subtemas constituem a base fundamental da física da atmosfera. O primeiro capítulo inicia-se com um tema particularmente grato aos geógrafos (apesar de a obra ser escrita por um investigador de clima) – a questão da importância da definição das escalas espaciais e temporais dos vários fenômenos atmosféricos. Este capítulo tem um papel fundamental na estrutura da obra uma vez que é dedicado à clarificação de conceitos básicos e à explicação científica dos principais processos atmosféricos que operam na

<sup>40</sup> OKE, T.R Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York , pág 4.

---

“camada planetária limite”. Através de uma linguagem simples e acessível são explicitados os processos atmosféricos que envolvem o comportamento dos fluxos e as Permutas de Energia e Massa que circulam através dos sistemas Terra-Ar, corporizando uma base conceptual sólida que permite uma abordagem moderna e sobretudo dinâmica da climatologia, abordagem essa com a qual nos identificamos.

Esta abordagem proporciona ainda um enquadramento lógico para o segundo capítulo, onde são pormenorizados os Fundamentos Físicos dos Climas da “Camada Limite” (*Boundary Layer Climates*), com especial incidência na natureza dos hidrometeoros de origem térmica e convectiva e sobretudo da estrutura da “camada limite” perante situações de estabilidade atmosférica.

Na Parte II, dedicada aos “Ambientes Atmosféricos Naturais”, os climas são apresentados sob duas perspetivas: a primeira, engloba o conjunto das propriedades físicas que caracterizam particularmente cada sistema; a segunda, apresenta a explicação dos efeitos que essas propriedades físicas exercem sobre as permutas de energia e massa. Os quatro capítulos que compõem esta segunda parte destacam respetivamente as características dos quatro climas-tipo dos ambientes atmosféricos ditos naturais:

- climas de superfícies simples desprovidas de vegetação;
- climas de superfícies com coberto vegetal (com particular relevância dada às questões da rugosidade da vegetação e às diferenças na evapotranspiração existentes entre plantas de colheita e florestas);
- climas de territórios não homogéneos (onde adquirem especial relevância os efeitos induzidos pela topografia nas alterações aos fluxos de ar, quer na sua velocidade quer na sua direção);
- climas influenciados pela presença de animais.

Os climas que mais interessam a este estudo, são designados pelo autor como os climas dos “Ambientes Atmosféricos Antrópicos”, sob uma perspetiva em que os climas da “camada limite” são considerados como o resultado da forma singular como cada superfície reage aos elementos forçadores externos (aquecimento solar, precipitação e fluxos de ar). Estes temas são abordados na Parte III, sobretudo no capítulo 8 desta obra de Tim. R. OKE.

---

Esta forma de abordagem permite um enquadramento dinâmico dos fenómenos numa base de causa-efeito, o que proporciona uma plataforma de trabalho mais objetiva para a análise dos impactes climáticos das atividades antrópicas. Já no capítulo 7 são abordados alguns dos climas que explicitamente sofrem a ação do Homem, genericamente designados por “Climas Intencionalmente Modificados”, e são analisadas as características passíveis de serem manipuladas, nomeadamente:

- controlo das características da superfície;
- mecanismos de proteção/minimização dos efeitos do gelo;
- dissipação de nevoeiros;
- efeitos de abrigo, relativamente às cargas de vento e aos balanços de água e energia;
- climas de estufa;
- climas de interiores (*indoor*).

É ainda nesta terceira parte, no capítulo 8, que é feita uma abordagem aprofundada aos climas antrópicos que mais nos interessam, os designados “Climas Inadvertidamente Modificados”, quer não-urbanos, quer urbanos. É aqui que são estudados os climas urbanos a uma escala topo-climática e microclimática, especialmente os comportamentos das camadas absolutamente mais próximas do solo, a chamada “copa urbana” (*urban canopy layer* ou UCL) e a “camada limite” (*urban boundary layer* ou UBL). Destaca-se aqui a importância da especificação do comportamento dos fluxos de ar e do balanço energético em cidades, e é dada especial atenção aos efeitos da geometria do edificado no fenómeno da Ilha de Calor Urbano.

No capítulo número 9, que é também o último, dedicado à “Poluição do Ar na Camada Limite”, são abordados o relacionamento das emissões poluentes com os diversos processos atmosféricos (em situações de estabilidade e de vento), e os seus efeitos na dispersão, difusão e transporte dos referidos elementos.

Tendo em conta que o Homem intervém quer direta, quer indiretamente, algures nesses níveis estruturais climáticos inferiores, a sua ação irá certamente influenciar o resultado global – constituindo assim um fator de risco importante para os diversos níveis do sistema. Devido a esse facto, pareceu-nos importante direcionar este trabalho para uma abordagem da climatologia aplicada, simultaneamente subordinada a uma perspetiva climática sistémica e a uma visão de sustentabilidade do desenvolvimento.

---

Apesar de todo o esforço atualmente desenvolvido pelos investigadores, e apesar da elevada qualidade de muitas das obras de referência ligadas à área de investigação da climatologia urbana, ainda não se conseguiu convencer totalmente as sociedades, mesmo as que são consideradas mais desenvolvidas, de que o clima global, no que se refere às trocas de energia e matéria, acaba, a médio ou a longo prazo, por incorporar os resultados das várias opções e ações adotadas nos níveis estruturais inferiores, isto é, nos subsistemas climáticos locais e topo-climáticos<sup>41</sup>.

Por conseguinte, a nossa opção de adotar esta perspetiva sistémica da Climatologia, implica admitir que o sistema climático constitui uma estrutura complexa cujo resultado final depende em primeiro lugar da ação da Natureza, mas com uma forte componente conjunta da ação antrópica.

Este estudo tem, assim, como objetivo proceder à confirmação da existência de ilha(s) de calor urbano em áreas da cidade do Porto e à verificação de alguns efeitos da própria cidade e do seu metabolismo urbano no clima local, dada a sua provável relação com a crescente urbanização. Mas fundamentalmente, a abordagem preconizada relaciona-se mais especificamente com a deteção da evolução/dimensão temporal das referidas ilha(s) de calor urbano.

Por outro lado, considerando que, reciprocamente, é importante conseguir compreender as consequências do comportamento de alguns desses elementos topo-climáticos no metabolismo urbano e estabelecer a definição eventual de áreas de risco, quer para a saúde dos habitantes<sup>42</sup>, quer para o património, e tomando em consideração a eventualidade de ocorrência de riscos climáticos e a necessidade da sua mitigação/prevenção, entendemos que este trabalho pode vir a ser útil em estudos de continuidade, nessas duas vertentes.

Tendo em conta a hierarquia das escalas espaciais, pode afirmar-se que o clima local se situa entre o meso-clima (ou clima regional) e o microclima, com o qual é muitas vezes confundido. Quando a unidade físico-geográfica que enquadra o conjunto das

---

<sup>41</sup> Monteiro, A., "...teria sido fundamental convencer a sociedade civil e os decisores políticos da importante co-participação do homem no nível de resolução geral do Sistema Climático antes de generalizar o debate em torno do Aquecimento Global"- Perceptibilidade, risco e vulnerabilidade em Climatologia, Territorium, Minerva, Coimbra, 1995, pág. 53.

<sup>42</sup> Landsberg, Helmut E., "...the difference in emitted and suspended pollutants between urban and rural areas is so large that it is not surprising that health effects have been attributed to them. A complete review of these would fill a book...", The Urban Climate, Academic Press, 1981.

---

observações climáticas se refere a uma determinada zona urbanizada,<sup>43</sup> há autores que utilizam a designação de “topo-clima urbano” ou simplesmente de “clima urbano”.

A ilha de calor urbano representa um tipo de anomalia térmica positiva que se verifica entre as áreas urbanas e as áreas rurais envolventes, resultante da intervenção antrópica e da conseqüente alteração do balanço energético, e que é especialmente favorecida em situações sinópticas de maior estabilidade. A expressão “ilha de calor urbano” sugere a ideia de uma urbe mais quente rodeada de um ambiente rural menos quente, fresco ou até bastante mais frio. Inclusivamente, dentro do meio urbano, podem coexistir várias “ilhas de calor”, como foi detetado na cidade do Porto, por A. Monteiro (1997).<sup>44</sup> Além de ter sido demonstrado por A. Monteiro (1997) que existe ilha de calor urbano na cidade do Porto, foi também provada pela investigadora, a relação entre o binómio Poluição Atmosférica-Clima e o agravamento de algumas patologias<sup>45</sup>, sobretudo do foro respiratório.

Os efeitos da urbanização nos climas, à escala local, e os possíveis efeitos do alargamento desses fenómenos à escala meso-climática, justificam só por si a necessidade de abordagem das questões da climatologia urbana.

A ideia que desde o início norteou este trabalho, foi a convicção de que a investigação tem de estar, invariavelmente, assente num suporte teórico consistente e sólido. Deste modo, esta pesquisa deve, simultaneamente, ter também expressão na consecução de objetivos de solidariedade humana ou outros, sempre que se encontre motivada pela procura de soluções aplicáveis à resolução de problemas reais atuais. Tudo isso numa perspetiva da Geografia como uma espécie de um “empreendimento científico arrojado”<sup>46</sup>.

A conjugação do método indutivo e do método dedutivo torna-se cada vez mais necessária e, nos dias de hoje, é até imprescindível para que haja progresso científico. Esta

---

<sup>43</sup> Cf. Alcoforado, M.J., *O Clima da Região de Lisboa*, 1993, pág. 11.

<sup>44</sup> Cf. Monteiro, A., “O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território”, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 290.

<sup>45</sup> Cf. Monteiro, A.: “Repare-se que há uma coincidência entre o período em que se verificou o maior número de crises asmáticas e a época do ano em que detectámos um aumento nos picos de poluição... Curiosamente, a mesma época em que a ilha de calor se intensifica.” *O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, págs. 398-399-292.

<sup>46</sup> Marshall, J.U., “Geography as a scientific enterprise”, citado por Monteiro, A. em “O Clima Urbano do Porto”, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 8.

---

constatação aplica-se sobretudo em relação às ciências que se debruçam sobre fenómenos que implicam um envolvimento significativo da participação ativa do Homem.

Dado que todo o processo de pesquisa deste trabalho consistiu, em grande parte, na análise detalhada de diversos elementos em várias fases de experimentação, utilizou-se, fundamentalmente o método indutivo. Este facto permitiu ir tirando conclusões de carácter geral, que se enquadram e encaixam efetivamente no corpo teórico de base. São exemplo disso quer as medições itinerantes efetuadas, a partir de cujo tratamento e análise foi possível extrapolar para conclusões generalistas, quer os dados recolhidos nos postos fixos.

Também o método dedutivo foi pontualmente usado, recorrendo-se aprioristicamente a teorias de onde se inferiram ilações de carácter particular. Sempre que isto acontecia, as conclusões a que se chegava eram suportadas pela constatação de que a prática confirma indubitavelmente o corpo teórico. Exemplo disso é o processo utilizado na seleção dos percursos e dos momentos das campanhas de medição itinerante, em dias e momentos que se supõe serem tendencialmente potenciadores da ocorrência do fenómeno “ilha de calor”. O mesmo se passa com a escolha dos locais de instalação dos postos fixos, que obedeceram criteriosamente, sempre que possível, a requisitos considerados na literatura especializada como fundamentais, nomeadamente no que se refere às características geográficas físicas e/ou humanas, como a altitude, proximidade ao mar/rio, exposição solar, densidade de ocupação do solo, propriedades dos materiais, ou ao seu comportamento térmico, entre outros.



---

### 3. A ESCALA SINÓTICA DOS FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS

*“... We can hope, therefore, that the time will soon come when either as a daily routine, or for certain designated days, a complete diagnosis of the state of the atmosphere will be available. The first condition for putting forecasting on a rational basis will then be satisfied.”*

Vilhelm Bjerknes, 1904

#### **Introdução**

Na opinião de J.P.Peixoto (1991)<sup>47</sup> *“O sistema climático constitui uma grande máquina termodinâmica, com uma fonte quente natural nas latitudes tropicais, e uma fonte fria natural, constituída pelas regiões das latitudes elevadas e pela alta atmosfera”*.

De uma forma simplista pode dizer-se que a permanente diferença térmica existente entre os pólos e o equador, na troposfera, proporciona a energia necessária para a incessante circulação do ar na horizontal e na vertical. Mas a questão é bastante mais complexa, sendo que a evolução do conhecimento da atmosfera ao longo dos dois últimos séculos revela exatamente isso.

Os movimentos verticais do ar são, para o cidadão comum, geralmente muito menos evidentes que os movimentos horizontais, os quais sob a forma de vento podem abarcar amplas zonas do globo e persistir durante largos períodos de tempo. Por sua vez, os movimentos verticais implicam uma variação de energia cinética que se reflete na variação da temperatura do ar, no sentido do seu aquecimento ou do arrefecimento, respetivamente na subsidência e na ascensão do ar. Com algumas exceções, como as das borrascas convectivas, a velocidade dos movimentos verticais é, em média, algumas centenas de vezes inferior à dos ventos horizontais (figura 4).

O período de tempo necessário, em média, para que um dado volume de ar se possa misturar/deslocar vertical e horizontalmente, na troposfera, é muito variável e pode ser analisado com recurso a substâncias radioativas existentes na atmosfera, como o carbono radioativo (C-14).

---

<sup>47</sup> Peixoto, J. P., *“A Circulação Geral da Atmosfera: A Máquina Gigantesca dos Climas da Terra”*, pág. 8. In: Colóquio/Ciências, Revista de Cultura Científica, ISSN 0870-7650. - Nº 9 (1991), pp. 3-21.

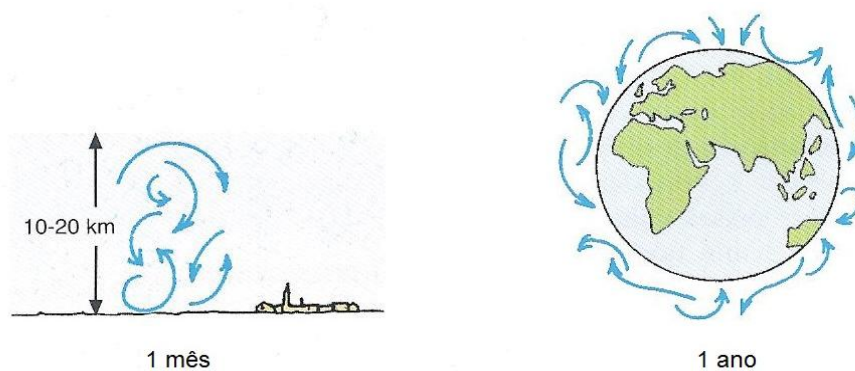


Figura 4 – Períodos de misturação do ar na troposfera, respetivamente nos movimentos verticais e horizontais.

(Fonte: Adaptado de “Meteorologi-ett häfte om väder och klimat från SMHI”, serviço de meteorologia da Suécia)

A razão de os movimentos verticais do ar serem menos perceptíveis é a existência de um equilíbrio, na vertical, entre a força da gravidade, cujo sentido é de “cima para baixo”, e a força do gradiente vertical de pressão, cujo sentido é de “baixo para cima” (figura 5). É o equilíbrio entre estas duas forças, o chamado *equilíbrio hidrostático* que, em grande parte, limita os movimentos verticais do ar.

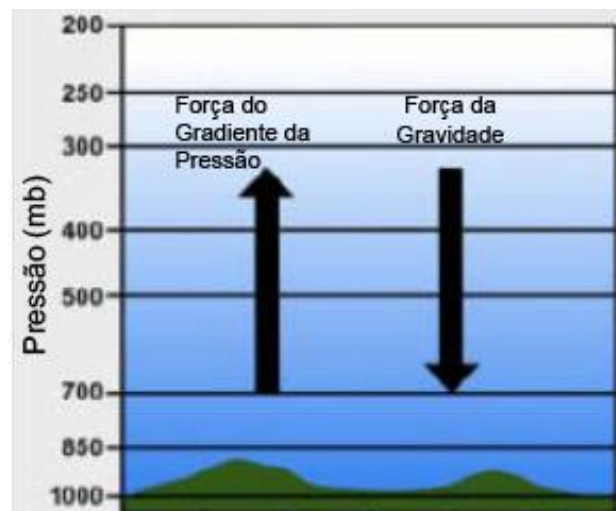


Figura 5 - Equilíbrio entre as forças da gravidade e do gradiente

Remontam ao quarto século antes de Cristo (IV a.C.) os primeiros indícios de atividade científica no domínio da meteorologia: no que se refere à previsão meteorológica, Aristóteles escreveu aquele que é hoje considerado o primeiro tratado sobre

---

o tema<sup>48</sup>, iniciando, com a sua visão da realidade, o binómio hipótese-observação que serviria de alicerce para a ciência moderna. Mas, apesar de os estudos no campo da meteorologia terem sido iniciados há mais de dois milénios, somente a partir do século XVII é que a meteorologia teve alguns progressos significativos.

Segundo Evaristo P. dos Santos (1965), “O estudo das condições físicas da atmosfera e da superfície do globo com elas relacionadas compete à Meteorologia...”, emergindo implicitamente desta definição a ideia de interação Terra/Atmosfera.

### **Perspetivas sobre a circulação geral atmosférica nos séculos XVI/XVII**

A necessidade de entender e representar cartograficamente a circulação geral da atmosfera e dos oceanos tornou-se uma questão importante no século XVI, com o surgimento do tráfego marítimo e de exploração, e das rotas marítimas para a Ásia e o Novo Mundo.

Aproximadamente a partir de 1600 percebeu-se que, em torno da latitude de 30°N, o clima se apresentava bastante seco e geralmente com ventos fracos: a sul dessa área designada então por "zona tórrida" existiam ventos regulares de NE, os chamados ventos gerais ou alísios (do francês *Alizées* e do alemão *Passatwinde*), e a norte dessa mesma zona, ventos irregulares de direção fundamentalmente de oeste. Este padrão dos ventos parecia repetir-se ao sul do equador, como a imagem de um espelho, com ventos constantes de SE. Quando os cientistas tentaram compreender a circulação geral atmosférica, de início a sua discussão centrou-se em torno dos ventos alísios pois, devido a serem constantes, pareciam ser mais fáceis de explicar.

Galileu Galilei (1564-1642) considerou os ventos alísios como consequência da impossibilidade de o invólucro gasoso que envolve a Terra, "acompanhar" a velocidade da sua rotação<sup>49</sup>, pelo que o ar e a água ficam mais atrasados e, por isso, um observador terrestre experimenta um fluxo direcionado para oeste nas baixas latitudes. O fluxo direcionado para leste, nas latitudes médias, resulta do mecanismo oposto: aí a velocidade linear é mais lenta e o ar e a água – à semelhança de qualquer corpo em movimento à superfície da Terra, visto por um observador – parecem adiantar-se, desviando-se para

---

<sup>48</sup> Projecto Proclira, Clima e Ambiente (módulo 6), 2007, coordenador científico Prof. Dr. João Corte-Real <http://www.proclira.uevora.pt/modulos/modulo6.pdf>.

<sup>49</sup> Em termos angulares, a velocidade da rotação é a mesma em toda a Terra, mas em termos lineares, a velocidade é mais rápida a baixas latitudes e mais lenta nas latitudes elevadas.

---

leste. Johannes Kepler (1571-1630) usou um argumento semelhante ao de Galileu para explicar o movimento para oeste dos oceanos tropicais. Quer para Galileu, quer para Kepler, a rotação da Terra não só explicava os ventos alísios, como esses ventos em si mesmos eram por eles considerados uma manifestação da rotação da Terra.

Em Inglaterra, pela época de 1685, iniciou-se na *Royal Society of London*<sup>50</sup> um debate sobre a circulação geral da atmosfera. Provavelmente devido à sua situação insular, em nenhum outro país o vento e a meteorologia foram tão discutidos como em Inglaterra. A conceção de que os ventos alísios se "atrasavam" relativamente à rotação terrestre, ideia anteriormente defendida por Galileu<sup>51</sup>, foi bem aceite pelos cientistas de finais do século XVII. Por isso estes entenderam que o ar, devido ao aquecimento originado pela energia do sol, se tornava mais leve, elevando-se e perdendo o contacto com a superfície terrestre.

## **Teorias explicativas da circulação geral atmosférica**

### **Primeiras teorias: fundamentação exclusivamente térmica**

#### **O modelo de Halley (segunda metade do séc. XVII)**

O astrónomo inglês Edmond Halley (1656-1742) – descobridor do cometa que tem o seu nome – desenvolveu na “*Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*” várias atividades, tendo sido editor das *Philosophical Transactions*<sup>52</sup> desde 1685 até 1693; aí publicou, no ano de 1686, um mapa do mundo com os ventos dominantes nos oceanos, entre as latitudes de 30°N e 30°S, mapa esse que se destacou por ser considerado a primeira carta de carácter meteorológico a ser publicada<sup>53</sup>. Ao mesmo tempo, E. Halley esboçou a primeira tentativa de explicação dos ventos alísios, relacionando a circulação destes com a distribuição espacial da radiação solar, em parte com base nas

---

<sup>50</sup> A *Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*, conhecida como a *Royal Society*, fundada em Novembro de 1660, é uma sociedade dedicada ao conhecimento científico, considerada a mais antiga sociedade desse tipo ainda hoje existente e em atividade. Terá tido início num "colégio invisível" de filósofos naturais que começaram a reunir-se a partir de 1640 (no Gresham College, em Londres ou em Oxford) para promover o conhecimento através da observação e da experiência, o que hoje designamos por “ciência”.

<sup>51</sup> O cientista francês Edme Mariotte (1620-1684) também adoptou as ideias de Galileu, mas explicou a tendência do vento para soprar de NE em direção ao equador, como uma consequência do movimento anual aparente do sol.

<sup>52</sup> *Philosophical Transactions* – publicação da Royal Society of London, considerado o primeiro jornal científico do mundo.

<sup>53</sup> R Gowing escreveu sobre Halley in “Halley, Cotes, and the nautical meridian, *Historia Math.* Vol. 22 (1) (1995), pág. 19-32: “... he ... collected a number of valuable facts relative to the ocean and atmosphere, ... and made on St Helena, ..., the first complete observation of a transit of Mercury””, R Gowing, Halley, Cotes, and the nautical meridian, *Historia Math.* 22 (1) (1995), 19-32.

---

informações trazidas pelos navegadores dos séculos XV a XVII, que costumavam observar os ventos e correntes marítimas durante as suas viagens. Para essa explicação partiu do princípio de que o ar mais frio e denso se desloca para as regiões onde o ar é mais quente e menos denso. Edmond Halley atribuiu à convecção térmica a causa dos alísios, isto é, ao excesso de aquecimento das regiões equatoriais para as quais aqueles ventos convergem – a chamada “chaminé equatorial”. Halley concebe assim um modelo explicativo da circulação geral do ar com duas células convectivas, uma em cada hemisfério (figura 6), em que o motor da circulação seria a ascensão do ar equatorial: supostamente o ar subia nas regiões equatoriais devido às suas elevadas temperaturas, dirigia-se para latitudes mais elevadas nas altas camadas da atmosfera, arrefecendo durante o trajeto até descer na proximidade dos polos.

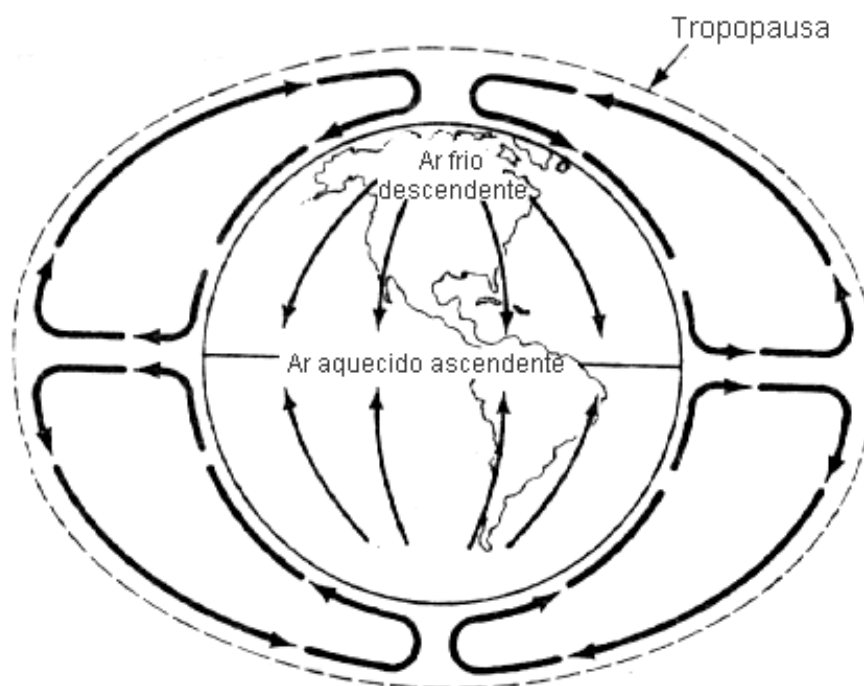


Figura 6 – Modelo da célula única, de origem térmica, segundo Halley, 1686  
Adaptado de: Bermudez, Rubio e Cuadrat, *Geografía Física*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1992

Supunha-se que o sistema funcionava com uma única célula térmica entre o equador e cada um dos polos, com os alísios à superfície e o fluxo de compensação em

---

altitude – os chamados contra-alísios – fechando o circuito<sup>54</sup>. Porém, este modelo não consegue explicar as trajetórias daqueles ventos que na verdade deveriam ser meridianos, isto é, N-S e S-N, respetivamente no hemisfério norte e no hemisfério sul. Embora reconhecendo que os alísios tinham uma direção grosso-modo para Oeste, explicava-se tal facto dizendo que os ventos giravam com o movimento diurno do sol<sup>55</sup> de Este para Oeste, ou seja por ação de calor solar<sup>56</sup>.

### **O modelo de Hadley e outros contributos (primeira metade do séc. XVIII)**

As conceções de E. Halley foram retomadas quase meio século mais tarde, por outro astrónomo inglês, George Hadley (1685-1768), advogado e meteorologista amador, que as completou e aperfeiçoou. G. Hadley estabeleceu, em 1735, um novo modelo de circulação geral da atmosfera<sup>57</sup> que já levava em conta o efeito da rotação terrestre (posteriormente designada por força de Coriolis<sup>58</sup>) e bastante baseado na física newtoniana (a publicação dos *Principia Mathematica*, de Newton, ocorrera em 1687). Para explicar as direções dos alísios de NE e de SE, assim como dos contra-alísios, G. Hadley fez intervir no sistema o desvio produzido pelo movimento de rotação da Terra<sup>59</sup>, em vez do movimento aparente do sol.

G. Hadley considerou que o desvio produzido pelo movimento de rotação da terra era tal que impossibilitava os contra-alísios de chegarem aos polos. O ar que, em altitude, parte do Equador, proveniente à superfície respetivamente de NE e de SE, vai arrefecendo, torna-se mais denso e comprimido, acabando por descer para a superfície do globo na

---

<sup>54</sup> Adaptado de Bermudez, F. López; Recio, J.M. Rubio; Cuadrat, J.M., - *Geografía Física*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1992, ISBN: 9788437608938.

<sup>55</sup> Posteriormente Halley acabou por ter dúvidas sobre a sua própria hipótese pois quando o matemático John Wallis (1616-1703) o questionou sobre a razão pela qual o calor do sol deveria dar origem a ventos de orientação oeste, Halley respondendo-lhe: "A sua contestação sobre a minha hipótese de explicação dos ventos tornou-me menos confiante sobre a veracidade desta hipótese... " *in* Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

<sup>56</sup> Robert Hooke (1635-1703), filósofo inglês que advogava a experimentação, também entrou neste debate, invocando a força centrífuga da rotação da Terra para explicar a componente equatorial dos ventos gerais.

<sup>57</sup> Em maio de 1735, George Hadley publicou um trabalho inovador no *Philosophical Transactions*, da Royal Society of London, "*On the Cause of the General Trade Winds*", sobre as causas dos ventos gerais ou alísios.

<sup>58</sup> Apesar de ter surgido oficialmente apenas em 1835, num artigo do cientista francês Gaspard-Gustave Coriolis (1792-1843), *Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps*, a força de Coriolis já havia sido reconhecida anteriormente por outros homens de ciência.

<sup>59</sup> A parte inicial da publicação de Hadley de 1735, "*On the Cause of the General Trade Winds*", é hoje considerada uma frase clássica que sintetiza o cerne da questão da época: "*Acho que as Causas dos ventos alísios Gerais ainda não foram completamente explicadas por nenhum dos que escreveram sobre o assunto...*"

vizinhança dos 30° de latitude N e S. Aí, esse ar descendente contribui para a gênese das altas pressões subtropicais que, por sua vez, vão gerar os ventos gerais/alísios, para de novo subir nas baixas latitudes, e assim sucessivamente (figuras 7 A e B).

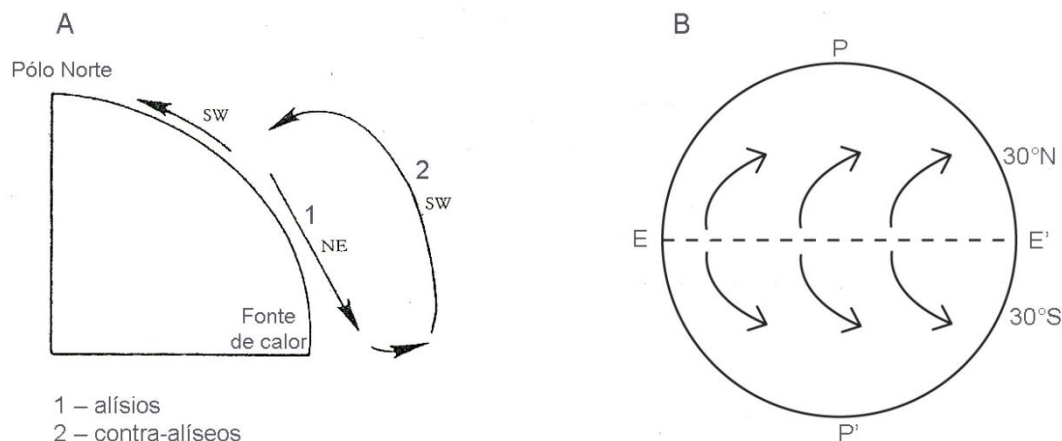


Figura 7 – Modelo de Hadley, 1735: A-ascensão do ar quente no equador e descida do ar frio nas áreas tropicais; B-contra-alísios e respectivo desvio, segundo Hadley.  
Adaptado de: Bermudez, Rubio e Cuadrat, *Geografía Física*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1992

Deste modo, G. Hadley concebe essencialmente a ideia de uma célula térmica de circulação atmosférica, em cada um dos hemisférios, entre as regiões equatoriais e subtropicais – a célula de Hadley – com ascensão do ar no equador e subsidência nas áreas tropicais, admitindo ainda que, a partir das altas pressões subtropicais, se verifica um fluxo superficial de sudoeste, dirigido para as altas latitudes<sup>60</sup>.

G. Hadley apercebeu-se do desvio provocado pela rotação da Terra no que se refere aos movimentos N-S e S-N do ar, respetivamente no hemisfério norte e no hemisfério sul, mas não o explicou cabalmente. Será somente no século XIX, principalmente com Coriolis (1792-1843) e depois com Ferrel, que ficará matematicamente e fisicamente demonstrado que o ar que se desloca, relativamente a um observador à superfície da Terra, sofre um desvio para a direita no hemisfério norte, e para a esquerda no hemisfério sul.

Baseados em explicações exclusivamente térmicas, estes primeiros modelos da circulação atmosférica colocaram em evidência algumas lacunas e várias contradições: por um lado não explicam a circulação atmosférica extratropical e, por outro lado, apoiam-se

<sup>60</sup> Trata-se daquilo a que o meteorologista alemão Adolph Sprung em 1880 viria a designar por "Princípio de Hadley", somente aceite pela comunidade meteorológica científica 125 anos após a morte do seu autor, in Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

---

na existência de um forte gradiente térmico entre o equador, mais quente, e os trópicos, menos quentes, quando, frequentemente, se verifica exatamente a situação inversa, isto é, temperaturas diurnas mais elevadas nas latitudes tropicais devido à elevada insolação, face à maior nebulosidade e ação refrescante da evaporação/calor latente e das precipitações da região equatorial.

É de salientar que, se não existisse o movimento de rotação da Terra, ou mesmo se a sua velocidade fosse inferior à real, só existiria, provavelmente, uma única célula de grandes dimensões em cada hemisfério, tal como Halley a imaginara no século XVII ao pretender explicar os ventos alíseos. Não compreendidas à época – talvez por serem inovadoras – as ideias de G. Hadley levaram mais de 100 anos para serem aceites pela comunidade científica<sup>61</sup> internacional. Há autores que consideram que o reconhecimento tardio<sup>62</sup> do “Princípio de Hadley” se deveu ao facto de o movimento num sistema de rotação, sem atrito da inércia, ser de difícil compreensão intuitiva. Não foram bem sucedidas as tentativas feitas no século XVIII e XIX para tentar utilizar a atmosfera como se esta fosse uma espécie de laboratório experimental, por falta das necessárias observações, quer em quantidade, quer em qualidade, mas também devido às utilizações demasiado simplistas dos princípios mecânicos.

Uma outra razão apontada para ter demorado tanto tempo até que o trabalho de G. Hadley fosse reconhecido, foi o facto de ele ser frequentemente confundido com dois outros cientistas. Um deles foi o seu próprio irmão, John Hadley<sup>63</sup> (1682-1744) e o outro foi Edmond Halley, já atrás referido e com o qual nunca deveria ser confundido, uma vez que a principal obra deste último foi publicada quando George Hadley tinha apenas 1 ano de idade. O facto de E. Halley ter também abordado a questão dos ventos alísios, de forma similar mas menos elaborada, contribuiu bastante para a confusão entre os nomes dos dois cientistas. A acrescentar ainda que não foi positivo para a aceitação das ideias de George

---

<sup>61</sup> Apesar de não ter sido compreendido no seu tempo, foi entretanto reconhecido e hoje existe: na Lua uma cratera chamada Hadley; a célula de circulação geral da atmosfera da zona equatorial é designada por “Célula de Hadley”; existe um centro climatológico do Instituto de Meteorologia do Reino Unido, o “Centro Hadley”.

<sup>62</sup> Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

<sup>63</sup> John Hadley ficou conhecido por mérito próprio pelo seu trabalho no campo da astronomia, nomeadamente pelo “sextante de Hadley”.



---

Hadley<sup>64</sup> que, sete anos antes de o seu artigo “*On the Cause of the General Trade Winds*” ser publicado (1735) no *Philosophical Transactions*, da Royal Society of London, parte do trabalho de E. Halley tivesse sido utilizado na *Cyclopaedia* (1728)<sup>65</sup> de Ephraim Chambers (1680-1740), na secção sobre a “*Causa Física dos Ventos*”, cujo conteúdo foi diretamente copiado das últimas cinco páginas do artigo de Halley (este publicado em 1686).

### **Contributos de MacLaurin e d'Alembert**

Na sua obra de 1740, “*De Causa physica fluxus et refluxus maris*” (Sobre a causa das marés), Colin Maclaurin, matemático escocês (1698-1746), defendeu que as correntes marítimas eram modificadas pelo movimento de rotação da Terra, sem no entanto ter conseguido dar uma explicação matemática/física para esse fenómeno. Ao mesmo tempo, também reconheceu que este facto se aplicava a outros corpos em movimento à superfície da Terra, quer na atmosfera, quer no mar. O referido artigo de MacLaurin entrou numa competição científica sobre o tema, criada pela *Académie des Sciences*, em Paris<sup>66</sup>, e foi distinguido com a atribuição do segundo prémio.

Entretanto, e talvez inspirada pelos resultados desse concurso estabelecido pela *Académie des Sciences*, em 1746 a Academia de Ciências de Berlim anuncia também a atribuição de um prémio a quem determinasse “*a natureza e a lei*” a que o vento devia obedecer, se a superfície da Terra estivesse coberta por um oceano<sup>67</sup>. Além disso, pretendia-se que a solução para este problema fosse acompanhada de um processo que permitisse ainda efetuar previsões. O artigo vencedor desta competição científica foi

---

<sup>64</sup> Persson, Anders O., “*Hadley’s Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*”, *History of Meteorology* 3, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

<sup>65</sup> A “*Cyclopaedia, or An Universal Dictionary of Arts and Sciences*”, em dois volumes, foi uma enciclopédia publicada em Londres, em 1728, por Ephraim Chambers (1680-1740), a qual, devido ao prestígio adquirido, foi reeditada em várias edições durante o século XVIII; a *Chambers Cyclopaedia* foi uma das primeiras enciclopédias gerais, produzidas em Inglês.

<sup>66</sup> A *Académie des Sciences*, fundada em Paris em 1666, estabeleceu um sistema de prémios em 1721; como instituição Real que era, foi dissolvida durante o período pós-Revolução Francesa e ressurgiu posteriormente como *Institut National des Sciences et des Arts*, em 1795; reassume o nome de *Académie des Sciences* em 1816.

<sup>67</sup> Persson, Anders O., “*Hadley’s Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*”, *History of Meteorology* 3, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

---

apresentado por Jean-le-Rond d'Alembert, matemático francês (1717-1783)<sup>68</sup>, e publicado em 1746 sob o título "*Reflexions sur la cause generale des vents*".

À luz do conhecimento atual, considera-se que esta abordagem de J.R. d'Alembert está errada, uma vez que ele ignorou os efeitos do aquecimento provocado pela radiação solar e pelo movimento da rotação da Terra<sup>69</sup>. Na sua perspectiva, os ventos deveriam resultar unicamente das forças de atração do sol e da lua e, supondo que essas forças eram perpendiculares ao eixo de rotação da Terra, d'Alembert<sup>70</sup> desenvolveu equações matemáticas que expressam as oscilações daí resultantes. Mais tarde, acrescentou ainda a esse raciocínio o efeito originado por massas consideráveis, nomeadamente as montanhas. Analisando esta teoria poderemos concluir por um lado, que a forma que d'Alembert encontrou para tratar este problema deve ser entendida com base no sucesso das ideias newtonianas à época, as quais tinham sido capazes de explicar a mecânica celeste, a forma da Terra, e acima de tudo, a dinâmica das marés, sem necessitar de recorrer a explicações térmicas; por outro lado, temos de admitir que existiu algum mérito nesta explicação de d'Alembert, pois consistiu numa primeira tentativa de traduzir matematicamente os movimentos da atmosfera, instituindo uma inovadora tendência em meteorologia que só viria a ser retomada com W. Ferrel em 1860, isto é, mais de um século mais tarde.

## **Segunda metade do séc. XVIII**

### **Contributo de Immanuel Kant (1724-1804)**

Além da sua obra filosófica, pela qual adquiriu maior renome – particularmente a "*Crítica da Razão Pura*" – como cientista Kant trabalhou também nos campos da física<sup>71</sup>,

---

<sup>68</sup> Como matemático e homem de ciência, Jean-le-Rond d'Alembert dedicou-se a muitos outros temas, nomeadamente física astronómica, em cujo campo resolveu a questão da "precessão dos equinócios".

<sup>69</sup> D'Alembert defendeu que a rotação da Terra não tinha qualquer efeito sobre a velocidade do vento, mas nunca revelou ter percebido o seu efeito modificador relativamente a objetos em movimento.

<sup>70</sup> J. R. d'Alembert ficou também conhecido pela sua participação, juntamente com Denis Diderot (1713-1784), na criação da "*Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*" (1751 a 1772, que originalmente deveria ter sido apenas uma tradução da *Cyclopaedia* de Ephraim Chambers para o francês, mas que acabou por se tornar num empreendimento "*progressivo, para apoiar o bom senso e o novo conhecimento*". No entanto, no caso da circulação geral da atmosfera, a *Encyclopédie* não foi bem sucedida, uma vez que a secção sobre "*Ventos*" consistiu na tradução da versão da Chamber's *Cyclopaedia*, com algumas referências da autoria do próprio d'Alembert.

<sup>71</sup> Hipótese nebular de Kant-Laplace: em 1755, influenciado pela obra de Thomas Wright e pelas leis de Newton, Kant delineou uma teoria sobre a formação do sistema solar e do universo (*História Universal Natural e Teoria dos Céus, ou um Ensaio sobre a Constituição e Origem Mecânica do Universo tratada de acordo com os Princípios Newtonianos*), a qual viria a ser posteriormente aprofundada por Pierre Simon Laplace (1749–1827), na conclusão da sua "Exposition du système du monde", em 1796 (reeditada em Bruxelas em 1827). [http://www.sbpcnet.org.br/livro/61ra/minicursos/MC\\_VictoriaAndrade.pdf](http://www.sbpcnet.org.br/livro/61ra/minicursos/MC_VictoriaAndrade.pdf).

---

matemática e ciências da Terra, tendo inclusivamente concebido uma doutrina explicativa da origem do Universo que ficou conhecida pelo nome de “hipótese cosmológica Kant-Laplace”<sup>72</sup>. Entre 1747 e 1756, ainda bastante jovem, Kant publicou vários trabalhos em que abordou temas relacionados com a energia cinética, as possíveis mudanças da rotação da Terra, a idade da Terra e os mecanismos associados aos sismos.

As abordagens de I. Kant relativas a questões da meteorologia (especialmente sobre os ventos) podem ser consultadas em três trabalhos distintos<sup>73</sup>:

- “*Neue Anmerkungen zur Erläuterung der Theorie der Winde*” (*Novos comentários para esclarecer a Teoria dos Ventos*) – um texto pequeno de 15-20 páginas, publicado em Königsberg em 1756, do qual constam cinco “*Comentários*”, relacionados com a influência do aquecimento diferencial do ar sobre o vento; o comportamento do ar quente e do ar frio; a influência da rotação da Terra na direção dos ventos contra-alísios e dos alísios, assim como das monções. Kant concluiu que existia um fluxo de ar em altitude dirigido para o polo, que o estado do tempo seria causado pelo conflito entre o vento de superfície e o de altitude e ainda que, localmente, o vento tendia a desviar-se de Este para Sudoeste;
- “*Physikalische Geographie*” (*Geografia Física*), um texto de 158 páginas, nas quais cerca de 17 abordam algumas questões da circulação geral atmosférica, nomeadamente sobre ventos alísios, mar e brisas terrestres, monções e outros ventos periódicos, causas das monções e ainda algumas regras das variações do vento<sup>74</sup>;
- As notas manuscritas das aulas de Kant (ministradas entre 1756 e 1796<sup>75</sup>, na Universidade de Königsberg), as quais foram publicadas em várias edições entre 1838 e 1925, englobam uma parte dedicada à meteorologia (cerca de 10 páginas) e contêm vários capítulos que abordam questões sobre ventos em geral, a lei dos ventos alísios e sua relação com o movimento de rotação da Terra. Entre 1756 e 1768 produziu

---

<sup>72</sup> Paim, A. - Dicionário das Obras Básicas da Cultura Ocidental, pág 181, Brasília, Brasil, 2008 <http://www.institutodehumanidades.com.br/arquivos/dicionario.pdf>.

<sup>73</sup> Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

<sup>74</sup> Este texto de geografia física sobre a Terra, os oceanos e a atmosfera, foi publicado somente em 1802, quando Kant tinha 78 anos e era já um conceituado filósofo, mas provavelmente terá sido escrito 20 anos antes.

<sup>75</sup> “*Kant lectured on a variety of topics through his career*”... “*Geography was one of his most popular – the most reliable figures suggest lectures on this topic were given forty-nine times from 1756-1796*”. <http://www.berfrois.com/tag/kant/>.

---

também alguns artigos com diversas referências a discussões meteorológicas, por exemplo "*Vorkritischen Schriften*" (*Escritos pré-críticos*).

Kant contesta a noção de Galileu sobre o ar tropical "*sofrer atraso*" em relação à rotação da Terra e, à semelhança do matemático britânico John Wallis (1616-1703), Kant considerou a explicação de Halley sobre o movimento dos ventos baseada no "*máximo aquecimento solar*", uma "*má escolha*"<sup>76</sup>. Pelo contrário, Kant preferiu explicitamente encontrar uma outra explicação, de sua autoria, tentando renovar a antiga ideia de Halley "*...para torná-la mecanicamente possível... Esta regra que, tanto quanto eu sei, ninguém terá considerado antes, pode ser vista como a chave para uma teoria geral dos ventos.*"<sup>77</sup>

Tendo como ponto de partida as notas manuscritas das aulas de Kant em Geografia Física ministradas na Universidade de Königsberg, A. Persson (2006) reconstruiu graficamente<sup>78</sup> o efeito do desvio causado pela rotação da Terra nos ventos que, como é referido acima, Kant considerou a "*chave para uma teoria geral dos ventos*". Na figura 8 e a tracejado, entre os paralelos terrestres designados por **mn** e **hi**, estão representados os desvios produzidos pelo movimento de rotação da Terra, tal como Kant os entendeu.

Para Kant, supondo que o ar em **a** se move em direção a **b**, ao longo de um meridiano, e imaginando que este vento norte simultaneamente seguiria a trajetória **ea**, de Oeste para Este, devido à rotação da Terra – se não for levada em conta a rugosidade dos obstáculos que poderiam influenciar a velocidade do ar durante o seu percurso – numa Terra em movimento, no final deste período de tempo, o ar não chegaria a **b**, mas sim a **c**. Deste modo, **dc** = **ea**; e **cb** corresponderia à diferença de dimensão linear dos dois paralelos, pois o ar com a sua velocidade intrínseca de oeste, desde o lugar de onde partiu, apenas é capaz de percorrer, no mesmo período de tempo, a curva **dc** = **ea**, uma vez que a terra entretanto, nessa latitude, descreveu toda a curva **db**<sup>79</sup>.

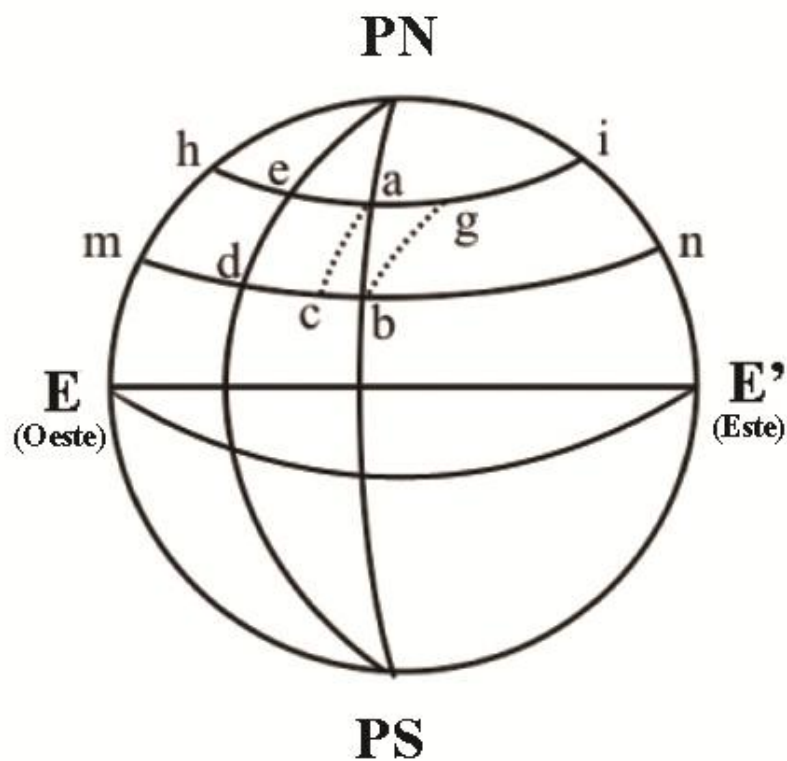
---

<sup>76</sup> Kant dá preferência à ideia de que o aquecimento solar causa uma mudança diurna no vento, de oeste na parte da manhã e de este à noite, com condições de calma entre o meio do dia e a meia-noite.

<sup>77</sup> Kant, I., Handschriftlichen Nachlass, Band I, (Berlin und Leipzig) 555, citado por: Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, pág. 22, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

<sup>78</sup> Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, pág. 23, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

<sup>79</sup> Apesar de correto, o raciocínio poder parecer algo confuso para um leigo na matéria, provavelmente pelo facto de o exemplo não ser particularmente feliz, uma vez que, às latitudes consideradas, sabemos que o normal é que o ar se desloque de **b** para **a** ou de **d** para **c**, e não propriamente como o exemplo que Kant sugere.



Legenda

<b>PN</b> - Pólo Norte terrestre	$\widehat{h,i}$	} Paralelos terrestres
<b>PS</b> - Pólo Sul terrestre	$\widehat{m,n}$	
$\widehat{E,E'}$ - Equador terrestre	$\widehat{PN,e,d,PS}$	} Meridianos terrestres
	$\widehat{PN,a,b,PS}$	

Figura 8 – Adaptação da reconstrução gráfica feita a partir das notas manuscritas das aulas de Geografia, de Kant: a sua explicação do efeito defletivo da rotação da Terra.

*Adaptado de:* Persson, A., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, Department for research and development, SMHI, Suécia, 2006

É pertinente referir que não é importante se o ar se move em relação à Terra, ou a Terra se move em relação ao ar<sup>80</sup>. Num movimento combinado de trajetória de rotação da Terra/movimento do ar, a resultante seguirá sempre ao longo de uma curva “diagonal” *ac*,

<sup>80</sup> Segundo Pedelaborde, quando abordamos qualquer questão sobre ventos, referimo-nos realmente a movimentos relativos; em termos absolutos, e devido à rotação da Terra, todos os ventos são de Oeste: um vento de Oeste significa que o ar se movimenta para Este animado de uma velocidade superior à do movimento de rotação da Terra; uma situação de Calmaria significa que o ar se está a mover para Este à mesma velocidade da rotação da Terra; um vento proveniente de Leste significa que o ar se move para Este mais lentamente do que o globo terrestre - Pedelaborde, P., Introduction à l'Étude Scientifique du Climat, Tome I-Notions élémentaires de climatologie dynamique, pág. 43, “Les cours de Sorbonne”, CDU, Paris V.

---

cujos lados *ab* e *cb* representam, respetivamente, as forças de vento de norte e a diferença do movimento terrestre em ambos os paralelos.

Seguidamente, Kant aplicou o mesmo raciocínio aos ventos chamados “de oeste” que no hemisfério norte se deslocam de Sul em direção aos polos, concluindo que quanto mais o ar se afasta do equador, o desvio sofrido vai sendo cada vez maior, até que o vento acaba por soprar de Oeste e não de Sul.

## Os cientistas do final do século XVIII e início do século XIX

### Contributo de Laplace

Laplace foi um matemático e astrónomo francês (Pierre Simon, Marquis de Laplace, 1749-1827) que privou com Napoleão Bonaparte na Escola Militar de Paris e, alguns anos mais tarde, veio a ser seu Ministro do Interior durante cerca de seis meses<sup>81</sup>. Baseado no “*Princípio de Hadley*”, e tendo em conta a rotação da Terra, em 1775<sup>82</sup> Laplace desenvolveu uma descrição matemática rigorosa dos movimentos do oceano e da atmosfera, a qual viria a ser conhecida pela designação de “*Equações de maré de Laplace*”. No seu “*Traité de Mécanique Celeste*” (1799), Laplace entrou em polémica indireta com d'Alembert, defendendo que os ventos alísios não são causados pela atração gravitacional do sol e da lua. Defendeu ainda a existência na atmosfera de duas correntes de ar opostas, uma ao nível do solo e outra em altitude. Considerou que a velocidade real do ar, devido à rotação da Terra, se torna menor quando se aproxima do polo. Ou seja, quando o ar avança para o equador roda mais lentamente do que as partes correspondentes da Terra. E dado que os corpos à superfície da Terra, com maior velocidade que o ar, colidem com este, como reação sofrem resistência ao seu movimento de rotação.

Segundo Persson (2006), apesar de Kant e Simon de Laplace terem sido quase contemporâneos e de, sob o ponto de vista científico, terem abordado temas muito idênticos (*The Kant-Laplace Nebular Theory*)<sup>83</sup>, os dois nunca terão estado em contacto.

---

<sup>81</sup> Gillispie, Charles Coulston, “*Pierre Simon Laplace, A Life in Exact Science*”, Pág. 178, Princeton University Press, New Jersey, USA, 1997, ISBN 0-691-05027-9.

<sup>82</sup> Miranda, L. B. et al, *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. S. Paulo, Brasil, 2002, pág. 60: “*As principais espécies constituintes da oscilação da maré foram calculadas por P.S. Laplace, no ano de 1775. ... e as tentativas da previsão da maré em tempo real com a solução das equações de Laplace...*”

<sup>83</sup> Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, pág. 24, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006.

---

## Contributos de De Luc e Dalton

Jean-André de Luc (1727-1817), cientista suíço, na sua obra *“Idées sur la météorologie”* de 1787, explicou a prevalência de ventos de sudoeste e de nordeste (em deslocamentos de ar no sentido meridiano, consequência do movimento de rotação da Terra), causados pelo aquecimento solar diferencial: *“Se o ar que sair do equador... tiver o mesmo movimento da superfície da Terra, quando chegar ao nosso clima e se ainda conservar uma parte do seu movimento neste sentido; então ele deve ir mais rápido do que a superfície da Terra, no mesmo sentido, de oeste para este, e tornar-se de SW. A alteração inversa, para nós, muda os ventos de norte, em ventos de nordeste.”*

John Dalton (1766-1844), químico Inglês e filósofo natural, conhecido pela sua teoria atômica, começou em 1787 a escrever um diário meteorológico que continuou durante toda sua vida. Em 1793, no seu livro, *“Meteorological Observations and Essays”*, sugeriu que seria o movimento de rotação da Terra a explicar a alteração da direção do vento.

## Contributos de Brandes e Lampadius

A primeira tentativa de desenhar cartas do tempo, a partir de relatórios de dados acerca uma área considerável, foi realizada em 1820 na Europa, por Heinrich Wilhelm Brandes (1777-1834), mas só após a invenção do telégrafo é que a rápida recolha de dados meteorológicos de estações remotas se tornou possível.

H.W. Brandes foi um físico, meteorologista e astrónomo alemão. Como astrónomo demonstrou que os meteoros ocorrem na alta atmosfera e, portanto, não se incluem nos fenómenos meteorológicos. Foi professor de física na Universidade de Leipzig (1826) mas foi desenvolvendo em simultâneo um conjunto diversificado de atividades, nomeadamente a criação<sup>84</sup> em 1817 e publicação em 1820, das primeiras cartas meteorológicas desenhadas à mão, na obra *Beiträgen zur Witterungskunde* ("Contribuições para a Meteorologia"), pelo que é considerado um dos fundadores/impulsionadores da meteorologia sinóptica. Viria posteriormente a inventar as isóbaras<sup>85</sup> e é-lhe ainda atribuída a descoberta da circulação

---

<sup>84</sup> Miller, Eric R., The evolution of meteorological institutions in the united states, in *MONTHLY WEATHER REVIEW*, Vol. 59, Nº 1, January, Editor Alfred J. Henry, 1931.

<sup>85</sup> As linhas isotérmicas já haviam sido inventadas por Humboldt.

---

ciclónica do vento; pugnou, juntamente com outros colegas cientistas da época, pela criação de um serviço central de meteorologia nos Estados Unidos.

W.A.E. Lampadius (1772-1842) contestou o modelo de Galileu-Mariotte e atribuiu a Kant e de Luc o crédito de terem sido os primeiros a formular a lei básica sobre a influência da rotação da Terra, referindo igualmente que “*a rotação da Terra só pode mudar o vento e não criá-lo*” (Universidade de Freiberg, Livro didático meteorológico, “*Systematische Grundriss der Atmosphärologie*”).

### **Contributo de Heinrich Wilhelm Dove**

Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879) foi um meteorologista alemão e membro da Academia de Ciências de Berlim (1837), tendo-se tornado diretor do Instituto de Meteorologia da Prússia, em 1849. Publicou mais de 300 artigos científicos durante a sua carreira, entre eles, cerca de 100 enquadrados no domínio da física experimental. Dove teve grande influência na meteorologia do século XIX<sup>86</sup> e foi considerado pioneiro neste domínio, sendo a sua principal preocupação o subtema da Climatologia<sup>87</sup>, campo iniciado por Alexander von Humboldt. Dove foi o editor de cinco dos volumes de uma obra de Física (*Repertorium der Physik*), composta por oito volumes, tendo sido o próprio Dove quem escreveu a secção introdutória do volume I e duas partes da secção 11 (vol. III, IV) intitulada “*Meteorologia*”, a qual contém uma descrição do regime de temperatura da Terra (incluindo solos, águas, mares e ar), assim como explicações sobre tempestades, chuva, pressão do ar e outros fenómenos.

Em 1828, Dove observou que os ciclones tropicais no Hemisfério Norte, giravam no sentido contrário aos ponteiros do relógio, e no Hemisfério Sul giravam no sentido horário e estudou a distribuição das temperaturas à superfície da Terra, o padrão anual de pressão atmosférica, a natureza de ventos alísios e monções, e ainda os ciclones das latitudes médias e o efeito do clima no crescimento de plantas. A principal teoria de Dove era a ideia de que o tempo e o clima resultam da interação e da alternância das correntes polares e equatoriais.

---

<sup>86</sup> Bernhardt, Karl-Heinz, “*Heinrich Wilhelm Dove's position in the history of meteorology of the 19th century*”, Leibniz-Sozietät, e.V.

<sup>87</sup> Segundo Harnack, 61 dos 84 artigos sobre questões da meteorologia, publicados por Dove entre 1837-1876, são na verdade dedicados à climatologia (Harnack 1900, vol. III).



---

No entanto, os seus contemporâneos e os meteorologistas do século XX avaliaram-no de forma bastante contraditória<sup>88</sup>: Alexander von Humboldt (1848) referiu-se a Dove como "*o fundador da meteorologia dos dias de hoje*" e considerou-o a principal autoridade nesse campo da ciência. No obituário publicado na revista Nature, citado também no obituário publicado pelo Jornal da Meteorological Society austríaca (1879), assim como duas décadas mais tarde na história da Academia Prussiana de Ciências (Harnack 1900, vol.I/2), Dove foi designado como "*o Pai de Meteorologia*". Outros autores já do século XX, como Chromow (1931), Weickmann (1954), Bergeron (1959) e Scherhag (1959) considerando a época em que viveu, têm promovido os méritos de Dove, nomeadamente, o físico G. Kirchhoff que classificou Dove como o "*único representante da meteorologia, esta nova ciência que foi fundada essencialmente por Dove*" (Kirsten, Körber 1975).

Por outro lado, Julius von Hann, a quem é atribuída "*A teoria termodinâmica do föehn*"<sup>89</sup>, considerou que Dove tinha alcançado excelentes resultados em todos os campos puramente físicos (Hann 1868); no entanto, de acordo com este meteorologista austríaco "*difícilmente se poderá negar que as teorias não físicas de Dove retardaram bastante o progresso da meteorologia por um longo período de tempo*". Köppen (1921) concordou explicitamente com esta opinião, ao entrar na polémica contra Myrbach (1921) que tinha feito uma apreciação sobre Dove como sendo um precursor da teoria da frente polar. Indo ainda mais longe, Kassner (1933) escreveu na sua história breve da Sociedade Meteorológica da Alemanha, por ocasião do seu cinquentenário, que Dove "*não queria nada que tivesse a ver com progresso e lutava contra todos os novos resultados de investigação*", afirmando explicitamente que o pesadelo – "*Alpdruck*" – só terminou na Alemanha aquando da morte de Dove.

### **Contributos de Coriolis e Foucault**

Gaspard Gustave Coriolis (1792-1843) tinha demonstrado a força da inércia relativa ("*Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps*", 1835), nos objetos em movimento (força centrífuga) dentro de um sistema rotacional, desde que uma força adicional designada por *aceleração de Coriolis* fosse inserida nas equações do movimento.

---

<sup>88</sup> Bernhardt, Karl-Heinz, "*Heinrich Wilhelm Dove's position in the history of meteorology of the 19th century*", Leibniz-Sozietät e.V.

<sup>89</sup> Seibert, Petra, "*Hann's Thermodynamic Föhn Theory and its Presentation in Meteorological Textbooks in the Course of Time*", Institute of Meteorology, University of Natural Resources Vienna, Vienna, Austria.

---

Em 1837/8 Siméon D. Poisson redescobriu a obra de Coriolis e aplicou o seu teorema ao desvio dos disparos de artilharia.

Jean Bernard Foucault (1819-1868) realizou, em 1851, experiências com o pêndulo, desencadeando um debate internacional sobre o mecanismo do desvio dos ventos, provocado pelo movimento de rotação da Terra, ficando claro que este afetava os movimentos dos ventos igualmente em todas as direções.

### **Contributo de C.H.D. Buys Ballot**

Buys Ballot (1817-1890), físico holandês inicialmente apoiante das ideias de Dove, escreveu artigos sobre a ligação entre a variação, na horizontal, da pressão atmosférica e o vento, particularmente no que se refere à direção do vento. Em 1857 publicou sobre esta temática uma nova teoria (Lei de Buys Ballot), na altura muito controversa uma vez que desafiou a autoridade de Dove e a sua “*lei do vento de Dove*”. A formulação de Buys Ballot de que “*se pode avaliar melhor o vento pelo barómetro do que por um catavento*” colocou-o em colisão declarada com H. W. Dove.

### **Contributo de William Clement Ley**

William Clement Ley (1840-1896), meteorologista britânico, sugeriu no seu livro “*The Laws of the Winds*” de 1872 que os ventos de Este e Oeste, segundo o “Princípio de Hadley”, não eram afetados pela rotação da Terra, assumindo que estariam a ser dirigidos por forças internas de porções vizinhas da atmosfera. Publicou ainda em 1894 uma obra sobre a estrutura das nuvens, “*Cloudland - a study on the structure and characters of clouds*” (Londres, edição E. Stanford, 1894).

### **O inovador contributo de Ferrel (meados do séc. XIX)**

Durante mais de um século, o modelo de Hadley manteve-se nas questões essenciais, embora fosse sendo aperfeiçoado/desenvolvido em aspetos de pormenor.

Em meados do século XIX, com os novos dados das temperaturas de superfície e o emprego pela primeira vez de métodos de análise quantitativos, William Ferrel (1817-1891), professor de matemática no Tennessee e auto-didata em meteorologia, propôs uma nova célula atmosférica nas latitudes médias, a que se deu o seu nome e que condiz com a realidade da circulação da zona temperada, embora à época, os argumentos por ele apresentados para a sua explicação, nem sempre fossem muito felizes e convincentes.

---

Ferrel imaginou uma célula meridiana nas latitudes médias constituída por um fluxo de oeste à superfície e pelo prolongamento de um ramo dos contra-alísios em altitude. Foi Ferrel quem pela primeira vez, incorporou em meteorologia, de uma forma física e cientificamente correta, os conhecimentos sobre os efeitos da rotação da Terra na circulação atmosférica

### **Contributo de Henrik Mohn**

Henrik Mohn (1835-1916), meteorologista norueguês, é o autor de *Storm-Atlas* de 1870 e “*Om Vind og Vejr, meteorologins hovedresultater*” (Acerca do vento e do tempo, os principais resultados da meteorologia). Os artigos de Mohn tiveram uma influência considerável no desenvolvimento da meteorologia dinâmica, na Alemanha.

### **Desenvolvimento de meteorologia dinâmica moderna (Alemanha/Áustria)**

Influenciados pelas ideias de Mohn e de Ferrel, os meteorologistas teóricos alemães entraram em rutura com o modelo de Hadley e as conceções de Dove. Segundo Anders Persson (2006) ainda demorou algum tempo até os defensores das ideias de Dove perceberem que o modelo Hadley-Dove estava completamente errado e não consistia “*numa simplificação ou versão incompleta*” do modelo correto de Ferrel.

Os três principais aspetos da crítica feita ao "Princípio de Hadley", pela comunidade meteorológica Alemã consistiam no seguinte:

- a explicação de Hadley só funciona para os movimentos norte-sul, embora os desvios sejam válidos para todas as direções;
- o princípio de conservação subjacente não deve ser de um *momentum* linear absoluto, que só produz  $\Omega V/2$  da deflexão, mas um *momentum angular* absoluto que produz  $2\Omega V$ ;
- o pressuposto de uma força de impulsão forçadora do ar é irrealista no que se refere ao sistema mecânico atmosférico.

---

## As teorias clássicas do século 20

### O contributo da Escola Norueguesa no primeiro terço do séc. XX

Vilhelm Bjerknes e o seu filho Jacob Bjerknes, dois meteorologistas noruegueses, foram pioneiros da moderna previsão do tempo<sup>90</sup>. Dada a sua formação de base em física, especializado em eletrodinâmica e hidrodinâmica, Vilhelm Bjerknes aplicou esses conceitos aos movimentos dos maiores sistemas fluidos do planeta: a atmosfera e o oceano.

V. Bjerknes percebeu que os movimentos dos fluidos atmosféricos criavam padrões específicos de estado de tempo e que poderiam ser matematicamente explicados, associando a hidrodinâmica com a termodinâmica; e compreendeu que aplicando as expressões matemáticas aos teoremas de circulação dos fluidos, se conseguia chegar à solução do problema físico-matemático da previsão do tempo. Foi por isso o primeiro a formular a ideia, num artigo de 1904<sup>91</sup>, de que a partir de dada informação, em quantidade suficiente, sobre o estado atual da atmosfera, se poderia efetuar a previsão numérica do tempo, isto é, prever por processos matemáticos o estado da atmosfera em momentos posteriores ao presente.

Em 1911, em colaboração com um grande nome da geofísica, o norueguês Harald Ulrik Sverdrup (1888-1957), V. Bjerknes formou um grupo de investigação. Os cientistas alemães ficaram impressionados com os trabalhos de pesquisa de Vilhelm Bjerknes e dos seus colaboradores, e este foi contratado para trabalhar na Universidade de Leipzig. Aí, pai e filho fizeram parte de um grupo de meteorologistas, liderado por Vilhelm Bjerknes e desenvolveram em conjunto um modelo explicativo da origem, génese, desenvolvimento e dissipação dos *ciclones* das latitudes médias, que ficou conhecido como o modelo norueguês dos ciclones; com este modelo, deram início à ideia das frentes, isto é, ao conhecimento sobre as descontinuidades bem definidas entre massas de ar de características distintas.

---

<sup>90</sup> “Uma comparação entre as vidas dos investigadores da família Bjerknes ... Vilhelm (1862-1951) e Jakob (1897-1975), revelam paralelismos únicos que são significativos para a história da meteorologia...”. Grimes, Doria B., “*BJERKNES – LIKE FATHER – LIKE SON*”, U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Central Library, USA.

<sup>91</sup> Bjerknes, V., 1904a: Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. *Met. Zeit.*, **21**, 1-7. Translation by Y. Mintz: “*The problem of weather forecasting as a problem in mechanics and physics*”. Los Angeles, 1954. Reprinted (pp 1-4) in Shapiro & Grønås, 1999.

---

Após o seu regresso à Noruega, em 1917<sup>92</sup>, Vilhelm Bjerknes fundou o Instituto de Geofísico da Universidade de Bergen, em Bergen<sup>93</sup>. V. Bjerknes prosseguiu a sua pesquisa fundamentalmente no campo da previsão numérica, enquanto o seu filho J. Bjerknes se concentrou em dar continuidade ao estudo do modelo dos ciclones das latitudes médias. Tendo V. Bjerknes percebido que não dispunham de um histórico de dados em quantidade suficiente para basear a previsão do tempo em modelos puramente matemáticos/numéricos, ele e o filho concentraram então a sua atenção na previsão do tempo, em termos práticos. Para a coleção de dados usaram uma rede alargada de estações de observação do tempo espalhadas por toda a Noruega, tendo Jakob Bjerknes constatado que as linhas de convergência tinham um padrão característico quando associadas com ciclones extratropicais. Essas linhas de convergência viriam mais tarde a ser denominadas *frentes*<sup>94</sup>, assim chamadas devido à sua analogia com as frentes de batalha da Primeira Guerra Mundial. Começaram então a usar a análise de cartas de pressão, à superfície, no seu trabalho de previsão meteorológica<sup>95</sup>: a linha de separação do ar frio e do ar quente, a oeste e norte de um centro de baixas pressões, assumiu a designação de frente fria (originalmente *squall line*); a linha de separação entre o ar quente e o ar frio, a sul e sudeste de um centro de baixas pressões, assumiu a designação de frente quente (originalmente *steering line*) (figura 9).

Essas inovadoras cartas de pressão tinham por objetivo oferecer durante o verão previsões aos utilizadores agrícolas: foi organizado um serviço do ramo da análise e previsão do tempo, que evoluiu posteriormente para um serviço informativo de meteorologia, tendo estes serviços começado no verão de 1918, com Jakob Bjerknes como meteorologista em Bergen e Halvor Solberg em Christiania.

A meteorologia consegue um extraordinário avanço na Noruega, sobretudo durante o primeiro quartel do séc. XX e em especial a partir da Primeira Guerra Mundial. Impedida do acesso às observações meteorológicas executadas sobre o mar e nos territórios dos

---

<sup>92</sup> Na verdade, Vilhelm Bjerknes abandonou Leipzig devido à eclosão da 1ª Guerra Mundial, Grimes, Doria B., “BJERKNES – LIKE FATHER – LIKE SON”, U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Central Library, USA.

<sup>93</sup> Por sugestão e ajuda do explorador norueguês do Ártico, Fridtjof Nansen, que, com o apoio do oceanógrafo Bjorn Helland-Hansen, fez uma oferta a V. Bjerknes para estabelecer um instituto de geofísica em Bergen.

<sup>94</sup> A generalização do termo frontal só surgiu em 1920.

<sup>95</sup> Jacob Bjerknes organizou grande parte desta informação pioneira sobre frentes, num artigo designado por “On the Structure of Moving Cyclones”, escrito no outono de 1918, ainda antes de completar 21 anos, o qual foi formalmente publicado em 1919.

---

estados vizinhos envolvidos no conflito de 1914-1918, foi criada na Noruega uma rede muito densa de estações sob a orientação dos investigadores do Instituto Geofísico de Bergen, V. Bjerknes (1862-1951) e principalmente o seu filho J. Bjerknes (1897-1975) que, juntamente com Solberg, são os criadores da Escola norueguesa ou Teoria norueguesa, que domina entre 1920 e 1935 e se baseia nos novos conceitos de “massas de ar” e “frentes”.

Após ter descoberto o mecanismo das “frentes” em 1918, J. Bjerknes apresenta em 1922 a sua teoria sobre a frente polar e a evolução das depressões subpolares. Desta forma, dá um inestimável contributo para a compreensão da circulação geral atmosférica, principalmente para a explicação da existência das Baixas Pressões Subpolares, cuja causa, na opinião de Bjerknes, está relacionada com a rarefação do ar na região limite entre as correntes de ar frio e de ar tropical (figura 10 A e B), porquanto sofrem um desvio que as afasta uma da outra.

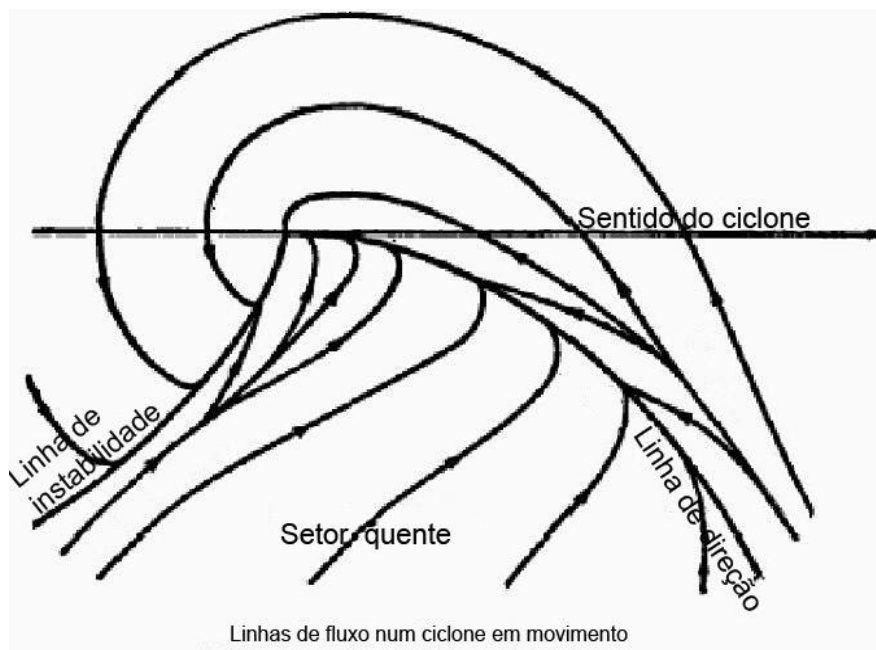


Figura 9 – *Ciclone* em movimento, respetivas linhas de fluxo e designações originais, por J. Bjerknes:  
linha de instabilidade-*squall line*; linha de direção-*steering line*  
Adaptado de Bjerknes, J., “*On the Structure of Moving Cyclones*”, Bergen, 1918

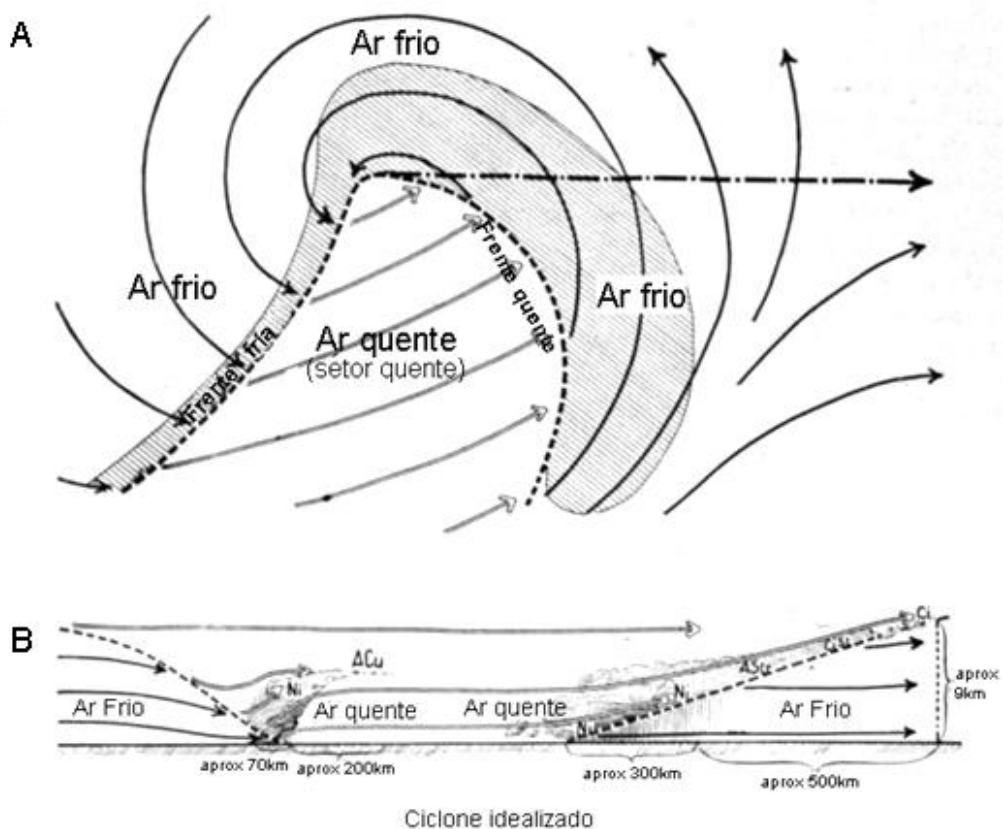


Figura 10 - *Ciclones* das latitudes médias e esquema da frente polar:

- A – Representação teórica esquemática de um centro depressionário da frente polar, na horizontal
- B – Representação teórica esquemática de um centro depressionário da frente polar, corte vertical

Fonte: Adaptado de Bjerknes, J., Solberg, H., “*Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation*”, 1922

A equipa científica de meteorologia liderada por V. Bjerknes e sediada em Bergen, a partir de certa altura passou a incluir os meteorologistas suecos Carl-Gustaf Rossby e Tor Bergeron, ficando a ser conhecida por “Escola de Bergen”<sup>96</sup>.

Integrada com o modelo dos ciclones, a dinâmica da frente polar, pela primeira vez referida por Jacob Bjerknes e Solberg Halvor num artigo científico de 1922, passou a constituir o principal mecanismo explicativo da transferência de calor/energia, na atmosfera, no sentido norte-sul. Este novo contributo veio acrescentar valor ao modelo dos

<sup>96</sup> “A internacionalmente famosa Escola de Bergen deve sua existência a Vilhelm Bjerknes e à sua liderança, no estabelecimento de sistemas de previsão de tempo, modelos atmosféricos, convergência, frentes polares e previsão numérica, entre muitos outros conceitos que são hoje básicos na meteorologia atual”. Grimes, Doria B., “*BJERKNES – LIKE FATHER – LIKE SON*”, U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Central Library, USA.

---

ciclones frontais, assim como o trabalho de Tor Bergeron que, entretanto, adicionou ao modelo nos anos 50, o processo de oclusão das frentes e, posteriormente, desenvolveu também um sistema de classificação de massas de ar e dos processos de precipitação. Foi também Bergeron quem criou a simbologia que descreve/inscreve as frentes nas cartas meteorológicas<sup>97</sup>. Mais tarde, Halvor Solberg acrescentou ao trabalho original de Jacob Bjerknæs o processo de formação dos ciclones frontais, que considerou serem gerados sobre as ondulações que vão surgindo ao longo da frente polar. Com este novo conceito contribuiu para a ideia da estrutura tridimensional do desenvolvimento do ciclo de vida das depressões da frente polar. Reportando-se à importância do conjunto de todos estes estudos científicos sobre meteorologia e tentando fazer uma síntese dos mesmos, Hans Theodor Hesselberg (1885-1966)<sup>98</sup> referiu: “*O ciclone nasce numa ondulação inicial da frente polar de Solberg, desenvolve-se segundo o modelo de ciclone de Jacob Bjerknæs e finalmente dissipa-se numa oclusão Bergeroniana.*”

Jacob Bjerknæs foi o meteorologista que deu apoio a Roald Amundsen quando este levou a cabo a primeira travessia do Ártico no dirigível Norge (1926)<sup>99</sup>. Entretanto, em 1939, Jacob Bjerknæs foi substituído na Universidade de Oslo por Carl Godske e em 1940 emigrou para os Estados Unidos,<sup>100</sup> onde dirigiu um serviço de meteorologia para previsão do tempo, patrocinado pelo governo americano, anexo ao departamento de física da Universidade da Califórnia, em Los Angeles. Aí J. Bjerknæs fundou em 1945 o Departamento de Meteorologia da Universidade da Califórnia<sup>101</sup> (atualmente, o Departamento de Ciências Atmosféricas e Oceânicas); com o amigo meteorologista Jorgen Holmboe, continuou também a desenvolver as teorias de ciclones extratropicais. Como

---

<sup>97</sup> Bergeron terá enviado a proposta da criação da simbologia das frentes, ainda hoje usada mundialmente, num cartão postal para Jacob Bjerknæs.

<sup>98</sup> Hesselberg, H. Theodor, *Dynamic Meteorology and Hydrography: Statics*, by V. Bjerknæs and J. W. Sandström, 1911, reimpressão Editora BiblioLife, 2010.

<http://archive.org/details/dynamicmeteorol00hessgoog>.

<sup>99</sup> O serviço informativo de apoio aos agricultores e o apoio fornecido por J. Bjerknæs, na área da meteorologia, a Amundsen na primeira travessia do Ártico, constituem dois dos exemplos paradigmáticos da aplicabilidade da meteorologia e da climatologia.

<sup>100</sup> Segundo Dora Grimes, não se tratou propriamente de uma migração totalmente voluntária, Jacob Bjerknæs ter-se-à limitado a permanecer nos Estados Unidos aquando da eclosão da 2ª Guerra Mundial: “He and his family were on an eight-month lecture tour in the United States in 1939, when the European conflict began. He did not return to Norway”, Grimes, Doria B., in “*BJERKNÆS – LIKE FATHER – LIKE SON*”, U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Central Library, USA.

<sup>101</sup> Idem, “Jakob [Bjerknæs] continuou o legado da família, estabelecendo um novo Departamento de Meteorologia da Universidade da Califórnia, em Los Angeles, em 1945. Ele escolheu Los Angeles em particular, dada a sua proximidade à Instituição Scripps Oceanographic Institution, em La Jolla, Califórnia. A visão de Jakob [Bjerknæs] quanto à importância da oceanografia para a previsão do tempo, já antecipa a correlação que ele acabou por estabelecer entre o fenómeno do El Niño e a temperatura do oceano.”



---

professor da Universidade da Califórnia, ele foi o primeiro a estabelecer a relação entre as temperaturas invulgarmente quentes das águas da superfície do mar e os ventos de leste enfraquecidos, acompanhados de chuvas fortes; foi J. Bjerknes que em 1969 levou a cabo a investigação que abriu caminho à compreensão da oscilação para sul do fenómeno El Niño, sugerindo que uma mancha de água anormalmente quente no leste do Pacífico pode enfraquecer a diferença de temperatura leste-oeste, contribuindo para interromper os ventos alísios, os quais impelem/forçam habitualmente a água quente a dirigir-se para oeste. Contrariamente ao normal, o resultado dessa interrupção é a água cada vez mais quente em direção ao leste.

Durante o século XX, com o aperfeiçoamento do modelo de ciclone frontal, a Escola de Bergen foi adquirindo um elevado estatuto na comunidade meteorológica internacional, incluindo investigadores como Carl Gustav Rossby, Sverre Pettersen, Eric Palmén, Jorgen Holmboe e Carl Godske.

### **A teoria clássica de Bergeron e Rossby e respetivo modelo tricelular da circulação geral atmosférica**

A partir do início do século XX, embora se continuasse a admitir a influência dos fenómenos térmicos na circulação atmosférica meridiana, começou a dar-se cada vez maior importância aos processos mecânicos/dinâmicos na organização zonal da circulação geral atmosférica.

É com base nestes pressupostos que surgem as teorias dos meteorologistas suecos Tor Bergeron (1891-1977) e Carl-Gustaf Arvid Rossby (1898-1957): o primeiro propôs um modelo de circulação de três células para cada hemisfério, em 1928, modelo que foi posteriormente modificado por Rossby, em 1941. Tomou a designação de modelo ou teoria tricelular da circulação geral atmosférica, que a seguir se descreve para o hemisfério Norte:

- Nas baixas latitudes a célula de Hadley é dominada à superfície pelos alísios, entre as altas pressões subtropicais e as baixas pressões equatoriais;
- Nas altas latitudes a célula de Rossby, também essencialmente térmica, como a de Hadley, onde os ventos de Este polares se inserem entre os anticiclones frios polares e as baixas pressões subpolares;
- Nas médias latitudes a célula de Ferrel, intercalada entre as duas anteriores, é dominada à superfície pelos Ventos do Oeste ou *Westerlies*.

---

Segundo Rossby enquanto as células das baixas e das altas latitudes são de origem térmica e também dinâmica, a célula das latitudes médias é de origem puramente dinâmica. Basta pensar que nas células de Hadley e de Rossby o ar sobe do lado mais quente, e desce do lado mais frio, enquanto na célula de Ferrel das latitudes médias, pelo contrário, o ar sobe do lado mais frio e desce do lado mais quente. O elemento principal deste modelo é constituído pelos anticiclones subtropicais que se comportam como gigantescos anticiclones mistos muito estáveis, alimentados não só pelo afluxo de ar de origem equatorial, mas também pelo ar polar das “descargas de fim de família”.

Como explicar que a célula média, de Ferrel, comporte dois fluxos de Oeste, um à superfície e outro em altitude? Rossby afirmou que, não obstante serem ambos de Oeste, um, o de superfície, dirige-se para norte e o outro, de altitude, para sul, já que este último não sendo retardado pelo atrito do globo terá um excesso de força centrífuga relativamente ao eixo da Terra, afastando-se deste para se lançar para o equador, ou seja, para sul. De salientar que a descoberta das “correntes de jacto” (*jet stream*), pouco tempo depois, tornou este modelo precocemente obsoleto.

### **As teorias modernas, após a Segunda Guerra Mundial.**

#### **As novas concepções de Rossby - a recusa das “fontes” quente e fria e da convecção térmica**

Embora atribuindo um lugar importante às influências mecânicas, a teoria de Rossby de 1941 permaneceu, no entanto, fiel às antigas concepções térmicas, pois equiparava a célula de Hadley a um motor térmico funcionando entre uma fonte quente – o equador – e uma fonte fria situada no paralelo 30°. Passados poucos anos, num artigo escrito em 1949, Rossby salientava que:

- o gradiente térmico entre o equador e os trópicos não é suficiente para que se possa falar de fonte quente e fonte fria;
- não é no equador que se encontram as temperaturas mais elevadas do planeta; a nebulosidade do equador e o céu limpo dos trópicos criam de preferência um contraste térmico inverso ao geralmente invocado.

Recusando-se agora a aceitar que a ascensão do ar, no equador, se processa por convecção térmica, Rossby, numa atitude radicalmente oposta e igualmente controversa, justifica essa ascensão por razões mecânicas. Segundo ele, é a convergência dos alísios que impulsiona em altitude o ar húmido, sendo esse movimento mantido pela energia do *calor*

---

*latente* libertado aquando da condensação do vapor de água transportado (*calor latente vs calor sensível*). Rossby refere também que os alísios se tornam ainda mais fortes quando se produzem as descargas de ar polar de “fim de família”, mais meridionais, atingindo o próprio anticiclone dos Açores.

### **Descoberta da circulação zonal em altitude: transferência do motor da circulação geral atmosférica do equador para as perturbações da zona temperada**

Após a Segunda Guerra Mundial acumularam-se informações sobre a alta troposfera, nomeadamente a circulação zonal das correntes de jacto o que levou Rossby a rever o seu modelo tricelular da circulação geral atmosférica.

O essencial das novas conceções de Rossby encontram-se sintetizadas em dois artigos escritos em 1947 e 1949, baseados em investigações sinópticas teóricas e experimentais na atmosfera, ao nível dos 5000 metros, levadas a cabo na Universidade de Chicago.

Rossby demonstrou através de experiências laboratoriais que a corrente de jacto, aquecida a partir de baixo, aumenta de velocidade e desloca-se para latitudes mais baixas (força centrífuga/e de Corolis), acumulando ar nas regiões subtropicais e contribuindo, assim, para a formação das altas pressões subtropicais, rarefazendo o ar nas latitudes mais elevadas. Esse aquecimento das correntes de jacto, por baixo, deve-se à turbulência desenvolvida nas perturbações da frente polar, as quais são mais vigorosas no inverno, pois são maiores os contrastes térmicos entre os oceanos e os continentes. Daí que, nessa estação do ano, se estabeleça uma “corrente de jacto” muito forte e deslocada para sul no hemisfério Norte. Inversamente, no verão a turbulência é menor, a “corrente de jacto” é menos aquecida, diminui de velocidade e aproxima-se do polo.

Rossby concluiu então que o motor da circulação geral atmosférica reside nas perturbações da zona temperada, isto é, a energia mecânica das correntes de jacto tem a sua génese nas ondulações subpolares, sendo as oscilações anuais da circulação tropical a consequência e não a causa dos deslocamentos estacionais das *jet-streams* e da frente polar.

Em síntese, segundo a nova teoria de Rossby, o calor acaba também por explicar a circulação geral atmosférica, com a diferença de que a fonte desse calor está noutra origem que não o equador.

---

Esta nova conceção de Rossby inspirou-se nas ideias apresentadas em 1921 pelo alemão Defant, segundo as quais as trocas de calor entre as altas e baixas latitudes se realizariam graças aos fortes movimentos de turbulência, particularmente das perturbações da zona temperada.

### **O modelo de Palmén**

O modelo do sistema da circulação atmosférica (1951-52)<sup>102</sup> do meteorologista finlandês Erik Herbert Palmén<sup>103</sup> (1898-1985), o qual teve por base investigações e modelos anteriores, é aquele que está mais de acordo com a complexidade dos factos observados na prática. Palmén destacou principalmente o contraste fundamental que opõe as zonas intertropical e extratropical e que abaixo se resume:

- Nas médias e altas latitudes a circulação meridiana tem um papel secundário face ao domínio dos turbilhões de pequeno porte, não existindo praticamente ventos regulares ao nível do solo. O anticiclone polar é débil e efémero e a célula polar ou de Rossby tem reduzida importância tal como a célula de Ferrel das latitudes médias;
- A circulação celular propriamente dita só tem existência na zona intertropical com a célula de Hadley, causada por fatores térmicos e dinâmicos. Nestas latitudes, turbilhões como os da zona extratropical desempenham um papel pouco importante, dominados pelo circuito de Hadley, com ventos regulares à superfície – os alísios – numa circulação meridiana dominante, devido à pequena influência da força de Coriolis nas baixas latitudes. A diferença térmica entre o equador e os trópicos é, em média, fraca, mas é apreciável no inverno, estação durante a qual os alísios manifestam toda a sua força, principalmente no lado oriental das altas pressões subtropicais.
- A “corrente de jacto” subpolar resulta da impulsão dos turbilhões depressionários e quando não se dá o desdobramento das correntes de jacto, as altas pressões subtropicais são alimentadas periodicamente pelo afluxo de ar polar que restabelece o gradiente térmico com o equador.

---

<sup>102</sup> Palmén, E., C. W. Newton,- Atmospheric Circulation Systems - Their Structure and Physical Interpretation, Academic Press, Londres 1969, pág. 603.

<sup>103</sup> Palmén trabalhou com Vilhelm Bjerknes na Universidade de Chicago (escola de Meteorologia de Chicago, iniciada por Carl-Gustaf Rossby) sobre ciclones e frentes meteorológicas.

---

O modelo de Palmén identifica assim as seguintes células:

- uma célula equatorial ou de Hadley análoga à do modelo tricelular clássico de Rossby;
- ausência das células de Ferrel e Rossby, substituídas por uma zona de circulação turbulenta, com fraca circulação meridiana, mas com movimentos ascendentes na vizinhança das depressões subpolares associadas à superfície frontal polar;
- as correntes de jacto subpolar e subtropical.

Palmén foi um investigador multifacetado que publicou ainda artigos sobre meteorologia, geofísica e oceanografia. Explicou a dinâmica das correntes de jacto e trabalhou com a análise de dados de radio-sondagem; as suas bases de dados pré-processados, de qualidade comprovada e internacionalmente validada, foram amplamente utilizadas por outros investigadores.

Mais recentemente, os meteorologistas M.A. Shapiro e Daniel Keyser (1990), com base no modelo da escola de Bergen, desenvolveram um modelo meteorológico de ciclogénese que permite explicar e prever o comportamento de ciclones extratropicais oceânicos.

Em Portugal, a bibliografia sobre o estudo da circulação atmosférica e estados de tempo, é vasta, mas por questões de tempo e de espaço, citarei duas autoras geógrafas, que dedicaram as suas teses de mestrado ao estudo das situações sinópticas, utilizando classificações nas quais nos baseámos posteriormente para as nossas referências ao tema: C. Ramos (1986)<sup>104</sup>, que apresenta uma classificação muito completa das situações sinópticas que afetam o território português, e R Faria (2010)<sup>105</sup>, que se refere aos paroxismos climáticos da área do Porto, utilizando uma classificação simplificada a partir da anterior, para apresentar as situações sinópticas à superfície que afetam predominantemente a região do território portuense.

---

<sup>104</sup> Ramos, Catarina, - Tipos de Anticiclones e Ritmo Climático de Portugal, Centro de Estudos Geográficos, INIC Lisboa 1986

<sup>105</sup> Faria, R. - Paroxismos climáticos na região do porto - estudo comparativo entre os períodos de 1900-1919 e 1988-2007. Contributo para o estudo das alterações climáticas à escala regional, Porto, FLUP, 2010

---

#### 4. CLIMA URBANO – CORPO TEÓRICO, breve síntese da evolução do conhecimento em climatologia urbana

*“Urban heat island,” a term first coined in the 1940s ... refers to the atmospheric warmth of a city compared to its countryside. Heat islands occur in almost all urban areas, large or small, in warm climates or cold.”*

Stewart and Oke, 2012<sup>106</sup>

Constata-se que a atmosfera urbana constitui uma componente primordial e incontornável do suporte ambiental biogeofísico, para a maior parte da população do mundo, sendo que esta tende a aumentar no futuro, assim como as interações dinâmicas decorrentes desse contacto Homem/Atmosfera Urbana. Sendo assim, há toda a conveniência em aproximar sustentabilidade e governança para que a política urbana, numa perspetiva socio-ambiental, possa responder de forma eficaz à complexa tarefa de gerir o território<sup>107</sup> no sentido da melhoria da qualidade de vida dos cidadãos<sup>108</sup>.

São várias as fontes em que nos baseamos para podermos afirmar que, nos nossos dias, grande parte da população mundial vive em cidades, ou em áreas urbanizadas. Segundo a Central Intelligence Agency (CIA)<sup>109</sup> norte-americana, dos mais de 7 000 milhões de habitantes mundiais contabilizados em 2012, cerca de 52,0% viviam em meio urbano. Prevê-se que a taxa de crescimento anual da população mundial seja de 1,1%, mas o crescimento da taxa de urbanização será superior e estima-se em 1,85% no período 2010-15, pelo que mais de 55 % constituirão provavelmente população urbana<sup>110</sup>.

---

<sup>106</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag. 1879–1900, 2012.

<sup>107</sup> Fernandes, J.A.R., Urbanismo sustentável: pela redução, reciclagem e reutilização da cidade. Revista da FLUP, II Série, Volume I, 2007-pp. 161-176.

<sup>108</sup> Projecto ERA NET URBAN/0001/2009, Potential impact of climate trends and weather extremes on outdoor thermal comfort in European cities - implications for sustainable urban design.

<sup>109</sup> <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html>

<sup>110</sup> <http://search.worldbank.org/data?qterm=world%20population%202012&language=EN>

---

*“So many people throughout the world now live in urban places that the atmospheric environment of cities seems quite normal, even “natural”, to them. Simple observation, however, reveals that many features of the air have been changed as a result of urbanization of the landscape. These changes, which become a distinct urban climate, are examples of inadvertent modification of the environment.”* (Oke, *The Climate of Urban Areas*, 1977)

O ritmo de crescimento do processo de urbanização acompanha, geralmente, o aumento acelerado da população mundial. Considerando esse fenómeno geral, importa referir que a área de estudo sobre a qual incide este trabalho de climatologia urbana aplicada (áreas da cidade do Porto), cresceu muito nos últimos cinquenta anos, quer no que respeita aos quantitativos populacionais, quer no alargamento dos espaços urbanizados e das atividades humanas.

As atividades humanas em geral e a urbanização em particular, acarretam eventuais modificações climáticas, sobretudo aos níveis das escalas local e microescala, na medida em que geram quantidades apreciáveis de calor antropogénico e provocam emissões acrescidas de gases, os quais, se não forem rapidamente dissipados pelo maior ou menor arejamento dos locais, podem contribuir para intensificar o “efeito de estufa” natural da atmosfera. Alguns desses gases atuam na catalisação de reações químicas genericamente agressivas para o ambiente e, mais especificamente, na camada de ozono estratosférico. Tendo em vista que muitos desses gases, além de poluentes, contribuem seletiva e eficazmente para o aprisionamento das radiações de grande comprimento de onda, nomeadamente as da banda do infravermelho, é lícito dizer-se que as ações antrópicas têm concorrido diretamente para alterar a composição química da atmosfera e, indiretamente, para modificar o comportamento de alguns elementos do sistema climático<sup>111</sup>. Em primeiro lugar são afetadas a temperatura do ar exterior e a velocidade do vento, mas também a humidade do ar, a nebulosidade e a precipitação.

Desde o desenvolvimento das cidades da Antiguidade que se podem encontrar diversas referências ao facto de as populações reconhecerem, ainda que só empiricamente, as diferenças evidenciadas entre as características do clima das áreas urbanas relativamente

---

<sup>111</sup> Cf. Relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Citado por MONTEIRO, A., *Perceptibilidade, risco e vulnerabilidade em Climatologia, Territorium*, Minerva, Coimbra, 1995, pág. 55.

---

às áreas rurais envolventes. Muitos têm sido os estudos realizados ao longo dos tempos<sup>112</sup> no sentido de demonstrar a existência de Ilha de Calor Urbano (ICU), quer em cidades de grandes dimensões, quer em cidades médias. No entanto, a primeira publicação específica que pode ser considerada a grande precursora dos estudos climatológicos em meio urbano, só surgiu em Londres em 1818, quando Luke Howard, um meteorologista amador, de formação na área da química, apresentou a primeira edição de um estudo pioneiro sobre o clima da cidade londrina<sup>113</sup>.

Após a publicação de A. Kratzer (1937)<sup>114</sup> – que foi considerado o fundador da climatologia urbana – sobre o clima da cidade, proliferaram ao longo da segunda metade do século XX numerosos estudos sobre clima urbano, realizados em diversas cidades dos vários continentes. Esta profusão de obras acerca da temática da atmosfera urbana é reveladora das preocupações que ao longo dos tempos têm vindo a colocar-se às diversas sociedades e que acabaram por evidenciar a importância das modificações induzidas nos climas locais pelos processos de urbanização.

A expressão "Ilha de Calor Urbano" refere-se ao excesso de calor atmosférico de uma cidade, em relação ao meio rural adjacente. Esta expressão terá sido usada pela primeira vez na década de 1940, pelos geógrafos William Balchin e Norman Pye (1947) num trabalho de investigação sobre a cidade de Bath<sup>115</sup>, o qual, segundo Sue Grimmond<sup>116</sup>, se pode considerar o primeiro estudo sistemático de climatologia urbana. No entanto, Landsberg (1981) atribui a primazia do uso do termo a G. Manley (1958)<sup>117</sup> num estudo que este desenvolveu sobre Londres, em que discorre sobre o aquecimento artificial da cidade, relacionando-o com o padrão da queda de neve, vento e precipitação. Mas é Tony

---

<sup>112</sup> Londres, Chandler, 1965; Nova Iorque, Bornstein, 1968; St. Louis, Changnon Jr., 1978; Montreal, T. Oke, 1975; Uppsala, A. Sunborg, 1950 e R. Taesler, 1980; Madrid, A. López Gómez, 1984; Lisboa, M.J. Alcoforado, 1986; Porto, A. Monteiro, 1993; Coimbra, Ganho, N., 1995.

<sup>113</sup> Howard, L., *Climate of London Deduced from Meteorological Observations*, 3ª Ed., Harvey & Darton, Londres, 1833, citado por Landsberg, Helmut E, *The Urban Climate*, Academic Press, 1981, pág 4.

<sup>114</sup> Kratzer, A., *Das Stadtklima*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1937, citado por LANDSBERG, Helmut E, *The Urban Climate*, Academic Press, 1981, pág 1.

<sup>115</sup> Balchin, W., Pye, N., - "A micro-climatological investigation of Bath and the surrounding district". *QJRMet Soc.* 73, 297-319, 1947.

<sup>116</sup> Grimmond, S. - "London's urban climate: historical and contemporary perspectives", Manchester Architecture Research Centre (MARC), Centre for the History of Science Technology and Medicine (CHSTM) 23-24 June, The University of Manchester, 2011.

<sup>117</sup> Manley, G - "On the frequency of snowfall in metropolitan England". *QJRMet Soc.* 84, 359, 70-72, 1958.



---

Chandler (1960, 1962, 1965<sup>118</sup>) quem escreve o primeiro estudo completo e detalhado sobre a ilha de calor da cidade de Londres.

As características da atmosfera urbana local dependem e interagem de forma permanente e dinâmica com as condições atmosféricas zonais, à escala sinóptica, e por essa razão o clima urbano não pode ser encarado isoladamente, separado do todo atmosférico. Mas não há dúvida de que as condições da atmosfera urbana local estão também na dependência direta do seu ambiente próximo<sup>119</sup>. É do equilíbrio de forças entre estas duas influências que resultam as características específicas da “camada limite”<sup>120</sup>. Sob condições sinópticas de instabilidade<sup>121</sup> caracterizadas por ventos fortes, nebulosidade e eventualmente precipitação, as influências locais são suprimidas ou pelo menos muito atenuadas. Pelo contrário, em situações sinópticas de maior estabilidade, perante a ocorrência de ventos fracos e ausência de nebulosidade, os efeitos locais são potenciados e acabam por condicionar/controlar o comportamento dos elementos climáticos da camada mais baixa da atmosfera.

Se nos reportarmos à organização hierarquizada das escalas espaciais, podemos constatar que o clima urbano local se posiciona entre o nível de clima regional (ou meso-clima) e o nível do microclima. Alguns autores recorrem também ao conceito de “topo-clima urbano”<sup>122</sup> ou simplesmente de “clima urbano”, quando a unidade físico-geográfica que enquadra o conjunto das observações climáticas se refere a uma determinada/confinada zona urbanizada. Os termos topo-clima e clima local aparecem frequentemente na literatura da especialidade como sinónimos, utilizados por autores de

---

<sup>118</sup> Chandler, T. J., - “The Climate of London”, Hutchinson & Co., Ltd: London, 1965.

<sup>119</sup> Landsberg, Helmut E., “...conditions at any locality are governed by the large-scale weather patterns obvious on a synoptic weather map. Yet each environment modifies ...the local conditions in that thin air stratum above the ground called the atmospheric boundary layer.”, *The Urban Climate*, Academic Press, 1981, pág 17.

<sup>120</sup> Oke, T.R.,: Para se referir à camada de ar próxima do solo, o autor utiliza as três designações “planetary boundary layer”, “atmospheric boundary layer” ou simplifcadamente “boundary layer”. *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 4.

<sup>121</sup> Velocidades de vento superiores a 5m/s provocam a erosão acelerada de eventuais ilhas de calor. GÓMEZ, A.López, *El Clima Urbano de Madrid: la isla de calor*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1991.

<sup>122</sup> Cf. Alcoforado, M.J., “...A palavra topo-clima foi proposta, em 1953, por C. W. Thornthwaite, durante a primeira reunião da Comissão de Climatologia da WMO, para designar o clima directamente dependente das características do substrato... ou seja, o clima local. Alguns autores (A. Bitan, 1975 e J. Paszynski, 1983) preferem a utilização do termo topo-clima em vez de clima local...”, *O Clima da Região de Lisboa*, 1993, pág. 11.

---

renome como Yoshino (1975), Landsberg (1981), Oke (1984), Alcoforado (1992) e outros<sup>123</sup>.

Afigura-se-nos evidente que este trabalho de investigação se debruça fundamentalmente sobre fenómenos que decorrem ao nível da escala topo-climática, na sua interação com fenómenos do nível meso-climático e, sempre que necessário, recorreu-se também à escala da microclimatologia urbana<sup>124</sup>. Atualmente, os estudos de climatologia urbana direcionam-se sobretudo para as modificações à escala meso-climática e topo-climática; mas os estudos na área da microclimatologia têm ganho terreno, tendo em conta a sua enorme importância para o avanço científico e pela sua incontornável aplicabilidade.

No que diz respeito às alterações climáticas inadvertidamente induzidas pelo Homem, aquilo a que assistimos nos ambientes antrópicos atuais, consiste fundamentalmente, e salvo raras exceções, em “modificações climáticas não intencionais”<sup>125</sup>.

O que se torna extremamente temerário não parecem ser as modificações climáticas em si mesmas, mas sim o facto de a teia complexa de causa-efeito delas resultante, ser tão vasta que os impactes climáticos originados pela alteração parcelar de um sistema integrador de um todo, são ainda em grande parte desconhecidos e imprevisíveis.<sup>126</sup>

Através de um planeamento integrado, resultante de políticas convergentes apoiadas numa governança orientada, clara e, portanto mais eficaz, podem transformar-se, até certo ponto, essas “modificações climáticas não intencionais” em “climas intencionalmente modificados”<sup>127</sup>, com vantagens para todos os intervenientes nos processos e já com consequências conhecidas e controladas.

Nesta perspetiva, os estudos climáticos urbanos são duplamente importantes: por um lado, por poderem contribuir para proporcionarem um ambiente agradável e saudável

---

<sup>123</sup> Citado por Andrade, H., “O Clima Urbano-Natureza, Escalas de Análise e Aplicabilidade”, in Finisterra, XL, pp.67-91.

<sup>124</sup> Devido à indiscutível relevância dos estudos microclimáticos, desde o início do séc.XXI começaram a emergir na comunidade científica internacional estudos à microescala, nomeadamente: Charabi, Y., Quenol, H., Beltrando, G., Kergomard, C., “Variation du Champ Thermique Nocturne Estival a l’Interieur d’un Fragment Urbain”, Laboratoires des milieux anthropisés, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2003; e Bridier, S., Quenol, H., “L’indice de proximité automobile: vers une approche géographique de la pollution à l’échelle individuelle”, Laboratoire DYNMERIS UMR PRODIG, 2002.

<sup>125</sup> Oke, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 262.

<sup>126</sup> Oke, T.R., “The climatic side-effects of human activities are many and varied...the full web of cause and effect linkages is so large that the climatic impact of altering a part of a system is largely unknown.” *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 262.

<sup>127</sup> Oke, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 229.

---

aos residentes urbanos; e por outro, para assegurarem que os efeitos da urbanização não tenham repercussões excessivamente nocivas<sup>128</sup>, podendo ser minimizados por ações racionais e cientificamente fundamentadas.

A primeira vez que se realizaram estudos que incidiam nos efeitos locais do clima urbano foi no início do séc. XIX, quando se mediram diferenças substanciais de temperatura em diversos locais de Londres (L. Howard, *The Climate of London*, Longman, Londres, 1818)<sup>129</sup>. Ainda em meados do mesmo século, algumas cidades europeias foram alvo de estudos de clima de topologia local de acordo com as alterações da temperatura e o modo de vida urbano; mais tarde, mais propriamente no início do séc. XX, para além da temperatura foram levadas a cabo diversas pesquisas sobre outros aspetos do clima urbano, nomeadamente da humidade do ar, da nebulosidade, da radiação, da precipitação e do vento.

Entretanto, após o trabalho “*Das Stadtklima*” do monge beneditino Albert Kratzer (1937)<sup>130</sup>, traduzido e republicado pela American Meteorological Society em 1956 (“*The Climate of Cities*”)<sup>131</sup>, no qual já eram feitas referências à composição química do ar citadino e a alguns dos seus poluentes, radiação, temperatura, vento, humidade e precipitação – isto porque se tomou consciência da importância das modificações induzidas nos climas locais pelos processos de urbanização<sup>132</sup> – multiplicaram-se os estudos sobre clima urbano, espalhados pelos diversos países do mundo, sobretudo a partir da segunda metade do séc. XX, em cidades de vários continentes, dos quais seguidamente se citam alguns exemplos dos muitos que foram surgindo.

Assim:

Na Europa surgiram estudos sobre as cidades de Uppsala (A. Sunborg, 1950 e R. Taesler, 1980); Bona (H. Emonds, 1954); Kiel (H. Eriksen, 1964); Londres (além da obra de referência de T. J. Chandler, 1965, também outros estudos, como os de L. Lyall, 1970 e D. Lee, 1977, 1979 e 1985); Liège (A. Hufty, 1966); Glasgow (M. Hartley, 1976); Viena

---

<sup>128</sup> OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 273.

<sup>129</sup> Cf. GANHO, Nuno, “Este facto foi evidenciado pela primeira vez em 1918 por L. Howard quando constatou que as temperaturas no interior de Londres são superiores às que se verificam na periferia da cidade”, citando T. J. Chandler, 1962, em *Territorium* 2:1995, Coimbra, pág 33.

<sup>130</sup> Kratzer, A., *Das Stadtklima*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1937, citado por Landsberg, Helmut E., *The Urban Climate*, Academic Press, 1981, pág 1.

<sup>131</sup> Kratzer, A., “*THE CLIMATE OF CITIES*” tradução pela American Meteorological Society, republicação 1956, Boston, Massachusetts.

<sup>132</sup> Por curiosidade, refira-se que já A. Kratzer, no Capítulo VII.Wind, da sua abrangente obra “*Das Stadtklima*” incluía um subcapítulo sobre “City planning and wind direction”.

---

(R. Bohm e K. Galb, 1978); Madrid (estudo pioneiro para esta cidade, F. Fernández Garcia, 1982, 1990, 1996, seguido de muitos outros mais recentes, como o de A. López-Gómez e F. Garcia, 1984); Paris (C. Calvet, 1985, sendo de assinalar a obra de G. Escourrou, 1990, 1983, e 1984); Barcelona (C. Carreras et al., 1990); Roma (M. Colacino, 1978, 1980, 1982 e 1987); Atenas (B. Katsoulis e G. Theoharatos, 1985) e muitos outros.

No continente Americano foram efetuados estudos para as seguintes cidades: Nova Iorque (R. Bornstein, 1968; D. M. Leahey e E. J. P. Friend, 1971); Cincinnati (J. F. Clarke, 1969); Washington (C. A. Woollum, 1970; R. P. Harnack e H. E. Landsberg, 1974); St. Louis (o primeiro estudo a cargo de J. F. Clarke e J. T. Peterson, 1973, seguido de muitos outros para esta cidade, nomeadamente o de S. A. Changnon Jr., 1978, 1979); Chicago (B. Ackerman, 1985); Denver (D. Rufieux et al., 1990, 1991), entre outros.

Pela importância que viriam a ter posteriormente para a evolução da climatologia urbana, são de salientar os trabalhos de investigação levados a cabo em algumas cidades do Canadá, nomeadamente: Hamilton (T. R. Oke e F. G. Hannel, 1970); Montreal (T. R. Oke e G. B. Maxwell, 1975); e Vancouver, sendo que no caso desta última cidade, quase todos os estudos foram liderados por T. R. Oke, mas em colaboração com diversos autores (D. Yap e T. R. Oke, 1974; T. R. Oke e G. B. Maxwell, 1975; T. R. Oke e J. H. McGaughey, 1983; H. A. Cleugh e T. R. Oke, 1986); Quebec (R. Leduc et al., 1980, 1981); Toronto (P. Bosselmann et al., 1995).

Também no México, nas cidades de México (E. Jauregui, 1973; T. R. Oke et al., 1992) e Guadalajara (E. Jauregui, et al., 1992) surgiram trabalhos de investigação de Climatologia Urbana. Em algumas cidades brasileiras também foram realizados diversos trabalhos sobre clima urbano: S. Paulo, (C.A.F. Monteiro, 1971 e 1976); São José de Campos-SP; (J. R. Tarifa, 1977); S. Paulo, (M. A. Lombardo, 1985); e mais recentemente, Presidente Prudente, (M. C. Amorim, 2000); Londrina-SP, (F. A. Mendonça, 2003)<sup>133</sup>.

A fundamentação teórica a que se reporta a problemática aqui abordada é a que foi utilizada em diversos estudos de climatologia urbana que se desenvolveram sobretudo a partir dos anos 70 do séc. XX, apoiada fundamentalmente nos trabalhos basilares de

---

<sup>133</sup> Sínteses efectuadas a partir de: Cf. Monteiro, A., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997; Ganho, Nuno, *Territorium 2:1995*, Coimbra; Góis, J., *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*, FEUP, 2004, Porto; Lima, A. P., e Amorim, Margarete C., *O Clima Urbano em Rosana/SP: Comparações entre a Cidade e o Campo*, Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.33, v.2, p.66-84, ago./dez. 2011, Brasil.

---

T.R.Oke<sup>134</sup>, Helmut E. Landsberg (1981)<sup>135</sup> e dos vários autores que lhes seguiram as pisadas na investigação em climatologia urbana. Timothy. R. Oke (1978/1987) classifica como “*radicais*”<sup>136</sup> as transformações induzidas pelos “*processos de urbanização na natureza da superfície de uma dada região e nas propriedades da sua atmosfera*”. Este autor defende que a urbanização envolve a transformação das características da atmosfera nos aspetos químico, de radiação, térmico e aerodinâmico e, por consequência, afeta os balanços naturais térmico e hidrológico. Como exemplos concretos de consequências destas alterações o autor refere ainda que “... *o inevitável acréscimo de poluição do ar afeta a transferência de radiação e municia mais núcleos de condensação em volta dos quais se podem formar as gotas de chuva;*” acrescentando também que os densos materiais de construção urbana transformam o sistema num “... *melhor acumulador de calor e impermeabilizam a superfície*”.

Sob a abordagem ao tema do “balanço energético anual total do Sistema Terra-Atmosfera” (por ele designado “*Earth-Atmosphere system*”, ou abreviadamente, “E-A system”), T. R. Oke<sup>137</sup> introduz os conceitos de força motora do ciclo hidrológico Terra-Atmosfera associado ao contexto energético em que operam todos os climas do sistema Terra-Atmosfera (climas macro, meso, local e micro), os quais considera fundamentais para o entendimento de que o Sistema Terra-Atmosfera é um sistema fechado no que se refere às entradas e saídas de massa, mas é aberto e, portanto, permite a existência de trocas de energia com o exterior (isto é, com o Espaço), sendo a energia radiante do sol a única entrada de energia no sistema. De uma maneira geral, T. R. Oke considera como relevante nos estudos de climatologia a classificação de quatro formas de energia, que circulam no sistema e são “transmutáveis” entre si: energia radiante, térmica, cinética e potencial.<sup>138</sup> É de referir que a entrada de energia no sistema E-A pode ser unicamente de energia radiante, mas a energia de saída do sistema pode revestir-se de qualquer uma das quatro formas referidas. Acrescente-se ainda que os três modos fundamentais de

---

<sup>134</sup> Oke, T.R, The process of urbanization produces radical changes in the nature of the surface and atmospheric properties of a region. It involves the transformation of the radiative, thermal, moisture and aerodynamic characteristics and thereby dislocates the natural solar and hydrologic balances, *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 272.

<sup>135</sup> Landsberg (1981) atribui a Gordon Manley (1958) a paternidade do termo “ilha de calor urbano”, entendida como o contraste térmico positivo entre espaços no interior da cidade e o espaço periurbano.

<sup>136</sup> Oke, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, págs. 272/273.

<sup>137</sup> Oke, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág.17.

<sup>138</sup> Oke, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág.7.

---

transporte/troca de energia através do sistema E-A, segundo T. R. Oke, são os modos de Condução, Convecção e Radiação.

Nesse percurso dos fluxos de energia gerados através do sistema Terra-Atmosfera, verifica-se que para a maioria dos subsistemas naturais e em situação designada normal (isto é, sem interferência de fatores externos desviantes) as trocas de energia traduzem-se num balanço energético global em que a igualdade:

$$\text{Input de Energia} = \text{Output de Energia}$$

é válida somente se os mecanismos em análise forem encarados à escala global ou integrados durante um período de tempo razoavelmente longo ( $\approx 1$  ano). Para períodos de tempo mais curtos, o balanço energético apresenta diferenças significativas, baseadas na acumulação e/ou depleção de energia, relativas ao armazenamento/perda de energia no sistema, nomeadamente:

$$\text{Input de Energia} = \text{Output de Energia} + \text{Armazenamento de energia modificada}$$

A ordem de grandeza do excedente energético<sup>139</sup> que resulta deste binómio depende do peso relativo que o total de energia libertada assumir face ao total de energia proveniente da fonte radiante natural que é o sol.

A acumulação e/ou depleção traduzida nesse armazenamento de energia no sistema, configura o fenómeno “Ilha de Calor Urbano” (ICU). Tradicionalmente, segundo T. R. Oke a intensidade da ilha de calor urbano é representada por<sup>140</sup>:

$$\Delta T_{u-r}^{141}$$

Ainda segundo T. R. Oke, se usarmos o quantitativo populacional como um indicador/substituto da dimensão de um centro urbano, podemos com alguma facilidade avaliar a magnitude da ilha de calor.

Os estudos levados a cabo por T. R. Oke em várias cidades norte americanas e europeias (figura 11) mostraram que, em condições “ideais”, sem nuvens e sem vento ou

---

<sup>139</sup> Oke e outros autores avaliaram o excedente energético anual e também nas estações contrastantes de verão e inverno, para áreas de cidades como Nova Iorque, Montréal, Vancouver e outras, a diferentes latitudes- Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 276.

<sup>140</sup> Oke, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 289.

<sup>141</sup> Como explicaremos adiante, este conceito evoluiu bastante até aos nossos dias e a expressão hoje proposta por Stewart e Oke (2012), no sentido de um maior rigor científico e de harmonização de conceitos, consiste em:  $\Delta T_{LCZ 1 - LCZ D}$  (para comparações entre zonas locais da uma mesma área urbana) ou  $\Delta T_{LCZ X - Y}$  (para comparações entre cidades distintas, eventualmente de países diferentes).

com vento fraco, a ilha de calor máxima ( $\Delta T_{u-r \text{ (max)}}$ ) apresenta forte correlação relativamente ao logaritmo da população ( $\log P$ )<sup>142</sup>. O autor conseguiu evidenciar que a intensidade da ilha de calor urbano está em relação funcional com o número de habitantes (P) da cidade e com a velocidade dos ventos regionais não urbanos, que sopram a cerca de 10 m de altitude, segundo aproximadamente a expressão matemática simplificada<sup>143</sup>:

$$\Delta T_{u-r} = (P^{1/2} / 4) v^{1/2}$$

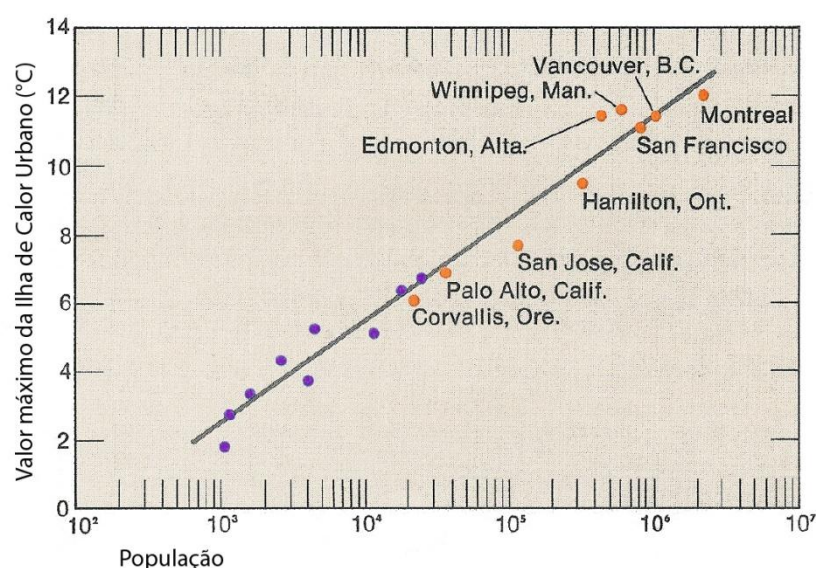


Figura 11 - Correlação População/Ilha máxima de Calor Urbano, para algumas cidades Norte Americanas (os pontos sem nome correspondem a cidades na província de Quebec)  
(Fonte: adaptado de T.R.Oke "Atmospheric Environment", vol.7, pág 769-779, 1973)

O próprio T. R. Oke reconhece, no entanto, que a utilização de P como medida representativa da dimensão de uma cidade<sup>144</sup>, para explicar um fenómeno de carácter físico, é pouco satisfatória. Em sua substituição, sugere o recurso à geometria dos canhões urbanos, associada à medida por ele designada por *sky view factor (svf)*, e ainda a medida da densidade de ocupação do solo urbano. Os referidos estudos evidenciaram também que as emissões antrópicas, a geometria urbana, as diferenças nos materiais de construção e o

<sup>142</sup> Oke, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 291.

<sup>143</sup> C f. Monteiro, A., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág.230.

<sup>144</sup> Oke, T.R., "The use of P as a measure of city size is not very satisfactory in explaining a physical phenomenon." *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 293.

---

grau de desenvolvimento de uma sociedade, constituem fatores corresponsáveis pela magnitude da ICU de uma cidade.

Abordando a questão de uma perspetiva ligeiramente diferente, I. Douglas (1983)<sup>145</sup> considerou que, dependendo de variadíssimos fatores, o balanço energético é muito variável de cidade para cidade e pode ser dado pela fórmula

$$Q_s + Q_f + Q_i = Q_l + Q_g + Q_e$$

sendo que as siglas assumem a seguinte definição:

- **Q<sub>s</sub>** – valor da energia radiante do Sol
- **Q<sub>f</sub>** - calor gerado por combustão, metabolismo e energia dissipada nos processos produtivos
- **Q<sub>i</sub>** – calor emitido pelo interior da Terra
- **Q<sub>l</sub>** – perdas de calor por evaporação (calor latente)
- **Q<sub>g</sub>** – perdas de calor por condução no solo, edifícios e ruas
- **Q<sub>e</sub>** – perdas de calor por irradiação

Muito mais do que no meio rural, em meio urbano são muitos e variados os fatores que interferem na referida igualdade e, conseqüentemente, contribuem para alterar o balanço energético local (Quadros I e II)<sup>146</sup>, concorrendo para a gênese de um clima urbano específico. Para um estudo dessa natureza importa considerar as diferenças na morfologia local, a alteração da cobertura natural do solo, a destruição do coberto vegetal, a reorganização e artificialização das linhas de água, a dimensão da cidade, a geometria, volumetria e a rugosidade urbanas, a orientação do edificado, as propriedades térmicas dos diferentes materiais de construção (asfalto, pedra, cimento), o grau de impermeabilização do solo, o coeficiente de ocupação do solo, o *ratio* altura dos edifícios/largura das ruas, a emissão de calor pelas atividades domésticas, industriais e de serviços, o tráfego, etc. Perante todos estes fatores, verifica-se que nas cidades, comparativamente às periferias não urbanas, o balanço final das entradas (*input* ou ganhos) e saídas (*output* ou perdas) do sistema não é nulo, verificando-se geralmente o seguinte:

---

<sup>145</sup> Douglas, I., *The urban environment*, London, pág 40.

<sup>146</sup> Oke, T.R., “Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 294/300, citados por Monteiro, A., *O Clima Urbano do Porto*, pág. 209: o autor distingue a Ilha de Calor da camada da “copa urbana” e a Ilha de Calor da “camada limite”.



- **Qs** é menor, devido à absorção/reflexão de radiação solar pela grande quantidade de partículas e gases poluentes existentes na troposfera urbana;
- **Qf** é logicamente superior devido à magnitude das ações antrópicas em meio urbano;
- **Ql** é menor, dado que a impermeabilização generalizada das superfícies urbanas e o rápido escoamento diminuem as disponibilidades hídricas para evaporação.

Quadro I - Causas hipotéticas da ilha de calor urbano na "canopy layer"<sup>147</sup>

<b>Alterações no balanço energético conducentes a anomalias térmicas positivas</b>	<b>Características da urbanização que alteram o balanço energético</b>
1. Aumento da absorção de radiação de pequeno comprimento de onda	Geometria de "canyon" urbano - aumento da superfície total exposta e da reflexão múltipla
2. Aumento da radiação de grande comprimento de onda (proveniente do espaço)	Poluição atmosférica - maior absorção e reemissão
3. Diminuição das perdas de radiação de grande comprimento de onda	Geometria do "canyon" urbano - redução do "sky view factor" (svf)
4. Fontes de calor antropogénicas	Perdas de calor pelo edificado e pelo trânsito
5. Aumento do armazenamento de calor sensível	Materiais de construção - maior <i>input</i> térmico
6. Diminuição da evapotranspiração	Materiais de construção - aumento da impermeabilização
7. Diminuição do total de calor transportado por turbulência	Geometria de "canyon" urbano - redução da velocidade do vento

Adapt.de T.R.OKE, *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 294

Perante estados de tempo razoavelmente estáveis, a intensidade da ilha de calor urbano revela um comportamento evolutivo ao longo do dia que é bastante previsível. O que se torna mais evidente e característico é o reduzido arrefecimento urbano ao final da tarde e à noite, que por sua vez se traduz numa temperatura mínima<sup>148</sup> na cidade quase sempre mais alta do que na área rural envolvente.

<sup>147</sup> "Canopy layer" ou camada da copa urbana, ao nível dos telhados.

<sup>148</sup> Na bibliografia temática, são sobretudo os reflexos da urbanização nas temperaturas mínimas os temas mais estudados, mas as consequências da artificialidade provocada pelo meio urbano afectam também muitos outros elementos climáticos. C f. Monteiro, A., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág.207/208.

Quadro II - Causas hipotéticas da ilha de calor urbano na "boundary layer"<sup>149</sup>

Alterações no balanço energético conducentes a anomalias térmicas positivas	Características da urbanização que alteram o balanço energético
1. Fontes de calor antrópicas	Emissões de calor pelos telhados, chaminés e conjuntos industriais
2. Aumento do <i>input</i> do calor sensível - entradas pelos níveis inferiores (de baixo para cima)	Ilha de calor da "canopy" - aumento do fluxo de calor vindo da "canopy" e dos telhados
3. Aumento do <i>input</i> do calor sensível - entradas pelos níveis superiores (de cima para baixo)	Ilha de calor, rugosidade - aumento do fluxo de turbulências
4. Aumento da absorção de radiação de pequeno comprimento onda	Poluição atmosférica - aumento da absorção de aerossóis

Adapt.de T.R.OKE, Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 300

Durante o pôr-do-sol, no crepúsculo e no período imediatamente a seguir, a diferença dada por  $\Delta T_{u-r}$  aumenta rapidamente, atingindo a intensidade máxima entre 3 a 5 horas após o pôr-do-sol. Durante o resto da noite a magnitude da ilha de calor diminui suavemente e é rapidamente esbatida após a aurora. Pelo contrário, a área urbana demora mais tempo a aquecer após o nascer-do-sol, pelo que, embora a ilha de calor possa ocorrer também durante o dia, sendo então geralmente menos intensa, habitualmente verifica-se a ocorrência de "ilhas de frescura" ao meio do dia, isto é, a relação  $\Delta T_{u-r}$  pode até ser negativa<sup>150</sup>.

Pode então concluir-se que a ilha de calor urbano resulta sobretudo da maior inércia térmica das cidades relativamente ao espaço rural circundante; este último arrefece mais rapidamente do que a cidade, principalmente durante a noite, pelo que a ilha de calor é mais facilmente detetável em períodos noturnos, mas pode ocorrer em período diurno, embora com menor intensidade.

Na bibliografia temática são citados inúmeros efeitos das alterações ocorridas na atmosfera urbana, como por exemplo:

- Incremento da frequência e intensidade da coloração avermelhada do céu quando o sol está próximo do horizonte

<sup>149</sup> "Boundary layer" ou camada limite, acima da rugosidade urbana.

<sup>150</sup> Oke, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 291.

- 
- Vento com velocidades excessivamente altas e com direções erráticas nas proximidades de edifícios altos
  - Noites de verão de elevado “*stress*” térmico, em que o previsível arrefecimento do ar citadino parece malograr-se
  - Menor frequência de ocorrência de orvalho nas superfícies da “baixa” ou CBD
  - Período com geada, mais curto na cidade do que nos arredores rurais
  - Germinação e floração precoce das plantas na cidade
  - Chuva na cidade *versus* neve nos subúrbios, quando a temperatura se aproxima do ponto de congelação

Ocorrem também alguns efeitos menos óbvios das alterações da atmosfera urbana, embora não menos importantes, entre os quais podem referir-se os seguintes:

- Modificações na estrutura do ecossistema urbano
- Desaparecimento de líquenes, flores, arbustos e árvores sensíveis aos poluentes
- Adaptação da coloração de mariposas para permitir melhor camuflagem nas superfícies escurecidas pelos poluentes
- Atração de aves para *habitats* urbanos em resultado do aumento do aquecimento

Para demonstrar cientificamente os efeitos climáticos da urbanização, utiliza-se por norma uma de duas possíveis alternativas: recorrer a registos meteorológicos, se existirem, ou recorrer a experiências especialmente preparadas para o efeito. Seja qual for a opção seguida, torna-se necessário definir a base de comparação entre o que se entende como sendo Urbano e Rural.

A situação ideal corresponderia a poder comparar dados de observações pré-urbanas com dados de observações urbanas posteriores. No entanto, os dados pré-urbanos só muito raramente estão disponíveis. Sendo assim, a situação mais comum consiste em comparar os dados de observações urbanas com dados de observações em estações rurais/suburbanas circundantes. Ao recorrer a este subterfúgio, torna-se necessário ter em atenção os chamados fatores de introdução de “ruído”, isto é, fatores externos que podem perturbar de alguma forma os dados.

T.R.Oke divide a atmosfera urbana fundamentalmente em duas camadas distintas (figuras 12, A e B), ambas integradas na “*planetary boundary layer*” (PBL):

- 
- a “*Canopy layer*”<sup>151</sup> (UCL), isto é, a zona entre o solo e, aproximadamente, a altura dos telhados dos edifícios, a qual inclui os edifícios e o ar contido entre os diversos elementos da rugosidade urbana. Surge aqui a necessidade de recorrer ao conceito de topo-escala e microescala (escalas locais) uma vez que as características climáticas nesta área são dominadas pela natureza da circunvizinhança imediata, como materiais com diferentes propriedades, densidades de ocupação do solo muito desiguais e geometrias/volumetrias diversas;
  - a “*Boundary layer*”<sup>152</sup> (UBL), isto é, a camada acima da “*canopy layer*”, cujo limite pode ir até cerca de 100 - 200 metros à noite e até 1,5 Km durante o dia. O topo desta camada é vulgarmente assinalado por uma inversão térmica, geralmente associado à poluição urbana. Considerar esta camada implica o recurso ao conceito de meso-escala (regional).

Retomando a questão das escalas que já havia abordado anteriormente (Oke, 1978/1987), o autor refere mais recentemente (Oke, 2006) que a esfera de ação da climatologia urbana abrange uma vasta diversidade de escalas temporais e espaciais:

- as escalas temporais incluem desde partes de segundo (flutuações de turbulência de pequena escala) até períodos de séculos (mudanças climáticas de longo prazo, ao longo da história de vida de uma cidade);
- as escalas espaciais podem variar desde milímetros (nos pequenos vórtices de turbulência) até milhares de quilómetros de extensão (na pluma urbana poluída da região de uma megalópolis).

Portanto, no caso da climatologia urbana, a tónica é posta nas escalas micro, meso e locais, compreendendo “... *as interações entre tempo e clima e desde edifícios até cidades inteiras, mas as influências de nível superior, como a sinóptica e a macroescala também estão envolvidas*”<sup>153</sup>.

---

<sup>151</sup> Oke, T.R., O autor fala no microclima da UCL como sendo “... caracterizado por considerável complexidade, sobretudo derivada da natureza convoluta da superfície active...”, *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 285 OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 284

<sup>152</sup> Oke, T.R., “The urban boundary layer is that portion of the planetary boundary layer above the urban canopy whose climatic characteristics are modified by the presence of a city at the surface”, *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 297

<sup>153</sup> Oke, T.R. – “Towards better scientific communication in urban climate”, *Theoretical and Applied Climatology*, 84, pág.179–190, 2006 (Pág. 180)

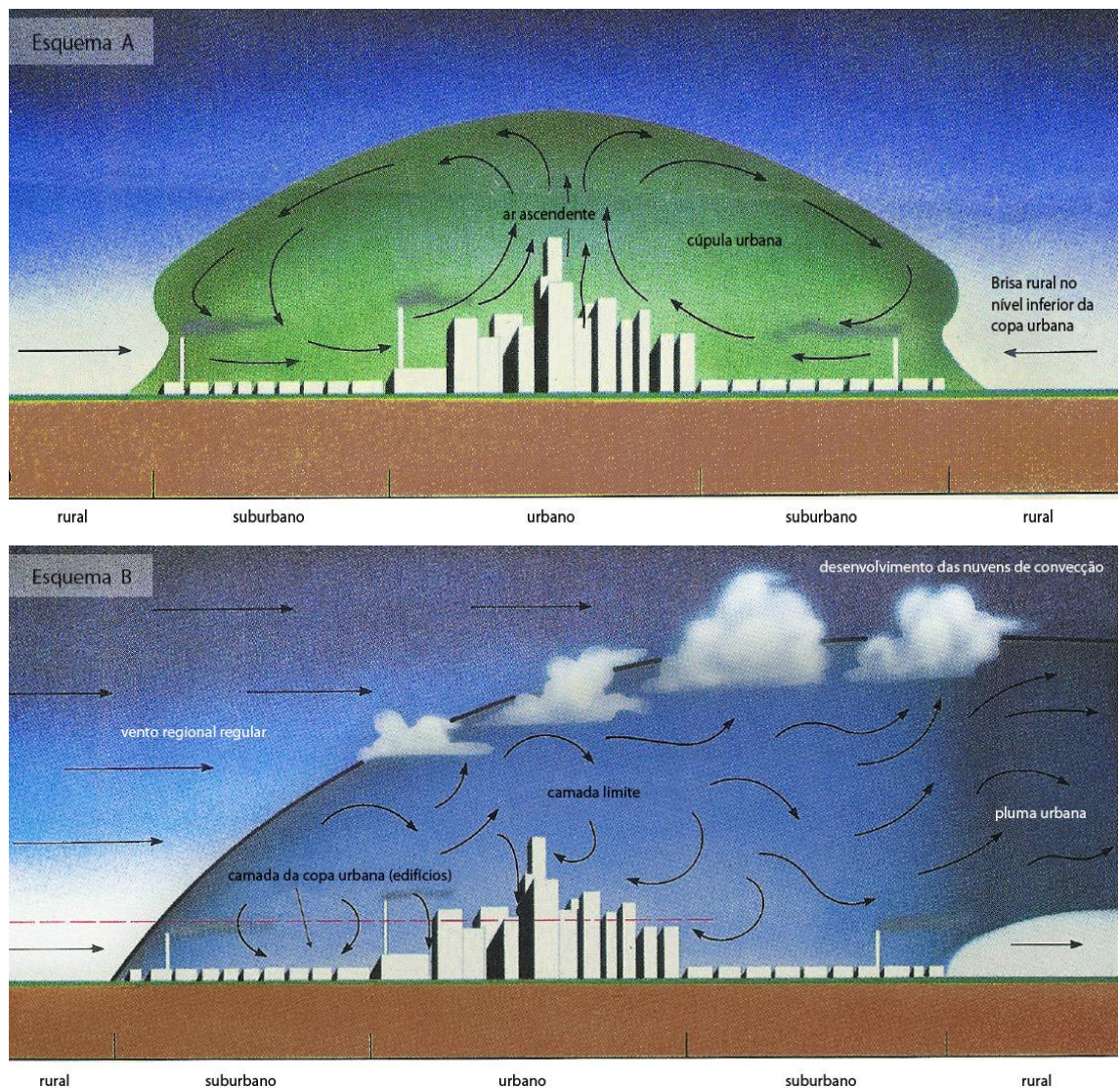


Figura 12 – A e B: Representação esquemática da copa urbana e da camada limite

- A- Circulação do ar na copa urbana (*canopy layer*), com vento fraco ou calmaria<sup>154</sup>
- B- Circulação do ar na copa urbana e na camada limite (*boundary layer*), com vento regional regular – formação da pluma urbana<sup>155</sup>

(Fonte: Adaptado de T OKE, – “The Climate of Urban Areas,” adaptado de “Boundary-Layer Meteorology, vol.1, Pags. 411-437, 1971)

T.R.Oke (1984) considera que nenhum *input* é mais importante para o sucesso de uma estação meteorológica (isto é, para a obtenção de observações meteorológicas representativas), do que a consideração do conceito de escala<sup>156</sup>, referindo três níveis de

<sup>154</sup> Oke, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York , pág 298.

<sup>155</sup> Idem, pág. 298.

<sup>156</sup> Oke, T. R. - “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report 81, WMO/TD-No. 1250”, pág. 2, 2006.

---

escalas horizontais (microescala, escala local e meso-escala) e fazendo depender a extensão, nas escalas verticais, mais da situação de estabilidade/instabilidade da atmosfera do que das características da superfície.

Embora entendendo que devem ser sempre observadas as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) – agência especializada da Organização das Nações Unidas – para a instalação de estações meteorológicas em meio urbano, Oke admite que *“Nas áreas urbanas, às vezes é necessário aceitar a exposição em superfícies não-padrão, a alturas do solo não-padrão, para distinguir observações entre dois ou mais locais, ou para se localizar mais perto do que é habitual relativamente a edifícios ou exaustores de calor residual”*<sup>157</sup>.

A literatura específica sobre o tema permite concluir algumas generalidades acerca da “ilha de calor” urbano:

- a “ilha de calor” é ubíqua – foi observada em latitudes temperadas, nos trópicos e nas altas latitudes;
- a forma e dimensão do fenómeno da ilha de calor urbano varia no tempo e no espaço como resultado de especificidades meteorológicas, de localização e das próprias características urbanas;
- o efeito da ilha de calor urbano é maior durante a noite, sobretudo sob condições de vento fraco e céu limpo, podendo as temperaturas em meio citadino atingir valores de 6°- 8° mais elevados que o meio rural envolvente;
- não se restringe a grandes cidades pois foi também observada em locais com menos de 1000 habitantes<sup>158</sup>;
- pode estender-se na vertical, em altitude, até dentro da camada “boundary”, originando assim formas distintas muito dependentes da intensidade e direção dos ventos:
  - com ventos regionais fracos forma-se uma cúpula/copa urbana de forma arredondada que favorece movimentos convectivos do ar e inibe a dispersão dos poluentes<sup>159</sup> (rever figura 12-A);

---

<sup>157</sup> Oke, T. R. - “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report 81, WMO/TD-No. 1250”, pág. 2, 2006.

<sup>158</sup> Oke, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York , pág 291.

<sup>159</sup> “The Distinction Between Canopy and Boundary-Layer Urban Heat Island”, em “Atmosphere”, vol.14, n°4, Pags. 268-277, Vancouver, 1976, Pág. 274.

- 
- com ventos regionais regulares forma-se uma pluma/penacho, alongada em altitude na direção oposta àquela de onde sopra o vento<sup>160</sup>, que favorece o desenvolvimento de nuvens convectivas e faz alastrar a influência da atmosfera urbana a muitos quilómetros de extensão; segundo T.R.Oke essa influência pode ir até cerca de 200 Km (rever figura 12- B).

Na “canopy layer” os movimentos do ar são complexos: à escala micro e local, junto de edifícios bastante altos, geram-se correntes fortes de ar nas esquinas e passagens entre ou sob os edifícios, aumentando o desconforto climático para os cidadãos utilizadores dessas áreas; pelo contrário, nas praças mais fechadas e aparentemente abrigadas, geram-se movimentos turbilhonares complexos que indiciam problemas na renovação do ar.

Na camada limite (“boundary layer”), devido à considerável rugosidade urbana<sup>161</sup>, origina-se muito maior turbulência do que a existente em meio rural e ocorrem mudanças substanciais na direção do vento.

Esta situação faz com que, à escala meso/regional os edifícios funcionem como barreiras à passagem do ar e reduzam a velocidade dos ventos e as condições de arejamento (foram efetuados estudos em Lisboa sobre a ocupação, por construções compactas e de grandes dimensões, da “alta” nordeste da cidade, em que são abordadas as consequências da modificação dos campos de vento, nomeadamente nas condições de arejamento da parte baixa da cidade)<sup>162</sup>.

Esta aparente contradição entre os fenómenos relacionados com a velocidade e direção do vento observados aos níveis da “canopy layer” e da “boundary layer” implica que, perante novas construções, devam ser feitas experiências em túneis de vento com modelos à escala, no sentido de precaver futuras situações de efeitos indesejáveis<sup>163</sup>, uma vez que se verificou que as medições comparativas de velocidade e direção do vento efetuadas em volta de estruturas de dimensão real, proporcionam resultados muito aproximados aos da modelação, desde que sejam também incluídas na simulação as outras

---

<sup>160</sup> “The Distinction Between Canopy and Boundary-Layer Urban Heat Island”, em “Atmosphere”, vol.14, nº4, Pags. 268-277, Vancouver, 1976, Pag. 275.

<sup>161</sup> “The roughness elements of a city are mainly its buildings”, OKE, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 298.

<sup>162</sup> Lopes, António, “O vento na cidade. Do regional ao local”, colóquio Clima e Ambiente Urbano, Março 2004, Lisboa.

<sup>163</sup> Oke, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York , pág 264.

---

variáveis habitualmente envolvidas (perfis de vento e de turbulência, alterações devidas à proximidade de outros eventuais edifícios e topografia).

Os poluentes pertencem ao grupo de substâncias que podem tornar-se perniciosas, sejam de proveniência natural ou antropogénica: a sua concentração barra a passagem, até à superfície terrestre, das radiações de pequeno comprimento de onda, pelo que as áreas urbanas podem receber até cerca de 30% menos do total de radiação, quando comparadas com o meio rural (nomeadamente os raios UV – ultra violetas – podem ser reduzidos até 90% em consequência desse barramento)<sup>164</sup>. Devido às propriedades químicas bactericidas dos raios UV, a sua retenção nos poluentes atmosféricos pode acarretar risco para animais, plantas, vida microbiana e para a saúde pública em geral.

Os níveis de poluição da atmosfera urbana são condicionados sobretudo por duas classes de fatores: a natureza das emissões poluentes e o estado momentâneo da atmosfera. A dispersão dos poluentes é controlada pela própria dinâmica atmosférica, a diversas escalas, devido ao vento e à turbulência. Um dos elementos mais importantes a ter em conta é a estratificação térmica vertical da baixa atmosfera<sup>165</sup>, pois é ela que inibe ou potencia três importantes fatores:

- a estabilidade vs instabilidade atmosférica;
- a intensidade da turbulência;
- a extensão da camada turbulenta.

Muitos dos poluentes, em especial o dióxido de carbono, partículas, ozono, óxidos de azoto e de enxofre e ainda o vapor de água, têm efeitos consideráveis nas radiações de grande comprimento de onda, sobretudo através da redução das perdas por irradiação emitidas pela superfície urbana para a atmosfera e para o espaço (Quadro III).

Muitos desses poluentes são higroscópicos pelo que, associados à formação acrescida de vapor de água pelas combustões, perante ascensão do ar e respetivo arrefecimento adiabático, podem potenciar o desenvolvimento de nuvens e, conseqüente, probabilidade de precipitação.

---

<sup>164</sup> Oke, T.R. "The Climate of Urban Areas," in "Boundary-Layer Meteorology, vol.1, Pags. 411-437, 1971.

<sup>165</sup> Oke, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York , pág 305.



Quadro III - Tipos de poluentes atmosféricos e respetivas fontes

Tipo de Poluente*	Fonte	
	Natural	Antropogénica
<b>Partículas</b> (sólidas e líquidas, de +100µm a < 0,1)	Vulcões	Combustão Processamento industrial (cimenteiras, fundições, construção, etc)
	Acção do vento	
	Meteoros	
	Espuma marinha	
	Incêndios florestais	
<b>Compostos de enxofre</b>	Bactérias	Queima de combustíveis fósseis Processamento industrial
	Vulcões	
	Espuma marinha	
<b>Monóxido de carbono</b>	Vulcões	Motores de combustão
	Incêndios florestais	Queima de combustíveis fósseis
<b>Dióxido de carbono</b>	Vulcões	Queima de combustíveis fósseis
	Animais	
	Plantas	
<b>Hidrocarbonetos</b>	Bactérias	Motores de combustão
	Plantas	
<b>Compostos azotados</b>	Bactérias (decomposição orgânica)	Combustão

\*Os poluentes secundários não foram mencionados devido às quantidades emitidas diminutas, mas podem ser muito perigosos devido à elevada toxicidade e, por isso, não devem ser negligenciados.

Fonte: Adapt.de T.R.OKE, Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 307 (modificado segundo Varney e McCormac, 1971)

É a estratificação térmica vertical da baixa atmosfera, que exerce a sua influência e controla o movimento dos poluentes na camada limite (“boundary”). Por isso, as melhores condições para a dispersão dos poluentes ocorrem perante situações de forte instabilidade e uma camada profundamente agitada. Pelo contrário, as condições menos favoráveis à dispersão dos poluentes ocorrem quando há uma inversão<sup>166</sup> de temperatura e a camada limite se encontra estável, por supressão ou eliminação dos movimentos ascendentes do ar.

Os efeitos da artificialização provocados pela urbanização que se repercutem nos climas, têm sido abordados sobretudo às escalas topo-climática e meso-climática. Mas

<sup>166</sup> Oke, T.R., “Por definição, uma inversão ocorre quando ar quente jaz sobre ar frio”, Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 310.

---

estudos relativamente recentes, efetuados por investigadores do *Laboratório de Ambientes Antrópicos da Universidade de Ciências e Tecnologias*, em Lille (França, 2002)<sup>167</sup>, revelaram que, à escala microclimática, as alterações induzidas pela artificialização do meio são extremamente complexas. A pesquisa que inicialmente se propuseram efetuar pretendeu abordar experimentalmente a análise do impacto da heterogeneidade do substrato sobre a organização espacial de um campo térmico noturno em meio urbano, a partir de medições em 10 postos fixos (medições micro-meteorológicas noturnas de temperatura, efetuadas em índice actinotérmico, isto é, a 50 cm da superfície e sem abrigo, e registo da velocidade e direção do vento).

A parte experimental foi levada a efeito num fragmento urbano composto por um quadrado de apenas 250m de lado, no *campus* universitário de Lille. Constituído por construções de alturas diferentes intercaladas com espaços relvados ou asfaltados, o sítio das medições pretendeu abranger locais com uso do solo muito heterogéneo, selecionado em função do revestimento do solo e da sua geometria.

De entre as várias conclusões a que se chegou, salienta-se uma, aparentemente surpreendente: o facto de a variação da temperatura em índice actinotérmico se revelar maior em distâncias muito curtas (à escala microclimática, entre lugares da cidade muito próximos) do que entre o interior da cidade de Lille e o seu espaço rural envolvente (portanto, às escalas topo-climáticas e meso-climáticas).

Este estudo demonstrou a necessidade de encarar de forma muito rigorosa a envolvente imediata dos sensores quando se efetuam medições itinerantes para análise, interpolação e cartografia da ilha de calor urbano. E mostra também a importância dos estudos à escala microclimática, que devem sempre complementar os estudo à escala topo-climática.

---

<sup>167</sup> Charabi, Y., Quenol, H., Beltrando, G., Kergomard, C., “Variation du Champ Thermique Nocturne Estival a l’Interieur d’un Fragment Urbain”, Laboratoires des milieux anthropisés, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2003.

---

Mais recentemente, mas pelo menos já desde 2004, autores como T.R. Oke<sup>168</sup> e Iain D. Stewart<sup>169</sup> têm vindo a desenvolver um sistema de classificação de base climática do uso/estrutura de classes de solo urbano-rural (designado por Local Climate Zones System, LCZ na sigla inglesa), no sentido de facilitar a cooperação/comparação entre trabalhos de grupos de investigação sobre Clima Urbano de países diferentes, tentando harmonizar as tipologias de solo e a respetiva nomenclatura. Este sistema das Zonas de Clima Local (LCZ), que surgiu inicialmente sob a forma de um método experimental para a classificação das paisagens<sup>170</sup> e foi ao longo do tempo sofrendo grandes alterações até chegar ao estágio atual<sup>171</sup> – por sugestões e contributos diversos da sua comunidade-alvo – foi pensado, em primeiro lugar, para investigadores de Ilha de Calor Urbano, mas pode ser também útil para urbanistas, arquitetos paisagistas, ecologistas, investigadores da área das alterações climáticas e outros.

As Zonas de Clima Local constituem hoje um sistema genérico de classes de cobertura e de estrutura do solo urbano-rural, sistema esse que deve poder aplicar-se a qualquer cidade de forma relativamente fácil, isto é, as LCZ foram pensadas para terem uma aplicabilidade praticamente universal<sup>172</sup>. A sua grande vantagem consiste, por um lado, em uniformizar a terminologia associada ao estudo dos climas urbanos de forma a esta ser perceptível para qualquer investigador, em qualquer parte do mundo; e por outro lado, em *standardizar* as classes de ocupação do solo e respetiva parametrização, no sentido de facilitar as comparações a nível internacional.

---

<sup>168</sup> T. R.Oke apresenta na página 11 do Relatório nº 81 da WMO, “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No. 1250, 47 pp”, 2006, uma primeira proposta de LCZs: *Table 1: Simplified classification of distinct urban forms arranged in approximate decreasing order of their ability to impact local climate [Oke, 2004 unpublished]*.

<sup>169</sup> Stewart, I. D. – Measuring the Urban Heat Island Intensity: Challenges with “Urban-Rural” Differentiation and the East Asian City, (with Timothy Oke). Invited paper, 2nd Workshop on Earth Observation for Urban Planning and Management: Sub-theme Urban Heat Island / Urban Climatology, Hong Kong Polytechnic University. May 20–21, 2008.

<sup>170</sup> Stewart, I., Oke, T. R. -. ‘Methodological concerns surrounding the classification of urban and rural climate stations to define urban heat island magnitude.’ Paper presented at the *6th International Conference on Urban Climate*, June 12–16, Goteborg, Sweden, 2006.

<sup>171</sup> “...os utilizadores potenciais do sistema ligados à comunidade internacional do clima, foram convidados a dar o *feedback* sobre a natureza geral do sistema, as suas aplicações a contextos locais, e sobre as suas tendências culturais e regionais. Esta exposição precoce do sistema à sua comunidade-alvo resultou em mudanças substanciais no número, natureza e nomenclatura das classes individuais”: Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

<sup>172</sup> Stewart, I., Oke, T. - Classifying Urban Climate Field Sites by “Local Climate Zones”: The Case of Nagano, Japan.

---

Não se torna necessário que as LCZ identificadas numa qualquer cidade tenham de ser controladas ou validadas por uma entidade específica, nacional ou internacional. O investigador pode simplesmente utilizar os dados e metadados de que disponha, relativos às características da superfície do solo da sua cidade, para identificar e classificar com rigor o conjunto de tipologias das LCZ que existam na sua área de estudo, baseando-se no sistema desenvolvido por I. D. Stewart e T. R. Oke (2012) quanto a metadados e terminologia específica. Mas, quer os investigadores nos seus estudos locais, quer os revisores e editores das suas obras, são incentivados a efetuar o seu trabalho com cada vez mais rigor e espírito crítico, no sentido da harmonização comparativa<sup>173</sup>.

A magnitude da Ilha de Calor Urbano (ICU) constitui o indicador de modificação do clima das cidades mais amplamente utilizado e reconhecido nas ciências ambientais, tendo a sua intensidade e efeitos sido observados e documentados em milhares de cidades e vilas de todo o mundo<sup>174</sup>, embora por vezes essas observações pequem por pouco objetivas.

Na perspetiva tradicional, a intensidade da ICU é definida como a diferença simultânea entre a temperatura do ar em meio urbano vs meio rural, ao nível da copa urbana (Oke,1987)<sup>175</sup>, entendendo-se nesse caso como "rural" o ambiente aberto não urbano e como "urbano" o espaço construído da cidade. Trata-se de uma definição simples e aparentemente intuitiva mas a sua utilização prática, torna-se muitas vezes pouco objetiva e, por isso mesmo, inconsistente<sup>176</sup>, isto é, a dicotomia urbano-rural é demasiado simplista para uma classificação universal das paisagens.

---

<sup>173</sup> "... é sua responsabilidade [dos investigadores] seguir as orientações relativamente simples para a instalação dos instrumentos, exposição, metadados e classificação, conforme estabelecido no presente artigo e no "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation" da WMO (2008)" Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

<sup>174</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Newly developed "Thermal Climate Zones" for defining and Measuring urban heat island magnitude in the canopy layer", Paper presented at the *T.R. Oke Symposium & 8th Symposium on Urban Environment*, January 11–15, Phoenix, AZ, USA, 2009.

<sup>175</sup> Oke, T.R. – Boundary layer climates, 1987: Oke distingue entre a ICU da "canopy layer" (pág. 294) e a ICU da "boundary layer" (pág. 300).

<sup>176</sup> Stewart, I. D. – Measuring the Urban Heat Island Intensity: Challenges with "Urban-Rural" Differentiation and the East Asian City, (with Timothy Oke). Invited paper, 2nd Workshop on Earth Observation for Urban Planning and Management: Sub-theme Urban Heat Island / Urban Climatology, Hong Kong Polytechnic University. May 20–21, 2008.

---

O déficit de objetividade dos estudos de climatologia urbana pode ser atribuído fundamentalmente a duas causas: por um lado, a literatura da especialidade não é totalmente inequívoca na distinção entre aquilo que é "urbano" e o que é "rural", isto é, o conceito do "urbano" não está unívoca e objetivamente definido, pelo que não lhe pode ser atribuída efetiva relevância climatológica (esta questão da distinção entre urbano/rural, é paradigmática relativamente às regiões do Sudeste Asiático<sup>177</sup>, onde zonas tipicamente rurais se caracterizam por usos do solo muito intensivos e de elevadas densidades populacionais<sup>178</sup>); por outro lado, geralmente a literatura é incompleta ou omissa na caracterização do uso do solo e das características de exposição solar dos locais em estudo, fatores esses que influenciam fortemente a intensidade da ICU.

Na generalidade, a ausência de utilização de metadados padronizados tem dado azo a críticas severas, muitas delas fundamentadas, acerca das comparações estabelecidas entre as ilhas de calor de diferentes cidades. Estes argumentos – que são suportados pela evidência de uma síntese da literatura da especialidade publicada entre 1950 e 2007, efetuada sobre uma amostra de cerca de 180 estudos empíricos da ICU de cidades em todo o mundo<sup>179</sup>, acompanhados de diversas visitas de estudo recentes *in situ* na Europa, América do Norte e Leste da Ásia – apontam para a necessidade de uma redefinição do conceito de intensidade da ICU e para a premência da implementação de um sistema classificativo que obedeça a normas inequívocas e objetivas. Nesse estudo de síntese, Stewart e Oke<sup>180</sup> (2009) verificaram que 1/3 da literatura empírica da Ilha de Calor Urbano se limita simplesmente a declarar as áreas de estudo analisadas como suficientemente "urbanas" ou "rurais", sem efetuar qualquer descrição quantitativa ou qualitativa dos locais de aquisição da informação; e que 2/3 terços dessa literatura apresenta apenas uma descrição qualitativa, ainda sem quaisquer indicadores objetivos e mensuráveis das

---

<sup>177</sup> "... it is Asia, in particular, where the difference between city and countryside is better described as a *continuum* than a *divide*." Stewart, I., Oke, T. R. -. 'Methodological concerns surrounding the classification of urban and rural climate stations to define urban heat island magnitude.' Paper presented at the *6th International Conference on Urban Climate*, June 12–16, Goteborg, Sweden, 2006.

<sup>178</sup> Jean Gottmann (1915–1994), geógrafo e teórico do urbanismo, escreveu: "There are today two great areas of densely agglomerated people: one of them is highly urbanized, in North America and Western Europe... The other is predominantly rural, in the south and east of Asia." in Gottmann, J. - *Megalopolis. The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States*. Twentieth Century Fund, New York, 1961

<sup>179</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Newly developed "Thermal Climate Zones" for defining and Measuring urban heat island magnitude in the canopy layer", Paper presented at the *T.R. Oke Symposium & 8th Symposium on Urban Environment*, January 11–15, Phoenix, AZ, USA, 2009.

<sup>180</sup> *idem*

---

propriedades do local, ou seja, sem indicadores que estejam baseados em fatores que se sabe que influenciam diretamente a magnitude da ICU<sup>181</sup>, como a geometria da superfície, a exposição solar ou a cobertura do solo.

Uma alternativa para a diferenciação rigorosa do "urbano-rural" surge justamente sob a forma da proposta de uma classificação multidimensional em que os critérios base não se fundamentam em avaliações subjetivas da ICU, mas sim na normalização sistematizada com recurso a parâmetros climatologicamente relevantes para a caracterização da cobertura da superfície e tipos de construção. No entanto, o sistema das LCZ na sua versão mais atual, tem por base um processo de desenvolvimento e de transformação ao longo de mais de duas décadas, ancorado em numerosos trabalhos de investigação que lhe estão subjacentes, resultantes de uma constante troca de ideias entre a comunidade científica ligada à temática, e da qual tentaremos fazer uma pequena resenha evolutiva.

Foi W. Lowry (1977) quem iniciou o processo de desmontagem da dicotomia empírica do urbano-rural<sup>182</sup>, introduzindo a noção de temperaturas “pré-urbanas”<sup>183</sup>: Lowry define este conceito não como sendo representativo do espaço urbano ou rural, mas de uma época anterior à influência humana no clima urbano, admitindo que as temperaturas do espaço pré-urbano moderno lhe possam ser razoavelmente análogas. Sendo a climatologia urbana uma ciência ainda relativamente recente, não existem muitos sistemas de classificação da paisagem à escala climática local. O Quadro IV representa uma tentativa de síntese de alguns dos primeiros sistemas classificativos que foram surgindo relacionados com a temática, com o caso de Chandler (1965) a encabeçar a lista por ter sido, provavelmente, o primeiro climatólogo urbano<sup>184</sup> a desenvolver uma classificação da cidade, com base climática.

---

<sup>181</sup> “These statistics expose a critical gap in the portrayal of city and country landscapes in urban climate literature. This gap has received little attention among urban climatologists despite early indications from Luke Howard—the nineteenth-century pioneer of heat island research—that a common tongue among all meteorologists is necessary for rapid scientific progress (Howard, 1833)”.in Stewart, I. D., Oke, T. R. - Thermal differentiation of Local Climate Zones using temperature - observations from urban and rural field sites. Paper presented at the 9th Symposium on Urban Environment, August 2–6, Keystone, CO, USA, 2010.

<sup>182</sup> “Urban theorists now contend that the spatial demarcation between urban and rural is artificial, and that the relation between city and country is more accurately described as a continuum, or a dynamic, rather than as a dichotomy (Gugler 1996)”, citado por . Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

<sup>183</sup> Lowry, W.P., - “Empirical estimation of the urban effects on climate: A problem analysis”. *J. Appl. Meteorol.*, 16, 129–135, 1977.

<sup>184</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

---

Desde os sistemas americanos, antigos ou modernos, aos “climatopos”<sup>185</sup> tipicamente europeus, cada sistema classificativo contribuiu, ao longo do tempo, em diferentes graus e de diversas formas, para melhorar e objetivar o conhecimento em climatologia urbana em geral e da investigação da ICU em particular, clarificando conceitos, estabelecendo critérios, implementando metodologias e introduzindo parametrização quantificável e comparável.

Mas, apesar dessa evolução dinâmica, subsistem algumas limitações<sup>186</sup>:

- a definição das classes de cada sistema de classificação nem sempre se baseia num conjunto completo<sup>187</sup> das propriedades climáticas da superfície;
- um sistema que não inclua também a classificação de paisagens rurais ou que seja demasiado conotado com aspetos específicos culturais e/ou regionais, não se adequa à investigação universal da ICU<sup>188</sup>;
- o uso do “climatopo” funciona muito bem para a maioria das áreas urbanas e tem grande aplicabilidade em planeamento, mas os conceitos e a definição de classes podem ser muito variáveis de lugar para lugar, pelo que esses sistemas de classificação não cumprem cabalmente o objetivo da comparação universal.

Referimo-nos de seguida, com algum detalhe, ao processo evolutivo das classificações propostas por Stewart e Oke, posteriormente elaboradas a partir da classificação inicial das UCZ de Oke (Urban Climate Zones, 2004/2008).

---

<sup>185</sup> “Os climatopos são áreas homogéneas do ponto de vista físico (em termos de morfologia urbana e posição topográfica), que “interagem” de modo particular com a atmosfera. A cada climatopo corresponderá um clima local próprio...”. Alcoforado, M. J. et al – “Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa”, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. Área de Investigação de Geo-Ecologia, Lisboa, 2006.

<sup>186</sup> “These ... classifications contain many features that align with the aims of heat island observation. Their limitations, however, must be recognized.” In Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

<sup>187</sup> Citado por Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012: “Um conjunto completo consiste nas propriedades físicas da estrutura da superfície, cobertura, materiais e metabolismo (Oke 2004)”.

<sup>188</sup> Idem: “The classifications of Chandler, Auer, Ellefsen, and Oke are all predisposed to the form and function of modern, developed cities, so their use in more diverse economic settings is limited”.

Quadro IV – Paisagem Urbano-Rural: resenha evolutiva dos principais sistemas de classificação

Sistema de classificação	Época/Data	Área de abrangência/Aplicação	Crítérios base
Chandler	1965	• Divisão da “Grande” Londres em 4 regiões locais.	• Clima; • Fisiografia; • Formas construtivas.
Auer	1978	Classificação urbano-rural da cidade de St. Louis, USA, em 12 áreas “meteorologicamente significativas”.	• Uso do solo; • Cobertura vegetal urbana.
Ellefsen <sup>1*</sup>	1990/ 1991	• Zonas de Terreno Urbano (Urban Terrain Zones - UTZ) <sup>189</sup> ; • Aplicado a 10 grandes cidades norte americanas, com 3 zonas-tipo e 17 sub-tipos.	Sistema à escala do bairro/quarteirão: • Morfologia do edificado; • Configuração das ruas; • Materiais de construção.
Davenport et al	2000	• Terreno Urbano/Rural (rugosidade do Terreno Urbano/Rural)	Classificação aerodinâmica dos elementos da superfície (edifícios, árvores, colheitas) quanto a: • Altura; • Densidade.
Oke	2004/ 2008	• Zonas de Clima Urbano <sup>190</sup> (Urban Climate Zones -UCZ), sistema baseado nas formas urbanas <sup>191</sup> , organizado por ordem hierárquica decrescente da sua capacidade de refletir o efeito do clima local; • Aplicado a 7 regiões homogéneas de “Terreno Urbanizado”	Capacidade dos constituintes <sup>2*</sup> do “Terreno Urbanizado” de refletirem o efeito do clima local, quanto a: • Rugosidade aerodinâmica; • Ratio médio altura/largura; • Percentagem de espaço construído <sup>3*</sup> (impermeabilização)
Wilmers	1991	• Sistema de “climatopos” <sup>4*</sup> : classifica territórios/climas locais urbanos; • Aplicado a 9 climas locais na cidade de Hannover, Alemanha	• Vegetação; • Estrutura da superfície; • Uso do solo.
Scherer	1999	• Sistema de “climatopos”, aplicado a Basileia, Suíça (aplicável a outras regiões)	Baseado em sistemas de deteção remota: • Uso do solo (conceito de “Áreas –tipo”); • Classes de ventilação.
Alcoforado <sup>192</sup> et al	2005	• Aplicado à cidade de Lisboa, com 8 classes de climatopos, resultantes da simplificação de 24 grupos de climatopos diferentes.	• Morfologia urbana (classes de ocupação do solo- baixa, média e elevada densidades) • Classes de ventilação (topografia e rugosidade aerodinâmica)
Loridan e Grimmond	2011	• “Zonas Urbanas para a caracterização da proporcionalidade de Energia” (UZE’s)	Classes definidas por valores-limite relativos a: • Frações de superfície vegetativa ativa <sup>5*</sup> ; • Frações de superfície construída.

<sup>1\*</sup>Primeiro sistema a considerar a estrutura (*attached/detached*) e os materiais urbanos; <sup>2\*</sup> Edifícios, árvores e outros elementos do espaço urbano; <sup>3\*</sup>Edifícios, estradas, pavimentos e outras superfícies impermeabilizadas; <sup>4\*</sup>Os climatopos baseiam-se no conhecimento das características locais de vento, temperatura, uso do solo, estrutura construtiva, relevo e densidade populacional, sendo muito usados para fins de planeamento. <sup>5\*</sup>“Ativa” no sentido de estar relacionada com as trocas de energia.

<sup>189</sup> Oke, T. R. - “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No.1250” pág. 9, 2006.

<sup>190</sup> Incorpora aspetos das classificações de Auer e Ellefsen, acrescidos de parâmetros físicos relativos a vento, influências térmicas (exposição solar e radiação) e de humidade.

<sup>191</sup> Sistema criado em 2004, não publicado isoladamente, faz parte do relatório produzido para a Organização Mundial de Meteorologia por: Oke, T. R. - “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No. 1250, pág. 11”, 2006.

<sup>192</sup> Alcoforado, M. J. et al – “Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa”, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. Área de Investigação de Geo-Ecologia, Lisboa, 2006.



---

Numa segunda abordagem, já em colaboração com I. Stewart (2009)<sup>193</sup>, o sistema classificativo de Oke (UCZ, 2004/2008, rever Quadro IV) sofreu alterações consideráveis, passando a designar-se por “Zonas de Clima Térmico” (Thermal Climate Zones, TCZ). A principal origem dos dados subjacentes a este novo projeto de classificação teve por base:

- a análise da literatura empírica sobre a ICU publicada entre 1950 e 2007, já atrás referida;
- a incorporação de elementos dos sistemas de Ellefsen (1990/1), Davenport et al. (2000), e Oke (2004), os quais proporcionaram apoio adicional para o desenvolvimento do sistema na normalização das propriedades das classes, no que se refere às características de radiação, de humidade, térmicas e aerodinâmicas;
- dados recuperados de estudos de modelação computacional, deteção remota, textos gerais de física da climatologia, e outros;
- a consulta de literatura sobre morfologia urbana (descrições regionais e ilustrações das formas de variadas cidades, no mundo).

Este projeto iniciou-se com a definição de um “Universo”-classe, que não é mais do que a “Paisagem”<sup>194</sup>, que foi dividida segundo dois princípios de escalas distintas (Fig. 13):

- em primeiro lugar, o princípio da alteração da superfície, isto é, o grau hierarquizado de alteração/substituição da cobertura nativa (florestas, pastos, solos), por uma cobertura não-nativa (edifícios, estradas, lavouras), princípio esse que dá origem a quatro classes ou séries à escala local – séries Cidade, séries Misto, séries Agrícola e séries Natural;
- em segundo lugar, as 4 séries foram subdivididas, de acordo com as propriedades da superfície que são relevantes, à microescala, para o clima térmico da camada da “copa urbana” em 20 subclasses ou zonas (segundo propriedades tais como: altura da rugosidade da superfície, que influencia o regime dos fluxos; a fração de superfície impermeabilizada, a qual afeta o calor sensível vs latente; o *svf* ou porção de céu visível, que influencia a radiação; a admissão térmica, que modula os ciclos de

---

<sup>193</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Newly developed “Thermal Climate Zones” for defining and Measuring urban heat island magnitude in the canopy layer”, Paper presented at the *T.R. Oke Symposium & 8th Symposium on Urban Environment*, January 11–15, Phoenix, AZ, USA, 2009.

<sup>194</sup> *Idem*: “Landscape” is ... defined by *Oxford English Dictionary* as “a tract of land with its distinguishing characteristics and features, especially considered as a product of modifying processes and agents.” “Landscape” is for our purposes a *local-scale* tract (i.e., 100s of metres)...”.

aquecimento e arrefecimento de solos e materiais de construção; o albedo, que influencia a absorção de calor pela superfície; e o fluxo de calor antropogénico, que contribui para alterar o balanço energético da superfície).

### Zonas de Clima Térmico (TCZ)

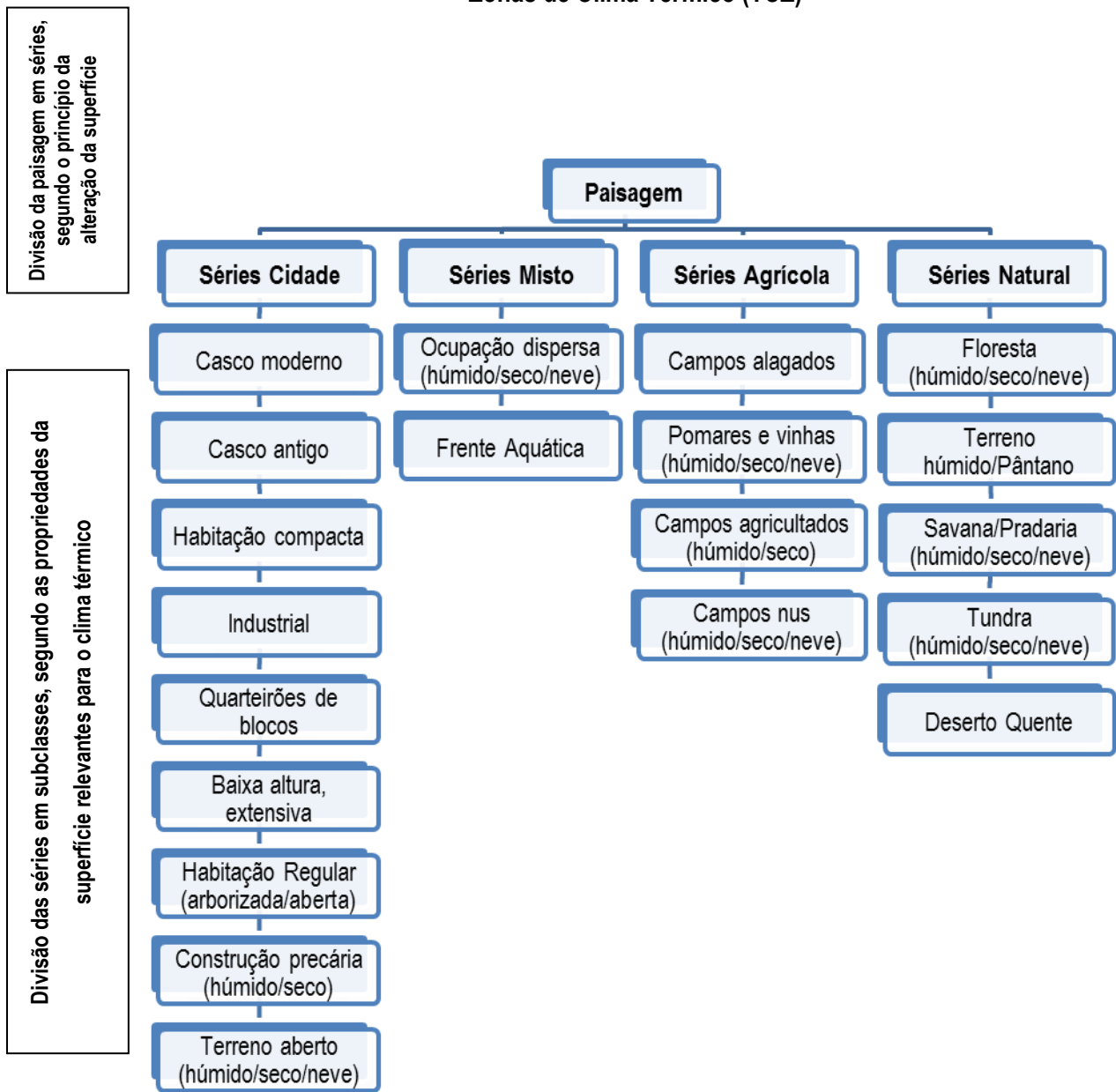


Figura 13 – Zonas de Clima Térmico (TCZ’s): divisão lógica do “Universo” Paisagem em séries e subclasses.

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (Janeiro/2009) - Newly developed “Thermal Climate Zones” for defining and Measuring urban heat island magnitude in the canopy layer”.

---

As 20 subclasses ou “Zonas de Clima Térmico” obtidas por este processo, definem-se como zonas à escala local, caracterizadas por apresentarem temperaturas do ar relativamente homogêneas na camada da copa urbana, sendo cada zona individualizada por um conjunto distintivo de propriedades únicas.

Assumindo que o sistema não estava totalmente otimizado – e com base nos contributos e críticas dos investigadores que foram utilizando o sistema de classificação de Stewart e Oke (2009) – os autores procederam a algumas alterações no sistema TCZ, efetuando nomeadamente (figura 14)<sup>195</sup>:

- alteração à designação do sistema, que passou a denominar-se Zonas de Clima Local (Local Climate Zones, LCZ);
- pequenas alterações na organização do “Universo Paisagem”, que mantém 4 séries de paisagens mas reduz as subclasses para 19;
- modificação de parte da terminologia utilizada, renomeando algumas das subclasses.

Individualmente, cada “zona” corresponde a uma escala horizontal local de aproximadamente  $10^2$  a  $10^4$  metros e refere-se a regiões homogêneas de clima urbano. As séries *Cidade* são as mais numerosas do sistema LCZ, como não podia deixar de ser, e apresentam uma certa correspondência aproximadamente às classes da primeira classificação de Oke datada de 2004 (UCZ)<sup>196</sup>; as séries *Misto*, embora constituam somente duas subclasses, são fundamentais para o sistema pois reproduzem as paisagens de transição urbano-rural.

Com o objetivo de evidenciar as vantagens do sistema de classificação das Zonas de Clima Local, relativamente à tradicional utilização empírica do contraste urbano-rural, os autores efetuaram um exercício prático de aplicação à área de Nagano, Japão: com este estudo pretenderam exemplificar os procedimentos na aplicabilidade concreta do sistema, assim como testá-lo, dada a grande complexidade das paisagens e uma vez que este tipo de região asiática constitui um desafio acrescido, com grande diversidade de usos do solo de características mistas e em que a elevada densidade de ocupação do solo não é somente apanágio das cidades.

---

<sup>195</sup> Stewart I. D, Oke T. R. – “*Classifying urban climate field sites by “local climate zones”: The case of Nagano, Japan*”. Paper presented at the 7th International Conference on Urban Climate, June 29–July 3, Yokohama, Japan, 2009.

<sup>196</sup> Oke, T. R. - “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No.1250”, pag. 11, 2006.

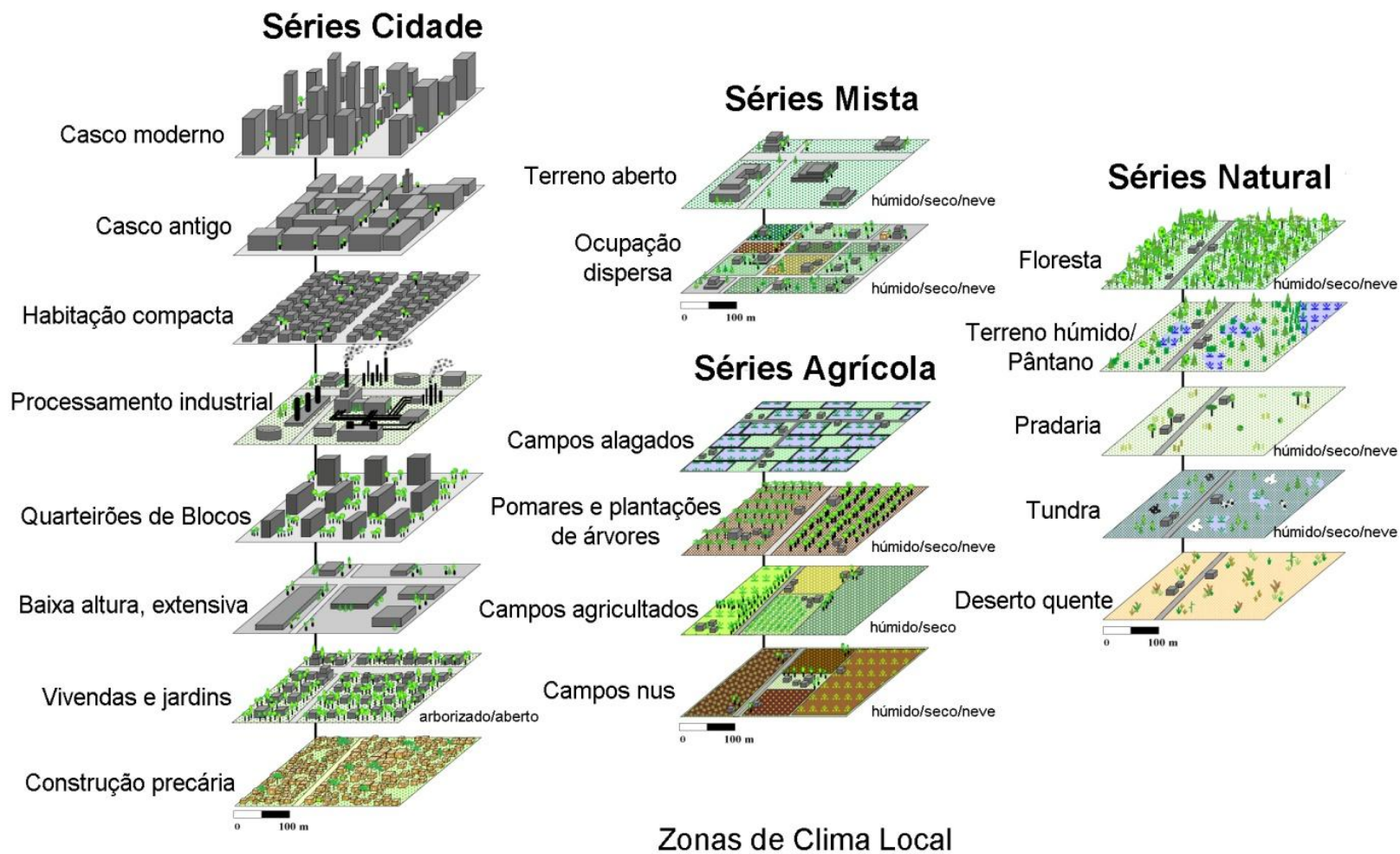


Figura 14 - Organização hierárquica das Zonas de Clima Local (Local Climate Zones-LCZ, 1ª versão)

Fonte: Stewart e Oke (Julho/2009) - 'Classifying urban climate field sites by "local climate zones": The case of Nagano, Japan'.  
 Source: Stewart and Oke (July/2009) - 'Classifying urban climate field sites by "local climate zones": The case of Nagano, Japan'.  
 Cortesia/permissão do Sr Prof<sup>o</sup> Iain Stewart (2013) / Reproduced with permission by I.D. Stewart (2013).

---

Os resultados do referido estudo demonstraram que apesar de, como em todos os modelos, este constituir uma simplificação da realidade – que em si mesma é bastante complexa – foi relativamente fácil fazer corresponder as classes do sistema às características dos locais de estudo, quer urbanos, quer rurais.<sup>197</sup>

Em dezembro de 2009, a propósito da utilidade prática do sistema das LCZ's, Iain Stewart publicava no Boletim nº 34 da IAUC<sup>198</sup>: *“Mais do que classificar as estações urbanas ou rurais de aquisição de dados, através de critérios baseados no quantitativo populacional ou no uso do solo – nenhum dos quais é diretamente relevante para o comportamento térmico do ar junto à superfície – as LCZ's classificam a paisagem com base em propriedades locais mensuráveis que efetivamente influenciam os regimes térmicos da superfície”*.

Entretanto, após o teste efetuado em Nagano (Julho 2009), os autores sentiram necessidade de validar o sistema de classificação das LCZ's, considerando que este estaria teoricamente bem fundamentado, mas que a sua divisão do Universo-paisagem com base em propriedades climáticas dispunha ainda de poucas evidências empíricas para apoiar essa decisão. Nesse sentido, decidiram avaliar a validade da divisão das LCZ's, partindo de dados de temperatura com base em três trabalhos de investigação de renome, representativos de três cidades-regiões com características urbanas distintas, as quais se encontram inseridas em climas das latitudes médias (o que é ideal para este tipo de análise em que se pretende também testar as alterações sazonais)<sup>199</sup>:

- da Europa (Uppsala-Suécia, Taesler 1981);
- da Ásia (Nagano-Japão, Sakakibara e Matsui, 2005);
- e da América do Norte (Vancouver-Canadá, dados obtidos por estudantes em meteorologia urbana, sob supervisão, da University of British Columbia, 1992/2010).

---

<sup>197</sup> Stewart I. D., Oke T. R. - 'Classifying urban climate field sites by "local climate zones": The case of Nagano, Japan.' Paper presented at the *7th International Conference on Urban Climate*, June 29–July 3, Yokohama, Japan, 2009.

<sup>198</sup> IAUC - INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR URBAN CLIMATE.

<sup>199</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Thermal differentiation of Local Climate Zones using temperature - observations from urban and rural field sites. Paper presented at the *9th Symposium on Urban Environment*, August 2–6, Keystone, CO, USA, 2010.

---

Os resultados desta avaliação sugeriam que o sistema estaria a aproximar-se da sua forma ideal, mas que eventualmente seria ainda necessário introduzir algumas melhorias<sup>200</sup>. Stewart e Oke (2010) foram desde logo reconhecendo que o sistema classificativo das LCZ's ainda estava em evolução, embora se aproximasse já da sua otimização: “Com estes resultados, o sistema de classificação do clima local aproxima-se da sua conclusão. Ele aguarda agora os resultados de modelos de computador para testar ainda melhor a robustez das propriedades das suas classes”<sup>201</sup>.

Por essa razão, numa perspetiva de aperfeiçoamento e otimização do sistema, as quatro séries atrás referidas (Cidade, Mista, Agrícola e Natural, rever figura 14) e as respetivas classes foram posteriormente reorganizadas (Stewart e Oke, 2011), assumindo as designações de Tipos de Construção (*Buildings Types*) e Tipos de Cobertura do Solo (*Land Cover Types*). Ficaram assim definitivamente individualizadas e organizadas as 17 classes de LCZ's<sup>202</sup>, segundo o tipo/densidade de construção e o tipo de cobertura do solo (cobertura vegetal ou não), também já com a introdução da décima sétima classe – acabou por ser introduzida em 2011 no grande grupo “Tipos de cobertura do solo” a classe “G-Água” como se pode ver na figura 15<sup>203</sup>. Acrescem ainda como complemento à classificação, as quatro propriedades da cobertura do solo consideradas pelos autores “Propriedades sazonais” as quais, mesmo que só temporariamente, alteram de forma significativa sobretudo o valor do albedo das superfícies. No entanto, como veremos, o sistema ainda não tinha atingido a sua forma final e viria a sofrer ligeiríssimas alterações, nomeadamente ao nível das designações das classes.

---

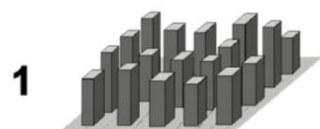
<sup>200</sup> “The results of this assessment suggest that the LCZ system is nearing its optimal form, but that further enhancements to individual classes are needed.” Stewart, I. D., Oke, T. R. - Thermal differentiation of Local Climate Zones using temperature - observations from urban and rural field sites. Paper presented at the 9th Symposium on Urban Environment, August 2–6, Keystone, CO, USA, 2010.

<sup>201</sup> Durante a transição da produção científica de 2009 para 2011, no artigo acima referido apresentado em Keystone, CO, USA, as classes do sistema LCZ assumiram outras designações, mais próximas da versão final, e foram temporariamente reduzidas para 16 zonas climáticas.

<sup>202</sup> Estas classes, além de refletirem a base de muitos dos sistemas classificativos anteriores, alguns deles representados no Quadro IV (ver pág. 100), reaproximam-se da classificação sugerida por T.R.Oke em 2006 (Zonas de Clima Urbano, Urban Climate Zones –UCZ's): criado em 2004, não publicado individualmente, faz parte do relatório produzido para a Organização Mundial de Meteorologia por: Oke, T. R. - “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No. 1250, pág. 11”, 2006.

<sup>203</sup> Stewart, I. D., - *Local Climate Zones: Application to heat island studies in tropical regions* (with Timothy Oke). Invited paper, Workshop on Urban Climatology in Tropical and Sub-Tropical Regions (Croucher Advanced Study Institute), The Chinese University of Hong Kong. December 5–10, 2011.

## TIPOS DE CONSTRUÇÃO



1 Compacto, altura elevada



2 Compacto, altura média



3 Compacto, altura baixa



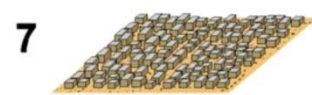
4 Aberto, altura elevada



5 Aberto, altura média



6 Aberto, altura baixa



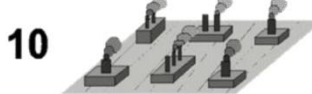
7 Construção ligeira, altura baixa



8 Construção pesada, altura baixa

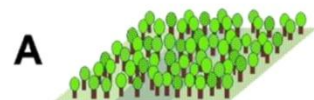


9 Edificado escasso



10 Indústria pesada

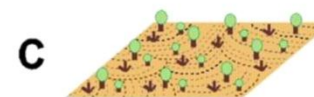
## TIPOS DE COBERTURA DO SOLO



A Árvores densas



B Árvores dispersas



C Mató, arbustivo



D Plantas baixas



E Rocha nua ou pavimento



F Solo nu ou areia



G Água

## PROPRIEDADES SASONAIS

**w** terreno húmido

**d** terreno seco

**s** cobertura de neve

**b** árvores nuas

Figura 15 – Organização hierárquica das Zonas de Clima Local (LCZ, 2ª versão)

Fonte: Stewart, I. D., - *Local Climate Zones: Application to heat island studies in tropical regions* (with Timothy Oke). Invited paper, Workshop on Urban Climatology in Tropical and Sub-Tropical Regions (Croucher Advanced Study Institute), The Chinese University of Hong Kong. Dezembro 5–10, 2011.

Source: Stewart, I. D. (December, 2011)

Cortesia/permissão do Sr. Prof<sup>o</sup> Iain Stewart (2013) / Reproduced with permission by I.D. Stewart (2013)

---

Num estudo efetuado recentemente sobre a cidade de Hamburgo, Benjamin Bechtel (2012)<sup>204</sup> procurou investigar se as LCZ podem ser automaticamente classificadas a partir de dados de deteção remota multitemporal, provenientes de diferentes fontes, incluindo dados multiespectrais e térmicos de satélites. Bechtel verificou que, relativamente à cidade de Hamburgo, os resultados obtidos com recurso a diferentes classificadores (entre eles *Support Vector Machines*, *Multilayer Perceptron Networks* and *Random Forest*) são bastante promissores. Sobretudo os dados térmicos de infravermelhos multitemporais, contendo informação de diferentes condições de irradiação, demonstraram um elevado potencial para a classificação das LCZ, com uma precisão global que pode atingir os 96,3% (no caso de dados seleccionados automaticamente, provenientes de diferentes sensores e com recurso a métodos de pré-processamento, a acuidade pode ir até 97,4%).

O suporte teórico subjacente à instituição/desenvolvimento do sistema das LCZ's foi baseado em Grigg (1965)<sup>205</sup>, o qual teorizou sobre a lógica, método e teoria das classificações em sistemas regionais, afirmando que “*a regionalização e a classificação são processos semelhantes*”. Nesse sentido, Stewart e Oke (2012) enumeraram os critérios que devem presidir à criação de um novo sistema classificativo:

- 1º. alicerçar-se numa nomenclatura simples e lógica através da qual os objetos/áreas sejam identificados e descritos;
- 2º. permitir a transferência de informação, associando objetos/áreas em situação real com o sistema teórico organizado de classes genéricas;
- 3º. assegurar a generalização indutiva, simplificando os objetos/áreas em estudo para posteriormente promover afirmações teóricas sobre as suas propriedades e relações.

Para o caso concreto de uma nova classificação baseada em estudos de campo, urbanos/rurais, Stewart e Oke (2012) propõem-se acrescentar a esses critérios ainda os seguintes:

- o sistema deve ser **inclusivo** e **acessível** relativamente a toda e qualquer região, independentemente da cultura local/estádio de alteração das paisagens;

---

<sup>204</sup> Bechtel, B. – “Classification of Local Climate Zones from multi-temporal remote sensing data”, Boletim N° 46, December 2012, I A U C.

<sup>205</sup> Grigg, D., - “*The logic of regional systems.*” *Ann. Assoc. Amer. Geogr.*, 55, 465–491, 1965.



- 
- o sistema deve incorporar, nos casos específicos de avaliação da ICU, propriedades de classes **padronizadas** e **quantificáveis** (mensuráveis/passíveis de serem testadas), relevantes para os climas térmicos a nível das escalas locais.

Na sua versão mais recente, que podemos assumir como a 3ª versão (não considerando a situação transitória das 16 classes<sup>206</sup> atrás referida em rodapé, página 108), Stewart e Oke (2012) alteraram ligeiramente algumas designações das classes LCZ's, as quais passaram a ser 17 classes no total. Começaram a utilizar o termo “Tipos Construídos” (*Built types*) em substituição do termo “Tipos de Construção”/“Tipos de Edifícios” (*Building Types*) e alteraram as “Propriedades Sazonais” – ou efémeras – para “Propriedades Variáveis da Cobertura do Solo” (*Variable Land Cover Properties*); manteve-se o termo “Tipos de Cobertura do Solo” (*Land Cover types*)<sup>207</sup> (figura 16). No mesmo artigo, clarificaram também o conceito de LCZ<sup>208</sup>:

*“Nós definimos formalmente zonas de clima local, como regiões de cobertura uniforme da superfície, estrutura, materiais e atividade humana, que se estendem por centenas de metros até vários quilómetros na escala horizontal. Cada LCZ tem um regime térmico característico... que se torna mais evidente sobre superfícies secas, em noites calmas e de céu limpo, e em áreas de relevo simples”.*

Atribuem também uma justificação à escolha do nome do sistema (LCZ's): “A designação [LCZ] é apropriada, uma vez que as classes são **locais** ao nível da escala, são **climáticas** na sua natureza, e são **zonais** na forma de representação”.

Perante estes desenvolvimentos mais recentes das abordagens à Ilha de Calor Urbano, no que respeita à necessidade de harmonização da terminologia e à utilização de metodologias e propriedades padronizadas e rigorosamente quantificáveis de que a

---

<sup>206</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Thermal differentiation of Local Climate Zones using temperature - observations from urban and rural field sites. Paper presented at the *9th Symposium on Urban Environment*, August 2–6, Keystone, CO, USA, 2010.

<sup>207</sup> Dez classes no grupo “Tipos construídos” (*Built types*), numeradas de 1-10; sete classes no grupo “Tipos de cobertura do solo” (*Land cover types*), designadas de A-G; e quatro propriedades que clarificam com acuidade os tipos de cobertura, as “Propriedades Variáveis da Cobertura do Solo”, (*Variable land cover properties*), designadas com a inicial do respetivo termo em inglês (b-bare trees, s-snow cover, d-dry ground, w-wet ground).

<sup>208</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

---

comunidade científica foi revelando necessidade, Stewart e Oke (2012) assumiram também a proposta de um novo enquadramento para a definição da magnitude da ICU:

*“Propomos, portanto, um novo quadro para extrair as magnitudes da ICU a partir de observações de temperatura locais. Com este novo quadro, a magnitude da ICU é uma diferença de temperatura entre LCZ’s (por exemplo,  $\Delta T_{LCZ1-LCZD}$ ), e não uma diferença “urbano-rural” ( $\Delta T_{u-r}$ )”.*<sup>209</sup>

No caso de comparações da magnitude da ICU entre cidades distintas, os autores citam também a expressão:

$$\Delta T_{LCZ X - Y}$$

Para a caracterização harmonizada das Zonas de Clima Local, os autores propõem a utilização de itens e parâmetros *standardizados*, os quais podem ser compilados numa “Ficha Técnica” de que se apresenta um exemplo no Quadro V.

Quer os efeitos da urbanização nos climas, às escalas topo e microclimáticas, quer os possíveis efeitos do alargamento dos fenómenos à escala meso-climática<sup>210</sup>, justificam a premente necessidade de abordagem das questões segundo uma perspetiva de climatologia urbana aplicada, pois as consequências – diretas ou indiretas – podem manifestar-se sob formas mais ou menos violentas, mais ou menos agressivas para o meio, para os indivíduos e para o património.

O edificado urbano resulta, em última análise, na simples remoção ou no revestimento da maior parte dos materiais da superfície natural. A vegetação e o solo são substituídos por tijolo, betão, asfalto, aço, vidro, sendo que estes materiais urbanos de substituição têm propriedades muito diferentes em comparação com o solo e a vegetação, especialmente na relação que estabelecem com o calor e a água.

---

<sup>209</sup> I Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

<sup>210</sup> Alcoforado, M.J., - A autora atribui a M. Yoshino (1975) um estudo detalhado, acompanhado de um quadro com o ponto de vista de 36 autores, sobre as dificuldades de delimitar as escalas espaciais em climatologia. “O Clima da Região de Lisboa”, 1993, pág. 11.

## ZONAS DE CLIMA LOCAL (LCZ)



Figura 16 - Organização hierárquica das 17 Zonas de Clima Local (LCZ, 3ª versão)

Fonte: Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, pag.1879-1900, 2012

Source: Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879-1900, 2012.

Quadro V - Amostra-exemplo da compleição da ficha técnica de caracterização das LCZ

Chave da LCZ	Nome da LCZ	Nº da Classe
<b>DESCRIÇÃO da Zona</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Descrição da geometria dos edifícios, materiais de construção, cobertura do solo, densidade das árvores e atividades humanas.</p> <p><b>Função:</b> Usos do solo mais provavelmente associados à zona considerada.</p> <p><b>Localização:</b> Localização expectável da zona (casco urbano, periferia; cidade, rural).</p> <p><b>Correspondência:</b> Zonas correspondentes nos sistemas de classificação urbana de Oke (2004) e Ellefsen (1990/91)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO da Zona</b>		
<p><b>Objetos:</b> Edifícios, materiais pesados Vivendas, materiais leves</p> <p><b>Cobertura do solo:</b></p> 	  	
<b>PROPRIEDADES da Zona</b>		
<p><b>Sky view factor</b> <math>\Psi_{sky}</math> 0 - 1</p>	<p>Fração de firmamento visível a partir do nível do solo. Varia com a altura e o espaçamento dos edifícios e árvores. Afeta o aquecimento/arrefecimento por radiação, da superfície.</p>	
<p><b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0 - 3*</p>	<p>Ratio médio da altura pela largura dos "canhões" urbanos (LCZ 1-7), espaçamento entre edifícios (LCZ 8-10), e espaçamento entre árvores (LCZ A-G). Afeta os fluxos de ar à superfície e o aquecimento/arrefecimento por radiação.</p>	
<p><b>Altura média constr./árvores</b> <math>Z_H</math> 0 - 50*m</p>	<p>Média geométrica da altura dos edifícios (LCZ 1-10) e das alturas das árvores/plantas (LCZ A-F). Afeta a refletividade, regimes de escoamento e dispersão do calor acima da superfície.</p>	
<p><b>Classe de Rugosidade do terreno</b> 1 - 8</p>	<p>Classificação de Davenport <i>et al.</i> (2000)<sup>211</sup> de rugosidade efetiva do terreno (<math>z_0</math>) para cidades e paisagens rurais. Afeta a refletividade da superfície, regimes de escoamento e dispersão do calor acima da superfície.</p>	
<p><b>Fração superfície construída</b> <math>\lambda_b</math> 0 - 100%</p>	<p>Proporção de superfície com cobertura construída. Afeta a refletividade da superfície, regimes de escoamento e dispersão do calor acima da superfície.</p>	
<p><b>Fração superf. Impermeável</b> <math>\lambda_i</math> 0 - 100%</p>	<p>Proporção de superfície com cobertura impermeável (pavimento e rocha). Afeta a refletividade da superfície, disponibilidade de humidade e potencial de aquecimento/arrefecimento.</p>	
<p><b>Fração superfície permeável</b> <math>\lambda_v</math> 0 - 100%</p>	<p>Proporção de superfície com cobertura permeável (solo nu, vegetação, água). Afeta a refletividade da superfície, disponibilidade de humidade e potencial de aquecimento/arrefecimento.</p>	
<p><b>Admitância da superfície</b> <math>\mu</math> 500 - 2500* <math>J m^{-2} s^{-1/2} K^{-1}</math></p>	<p>Capacidade da superfície para receber ou libertar calor à escala local. Afeta o armazenamento de calor da superfície e as taxas de aquecimento/arrefecimento. Varia com a humidade do solo e a densidade do material. Nas áreas de árvores de copa densa (LCZ A), a "superfície" é indefinida e a admitância desconhecida.</p>	
<p><b>Albedo da superfície</b> <math>\alpha</math> 0.02 - 0.5</p>	<p>Refletividade da superfície à escala local e sob céu limpo ao meio-dia. Afeta o potencial aquecimento da superfície, por radiação. Varia com a cor da superfície, humidade e rugosidade.</p>	
<p><b>Fluxo de calor antropogénico</b> <math>Q_F</math> 0 - 400* <math>W m^{-2}</math></p>	<p>Densidade do fluxo médio anual de calor antropogénico, à escala local. As fontes de calor incluem motores de veículos, processos de combustão industrial/doméstico, aquecimento/arrefecimento do espaço e metabolismo antrópico. Varia significativamente com a latitude, estação do ano e densidade populacional.</p>	

Fonte: Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, pag. 1879–1900, 2012

<sup>211</sup> Davenport e al., "New Revision of Davenport Roughness Classification", 3rd European and African Conference on Wind Engineering, Eindhoven, Netherlands, 2001.

---

Portanto, as estratégias de ordenamento do território e planeamento urbano devem incorporar estudos de climatologia urbana aplicada no sentido de:

- prever os resultados climáticos de estratégias alternativas de usos do solo urbano;
- permitir o traçado de cidades saudáveis e com elevados níveis de conforto;
- permitir a construção de edifícios de elevada eficácia energética.

Definitivamente, os conhecimentos adquiridos acerca do clima urbano devem ser postos ao serviço das sociedades interessadas; não devem permanecer confinados às paredes das universidades, como um qualquer exercício académico, ainda que interessante, sobre a atmosfera urbana. Esses saberes devem ser incorporados no planeamento urbano, seja no desenho de novas cidades, seja na recuperação de cidades históricas, de preferência integrados em ações tão transdisciplinares quanto possível: arquitetos, arquitetos paisagistas, engenheiros, profissionais de saúde, investidores e construtores, sem esquecer os especialistas relacionados com o meio físico, como hidrologistas e climatólogos<sup>212</sup>, todos podem dar o seu contributo, sob pena de se obterem resultados não satisfatórios se algum deles for esquecido ou relegado para um plano de inferioridade.

---

<sup>212</sup> Landsberg, Helmut E., “In existing towns the greatest damages from weather events come from floods, the most insidious ones from air pollution, and the most annoying ones from wind modifications” *The Urban Climate*, Academic Press, 1981, pág 257.

---

### III. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E BREVE CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E LIMITES

*“Situado na margem direita do rio Douro, o território da cidade do Porto, tal como é definido oficialmente pela respectiva Câmara Municipal, tem uma forma grosseiramente oblonga, com o seu maior comprimento, cerca de 11,7 km, no sentido E-W e a sua maior largura, cerca de 4,9 km, no sentido N-S.”*

Oliveira, J.M. Pereira de, *O Espaço Urbano do Porto - Condições Naturais e Desenvolvimento*, FLUC, 1973, pág. 17

O concelho do Porto está localizado entre os paralelos de 41° 08' N e 41° 11' N e entre os meridianos de 08° 33' W e 08° 41' W, correspondendo a uma extensão de cerca de 41,28 km<sup>2</sup> (figura 17). Segundo J. M. Pereira de Oliveira,<sup>213</sup> o território da cidade do Porto fica situado na margem direita do rio Douro e é limitado, respetivamente, a Oeste pelo Oceano Atlântico (3,6 km) e a Sul pelo rio Douro (9,6 km); a Este e a Norte pelos territórios concelhios de Gondomar, Maia e Matosinhos (20 km), perfazendo o perímetro total de aproximadamente 33,2 km.

Sobre a localização e limites da cidade do Porto, Pereira de Oliveira (1973) acrescenta ainda: *“A estrada da Circunvalação definiu o seu perímetro seco em 1895, mas em 1898 parte da freguesia de Paranhos que a ultrapassa a N<sup>214</sup>, e grande parte da freguesia de Campanhã (que a E penetra, para além dela, nitidamente na zona de Gondomar) foram definitivamente integradas<sup>215</sup> na área urbana portuense”<sup>216</sup>.*

---

<sup>213</sup> Oliveira, J.M. Pereira de, *O Espaço Urbano do Porto - Condições Naturais e Desenvolvimento*, FLUC, 1973, pág 17.

<sup>214</sup> Na zona Asprela/Arroteia, áreas cuja toponímia revela claramente as suas origens rurais, de freguesias de termo da cidade do Porto.

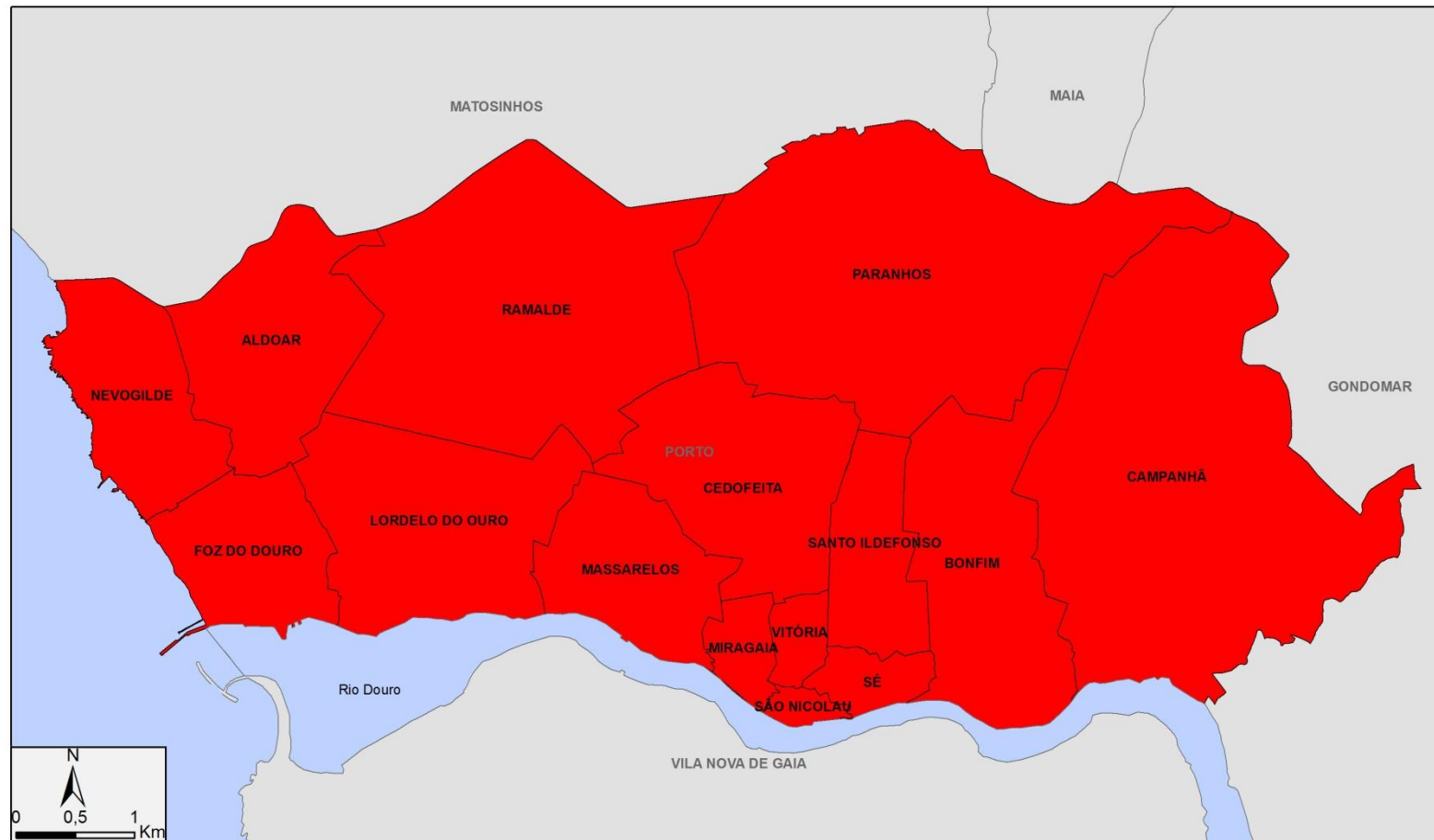
<sup>215</sup> A freguesia de S. Veríssimo de Paranhos foi incorporada na cidade do Porto por carta de Lei de 27 de Setembro de 1837, após pedido apresentado ao Governo pela Vereação da Câmara.

<sup>216</sup> Oliveira, J.M. Pereira de, *O Espaço Urbano do Porto - Condições Naturais e Desenvolvimento*, FLUC, 1973, pág 170.



Figura 17 - Enquadramento do Porto: localização do país, distritos, concelho do Porto e respetivas freguesias

**Freguesias do Concelho do Porto (2012)**



Fonte: IGEO - CAOP 2011.

Figura 18 - Enquadramento das Freguesias do Concelho do Porto (2012)



---

A freguesia de Paranhos, também ela com “uma forma grosseiramente oblonga”, com o seu maior comprimento no sentido E-W, localizada na parte NE da cidade do Porto, constituiu a área de estudo original do trabalho de clima urbano que desenvolvemos em 2005<sup>217</sup> e a partir do qual iniciámos a presente investigação. Paranhos confina a norte com as freguesias de Pedrouços e Águas Santas (Município da Maia) e S. Mamede de Infesta (Município de Matosinhos) – das quais está em parte separada pela estrada da Circunvalação – confina a oeste com a freguesia de Ramalde, a sul com as freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso e Bonfim (figura 18), as quais correspondem a espaços urbanos onde estão localizados alguns dos postos da segunda fase de aquisição de informação.

---

<sup>217</sup> Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

---

## 2. BREVE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA ENVOLVENTE

*Estende-se o território portuense sobre uma ampla plataforma que se prolonga muito para N e desce quase insensivelmente em direção ao mar, formada por uma sucessão de «superfícies dispostas em escadaria voltada a ocidente»<sup>218</sup>.*

Oliveira, J.M. Pereira de, *O Espaço Urbano do Porto - Condições Naturais e Desenvolvimento*, FLUC, 1973, pág. 17

### 2.1. Geomorfologia e Rede Hidrográfica

A cidade do Porto está enquadrada numa plataforma litoral que corresponde a um conjunto de “*patamares escalonados*” os quais – a partir de uma cumeada de relevos a que M. Assunção Araújo (1991) atribui a designação de “*relevo marginal*”<sup>219</sup> – pendem suavemente para oeste, em direção ao mar. Também A. B. Ferreira (1978) se refere a este relevo interior, descrevendo-o como o «*rebordo interior da plataforma*»<sup>220</sup>, a partir do qual esta desce de forma quase impercetível para Oeste, formando um declive suavemente escalonado em níveis sucessivamente mais baixos até à linha de costa.

M. Assunção Araújo acrescenta ainda que o «relevo marginal» se eleva a partir da cota dos 90 metros, correspondendo às superfícies mais altas da cidade do Porto: «*Depois da ligeira ondulação correspondente à colina do Bom Pastor, a superfície topográfica sobe com uma grande regularidade. Dir-se-ia que corresponde a uma superfície levemente basculada para oeste. O ponto mais alto corresponde à extremidade oriental do «relevo marginal», situada na zona das Antas*»<sup>221</sup>.

---

<sup>218</sup> Oliveira, J.M. Pereira de, *O Espaço Urbano do Porto - Condições Naturais e Desenvolvimento*, FLUC, 1973, pág. 17, citando J. Carrington da Costa e Carlos Teixeira, Carta Geológica de Portugal. Notícia explicativa da Folha 9-C (Porto), Lisboa, 1957, pág.6.

<sup>219</sup> Cf. Araújo, M. Assunção, “Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto”, FLUP, 1991, pág. 11.

<sup>220</sup> Ferreira, A.B., - Erosão diferencial e modelado das regiões graníticas do Norte de Portugal. Linha de Acção de Geografia Física, Relat. n° 7, CEG, Lisboa, 1978.

<sup>221</sup> Cf. Araújo, M. Assunção, “Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto”, FLUP, 1991, pág. 23.

Também A. Monteiro (1997)<sup>222</sup> abordou a caracterização física do Porto (figura 19) referindo que a cidade assenta sobre uma plataforma ligeiramente inclinada para o oceano Atlântico, cujas altitudes oscilam entre os 0m e os 160m (Areosa); assinala o facto de, em conjunto, as ações do Homem e das redes hidrográficas dos rios Douro e Leça terem modelado o substrato físico onde a cidade se foi implantando e chama a atenção para a significativa questão – pelas implicações ambientais que possa originar – de a maioria dos afluentes daqueles dois cursos de água terem sido “reorientados” pelas necessidades crescentes de espaço e quase já não serem visíveis à superfície, após a sua canalização total ou parcial, e respetiva impermeabilização do solo suprajacente.<sup>223</sup>

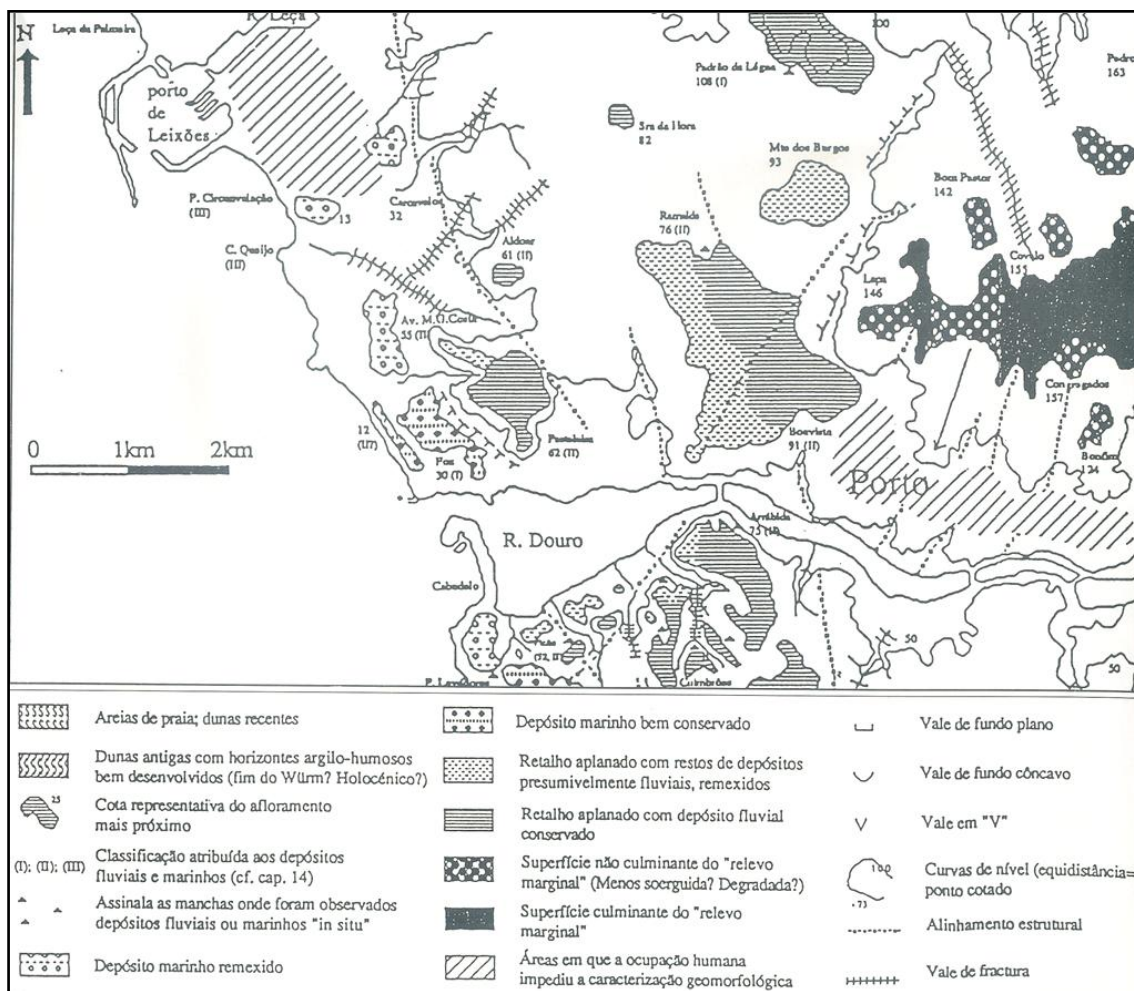


Figura 19 - Excerto do Esboço Geomorfológico da plataforma litoral (Extraído de A. Monteiro, Adaptado de A. Araújo, Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral da Região do Porto, 1991)

<sup>222</sup> MONTEIRO, A., "O Clima Urbano do Porto", Fundação Calouste Gulbenkian, 1997.

<sup>223</sup> Citado por L. Balkestahl (2005).

Mais recentemente, A. Araújo (2000<sup>224</sup>) refere-se assim ao enquadramento geológico e geomorfológico da área do Porto: «Um dos traços comuns a quase todo o litoral português é a existência de uma faixa aplanada, designada como “plataforma litoral”, de largura e altitude variável, que bordeja todo o litoral, limitada, para o interior, por um rebordo, rigidamente alinhado e contrastando com a referida área aplanada». A Araújo apresenta um mapa (excerto na figura 20), onde se pode observar «...o desenvolvimento topográfico da faixa litoral situada nas proximidades da cidade do Porto», e no qual se evidencia que «...o relevo marginal tem um desenvolvimento essencialmente rectilíneo, sofrendo apenas leves indentações provocadas pela incisão dos pequenos cursos de água». O referido mapa, representa três grandes conjuntos: uma área acima dos 130m, designada por relevo marginal; uma área situada entre 130m e 50m, onde se observam os depósitos de fácies fluvial; e uma área situada abaixo de 50m, onde se encontram os depósitos de fácies marinho.

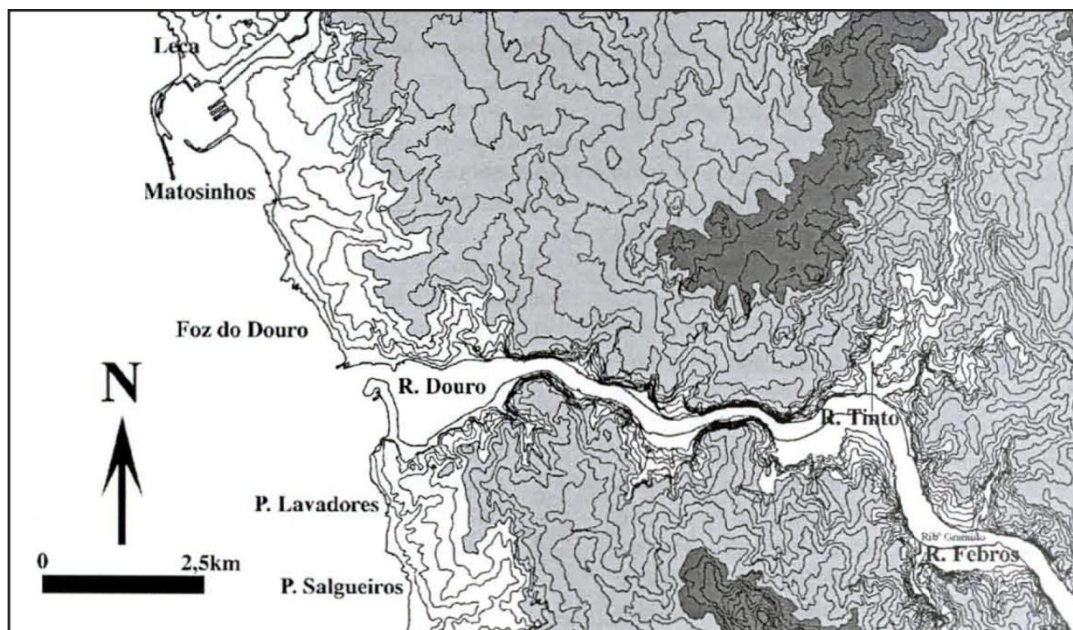


Figura 20 – Morfologia da plataforma litoral.

Fonte: Adaptado de A. Araújo, "Depósitos continentais e marinhos na plataforma litoral da região do Porto. Importância da tectónica na sua organização espacial", p.113, Lisboa 2000

<sup>224</sup> Araújo, M. A. – "Depósitos continentais e marinhos na plataforma litoral da região do Porto. Importância da tectónica na sua organização espacial", Ciências da Terra (UNL), N° 14, pp 111-122, Lisboa 2000.

A propósito do escalonamento, em direção ao mar, dos relevos atrás referidos, A. Araújo apresenta um esquema elucidativo (figura 21), construído em folha de Excel a partir do registo das altitudes máximas da plataforma litoral e do relevo marginal, no qual se pode ainda verificar que as cotas da parte superior da plataforma litoral e do relevo marginal se encontram de facto mais altas a sul do Douro. Faz ainda uma referência ao facto significativo de a falha Porto-Tomar, que separa a Zona Centro-Ibérica da Ossa-Morena – dividindo os xistos polimetamórficos pre-câmbricos dos granitos calco-alcalinicos – se encontrar próximo do limite ocidental do relevo marginal.

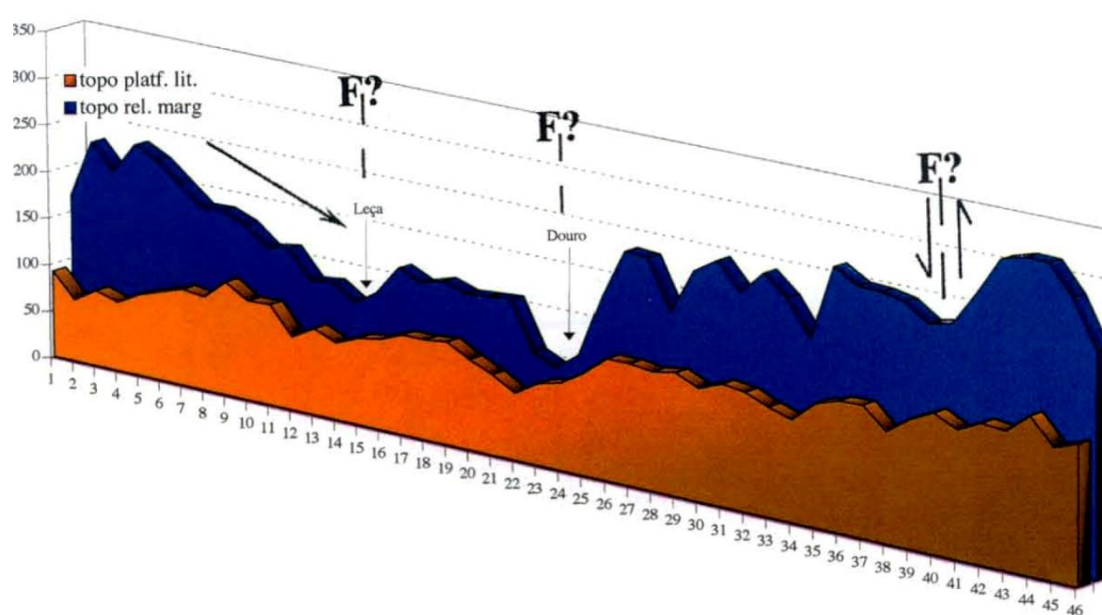


Figura 21 – Desenvolvimento do relevo marginal e do topo da plataforma litoral  
Fonte: Adaptado de A. Araújo, "Depósitos continentais e marinhos na plataforma litoral da região do Porto. Importância da tectónica na sua organização espacial", p.115, Lisboa 2000

Sobre a influência da tectónica na organização do relevo, A. Araújo conclui que «... a velha ideia de que o relevo marginal poderia corresponder a uma “arriba fóssil” terá de ser abandonada»... «...a neotectónica poderá ter tido, na plataforma litoral da região do Porto, uma importância maior do que geralmente lhe é atribuída» e relembra a opinião de J. Cabral (1995)<sup>225</sup> afirmando: «A hipótese (Cabral, 1995) segundo a qual a margem ocidental ibérica estaria a passar de um regime do tipo “margem inativa” para

<sup>225</sup> Cabral, J. (1995). “Neotectónica de Portugal Continental.” Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, XXXI, 265 p, Lisboa.

um outro do tipo “margem ativa” poderá ajudar a explicar a formação do rebordo tectónico que constitui o relevo marginal».

No sentido sul-norte, a partir do vale do rio Douro, o território portuense estende-se sobre essa ampla plataforma que vai ganhando altitude até atingir o alinhamento da Rotunda da Boavista (129 m), Lapa (122 m) e Monte dos Congregados (157 m) e depois se prolonga para norte, mantendo as cotas ou reduzindo-as ligeiramente, continuando a descer depois suavemente até à Estrada da Circunvalação, e ainda um pouco mais para norte, em direção ao vale do rio Leça (figura 22).

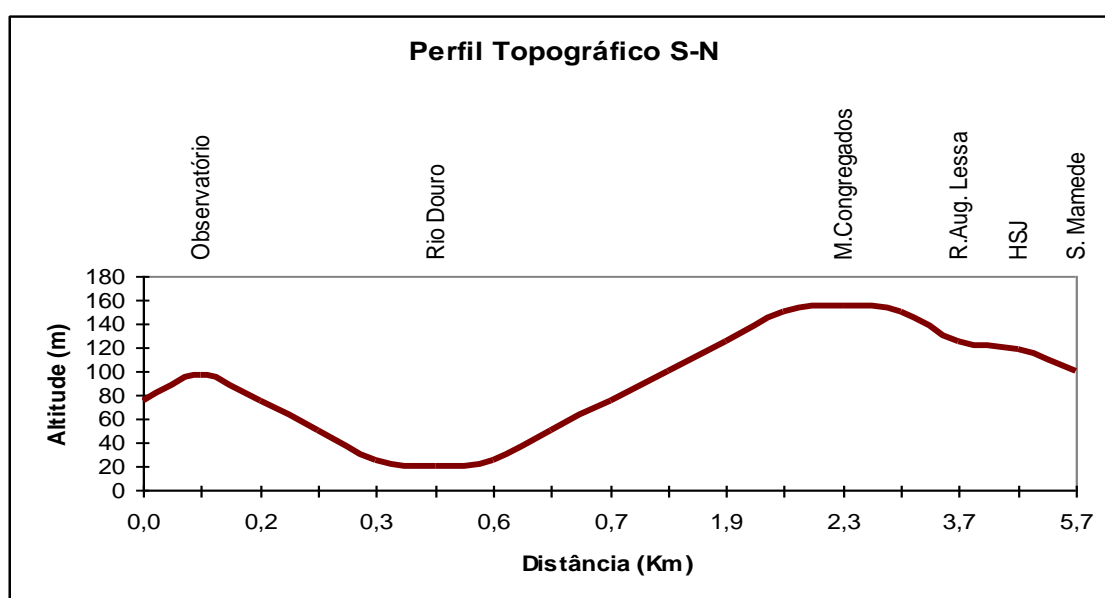


Figura 22 - Perfil Topográfico S-N

Fonte: L. Balkestahl (2005)

Partindo da área mais ocidental de freguesia de Paranhos, após uma ondulação relativamente pouco perceptível que corresponde à colina do Bom Pastor (142 m), a superfície topográfica, com uma grande regularidade, vai aumentando as suas cotas em direção à área mais interior da freguesia, delineando uma “superfície levemente basculada para oeste” em direção ao mar (figura 23), onde se evidencia a elevação da Quinta do Covelo (155 m).

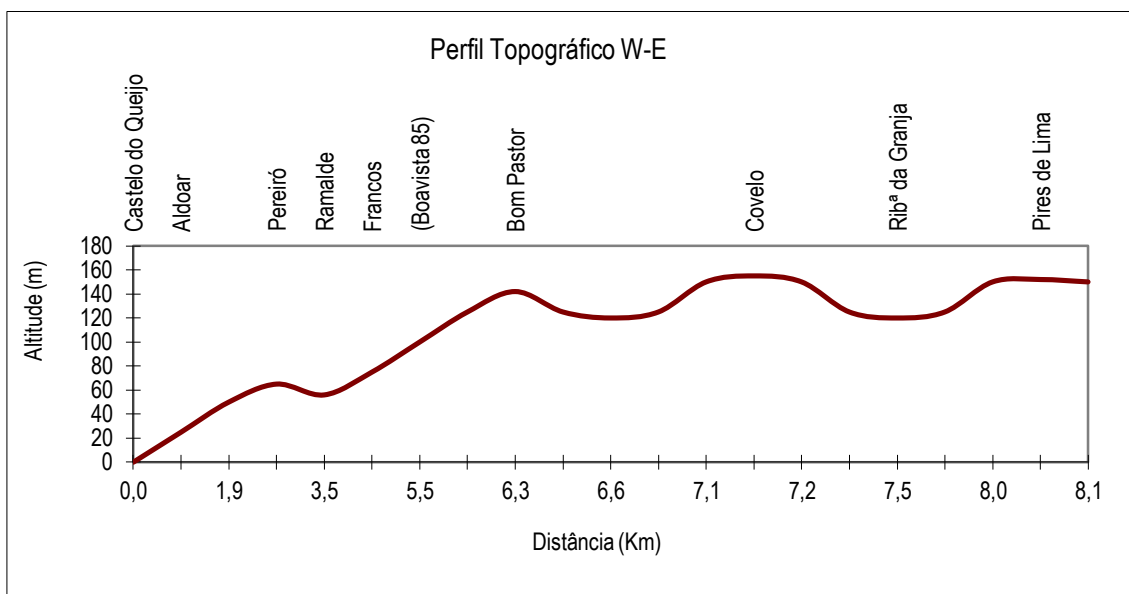


Figura 23 - Perfil Topográfico W-E

Fonte: L. Balkeståhl (2005)

O perfil topográfico correspondente ao percurso das medições itinerantes, elaborado a partir da carta corográfica 9-C, de escala 1:50 000 de 1985 (IGCP), revela que ao longo do itinerário, a área de estudo da primeira fase da investigação apresenta altitudes que variam entre o valor mais baixo de 95 m (ponto 7I na Rua Padre Costa, em S. Mamede de Infesta) e o valor mais alto de 149 m (ponto 82 na Rua de Costa Cabral). Isso significa que as diferenças de altitude entre os diversos pontos do percurso são relativamente baixas, não ultrapassando a amplitude altimétrica mais de 54 m (figura 24).

Na figura 25 pode ver-se a integração na área de estudo, dos 10 locais selecionados para a instalação das sondas térmicas, na segunda fase de aquisição de dados (como já referido, por questões de logística, a recolha ocorreu em simultâneo somente em 8 desses 10 postos): o posto L-Padre Costa foi desativado e a sonda transferida, sem nosso conhecimento prévio, para outro local sem condições de funcionamento (seleccionámos posteriormente o local de Faria Guimarães norte); o posto K-Padrão sul aguardou autorização de colocação e por isso entrou em funcionamento mais tarde que os outros postos.

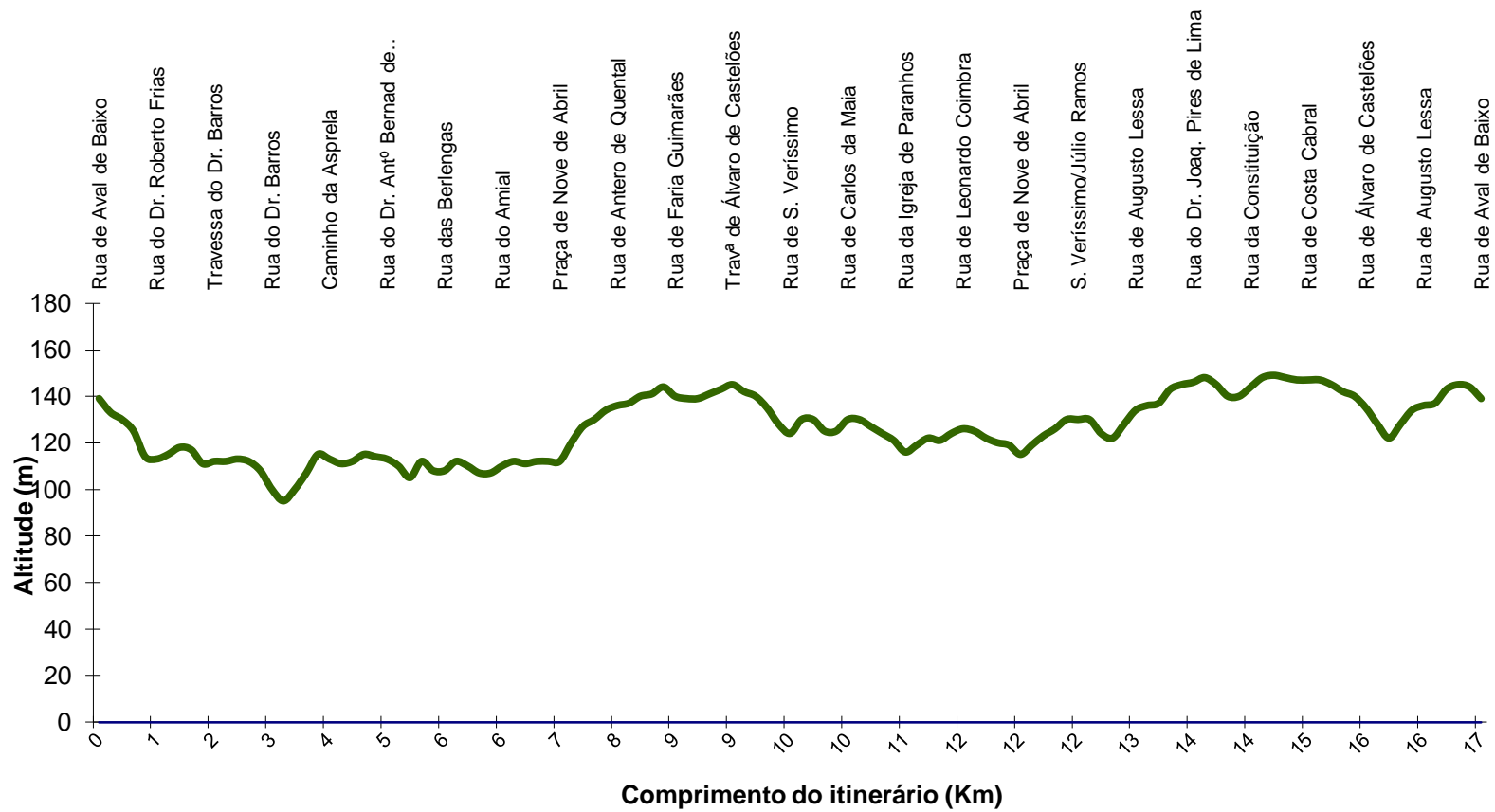


Figura 24 - Perfil topográfico do percurso de medições itinerantes

Fonte: L. Balkeståhl (2005)



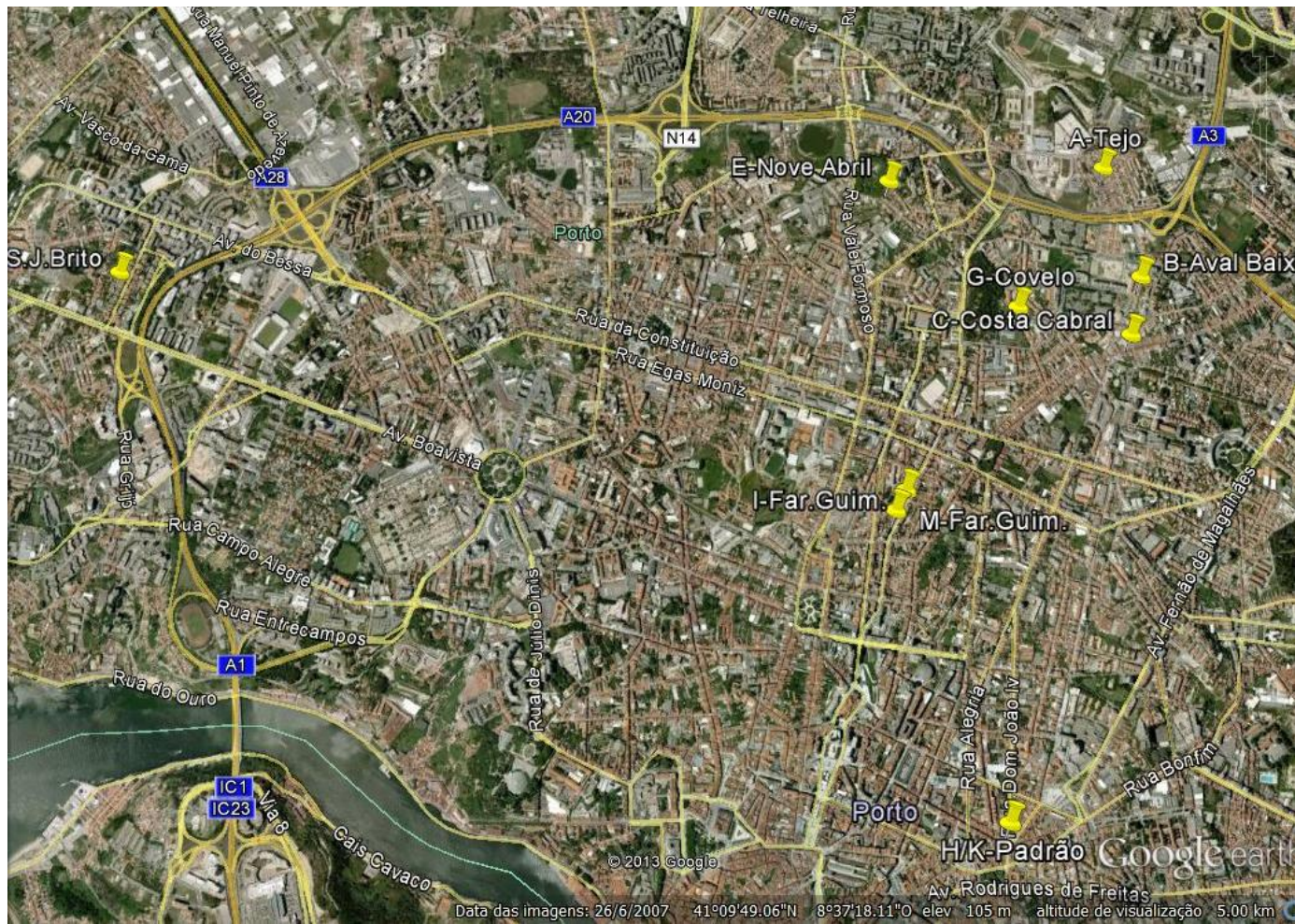


Figura 25 – Área de estudo: seleção inicial dos locais dos postos fixos, (Porto, Portugal) – altitude de visualização, 5 km

Fonte: Google Maps

---

O substrato litológico da cidade do Porto (figura 26) baseia-se em diversas formações geológicas que são essencialmente constituídas por rochas granitóides e rochas xistosas da era primária e ainda por alguns depósitos quaternários sobrejacentes resultantes da geodinâmica externa, sobretudo fluvial e oceânica. Segundo o que foi revelado pela publicação da *Carta Neotectónica de Portugal Continental* (J. Cabral e A. Ribeiro, 1989)<sup>226</sup>, existem falhas ativas e desligamentos na área do Porto que não haviam sido cartografados anteriormente<sup>227</sup>.

As já referidas rochas granitóides correspondem fundamentalmente aos chamados granitos alcalinos do Porto, de grão médio a grosseiro, que se integram nos granitos de duas micas, mas em que a moscovite predomina claramente sobre a biotite. Estes granitos repousam sobre o complexo xisto-grauváquico ante-ordivícico – formação mais antiga, que foi afetada por uma série de episódios orogénicos que a dobraram e metamorfosearam e que apresenta alguns afloramentos nas zonas da Foz, Nevogilde, Bonfim e Campanhã – sendo normalmente englobados nos granitos hercínicos antigos, da segunda fase hercínica ( $300 \pm 10$  MA)<sup>228</sup>.

Esta enorme mancha granítica quase contínua da área de estudo, pontualmente interrompida pelos poucos afloramentos xisto-grauváquicos, inicia-se na margem sul do Douro e prolonga-se para norte até à zona da Póvoa do Varzim. Mas sob a designação genérica de *granitos do Porto* (Carrington da Costa e C. Teixeira, 1957)<sup>229</sup>, incluem-se materiais de características diferentes e graus de alteração muito variáveis: na verdade, na área de estudo estão englobados granitos muito alterados e fortemente caulinizados, resultado da percolação facilitada pela densa rede de diáclases (área do Monte dos Burgos, por exemplo) e granitos pouco alterados ou quase são (nomeadamente na Areosa). À superfície afloram terraços fluviais e depósitos de praia do Quaternário.

---

<sup>226</sup> *Carta Neotectónica da Portugal Continental*, escala 1:1 000 000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1989.

<sup>227</sup> Cf. MONTEIRO, A., “...vem confirmar o que por critérios geomorfológicos havia já sido concluído por F. Rebelo (1975), mostrando que, ao contrário do que vulgarmente se pensa, a cidade do Porto não está incólume a movimentações.” *O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 55.

<sup>228</sup> Cf. MONTEIRO, A., “Tanto a carta geológica 1:500 000, como a 1:200 000, ao datarem os granitos do Porto como ante-vestefalios afastam, definitivamente, a hipótese ... de eles poderem ser antehercínicos.” *O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 55.

<sup>229</sup> Citado por MONTEIRO, A., *O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 55.

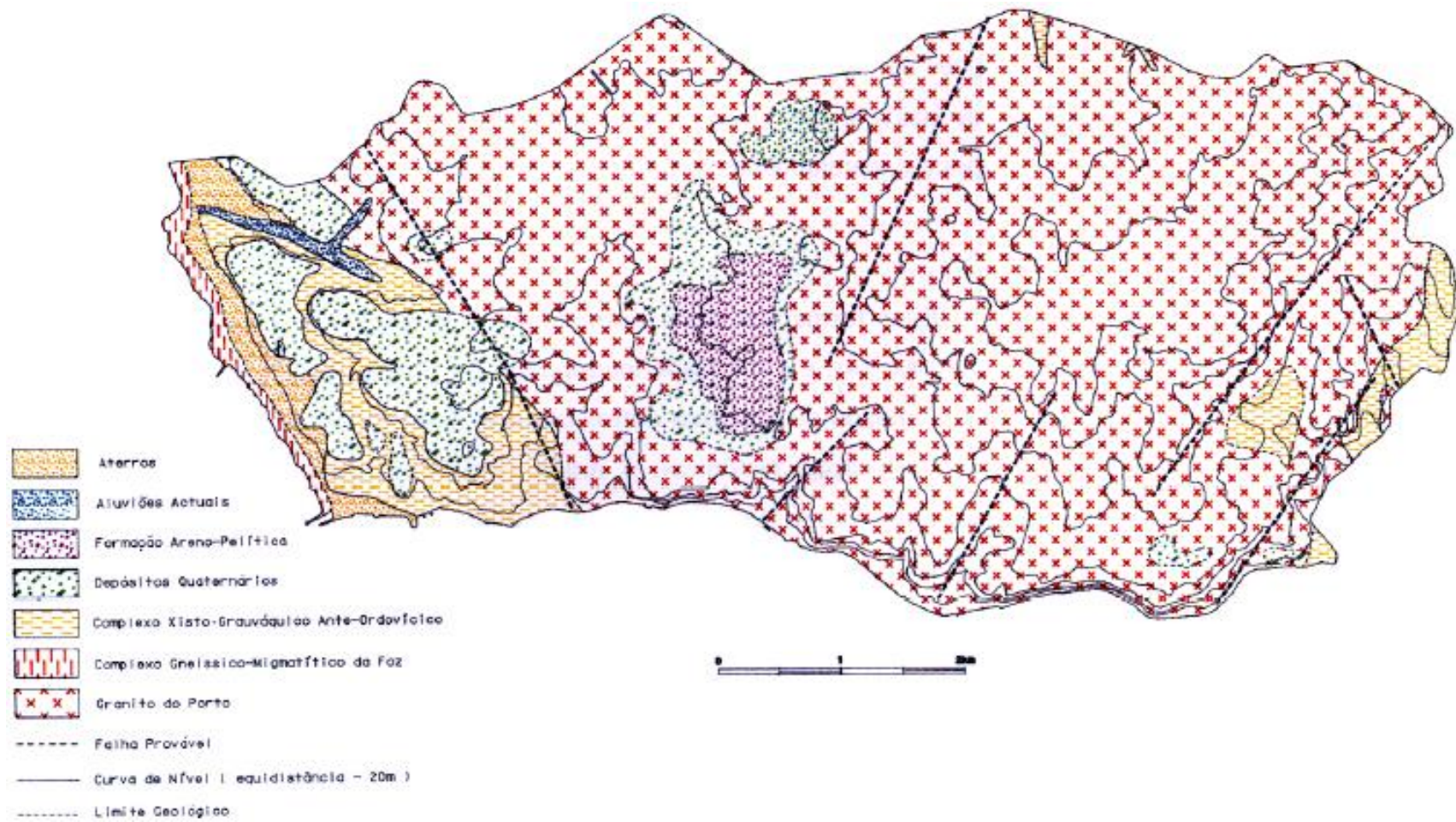


Figura 26 - Esboço geológico e estrutural da cidade do Porto

Fonte: extraído de História do Porto 2000, pág 47, citado por L. Balkeståhl (2005)

---

## 2.2. Clima da região do Porto

Na sua História do Porto, Oliveira Ramos (2000)<sup>230</sup> incluiu uma caracterização geral e simplificada do clima da região portuense, recorrendo às clássicas normais climáticas: tentou fazer uma síntese das principais características do clima da cidade, referindo-se-lhe como sendo um clima ameno, em que Janeiro é o mês que apresenta as temperaturas médias mais baixas (8,7°C) e Julho o mês com médias mais elevadas (19,7°C); dada a proximidade ao mar, a amplitude térmica anual é considerada baixa (cerca de 11°C) e a temperatura média anual ronda os 14°C. O autor chama a atenção para o facto de a referida amenidade do clima não impedir que por vezes possam surgir valores extremos, salientando a possibilidade da existência de alguns dias com temperaturas inferiores a 0°C, enquanto as temperaturas máximas diurnas podem atingir valores superiores a 30°C. Por sua vez, as séries de precipitação apresentam valores médios sempre superiores a 1200 mm/ano, sendo que os meses de Dezembro e Janeiro correspondem aos mais pluviosos (acima de 150 mm) e Julho e Agosto os meses mais secos (abaixo dos 50 mm).

A classificação climática de qualquer região implica sempre algumas dificuldades na definição dos critérios e parâmetros a utilizar, pois caracterizar e classificar um clima não é tarefa fácil; por essa razão, ao longo dos anos, vários investigadores foram propondo as suas classificações do clima das diversas regiões do nosso país, com base nos diferentes critérios/parâmetros disponíveis na grande diversidade de classificações climáticas existentes a nível internacional<sup>231</sup>. Referimo-nos de seguida a algumas classificações e outros contributos relacionados com a temática climática, relativos à nossa área de estudo, mas sem qualquer pretensão de esgotar o tema<sup>232</sup>.

---

<sup>230</sup> Oliveira Ramos, L., et al – História do Porto, Porto Editora, 2000, pág. 53-55.

<sup>231</sup> In The Encyclopedia of World Climatology, 2005: 1.Classificações de base genética (Hermann Flohn, 1912-1997, pág 379); 2.Classificações de base fisionómica ou empírica: a) biogeográficas (primeira classificação de Wladimir Peter Köppen, 1846-1940, datada de 1900, a qual posteriormente abandonou e substituiu, p 441); b) meteorológicas/quantitativas (segunda classificação de Köppen, datada de 1918 e aperfeiçoada em 1936 com a colaboração de Rudolf Geiger, 1894-1981, p 441); classificação de Charles Warren Thornthwaite, 1899-1963, criada pelo autor em 1931 e reformulada em 1948, inicialmente com objetivos agronómicos, p. 717).

<sup>232</sup> Ainda dentro das classificações de base fisionómica ou empírica, existem outras duas classificações climáticas, designadas por geográficas ou analógicas, por utilizarem nomes de regiões ou países específicos: classificação de Emmanuel de Martonne (1873-1955), apresentada em 1909, na primeira edição do seu livro *Traité de géographie physique*; em 1968, Georges Viers (1910-1998), na sua obra

---

Em 1944, Hermann. Lautensach utilizou a classificação quantitativa de KÖPPEN, baseada nos valores médios de temperatura e de precipitação, correlacionando os regimes térmico e pluviométrico anuais, tendo considerado que a maior parte do território português, inclusive a área do Porto, se integram na classe *Csb*<sup>233</sup>, isto é, *clima chuvoso e moderadamente quente, com chuvas preponderantes de inverno* e em que a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C<sup>234</sup>.

Segundo Lautensach (1944), se compararmos os tipos de tempo, em Portugal, com os da região centro-europeia, verificamos que aqueles apresentam a singularidade de terem características muito contrastadas ao longo do ano, alternando entre uma grande estabilidade nos meses estivais de Julho e Agosto e uma enorme variabilidade durante os restantes meses. Dependente da sua localização em latitudes subtropicais<sup>235</sup> e também da posição de margem atlântica, esta sua singularidade estende-se até ao norte do país, onde a cidade do Porto se insere. Posteriormente, Orlando Ribeiro (1955) melhorou este estudo, utilizando o índice e os gráficos termo-pluviométricos de GAUSSEN<sup>236</sup> – também chamados ombrotérmicos e contruídos sempre com a mesma escala – para determinar os meses considerados secos, em meio mediterrânico<sup>237</sup>.

Na opinião de S. Daveau, a região do Porto insere-se nos climas de tipo marítimo, subtipo litoral oeste, fazendo parte dos climas que designa por “*propriamente litorais*”<sup>238</sup>, os quais apresentam como características distintivas, amplitude térmica muito atenuada e frequente nevoeiro de advecção durante as manhãs de verão, que só muito raramente sofrem a influência de vagas de calor continental (figura 27).

---

*Éléments de climatologie*, altera parcialmente e amplia a classificação de De Martonne, recolhendo também alguma inspiração na classificação meteorológica de Köppen.

<sup>233</sup> Csb – clima mesotérmico (C, com inverno moderado); com verão seco (s); e com verão quente (b)

<sup>234</sup> Cf. Daveau, S. et al., texto de Lautensach, H., Geografia de Portugal, vol.II- O Ritmo Climático e a Paisagem, 2ª Ed., 1994, pág 367.

<sup>235</sup> Cf. Daveau, S. et al., texto de Lautensach, H., Geografia de Portugal, vol. II- O Ritmo Climático e a Paisagem, 2ª Ed., 1994, pág. 357.

<sup>236</sup> Marcel-Henri Gaussen (1891-1981), botânico e biogeógrafo francês, criador em 1953, juntamente com F. Bagnouls, do índice de Gaussen ( $P_{(mm)} < 2 \times T_{(C)}$ ) e dos diagrama ombrotérmicos, construídos sempre segundo o modelo de escala: 1°C=2mm. Este índice foi desenvolvido para o meio mediterrânico e pretende pôr em evidência os períodos de secura.

<sup>237</sup> Cf. Daveau, S. et al., Geografia de Portugal, vol.II- O Ritmo Climático e a Paisagem, 2ª Ed., 1994, pág. 450.

<sup>238</sup> Cf. Daveau, S. et al., Geografia de Portugal, vol.II- O Ritmo Climático e a Paisagem, 2ª Ed., 1994, pág 454.

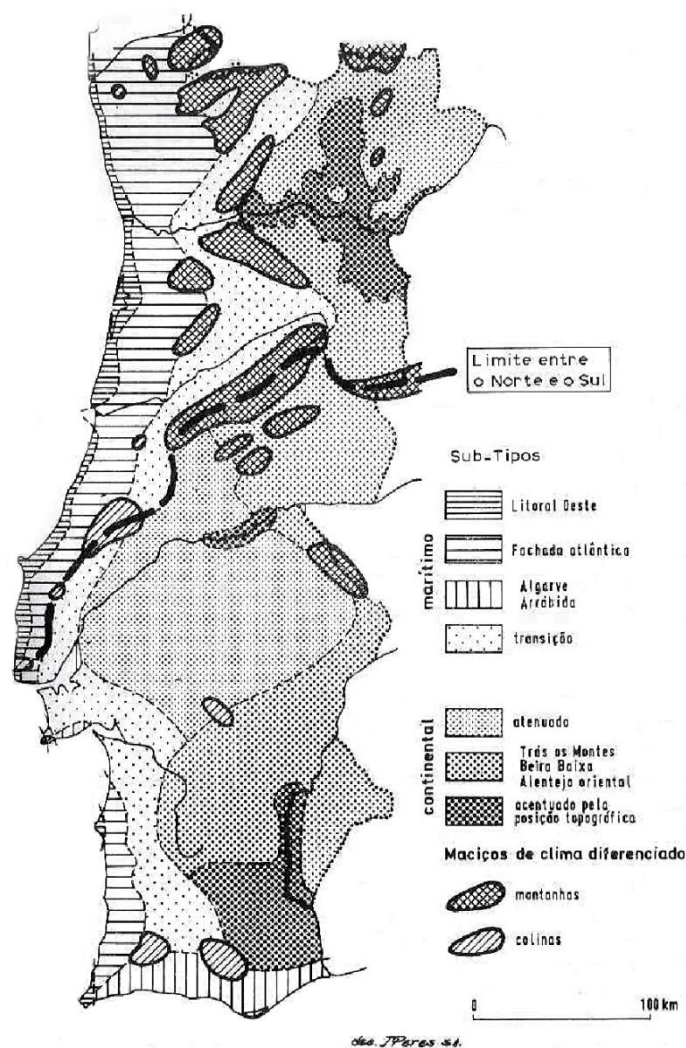


Figura 27 - Esboço provisório das Regiões climáticas (S. Daveau et al, 1985)  
 (Fonte: Daveau, S. et al, Geografia de Portugal, vol. II- O Ritmo Climático e a Paisagem)

Por sua vez, M. J. Alcoforado *et al.* (1982) combinaram os índices de GAUSSEN e de EMBERGER (este último também chamado coeficiente pluviométrico) para definir cinco domínios climáticos em Portugal Continental, com base nos dias considerados biologicamente secos (figura 28).

C. Mendes e M. Bettencourt (1980), com base no índice de THORNTHWAITE (a complexa fórmula de Thornthwaite baseia-se na temperatura e na precipitação, considerando que estas variáveis constituem um bom indicador da energia de um dado lugar, estimando a evapotranspiração potencial a partir da média mensal das temperaturas médias diárias do ar e da média mensal da precipitação), propuseram uma

classificação relacionada com a avaliação da evapotranspiração<sup>239</sup>, sob a sigla ETP, evapotranspiração potencial, que põe em evidência o ritmo da relação temperatura/evapotranspiração/precipitação, de forma a definir meses secos e húmidos, o que se torna muito útil nomeadamente para as atividades agro-silvo-pastoris.

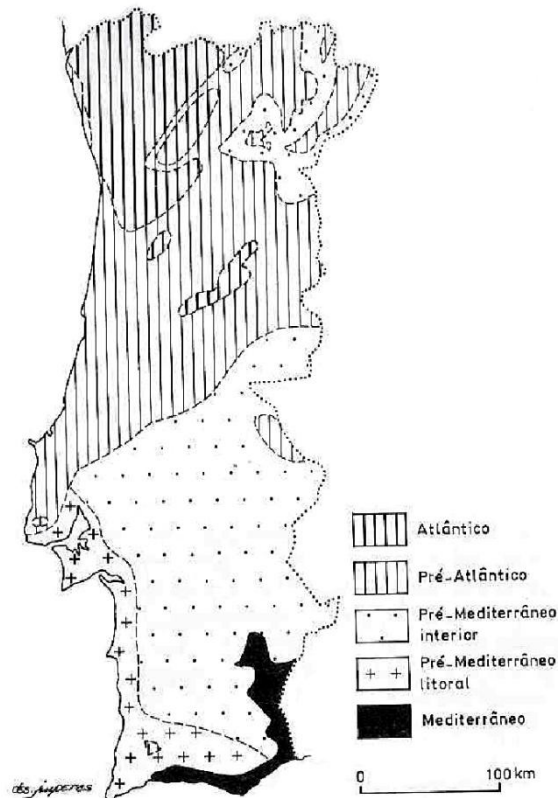


Figura 28 – Os cinco Domínios Bioclimáticos em Portugal Continental (M.J. Alcoforado *et al*, 1982), baseados nos índices de Gausson e de Emberger (Fonte: Daveau, S. et al, Geografia de Portugal, vol. II- O Ritmo Climático e a Paisagem)

A cidade do Porto encontra-se situada no litoral norte de Portugal, integrada na fachada atlântica ocidental do Noroeste da Península Ibérica, no extremo ocidental de Europa, incluída na zona das latitudes alternadamente varridas pelas cinturas dos centros de ação subpolar e subtropical do hemisfério norte, o que lhe confere

<sup>239</sup> Cf. Daveau, S. et al., “O que limita... a validade dos índices baseados em valores térmicos, para a divisão regional dos climas de Portugal, é a fraca densidade e desigual representatividade das estações...”, Geografia de Portugal, vol. II- O Ritmo Climático e a Paisagem, 2ª Ed., 1994, pág .452.

---

características gerais claramente temperadas, mas sujeita à grande variabilidade tipicamente mediterrânica<sup>240</sup>. Devido à sua integração num território da margem meridional da zona temperada do norte, está dependente também, sobretudo em certas situações sinópticas, das influências da circulação proveniente do norte de África.

J.M. Pereira de Oliveira (1973)<sup>241</sup>, ao desenhar um «Esboço Climático» da cidade, sintetiza perspicazmente esta ideia referindo-se ao Porto nos seguintes termos: “...francamente aberto às influências do Atlântico Norte, no limite sul do âmbito da circulação geral de W e sujeito às influências do microcontinente peninsular ibérico com características de quase autonomia periódica, do ponto de vista da dinâmica climatológica regional...”

Este esboço climático genérico permite fazer o enquadramento médio, na sua sucessão habitual, das séries de estados da atmosfera que caracterizam o clima da cidade do Porto e perceber os seus principais fatores condicionantes; torna-se contudo necessário pormenorizá-los e analisá-los também com algum detalhe.

Esse estudo aprofundado foi-nos proporcionado por A. Monteiro (1997) que efetuou uma análise detalhada do clima do Porto, recorrendo a três escalas temporais de análise<sup>242</sup>, a saber:

- A evolução da temperatura e precipitação registados entre 1900 e 1989 em Porto-Serra do Pilar (período de 90 anos);
- A evolução dos elementos climáticos mais significativos registados nas seis estações da área envolvente ao Porto, entre 1970 e 1989 (período de 20 anos);
- O estudo do comportamento diário dos elementos climáticos na estação do IGUP e dentro do espaço urbano portuense, entre 1987 e 1991 (período de 5 anos).

Para o período de 90 anos, o padrão de comportamento das temperaturas registadas em Porto-Serra do Pilar é analisado por A. Monteiro (1997)<sup>243</sup> como apresentando temperaturas médias mensais mínimas que oscilaram entre os 4,9 ° C em Janeiro e os 14,9 ° C em Julho, e temperaturas médias mensais máximas que variaram entre os 13,1° C em Janeiro e os 24,7° C em Agosto.

---

<sup>240</sup> Ventura, J. E., “A principal característica das precipitações anuais é a sua acentuada variabilidade. A irregularidade é forte em todo o território...” - Influência das gotas de ar frio no ritmo e na repartição espacial das chuvas em Portugal”, Relatório nº 24, Centro de Estudos geográficos, INIC, Lisboa, 1986, Pág. 24

<sup>241</sup> *O Espaço Urbano do Porto - Condições Naturais e Desenvolvimento*, FLUC, 1973, pág. 40.

<sup>242</sup> *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág.66.

<sup>243</sup> *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág.74.



---

Esta análise põe em evidência a considerável diferença intra-anual dos valores da temperatura: enquanto a janeiro corresponderam os valores médios mais baixos, quer das temperaturas mínimas quer das máximas de inverno, verificou-se um ligeiro atraso entre os valores estivais mais elevados da temperatura média mensal máxima (agosto), relativamente ao valor mais elevado da temperatura média mensal mínima (julho).

Acerca das precipitações, a mesma autora refere que a análise dos totais mensais ao longo desse período de 90 anos revela claramente a posição litoral e desabrigada da cidade, relativamente à chegada das massas de ar húmido provenientes do Oceano Atlântico; o comportamento da precipitação nesta área é, pois, justificável pela quase total inexistência de obstáculos à penetração do ar húmido vindo de oeste<sup>244</sup>.

Os meses de Julho e Agosto são os únicos que registam totais mensais de precipitação baixos (precipitações totais médias mensais inferiores a 20 mm); na sua maioria, os meses do ano apresentam, em média, totais mensais consideráveis, embora irregulares, sendo novembro, dezembro, janeiro e fevereiro os mais pluviosos. Contudo, a irregularidade da série das precipitações é muito grande em qualquer época do ano e não se resume somente a diferenças consideráveis nos totais mensais: quer os valores mais elevados, quer os valores mais baixos registados em cada série mensal, demonstram que a irregularidade se generaliza a qualquer mês do ano, sendo por isso importante chamar a atenção para o facto de os totais de precipitação registados mostrarem claramente que a variabilidade intra-anual é muito superior à variabilidade interanual.

A análise comparativa feita por A. Monteiro, da evolução dos elementos climáticos registados nas seis estações da área envolvente ao Porto, referente ao citado período de 20 anos, é demasiado complexa para ser pormenorizadamente descrita aqui, devido à enorme quantidade de dados em presença.

Mas há referências que não podem deixar de ser feitas, sob pena de não se entender a complexidade dos diferentes comportamentos climáticos numa área relativamente restrita.

---

<sup>244</sup> *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 87.

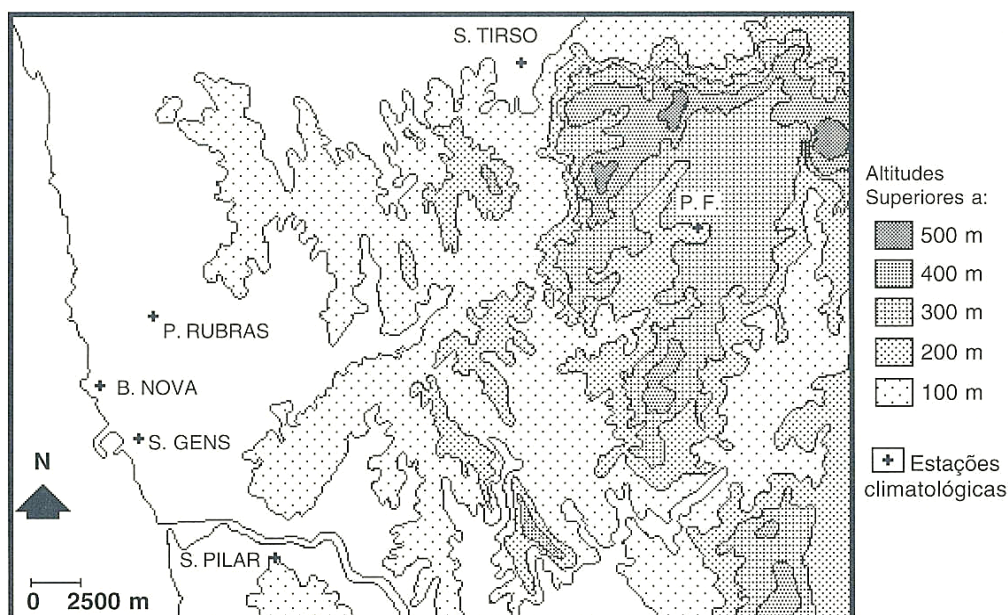


Figura 29 - Localização das Estações cuja informação foi utilizada por A. Monteiro, no estudo do período de 20 anos, 1970/1989 (atualmente, S.Tirso e S. Gens não se encontram em funcionamento)  
Adaptado de A. Monteiro, 1997)

Assim temos:

i) Das seis estações observadas (figura 29), as que se encontram a altitude mais elevada e de maior continentalidade, apresentam temperaturas médias mínimas mais baixas, em oposição às localizadas próximo ao mar e a menor altitude; mesmo assim, no inverno, as temperaturas médias mínimas revelam um comportamento bastante uniforme em todas as estações, contrariamente ao que se verifica no verão.

ii) Durante os períodos de verão, a temperatura média máxima apresenta uma correlação positiva elevada com a variável continentalidade; nos períodos de inverno, a correlação mais elevada é dependente da variável altitude, mas desta vez em sentido inverso.

iii) Os totais mensais de precipitação também apresentam um comportamento intra-anual bastante variável pois no inverno, são tanto maiores quanto mais afastadas do mar estiverem as estações; na maior parte dos meses de primavera, verão e outono, a precipitação aumenta com o aumento da altitude.

iv) A análise dos valores médios mensais de temperatura revela comportamentos idênticos entre as diversas estações pois em todas elas o mês mais frio foi Janeiro e o

---

mês mais quente foi julho; Porto-Serra do Pilar é a estação que apresenta as temperaturas mínimas mais baixas no inverno e uma das mais altas no verão<sup>245</sup>.

v) No que se refere às precipitações, as estações mais próximas do mar apresentam um mínimo em julho e as mais afastadas apresentam um mínimo em agosto. Em todas as estações, os máximos de precipitação média mensal ocorre em dezembro.

vi) Apesar de todas as estações apresentarem humidade relativa superior a 75%, há algumas diferenças entre elas: Paços de Ferreira e S. Tirso denotam valores de maior amplitude; S.Gens/Serra do Pilar/Aeroporto têm valores mais idênticos<sup>246</sup>, com uma distribuição anual relativamente regular; Boa Nova apresenta comportamento distinto das outras estações, com humidade relativa mais elevada de verão.

Numa outra fase deste estudo, A. Monteiro recorre à síntese do estudo das séries seculares do Instituto Geofísico da Universidade do Porto para evidenciar a evolução sofrida pelo clima urbano da cidade nos últimos anos e conclui pela existência de claras manifestações de mudança climática: ao analisar e comparar as normais climatológicas de 1931-60, 1951-80 e 1960-89, a autora verificou a existência de uma tendência para um aumento progressivo das temperaturas médias anuais<sup>247</sup>. Quanto à precipitação, esta registou um aumento dos totais mensais médios no período de 1961-90, tendendo a acentuar-se os fenómenos extremos de maior quantidade de precipitação nos meses mais chuvosos, em oposição a uma redução da pluviosidade na época estival.

De acordo com a informação climatológica do Instituto de Meteorologia proveniente da estação Porto-Serra do Pilar, baseada na média mensal da série de 30 anos para o período de 1961-1990 (figura 30), o mês de janeiro é aquele que apresenta a temperatura média mínima diária mais baixa (5,1°C) e também a mais baixa temperatura média máxima diária (13,5°C); quanto à temperatura média mínima diária mais alta ocorre no mês de julho (15,0°C) e a temperatura média máxima diária mais alta no mês de agosto (25,0°C). Estes dados, quando comparados com a série de 90 anos analisada por A. Monteiro, revelam ser muito idênticos em termos de quantitativos,

---

<sup>245</sup> A. Monteiro considera 3 sub-regiões, quanto à temperatura média mínima: Paços de Ferreira e S. Tirso com os valores mais baixos; Pedras-Rubras/S.Gens /Serra do Pilar com valores intermédios; e Boa Nova com valores mais elevados que as restantes (estas conclusões constituem uma das razões que vão servir de base argumentativa à escolha da estação de referência para o presente trabalho). *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 160.

<sup>246</sup> A. Monteiro continua a considerar 3 classes: Paços de Ferreira e S. Tirso com maior amplitude de variação anual; Serra do Pilar/Pedras-Rubras/S.Gens com valores idênticos e uma distribuição mais regular; e Boa Nova com valores absolutamente diferentes das outras estações (estas conclusões também constituem uma das razões que vão servir de base argumentativa à escolha da estação de referência para o presente trabalho). *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 160.

<sup>247</sup> *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 163-167.

embora ligeiramente superiores. Mas os dados das duas séries referidas, salvaguardando as respetivas diferenças na extensão temporal das duas séries em análise, parecem corroborar a tese de “existência de claras manifestações de mudança climática”, no sentido de um gradual aquecimento.

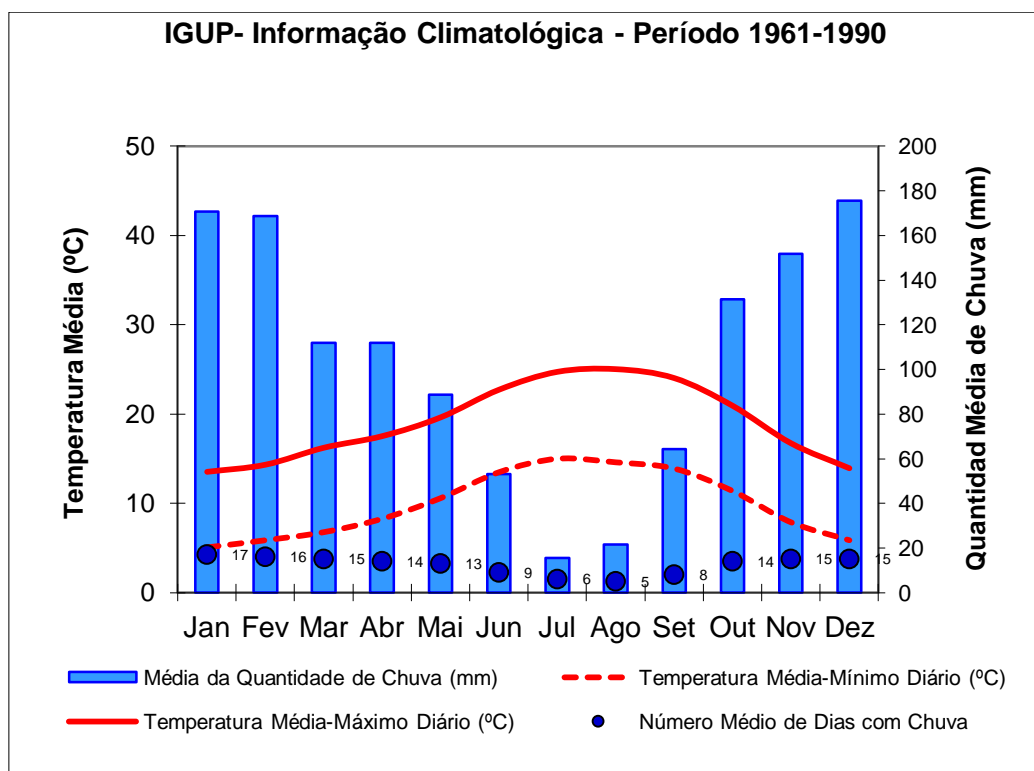


Figura 30 - Normais climatológicas da estação Porto-Serra do Pilar  
(Fonte: IM <http://wmo.meteo.pt/003/c00003.htm>)

A média mais baixa da quantidade de precipitação corresponde ao mês de julho (15,6 mm) mas o menor número médio dos dias com chuva ocorre no mês de agosto (5 dias); a média mais alta da quantidade de precipitação corresponde ao mês de dezembro (175,6 mm) mas o mês com maior número médio de dias com chuva é o mês de janeiro (17 dias). Isto significa que o que foi dito para as temperaturas é também válido para as precipitações, no que diz respeito aos totais médios mensais da maioria dos meses; mas, relativamente aos totais médios mensais de julho e agosto, nota-se um decréscimo razoável, o que denota uma maior dispersão nos quantitativos e intensificação dos valores extremos. De acordo com a análise de A. Monteiro, podemos concluir que se evidencia uma nítida prevalência da variabilidade intra-anual relativamente à variabilidade interanual.

Quanto à frequência dos nevoeiros, verifica-se que o número médio de dias por ano em que ocorre nevoeiro é superior a 120, sendo a sua distribuição quase uniforme ao longo de todo o ano, com valores mínimos nos meses de maio a junho e com dois valores máximos, um em agosto e outro em dezembro. Os nevoeiros têm diferentes origens, explicam-se fundamentalmente pela proximidade do oceano Atlântico e do rio Douro, importantes manchas de água que potenciam a ocorrência deste tipo de fenómeno.

No que diz respeito aos ventos<sup>248</sup> (figura 31), a distribuição mensal dos rumos evidencia grandes variações ao longo do ano: durante os meses de abril a agosto, os quadrantes marítimos assumem maior importância (WNW, NW<sup>249</sup>), ao passo que nos restantes meses se nota a predominância de ventos do quadrante Este (ESE)<sup>250</sup>.

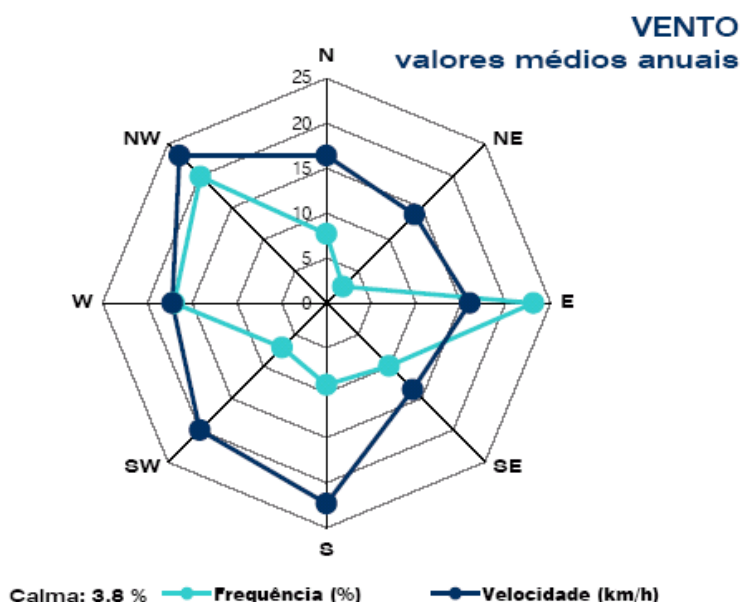


Figura 31 - Velocidade e rumos do vento, Porto-Serra do Pilar (normais de 1961/90)  
 Fonte: IM, citado por L. Balkeståhl (2005)

<sup>248</sup> Segundo MONTEIRO, A., predominam nas seis estações analisadas no período de 20 anos, os ventos de W, NW e SW nos meses de verão; e nos meses de inverno, considerando somente as estações de litoral, predominam os ventos de E e SE, sendo as semelhanças maiores entre Serra do Pilar e Pedras Rubras, *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 129-133.

<sup>249</sup> Daveau, S. et al., texto de Lautensach, H., “Os ventos do quadrante NW têm frequência média de 44,3%, em Agosto, no Porto”, *Geografia de Portugal*, vol. II- O Ritmo Climático e a Paisagem, 2ª Ed. 1994, pág 339.

<sup>250</sup> Existe em Custóias uma estação de qualidade do ar (regista os seguintes parâmetros: CO, NO, NO2 e NOx, PM10, SO2, BTX – Benzeno, Tolueno e Xileno – e O3) que, apesar de não ser climatológica, mede e regista dados de direcção e velocidade média do vento e cujos dados podem ser utilizados como complemento de estudo.

---

A abertura da cidade do Porto ao oceano proporciona-lhe, portanto, quer verões quer invernos relativamente moderados em termos térmicos, sendo sobretudo estes últimos razoavelmente húmidos<sup>251</sup>. Apesar da grande variabilidade dos climas de tipo mediterrâneo – também chamados subtropicais – é habitual caracterizá-los referindo genericamente os seus estios quentes e secos e os invernos suaves e mais ou menos pluviosos. No entanto, intrínsecas ao próprio risco climático dos climas mediterrânicos, surgem repetidamente situações subvertidas de verões com chuvas copiosas, invernos de secas prolongadas e, em períodos indiscriminados, episódios de paroxismos térmicos, como vagas de frio ou de calor. Estas últimas podem ter consequências graves para a saúde pública, sobretudo se em associação com os efeitos induzidos nos climas locais pela intensificação da urbanização.

Quer o número considerável de medições itinerantes efetuadas desde novembro de 2003 a janeiro de 2005, num total de 126 percursos, quer os dados de aquisição em postos fixos (na primeira fase, durante o período experimental e na segunda fase, durante um período seguido de dois anos) implicam uma variedade razoável de estados de tempo, numa dispersão temporal bastante alargada que, se por um lado potencia a caracterização média dos elementos climáticos da área em estudo, por outro lado dificulta, pela quantidade, a caracterização específica dos estados de tempo, para o período em causa<sup>252</sup>.

Constatou-se que as campanhas de medições corresponderam a 68% de situações de tempo estável, 19% de situações de instabilidade e 13% de estados de tempo transitório e, portanto, caracterizados por alguma instabilidade. Na tentativa de averiguar da validade dos valores obtidos através de aquisição direta de informação procedeu-se à comparação dos valores registados em determinados locais: alguns dados das medições itinerantes e do posto térmico fixo G foram confrontados entre si e com os registos da estação de referência<sup>253</sup> de Porto-Aeroporto. A razão da escolha do posto

---

<sup>251</sup> Ventura, J. E., “Em Portugal, a escassez pluviométrica está, em geral, relacionada com uma diminuição da circulação zonal à latitude da Península Ibérica, especialmente durante a estação fria. Esta redução tem como consequência uma diminuição das perturbações de Oeste e, portanto, das chuvas de origem frontal, as quais asseguram grande parte dos totais pluviométricos anuais, principalmente nas regiões do Norte.” - *Influência das gotas de ar frio no ritmo e na repartição espacial das chuvas em Portugal*”, Relatório nº 24, Centro de Estudos geográficos, INIC, Lisboa, 1986, Pág. 184

<sup>252</sup> Por esta razão procedeu-se à tentativa da introdução numa base de dados, das numerosas variáveis e elementos disponíveis para a caracterização dos estados de tempo, que supostamente permitiria aceder aos dados de forma facilitada, organizada e sistemática.

<sup>253</sup> Esta comparação foi efetuada para um período de observação coincidente disponível entre os dois tipos de medições (itinerantes e fixas), relativamente curto, dado que existe um certo desfasamento temporal por razões logísticas, o que já foi anteriormente referido.

fixo G para efetuar esta comparação prende-se com o facto de ser, em média, o ponto fixo mais frio e de, aprioristicamente, se ter suposto que este corresponderia à estação de “características menos urbanas”, dada a sua área de implantação<sup>254</sup> ser aberta e, portanto, com elevado *svf* e relativamente baixa densidade construtiva (Quadro VI)<sup>255</sup>.

Quadro VI – Comparação entre valores de temperatura registados em: posto fixo G; medições itinerantes; e estação de referência Aeroporto à hora de início das medições

<b>Posto fixo G e Ponto itinerante 35 vs Porto-Aeroporto</b>					
<b>Data de medição</b>	<b>Hora de início</b>	<b>Medição itin. ponto 35</b>	<b>Posto fixo G (próx. ponto 35)</b>	<b>Porto-Aeroporto</b>	<b>Média aeroporto +/- 1 tim</b>
040826	22:52	20,3° C	18,1° C	16,0° C	16,3° C
040921	22:58	22,0° C	18,8° C	17,0° C	17,7° C
040923	23:00	24,3° C	19,1° C	21,0° C	20,3° C
040924	00:02	24,5° C	18,8° C	21,0° C	20,3° C
040924	01:03	21,9° C	19,5° C	20,0° C	19,3° C
040924	02:52	19,9° C	19,1° C	18,0° C	17,3° C
040924	22:54	18,8° C	16,0° C	15,0° C	15,7° C
041124	22:01	06,6° C	06,5° C	09,0° C	09,3° C
041227	23:07	06,6° C	05,0° C	07,0° C	06,3° C
050104	22:04	07,2° C	06,2° C	06,0° C	06,0° C
050104	23:03	06,2° C	05,4° C	06,0° C	06,3° C
050105	00:14	05,3° C	04,6° C	07,0° C	06,3° C
050105	01:17	04,9° C	04,3° C	06,0° C	06,3° C

Fonte: L. Balkeståhl (2005)

Na verdade verificou-se que o ponto G regista temperaturas superiores ou inferiores à estação Porto-Aeroporto que corroboram o sinal dos desvios em relação à generalidade dos pontos de medição, mas, por outro lado, apresenta sempre temperaturas inferiores às do ponto 35, o que demonstra que poderia ser utilizada como uma estação de “substituição do meio rural”, em eventual estudo à microescala. A confirmar esta ideia, está o facto de, em média, o ponto 35 não ser nunca um dos pontos mais frios.

Os registos de vento e de humidade relativa – elementos meteorológicos de caracterização imprescindível a qualquer estudo climático, e mais ainda à presente escala em análise – seriam de grande utilidade para a compreensão e o aprofundamento

<sup>254</sup> A análise dos dados dos postos fixos confirmou que o posto G é de fato o mais frio de todos.

<sup>255</sup> Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

das características do clima urbano. Infelizmente não pudémos dispor de dados a essa escala, razão pela qual nos cingimos à estação de referência para efetuar uma breve análise.

No conjunto das 126 campanhas de medição, 119 destas correspondem a situações de calmaria (45 observações), de vento fraco (32 observações) ou de ventos iguais ou inferiores a 5m/s (23 observações), o que corresponde a cerca de 94% dos casos em análise (figura 32). Este facto não é de estranhar, por um lado porque habitualmente se opta por efetuar as medições itinerantes em situações de pouco vento, dado que se sabe que velocidades de vento superiores a 5m/s provocam a erosão acelerada de eventuais ilhas de calor<sup>256</sup>; e por outro lado porque à hora a que geralmente se efetuam as medições itinerantes há tendência para inversões na circulação local/regional ao nível horizontal, devido à alternância dos fenómenos brisa do mar e brisa terrestre<sup>257</sup>. Somente cerca de 6% das observações de vento à hora de início das medições correspondem a velocidades superiores a 6m/s e não são ultrapassados os 9m/s.

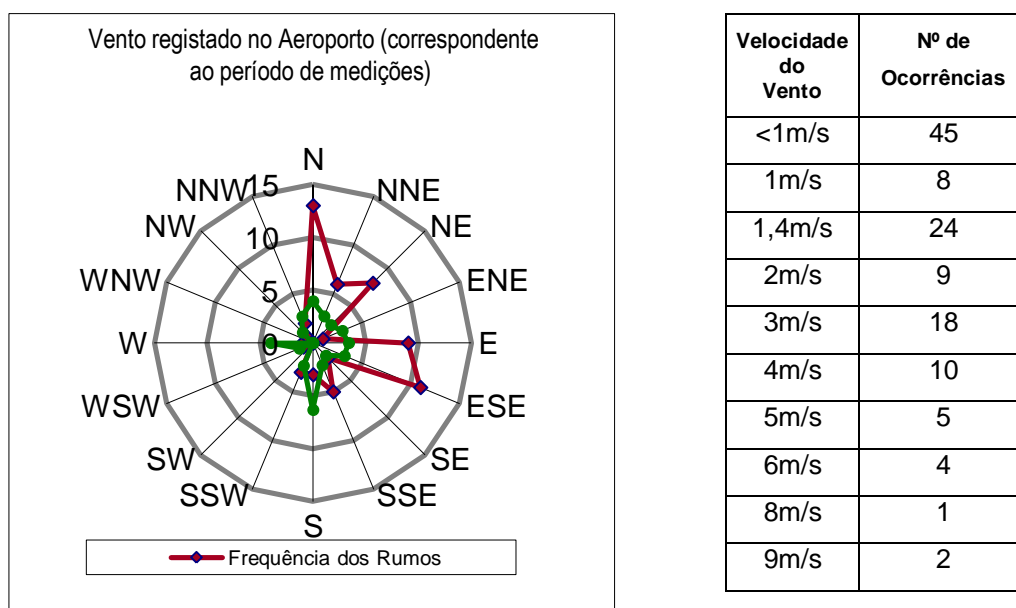


Figura 32: No gráfico, frequência e velocidade média dos rumos dos ventos, durante os episódios de medição; no quadro, número de ocorrências das velocidades do vento.

<sup>256</sup> GÓMEZ, A.López, El Clima Urbano de Madrid: la isla de calor, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1991.

<sup>257</sup> Brisas são ventos periódicos resultantes da diferença de pressão entra a terra e o mar (brisa da terra e brisa do mar) que usualmente não se fazem sentir até mais de 50 Km da costa e que nas regiões temperadas são mais intensas no período de verão; actuam também entre os fundos dos vales e o topo das montanhas (brisa do vale e brisa da montanha).



---

As direções de vento de maior frequência foram N, E e ESE, sendo o vento de norte o mais comum, com 13 ocorrências durante o período estudado. As direções de NE e S foram também bastante frequentes. As velocidades médias dos ventos, calculadas para cada direção, revelam que os ventos de velocidade superior sopraram de N, W e S. As direções NNE, ENE, ESE e NNW apresentaram valores idênticos, cerca dos 3m/s. Seguem-se as direções SSW, SSE e NE com velocidade média de cerca de 2m/s. Os ventos mais fortes, de velocidade 8 e 9m/s só ocorrem das direções Norte e Sul.

As situações de calmaria e vento muito suave, inferior a 3 m/s, correspondem a cerca de 51% dos casos e com direções muito variáveis; ocorrem tanto em períodos de alta como de baixa pressão, sendo mais frequentes associadas a situações de estabilidade. Os ventos de velocidade intermédia correspondem geralmente a situações sinóticas de instabilidade e os ventos mais fortes dividem-se quase equitativamente pelos dois tipos de tempo.

O sensor do termohigrómetro da humidade relativa revelou um desempenho pouco fiável, ou simplesmente não funcionou, durante um número considerável de episódios de medição (somente em alguns dos percursos foi possível o registo de valores para a humidade relativa e, geralmente, não para a totalidade do percurso). Esta situação parece estar relacionada com uma espécie de inércia higrométrica do sensor do termohigrómetro que, sistematicamente, em dias ou locais de maior humidade relativa (mas comprovadamente nem sempre de 100%), entrava em colapso e muito raramente voltava à situação normal de registo.

---

### 3. BREVE CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICO-DEMOGRÁFICA

*Até ao fim do séc. XVI, dentro dos muros do Porto, só havia a paróquia da Sé; mas, como a população começasse a engrossar intensivamente, o bispo D. Fr. Marcos de Lisboa criou em 1583 mais 3 paróquias: Vitória, S. Nicolau e Belmonte, sendo esta última extinta, por desnecessária, passados 9 anos.*

Marçal, Horácio in S. Veríssimo de Paranhos-Subsídios para a sua Monografia, pág. 1 e 2, 1955, Porto

#### 3.1. Introdução Histórica

Segundo Horácio Marçal (1955), a cidade do Porto manteve-se com apenas três paróquias até ao princípio do século XVII, mas “*no dealbar do século imediato, como a cifra da população sofresse uma alta considerável, principiou a cidade a bracejar amplamente para fora do recinto das muralhas...*”<sup>258</sup> Formaram-se então mais duas paróquias, Miragaia e Santo Ildefonso, permanecendo as cinco freguesias, propriamente citadinas, até meados do séc. XVIII<sup>259</sup>. Em 1789 foram anexadas à cidade as freguesias de Cedofeita e Massarelos, até aí consideradas freguesias de termo; até perto do final do ano de 1836, a cidade esteve composta por sete freguesias.

Por Decreto de 26 de Novembro de 1836, passam a fazer parte da cidade – mas ainda somente como freguesias de termo – Campanhã, Lordelo do Ouro e S. João da Foz; cerca de um ano depois, por carta de Lei de 27 de Setembro de 1837, foi incorporada na cidade do Porto, também como freguesia de termo, a freguesia de S. Veríssimo de Paranhos (Horácio Marçal, 1955)<sup>260</sup>, transformando-se esta num “arrabalde” da cidade, e assim permaneceu pelo menos até ao Censo de 1878, de acordo com Pinho Leal, citado por Horácio Marçal<sup>261</sup>:

---

<sup>258</sup> Marçal, Horácio - S. Veríssimo de Paranhos-Subsídios para a sua Monografia, Publicações da Câmara Municipal do Porto, Porto, 1955, pág. 3.

<sup>259</sup> Marçal, Horácio - S. Veríssimo de Paranhos-Subsídios para a sua Monografia, Publicações da Câmara Municipal do Porto, Porto, 1955, pág. 3, citando Pinho Leal, Port. Ant. e Mod. Vol. VII, pág. 268 e segs.

<sup>260</sup> Horácio Marçal, citando Sousa Reis, Ms. da Bibl. Púb. do Porto, vol. I, pág. 338) : “...esta freguesia foi tirada do Concelho da Maya e acrescentada ao do Porto por lhe estar mais próximo e em mais contacto para todos os misteres da vida civil e religioza...”, segundo o ofício do Administrador Geral da Vereação, em 14 de Outubro de 1837.

<sup>261</sup> Pinho Leal, Port. Ant. e Mod. Vol. VII, pág. 268.

---

«Com o desenvolvimento que esta cidade tem tomado em nossos dias o seu termo está transformado em um arrabalde e continuando neste progresso, as 4 freguesias do termo (Campanhã, Paranhos, S. João da Foz e Lordelo do Ouro) formarão em muito pouco tempo, parte integrante da cidade. Lordelo, Campanhã e Paranhos já comunicam com o Porto por belas ruas...».

Segundo L. Grosso Correia (2009), «A desigual distribuição da área urbana e dos habitantes pelas freguesias da cidade exigiu uma reforma destas circunscrições administrativas. Assim, por iniciativa do Bispo da cidade e com sanção superior, por parte da Câmara Municipal e do Administrador Geral do Distrito, é aprovado, por Portaria de 13 de Fevereiro de 1838, o plano de arredondamento das freguesias da cidade do Porto. Esse plano, realizado por uma comissão constituída pelo Bispo, Câmara Municipal e Juntas de Paróquia, previa a desagregação da freguesia mais populosa da cidade desde 1787, Santo Ildefonso, abrindo-se lugar, assim, para a criação da freguesia do Senhor do Bonfim.»<sup>262</sup>

A freguesia do Bonfim<sup>263</sup> só viria a ser efetivamente criada em 1841, resultante da desanexação de parte das freguesias da Sé e de Santo Ildefonso, sofrendo esta última uma considerável diminuição de área.

Algumas das principais estradas e ruas existentes à época, saíam, logicamente, das portas da cidade do Porto: da Porta de Cima de Vila, saía a Rua Direita de Santo Ildefonso, pelo Bonfim e em direção a Valongo; da Porta de Carros, saía a Rua do Bonjardim que levava ao lugar da Aguardente (Praça Marquês de Pombal) e ao Largo da Cruz das Regateiras<sup>264</sup> (Largo da Cruz, junto ao Hospital Conde de Ferreira), constituindo o acesso à estrada de Guimarães; e da Porta do Olival saía-se pela Rua de Santo Ovídio (Rua da Sovela) para o Sério (Rua de Antero de Quental), atravessando o

---

<sup>262</sup> C. f. Correia, L. Grosso, - *A evolução demográfica da Freguesia do Bonfim da cidade do Porto na Época Contemporânea*, Revista da Faculdade de Letras HISTÓRIA Porto, III Série, vol. 10, pp. 181-196, 2009, pág 183: «Criada de jure em 1838, a freguesia do Bonfim só se constituiu de facto como circunscrição administrativa em 1841, através do Plano de divisão e arredondamento das Paróchias da Cidade do Porto decretado a 18 de Dezembro por D. Maria II.»

<sup>263</sup> A criação da freguesia do Bonfim já tinha sido autorizada por portaria em 1831, C.f. Aurora Teixeira de Castro, *Monografia da Cidade do Porto*, 1926, pág 37, citada por Marçal, Horácio - *S. Veríssimo de Paranhos-Subsídios para a sua Monografia*, Publicações da Câmara Municipal do Porto, Porto, 1955, pág. 5.

<sup>264</sup> O antigo Largo das Regateiras, ou Largo da Cruz, era assim chamado porque aí paravam, a descansar, as vendedeiras/regateiras (regateio dos preços) que vinham das terras da Maia à cidade do Porto, para vender os seus produtos.

---

Monte da Lapa, constituindo a saída para a estrada de Braga<sup>265</sup>; da mesma porta, saía-se também pela Rua de Cedofeita para o Carvalhido, em direção a Vila do Conde.

Em 1899, o Dr. Ricardo Jorge<sup>266</sup> refere-se às doze freguesias do Porto nestes termos:

*«Desde 1838 que ao Porto se atribuem 12 freguesias, depois de algumas anexações. Foi uma ampliação desmarcada da área concelhia, pois que quase metade dessas freguesias não passavam de aldeias. A cidade, propriamente dita, isto é, o âmbito da população arruada e aglomerada, reduzia-se às freguesias centrais. Hoje mesmo (1899), mais de 50 anos corridos, somente 8 freguesias se devem considerar urbanas, que são: Sé, S.Nicolau, Victória, Santo Ildefonso, Miragaia, Bonfim, Massarelos e Cedofeita».*

*«Foz, Lordelo, Paranhos e Campanhã, são adições periféricas em grande parte de tipo rural. Em Paranhos e Campanhã o agrupamento de casas tem-se feito ao longo das estradas de acesso da cidade e na parte mais próxima do centro.»*

Por Decreto de 21 de Novembro de 1895, a Estrada da Circunvalação passou a constituir o limite da cidade do Porto, sendo então também criadas as freguesias de Nevogilde, Ramalde e Aldoar. Alguns anos mais tarde (1898), o denominado lugar da Asperela, antiga terra maiata, onde hoje se encontra localizado o Pólo 2 da Universidade do Porto (Lamas/Asprela/Arroteia), é anexado à cidade e integrado na freguesia de Paranhos.

Entre anexações e desanexações várias (em termos espaciais totais, mais as primeiras do que as segundas), e com a introdução, entretanto, da divisão administrativa da cidade do Porto em “Bairros Administrativos” a partir de 1710 (e as respetivas alterações sofridas até à atualidade), a urbe portuense – apesar de todo o crescimento e expansão à custa do espaço rural envolvente – atravessou o séc. XIX e entrou no séc. XX, com graves problemas habitacionais. Disso nos dá conta F. L. Matos (1994)<sup>267</sup>: *«... verifica-se que é na segunda metade do século XIX que a situação habitacional da cidade se agudiza, ou seja, a partir do momento em que o desenvolvimento industrial, nomeadamente da indústria têxtil algodoeira, provoca um intenso afluxo de população*

---

<sup>265</sup> C.f. Marçal, Horácio - *S. Veríssimo de Paranhos-Subsídios para a sua Monografia*, Publicações da Câmara Municipal do Porto, Porto, 1955, pág. 23 e 24: *«A via militar do Itinerário que vulgarmente se atribui a Antonino...era o roteiro pelo qual se dirigiam as legiões romanas...».*

<sup>266</sup> Jorge, (Dr.) Ricardo de Almeida - *Demografia e Higiene da Cidade do Porto*, 1899, págs. 124-125.

<sup>267</sup> Matos, F. L. de, “*Os bairros sociais no espaço urbano do Porto: 1901-1956*”. *Análise Social*, vol. xxix (127 - 3.0), pág. 677-695, 1994, pág 677.

---

à cidade» ... «Este aumento contínuo da população, associado a uma política orientada para os interesses da burguesia, originou uma subida vertiginosa do custo da habitação ... o que tornou a oferta de alojamentos inacessível aos estratos sociais mais baixos».

Relativamente às características da habitação das classes menos favorecidas do início do séc. XX, F. L. Matos (1994) destaca os alojamentos em degradação acelerada do velho burgo medieval e as «ilhas»<sup>268</sup>, que considera terem surgido como uma forma específica de alojamento para o operariado.

Perante a precária situação da habitação da cidade do Porto, no que se refere às classes sociais mais expostas, foram sendo tomadas medidas que, embora inicialmente insuficientes, acabaram por minimizar alguns problemas não só de qualidade de vida mas, e sobretudo, de saúde pública<sup>269</sup>. Ainda segundo F. L. Matos (1994), as principais medidas tomadas na cidade do Porto, entre 1901 e 1956, para alterar o péssimo panorama das condições habitacionais em que vivia a classe operária, podem ser assim resumidas: «Primeiro, com iniciativas mais ou menos pontuais, de cariz filantrópico, caso dos bairros de O Comércio do Porto, e mais tarde com medidas de maior impacto, quer pela Câmara, quer pelo Estado, e que se traduzem na construção de bairros sociais, primeiro, constituídos por alojamentos unifamiliares (as colónias operárias e as casas económicas) e, mais tarde, por blocos plurifamiliares (os bairros sociais das décadas de 40 e 50)».

Constata-se que a questão habitacional da cidade do Porto, não está ainda resolvida (nem em qualidade, nem em quantidade), embora se possa afirmar que, na atualidade, os problemas são outros. Mas a previsão, em termos administrativos e territoriais, vai no sentido da diminuição do número de freguesias, sobretudo à custa da fusão de freguesias mais antigas de centro e as da área oeste; as periféricas, de maior dimensão territorial, a norte e leste, permanecem na sua extensão e limites, segundo a proposta de lei de que estipula um mínimo de 20 mil habitantes por freguesia nos municípios de nível 1, como é caso da cidade do Porto.

---

<sup>268</sup> As «ilhas» «surgem principalmente nas freguesias periféricas, onde se concentra a maioria dos estabelecimentos industriais, freguesias do Bonfim, Santo Ildefonso, Cedofeita, Massarelos e Lordelo, permitindo uma proximidade entre o emprego e a residência para as classes sociais menos solventes». C.f. Matos, F. L. de, «Os bairros sociais no espaço urbano do Porto: 1901-1956». *Análise Social*, vol. xxix (127 - 3.0), pág. 677-695, 1994, pág. 679.

<sup>269</sup> De acordo com os valores apresentados por Jorge, R. em 1899 existiriam no Porto cerca de 1048 «ilhas», com 11129 casas, muitas delas em condições de insalubridade, que alojavam cerca de 50000 pessoas. C.f. Jorge, Ricardo, *Demographia e hygiene da cidade do Porto*. vol I., Porto: Câmara do Porto/Repartição de Saúde e Hygiene. 1899, pág. 153.

---

### 3.2. Evolução Demográfica recente

O Porto de hoje não corresponde de forma alguma nem ao espaço, nem aos quantitativos populacionais a que se referem os censos de 1864 a 1960: o território portuense sofreu alterações e ajustamentos, tendo os seus limites sido fixados na década de cinquenta do século XX; mas a população, essa continuou a aumentar.

A análise comparativa da evolução da população das freguesias do concelho do Porto – por ter sobretudo como objetivo mostrar que a cidade sofreu efetivamente um alargamento considerável e uma intensificação do fenómeno de urbanização até aos nossos dias – é breve e não pormenoriza as alterações que afetaram sucessivamente os limites e a dimensão da cidade; pelas mesmas razões, esta análise incidirá sobretudo nas décadas da segunda metade do século XX (figura 33).

Na generalidade, a população residente nas freguesias do Porto foi aumentando praticamente sempre entre 1864 e 1950, salvo algumas exceções pontuais: Sé, Miragaia e Aldoar veem diminuída a população em 1920; ou ainda no caso das freguesias de S. Nicolau e Vitória que apresentam um comportamento bastante irregular durante todo o referido período.

Como é normal – e até se pode dizer paradigmático – dos fenómenos associados de urbanização, expansão urbana e terciarização, as freguesias de Vitória, Sé, S. Nicolau e Santo Ildefonso – todas freguesias de centro – já haviam perdido população residente na década de 40 e a partir da década de 50 a perda alarga-se a Cedofeita, Miragaia e Bonfim. As cinco freguesias de Aldoar, Campanhã, Lordelo, Paranhos e Ramalde são as que revelam aumento populacional do censo de 1960 para o de 1970. Apesar de Paranhos, a freguesia onde se iniciou este trabalho de investigação, em termos relativos, apresentar o menor aumento populacional das cinco freguesias (6%), em valor absoluto esse aumento é considerável (2 644): é a partir desta década de 70 que a freguesia de Paranhos assume a primeira posição em termos de quantitativo populacional, lugar esse que não voltaria a perder – mesmo nas décadas de crescimento negativo – e que, em décadas imediatamente anteriores, havia sido ocupada por Cedofeita, Bonfim ou Campanhã.

Segundo o Censo de 2011, a população da cidade do Porto contabilizava, dentro dos seus limites administrativos 237 584 habitantes, mas a área metropolitana ascende a 1 282 492 habitantes, configurando hoje a maior cidade do noroeste da Península Ibérica.

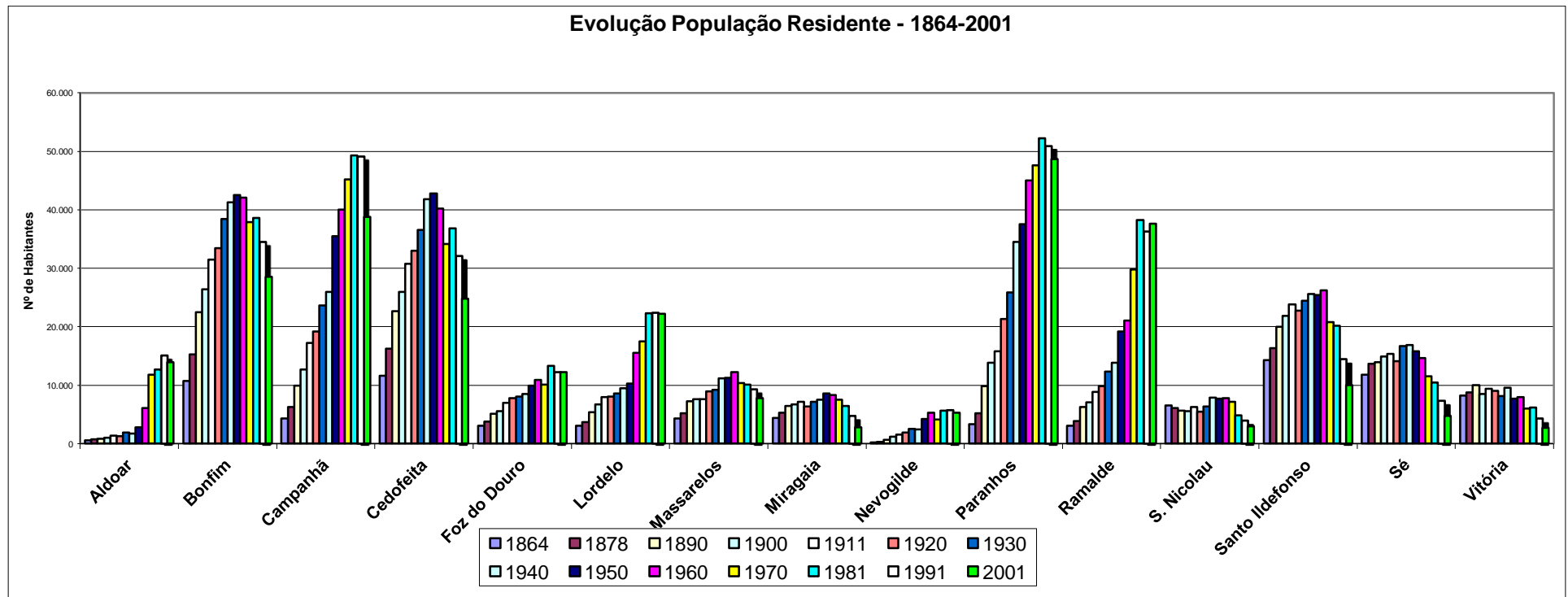


Figura 33 - Evolução da População Residente, no período de 1864-2001, por freguesias do Porto

Fonte: L. Balkeståhl (2005)

---

Tratava-se de freguesias de características, à data, mais rurais, as que aumentam razoavelmente ou consideravelmente a população residente – pois era aí que ainda havia espaço livre para construção. As freguesias de centro de cidade ou mais próximas do centro – na lógica da terciarização dos CBD – iam perdendo população.

Entre 1981 e 1991 pode assinalar-se uma viragem radical para o concelho do Porto em geral e para a maioria das freguesias: a população residente diminui: as únicas freguesias que não apresentam crescimento negativo são Aldoar (19%) e Nevogilde (1%), correspondendo a esta última freguesia um crescimento positivo diminuto. As freguesias de Lordelo e Campanhã apresentavam, praticamente, crescimento nulo. A freguesia de Campanhã diminui ligeiramente e Lordelo aumentou. Em Paranhos o crescimento era negativo (-2%), o que significa que esse crescimento negativo é pouco significativo se comparado com o valor correspondente ao total do concelho (-8%) e com os crescimentos negativos das outras freguesias entre 1981-1991.

Em 1991 a população presente era superior à residente no total do concelho do Porto e em quase todas as freguesias, excetuando-se Campanhã e Nevogilde.

Em 2001 verifica-se nova inversão ao nível do total do concelho do Porto, tendo sete freguesias população presente superior à residente (Cedofeita, Massarelos, Miragaia, Paranhos, S. Ildefonso, S. Nicolau, e Vitória), e oito freguesias população presente inferior. Como se pode concluir, Paranhos é a única freguesia periférica (considerada “não de centro”) em que a população presente é superior à residente, muito provavelmente porque é também a freguesia onde há um aporte significativo de pessoas que a procuram para aceder aos seus inúmeros equipamentos hospitalares e de ensino.

Estamos convictos de que a população residente da cidade do Porto, associadas a todos os que aí afluem diariamente para usufruir das diversificadas ofertas de serviços/empregos, assim como os que percorrem as suas novas vias de atravessamento – enquanto elementos interactuantes do metabolismo urbano – em consonância com outras circunstâncias associadas às atividades económicas, podem constituir causas externas ao subsistema climático que provavelmente contribuem para influenciar o comportamento das temperaturas, em determinadas situações sinópticas e em certas épocas do ano.



---

## IV. METODOLOGIA

### INTRODUÇÃO

Dedicado à(s) metodologia(s) adotada(s), o quarto capítulo – além desta breve introdução – está constituído fundamentalmente por quatro partes a seguir discriminadas: parte 1, descrição e justificação das opções metodológicas e caminho(s) de investigação adotado(s); parte 2, recolha de dados de aquisição direta (dados principais e dados subsidiários), processada através de medições em postos itinerantes e fixos, e de aquisição indireta (fundamentalmente dados térmicos e sinópticos, da estação de referência); parte 3, tratamento dos dados (obtidos anteriormente e de aquisição recente); e parte 4, processos de representação dos resultados e respetiva opção tendencial pelas técnicas da estatística, geoestatística e estatística multivariada.

Quanto ao tratamento estatístico dos dados recolhidos, passíveis de traduzir os efeitos das múltiplas variáveis suscetíveis de contribuir para o comportamento do fenómeno de ICU em estudo, este foi feito seguindo as metodologias propostas na literatura da especialidade. O recurso à estatística clássica, a técnicas no domínio da estatística multivariada e à estatística na área das séries temporais, foi uma opção que fizemos dado que a abordagem que efetuámos nesta fase da investigação está mais direcionada para a evolução temporal da ICU do que das suas características espaciais.

No que se refere aos processos de representação/apresentação da informação, recorreu-se, entre outras, a ferramentas estatísticas, cartográficas e geoestatísticas que, combinadas com os tratamentos estatísticos anteriores, pensamos que permitiram a ilustração dos resultados obtidos, de forma explícita e rigorosa.

---

## 1. OPÇÕES METODOLÓGICAS

*“...os excedentes energéticos que alimentam o sub sistema climático portuense e justificam as anomalias térmicas positivas...devem-se... tráfego intenso, grande compacidade do espaço construído e topografia acidentada. ...os efeitos no clima local gerados pelo fenómeno urbano portuense existem e são importantes.”*

Ana Monteiro, “O Clima Urbano do Porto”, 1997

Tendo em conta que o presente projeto de investigação partiu de um trabalho previamente desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado<sup>270</sup>, pretendendo aprofundá-lo, é agora aqui utilizada alguma da informação que foi anteriormente recolhida: com o objetivo de tentar verificar a existência, a uma escala local na freguesia de Paranhos-Porto, de desvios térmicos que evidenciam o carácter distintivo da Ilha de Calor Urbano, haviam sido então efetuadas medições itinerantes de temperatura e humidade relativa, em percursos previamente definidos, durante o período de 12 de Novembro de 2003 a 05 de Janeiro de 2005, isto é, em diferentes épocas do ano e sob diferentes condições de estados de tempo<sup>271</sup>.

Tentou manter-se sempre o mesmo processo de registo durante toda a fase de experimentação para uniformizar e maximizar a qualidade da informação recolhida. Os procedimentos ao longo dos itinerários foram cumpridos segundo as estratégias que são preconizadas pelos diversos autores<sup>272</sup> da especialidade.

As medições itinerantes de temperatura e humidade constituem um dos processos de aquisição de informação mais comuns em climatologia urbana, dada a facilidade de execução e a economia de meios. Remontam à década de 30 do século XX as primeiras medições itinerantes de temperatura efetuadas em veículo automóvel, as quais são

---

<sup>270</sup> Balkestáhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>271</sup> Entre Novembro/2003 e Janeiro/2005 foram realizadas 126 medições válidas, ao longo de 116 dias, tendo 120 ocorrido em período noturno e 6 em período diurno.

<sup>272</sup> Os procedimentos metodológicos experimentais de aquisição direta de informação foram baseados em publicações de referência na temática: Chandler, T.J., Londres, 1965; Gomez, A.L., Madrid, 1985; Alcoforado, M.J., Lisboa, 1988; Monteiro, A., Porto, 1991; Ganho, N., Coimbra, 1993.

---

descritas por A. Kratzer em 1937 como tendo sido realizadas por Wilhelm Schmidt, na cidade de Viena<sup>273</sup>.

Os resultados que então relatámos (Balkeståhl, 2005)<sup>274</sup> foram obtidos fundamentalmente com recurso a medições itinerantes referentes à ocorrência de Ilha de Calor Urbano em distintos locais da área de Paranhos-Porto e vieram comprovar, a uma escala mais pormenorizada, os resultados dos estudos anteriores de A. Monteiro (1997)<sup>275</sup> e de J. Góis (2002)<sup>276</sup>.

Na presente investigação pretendemos efetuar um estudo que privilegiasse a estrutura espaço-temporal da ICU, através da recolha de dados térmicos em postos fixos, instalados segundo cortes aproximadamente N-S e W-E, a intervalos de tempo regulares, aplicando uma metodologia que, além de incidir sobre diferentes espaços da cidade do Porto com características distintas, permitisse também anular o efeito do fator altitude<sup>277</sup> na variação térmica; a principal razão de termos utilizado os valores das temperaturas potenciais em substituição das temperaturas efetivamente medidas, baseou-se na nossa convicção de que a anulação do efeito do referido fator altitude<sup>278</sup> nos permitirá evidenciar a influência dos restantes fatores e, portanto, determinar com maior rigor a real magnitude e a efetiva evolução temporal da Ilha de Calor Urbano na área de estudo.

Dada a elevada quantidade de informação já disponível proveniente de medições itinerantes, como atrás referido, não foram feitas mais medições deste tipo nesta fase da investigação. Foram ainda utilizados os dados de humidade relativa, vento, pressão atmosférica e temperatura, à superfície, a partir dos registos da estação Porto-Aeroporto (Pedras Rubras, Maia).

---

<sup>273</sup> Segundo Rudolf Geiger (1961), este método terá sido utilizado pela primeira vez simultaneamente por Wilhelm Schmidt em Viena e A. Peppler em Karlsruhe, em 1929, através da realização de percursos de medição de temperatura, em automóvel. GEIGER, R., *Manual de Microclimatologia-O Clima da Camada de Ar Junto ao Solo*, 2ª Ed., Fundação Calouste Gulbenkian, 1990, pág. 502.

<sup>274</sup> Balkeståhl, L., *Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela*, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>275</sup> Monteiro, Ana., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997.

<sup>276</sup> Góis, Joaquim, *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*, FEUP, Porto, 2002.

<sup>277</sup> Andersson, K., C., Ekeblad, *Högsommardagar i Sverige 1917-2003*. Department of Physical Geography, Earth Sciences Centre Göteborg University, Göteborg, 2004.

<sup>278</sup> A maior parte dos primeiros estudos sobre ilha de calor urbano realizaram-se em cidades caracterizadas por topografia bastante uniforme mas justifica-se esta metodologia dado que a cidade do Porto apresenta diferenças de altitude razoáveis e é conveniente reportar os dados a um referencial comum.

---

Para tentar dar resposta à maioria dos itens da primeira pergunta de partida (questão 1.1.1, *Quais as situações sinópticas que potenciam/inibem a intensificação – no sentido de aumento da sua magnitude/prevalência temporal – da ilha de calor urbano na área de estudo?*) não se tornaria premente o recurso a uma área alargada, a principal preocupação deveria ser a de estipular a magnitude máxima da ilha de calor urbano segundo:

$$(\Delta T_{u-r(max)}) \text{ isto é, } (T_A - T_R) \text{ respetivamente } (T_B - T_R)$$

em que  $(\Delta T_{u-r(max)})$ <sup>279</sup>, corresponde à máxima intensidade da ICU,

$T_A$  e  $T_R$  correspondem respetivamente a área de centro e área rural,<sup>280</sup>

$T_B$  e  $T_R$  correspondem respetivamente a área de periferia e área rural.<sup>281</sup>

Da mesma forma, é também importante neste caso definir quais os períodos mais prováveis de ocorrência da ICU máxima, diária e anualmente. Sob o ponto de vista metodológico é fundamental que os postos de medição (aquisição direta de dados) englobem simultaneamente tipologias urbanas homogéneas, mas de características distintas<sup>282</sup>: edificado denso de centro ou “down town”, designado por tipo A, edificado pouco denso de área residencial, designado por tipo B, e área rural pouco intervencionada, designada por tipo R.

Pelo contrário, a investigação de alguns itens da primeira pergunta e dos itens da segunda pergunta de partida (questão 1.1.2, *Podemos contribuir para avaliar/controlar o efeito da ilha de calor atual e futura?*) já exige uma área de recolha de dados razoavelmente alargada, com medições planeadas/realizadas 3 a 5 horas após o pôr-do-sol – quando a ilha de calor estará supostamente mais desenvolvida, dependendo da época do ano – no caso das medições itinerantes, e a intervalos de tempo relativamente pequenos, no mínimo de hora a hora, no caso das medições em postos fixos. Quanto a estas questões poderia tentar-se uma estimativa da futura intensidade da ilha de calor

---

<sup>279</sup> Intensidade máxima da ilha de calor urbano, representada pela anomalia térmica urbano menos rural, OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 293.

<sup>280</sup> Edificado denso de centro ou “downtown”, designado por tipo A e área rural designada por tipo R.

<sup>281</sup> Edificado pouco denso de área residencial ou “uptown”, designado por tipo B e área rural designada por tipo R.

<sup>282</sup> Para este fim, as recolhas de dados em tipologias industriais não são tão aconselháveis, por um lado porque habitualmente não são homogéneas e por outro porque na generalidade englobam localmente fontes de forte emissão de calor.

---

urbano com base em resultados de diferentes simulações regionais de clima – como um acréscimo à modificação regional da temperatura em situações de ilhas de calor mais ou menos pronunciadas, uma vez que as simulações podem fornecer dados da modificação genérica da temperatura devida ao efeito de estufa e/ou devido às diferentes situações sinópticas, mas essa ação exigiria meios de que não dispomos. Relativamente à subquestão f2, não se pretende aprofundar a problemática do *stress* térmico nem efetuar pesquisa própria em instituições ligadas à saúde mas sim, com base em consultas da literatura já publicada de investigações anteriores, fazer um juízo da relevância da ilha de calor para a saúde dos cidadãos.

Quer a magnitude máxima, quer a extensão temporal e espacial da ilha de calor são claramente dependentes da estação do ano, razão pela qual este fato deve ser levado em conta na investigação destas questões, exigindo uma abordagem apoiada em material sinóptico e dados de fotografias de satélite, isto é, dados de apoio de recolha indireta.

A magnitude da ilha de calor pode ser influenciada pelas alterações dos vários elementos climáticos (por exemplo, pela nebulosidade), mas também e sobretudo pela urbanização expectável, o que nos remete para possíveis cenários de futuro relacionados com as questões práticas dos consumos de energia, das estruturas do edificado ou das emissões atribuídas ao tráfego.

Privilegiámos sobretudo as metodologias ligadas ao método indutivo, mas dada a larga abrangência de subtemáticas e a especificidade do trabalho relativo à Ilha de Calor, referir-nos-emos às diversas metodologias utilizadas, à medida que formos descrevendo os distintos passos da investigação.

## **2. AQUISIÇÃO DE DADOS**

A recolha de dados consistiu em aquisição direta (dados principais e dados subsidiários), fundamentalmente através de medições térmicas em postos itinerantes e fixos (estes últimos em duas fases distintas) e aquisição indireta de dados meteorológicos de apoio à investigação, em período correspondente às duas fases de recolha de dados próprios.

---

## 2.1. Aquisição Indireta de Dados

Os dados de aquisição direta foram sistematicamente complementados pelos dados meteorológicos da estação de Porto-Aeroporto de Pedras Rubras (seguidamente designada por estação de Porto-Aeroporto); por isso, embora o âmbito desta investigação não exija estudos aprofundados de meteorologia sinóptica, pareceu-nos pertinente efetuar uma abordagem sucinta ao tema, dada a importância do contributo dos diferentes estados de tempo/estações do ano para a compreensão e explicação da magnitude, padrão espacial e duração da Ilha de Calor Urbano.

### 2.1.1. Aquisição Indireta de Dados e Cartas de Apoio à Informação

Para se analisar o estado do tempo e as condições atmosféricas em dado momento de observação, avaliar a provável evolução de uma situação sinóptica e, conseqüentemente, efetuar previsões do estado de tempo, recorre-se geralmente às cartas sinópticas, as quais configuram a ferramenta fundamental da meteorologia sinóptica. Uma das aplicabilidades práticas mais importantes da meteorologia sinóptica consiste exatamente no facto de esta permitir prever a evolução dos estados de tempo, recorrendo-se para isso fundamentalmente à utilização de três tipos de cartas sinópticas<sup>283</sup>:

- as que permitem apresentar uma visão de conjunto, em simultâneo, do estado dos diversos elementos atmosféricos à superfície<sup>284</sup> num dado momento, as chamadas cartas sinópticas meteorológicas de superfície, também designadas por cartas do estado de tempo;
- as que representam a topografia das diferentes superfícies isobáricas<sup>285</sup>, assim como a temperatura e condições de vento nessas superfícies, permitindo a perceção do estado da atmosfera acima da área de contato com a superfície, designadas na generalidade por cartas de altitude, muito utilizadas em meteorologia aeronáutica (as cartas de altitude subdividem-se ainda em cartas de pressão constante, cartas de espessura, cartas diferenciais e cartas de ventos em altitude);

---

<sup>283</sup> Santos, E. P. dos, Meteorologia, Lisboa, 1965 (Edição “A Minerva” Fev. 1966).

<sup>284</sup> A elaboração destas cartas é baseada em observações simultâneas – feitas a partir da superfície terrestre – das condições de tempo e dos diferentes elementos meteorológicos registados/observados num número considerável de estações mundiais, estrategicamente localizadas para otimizar os resultados dessas observações.

<sup>285</sup> São consideradas principais as cartas dos 500 hPa.

- 
- as sinópticas aerológicas, baseadas nos diagramas de Herlofson<sup>286</sup>, que representam dados de pressão atmosférica, temperatura e humidade relativa, obtidos em altitude através de sondagens aerológicas.

Em estudos de clima urbano de pormenor também é muito útil e significativa a observação/registo das características sinópticas da atmosfera no sentido vertical, pelo que se utilizaram por vezes – em situações que exigem algum esclarecimento adicional, sempre que se mostrou necessário para desfazer alguma dúvida ou para despistar alguma situação sinóptica mais complexa – dados obtidos a partir de cortes verticais efetuados na baixa atmosfera; estes contribuem para completar a informação das cartas aerológicas, mas são dados de difícil obtenção e exigem equipamento especial, sendo a rede aerológica nacional que executa sondagens aerológicas verticais constituída apenas por três estações, instaladas em Lisboa, Funchal e Lajes. Por essa razão, neste trabalho não pudemos dispor de aparelhagem para aquisição de dados aerológicos à escala fina e limitámo-nos pontualmente a consultar as cartas aerológicas do modelo MM5.

Devido a uma cooperação internacional existente desde 1955 entre os diferentes institutos meteorológicos mundiais, liderada pela WMO<sup>287</sup>, tornou-se mais fácil o acesso às cartas aerológicas e sinópticas de superfície: as cartas do estado de tempo são elaboradas segundo regras comuns pré-estabelecidas, obedecendo a um código numérico internacional que lhes permite serem compreendidas por todos os utilizadores, independentemente do seu idioma original. O código utilizado internacionalmente na representação e na caracterização das situações do estado de tempo é normalmente constituído por seis ou sete grupos de cinco dígitos que representam quer resultados de registos em instrumentos, quer descrições oriundas de simples observações.

Convencionou-se internacionalmente que sejam efetuadas pelo menos oito observações sinópticas diárias de três em três horas – às 00h00, 03h00, 06h00, 09h00, 12h00, 15h00, 18h00 e 21h00 UTC, alternativamente GMT<sup>288</sup> – uma vez que os processos atmosféricos não surgem isolados, mas ocorrem numa sucessão espaço-

---

<sup>286</sup> Nicolai Axel Herlofson (1916-2001), investigador nórdico ligado à meteorologia, que trabalhou fundamentalmente nos campos da física e astrofísica.

<sup>287</sup> Esta sigla, mais conhecida internacionalmente, refere-se à World Meteorological Organization, em português OMM-Organização Meteorológica Mundial.

<sup>288</sup> GMT, Greenwich Mean Time, actualmente substituído pelo termo UTC (Coordinated Universal Time, em uso desde 1963); o tempo GMT havia sido estabelecido em outubro de 1884, a partir da Conferência Internacional do Meridiano, quando foi decidido adotar o Meridiano de Greenwich, Inglaterra, como referência internacional de longitude zero.

---

temporal contínua. Em geral, a informação resultante das diferentes observações/aquisições de dados meteorológicos é registada em cartas sinópticas sob três formas: pelos valores das medições dos registos efetivos, diretamente obtidos dos instrumentos, como a pressão atmosférica e a temperatura; por código numérico, como a visibilidade e a altura das nuvens; e por simbologia, como os tipos de nuvens e de tempo.

Desde o início desta investigação, primeiro entre meados de Novembro de 2003 e os primeiros dias de Janeiro de 2005, foram quase diariamente consultadas e gravadas para posterior utilização, cartas sinópticas de superfície de UKMO<sup>289</sup> das 00h00 e 18h00, cartas da USAF<sup>290</sup> das 00h00 e algumas cartas aerológicas do modelo MM5<sup>291</sup> (estas só a partir de Janeiro de 2004)<sup>292</sup>; no segundo período de recolha de informação, entre Maio de 2010 e Maio de 2012, procedeu-se de idêntica forma sobretudo relativamente a cartas sinópticas de superfície de UKMO.

Na nossa análise, utilizámos preferencialmente as cartas de UKMO<sup>293</sup>, relativas às observações das 00h00 e das 18h00, embora em casos em que não foi possível obter esses registos, se tenha recorrido alternativamente, às observações das 06h00 e das 12h00; nos dias em que as cartas sinópticas do Met Office não estiveram disponíveis *on-line*, foram utilizadas as cartas do site da USAF ou do DWD<sup>294</sup>. A referida opção horária deveu-se, por um lado, ao facto de entendermos que deveríamos assumir um referencial horário idêntico ao longo de todo o trabalho de investigação e também por outro lado, porque as medições itinerantes foram frequentemente realizadas entre as 21h00 e as 00h00, permitindo-nos essas cartas obter informação fundamental para a compreensão das condições atmosféricas verificadas em torno dos períodos das medições.

A análise sinóptica foi ainda complementada pela consulta de fotografias do satélite NOAA 17<sup>295</sup>, às quais se pode aceder diariamente *on-line* e a algumas imagens

---

<sup>289</sup> United Kingdom Meteorological Office, mais conhecido por Met Office.

<sup>290</sup> United States Air Force, Air Force Link.

<sup>291</sup> Mesoscale Modeling System, conhecido como MM5, que efectua simulações do tempo para a Europa.

<sup>292</sup> Todos os tipos de cartas referidas se encontram em *CD-rom* em Apêndice.

<sup>293</sup> As cartas sinópticas de UKMO, não sendo tão completas como as de serviço de meteorologia alemão (DWD, *Deutsch Wetterdienst*), são de mais fácil leitura e fornecem a informação suficiente para utilizadores não especialistas. As quatro observações das 00h00, 06h00, 12h00 e 18h00 são consideradas principais.

<sup>294</sup> *Deutscher Wetterdienst*, Serviço Alemão de Meteorologia.

<sup>295</sup> A Dundee Satellite Receiving Station, Dundee University, UK, mantém um arquivo diariamente atualizado (<http://www.sat.dundee.ac.uk/>).



em arquivo, disponíveis no “site” da Dundee University, Reino Unido (Dundee Satellite Receiving Station), obtidas por satélites geoestacionários que cobrem toda a terra e pelos satélites de órbita polar americanos também da NOAA<sup>296</sup>, e ainda dos satélites geoestacionários europeus Meteosat, da EUMETSAT<sup>297</sup> (figura 34). Tentou-se sempre que possível, que as cartas sinópticas e as fotografias de satélite gravadas diariamente, para posterior análise, correspondessem a horas bastante próximas das ocorrências de medições, no caso das aquisições pelo processo itinerante, e pelo menos a duas observações diárias, no caso do período de medições em postos fixos.

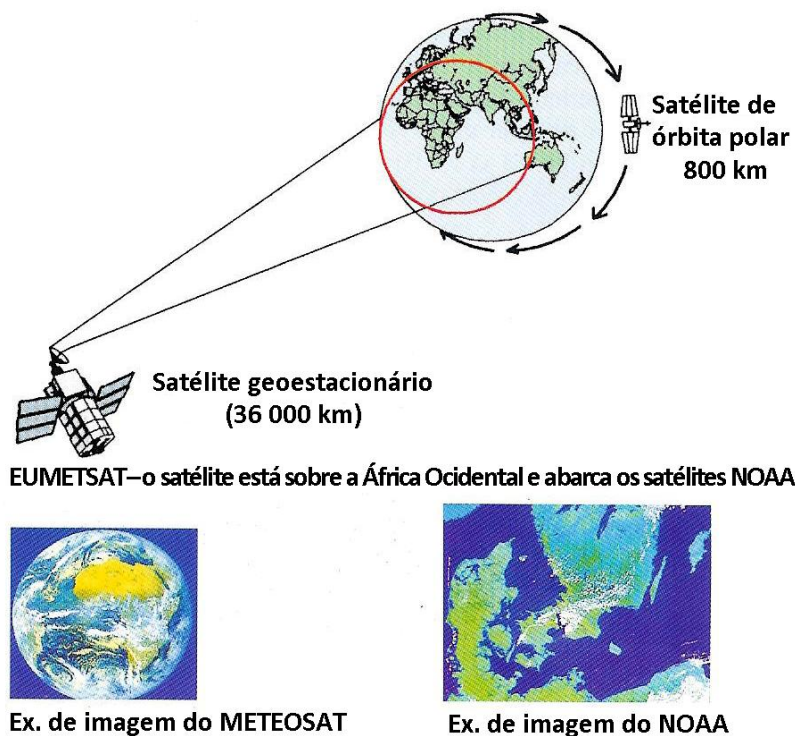


Figura 34 - Posição dos satélites geoestacionários e de órbita polar da NOAA e dos satélites geoestacionários europeus Meteosat.

(Fonte: Adaptado de “Meteorologi-ett häfte om väder och klimat från SMHI”, Serviço de meteorologia da Suécia)

### 2.1.2. Definição da(s) Estação(ões) de Referência

Ao longo da execução do nosso trabalho de investigação, fomos nos deparando com alguns obstáculos – como carência de meios, escassez de instrumentos e recursos humanos – mas aquele que podemos salientar como principal dificuldade, foi sem

<sup>296</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration, USA.

<sup>297</sup> European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites.

---

dúvida a escolha e definição da estação de referência. Foram várias as alternativas consideradas, relativamente às quais se pudessem referenciar as eventuais anomalias térmicas:

- Temperatura da estação do Porto-Aeroporto (temperaturas horárias da estação automática, Pedras Rubras, Maia), correspondente à hora do início da medição, no caso das itinerantes, e às horas de registo dos postos fixos;
- Temperatura da estação de Porto-Serra do Pilar;
- Valor da temperatura de um qualquer ponto da rede de medição, de preferência onde se efetuassem duas passagens, no caso das medições itinerantes;
- Valor médio dos registos de temperatura da rede de medição itinerante, assumido como referência;
- Temperaturas registadas numa das estações fixas temporariamente instaladas, nomeadamente Posto de Covelo, dado ser aquele cuja envolvente mais se poderá aproximar de uma estação semi-rural;
- Utilização do valor médio horário envolvendo todas as temperaturas de cada posto fixo de medição.

Não foi possível, logo nos primórdios do trabalho que serviu de base a esta investigação<sup>298</sup>, recorrer a nenhuma das duas últimas alternativas referidas, dado que as medições itinerantes decorreram logo a partir de Novembro de 2003, tendo os primeiros postos fixos sido instalados somente em Abril de 2004 e, portanto, só então entraram em funcionamento.

Depois de pesadas as diversas vantagens e desvantagens de cada alternativa, com base no recurso a consulta bibliográfica e a apoio técnico de especialistas, deu-se preferência à estação de Porto-Aeroporto como estação de referência<sup>299</sup>. Estávamos então conscientes, quer pela localização de proximidade desta última estação ao mar, quer pelas características morfológicas que apresenta, que esta opção não seria a ideal: mesmo que não existissem na área urbanizada do Porto os diversos ritmos de vida urbana associados a fontes artificiais de produção acrescida de calor e energia, morfologia artificializada, geometria das ruas e do edificado, materiais de construção

---

<sup>298</sup> Balkestahl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>299</sup> Na generalidade foram utilizados os dados *on line* da EMA (Estação Meteorológica Automática), embora na 1ª fase de medições, em casos pontuais, se tenham utilizado dados da Estação Clássica.

---

diversificados, etc., o clima da cidade não se comportaria, sob o ponto de vista climático, como Porto-Aeroporto. Mas a estação de Porto-Aeroporto como estação de referência pareceu-nos na altura ser a opção mais aceitável, perante os seguintes argumentos que enunciamos a favor<sup>300</sup>:

- localiza-se numa área de topografia uniforme enquadrada numa superfície de razoável regularidade;
- é uma estação da rede internacional com dados quase permanentemente *on line*;
- enquadra-se em espaço aberto, com número reduzido de construções, sendo representativa de uma área não excessivamente construída, ainda que não se possa considerar rural<sup>301</sup>;
- encontra-se a cerca de 4 quilómetros da linha de costa, suficientemente afastada do mar para que supostamente não reflita em demasia a sua influência.

A. MONTEIRO (1993)<sup>302</sup> efetuou um estudo comparativo das seis estações então existentes na área circundante à cidade do Porto (figura 35), para um período de 20 anos, concluindo:

- Pedras-Rubras, S.Gens e Porto-Serra do Pilar, quanto aos registos das temperaturas médias mínimas, posicionam-se num mesmo grupo, com valores intermédios relativamente às restantes estações;
- relativamente à humidade relativa, sempre superior a 75%, em todas as estações, Porto-Serra do Pilar, Pedras-Rubras e S. Gens apresentaram sempre valores idênticos, revelando uma distribuição anual mais regular que as outras estações<sup>303</sup>.

---

<sup>300</sup> No início desta investigação, considerando que a área de estudo estava confinada a Paranhos, freguesia localizada no interior norte da cidade do Porto, entendeu-se que seria também um argumento a favor da estação de Porto-Aeroporto, o fato de a referida freguesia se encontrar situada na vertente norte do interflúvio Douro-Leça voltada a noroeste, menos exposta, portanto, à influência do rio Douro, apesar de distar deste e da estação meteorológica da Serra do Pilar somente cerca de 2,5 Km. Essa situação geográfica, a norte do ponto mais alto do citado interflúvio, acabou por pesar a favor de alguma afinidade da área de estudo com uma estação que não se relacionasse diretamente com o rio.

<sup>301</sup> Em Porto-Aeroporto existem três estações distintas: SIO (Sistema Integrado de Observação), localizada em plena pista e vocacionada sobretudo para a aeronáutica; EMA (Estação Meteorológica Automática), localizada na zona sul do Aeroporto, Freixieiro, a 69 metros de altitude; Estação Clássica, actualmente implantada no telhado do edifício contíguo à torre de control aéreo, utilizada somente em caso de avaria da EMA ou para estudos comparativos.

<sup>302</sup> Cf. Monteiro, A., *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, págs. 60.

<sup>303</sup> Segundo a opinião defendida por A. Monteiro os dados da estação de S. Gens não eram minimamente fiáveis, sendo notórias e excessivas as discrepâncias relativamente aos dados das outras estações meteorológicas da mesma área geográfica, demonstrando assim a má qualidade desses dados.

À medida que a nossa investigação avançava, apercebemo-nos de uma situação que nos levou a ponderar a utilização de mais uma estação de referência: durante o período de análise da Ilha de Calor no seu sentido mais tradicional – a ICU noturna – que havíamos efetuado em 2005, usámos os dados da estação de Porto-Aeroporto como estação de referência. No entanto, durante o tratamento da informação do período experimental de aquisição de dados em postos fixos, ao privilegiarmos o estudo temporal da ICU em detrimento do espacial, verificámos que os resultados da ICU diurna não correspondiam verdadeiramente ao que seria expectável, de acordo com a literatura internacional sobre o tema<sup>304</sup>, para uma área de estudo que se integra nas regiões temperadas das latitudes médias.

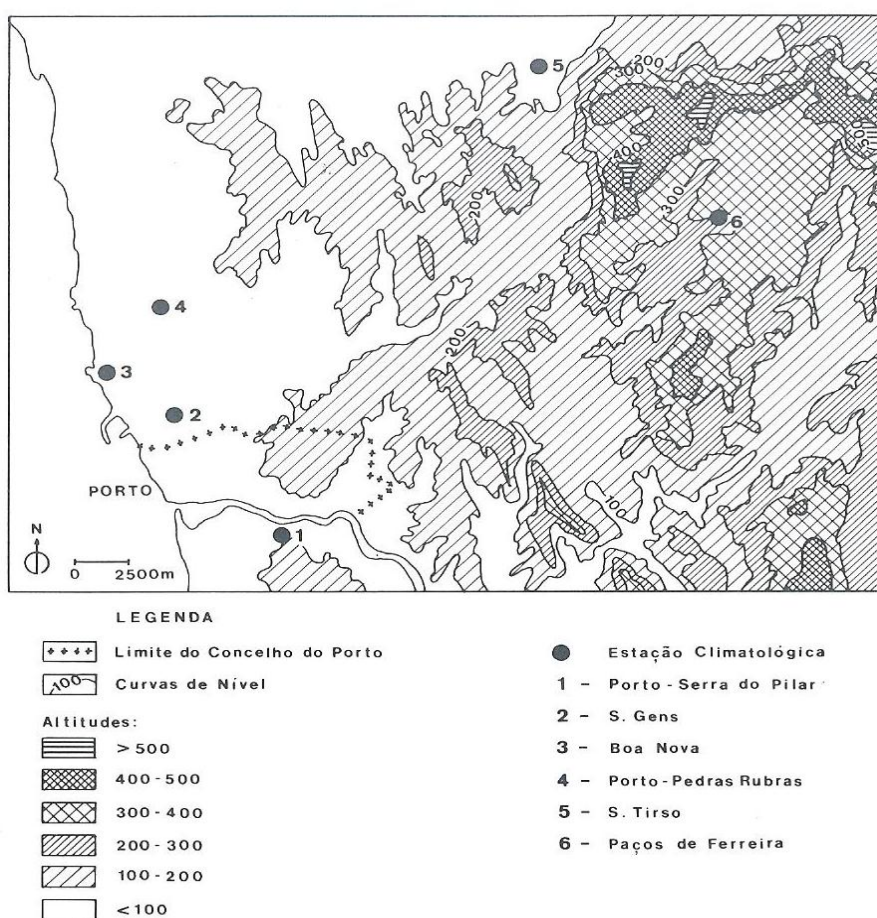


Figura 35 - Localização das seis estações climatológicas cujos dados foram utilizados por A. Monteiro.  
 Fonte: MONTEIRO, A., O Clima Urbano do Porto, págs. 67

<sup>304</sup> C. f. Oke, T.R. - Boundary layer climates, 1978/1987, Routledge, London and New York, ISBN 0-415-04319-0, pág 290; Taesler, R. - "Studies of the development and thermal structure of the urban boundary layer in Uppsala", Part II, Data Analysis and Results- Relatório N° 61, Uppsala, 1980, pág 135 e 140; Klysiak, K., Fortuniak K. - Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz, Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September, Lodz, Poland, 2003.

---

Após vários testes/experiências que descreveremos adiante<sup>305</sup>, optámos por eleger também como estação de referência – sobretudo para o estudo de abordagem à evolução temporal das anomalias térmicas, subsequente ao período experimental – aquela que, de entre todos os nossos postos fixos de aquisição de dados, supostamente teria mais afinidades físicas com o meio rural, isto é, a nossa escolha recaiu sobre o posto G-Covelo. Aliás, a hipótese de utilização como referência, das temperaturas registadas numa das estações fixas temporariamente instaladas, nomeadamente posto de Covelo, já havia sido ventilada anteriormente, dado aquele posto ser o único cuja envolvente mais se poderá aproximar de uma estação semi-rural. Essa hipótese não foi adotada de imediato, somente porque os postos fixos, por razões logísticas, tardaram em ser instalados<sup>306</sup>. É de assinalar que, seja qual for a estação de referência ou a referência escolhida (e já aqui utilizámos como referência para efetuar os primeiros cálculos estatísticos, durante a primeira fase desta investigação, o valor médio dos registos das medições itinerantes) o importante é ser-se consequente e utilizar o mesmo referencial em cada temática/momento de abordagem. Acresce ainda referir que pode ser útil e inclusivamente pertinente, serem comparados entre si resultados provenientes do tratamento dos mesmos dados, mas com recurso a referenciais distintos. Portanto, em boa verdade, ao elegermos os dados térmicos adquiridos no posto G-Covelo como referência para a fase do trabalho de investigação da evolução temporal da ICU, esta será a terceira “estação de referência” e não a segunda.

## **2.2. Processos de Aquisição Direta de Dados**

A aquisição direta de informação específica para esta investigação foi realizada em duas fases distintas e segundo dois tipos de aquisição, isto é, recolha de dados térmicos em medições itinerantes e em postos fixos:

A aquisição direta de dados processou-se fundamentalmente durante dois períodos:

- desde novembro de 2003 a janeiro de 2005, no que se refere às medições itinerantes;

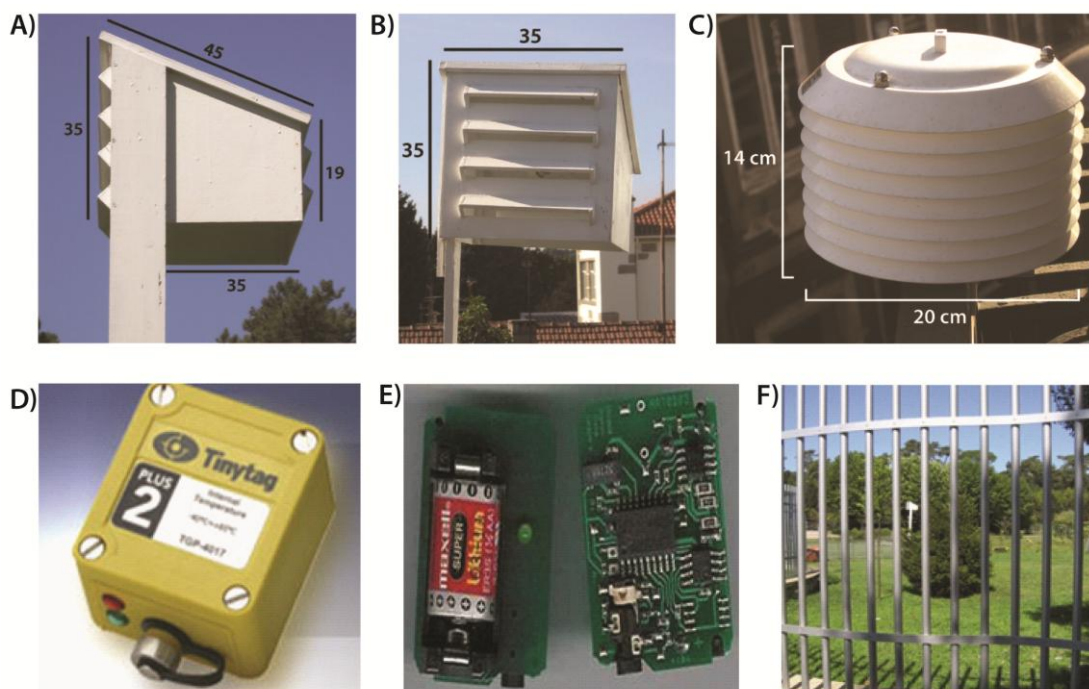
---

<sup>305</sup> Pág 235 a 251, exposição solar dos abrigos; pág. 252 a 253, influência das brisas

<sup>306</sup> Balkestähl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005, pág IV-11.

- em duas fases distintas de aquisição no que diz respeito às medições em postos fixos, isto é,
  - primeiro, experimentalmente, entre agosto de 2004 até fevereiro de 2005 (em seis postos fixos)
  - depois, entre maio de 2010 até maio de 2012 (inicialmente em dez postos fixos), perfazendo neste último caso cerca de dois anos de recolha de dados.

Esta segunda fase de aquisição de dados em postos fixos com sondas instaladas em abrigos próprios (figura 36) foi por nós considerada suficientemente alargada para se poderem tirar ilações válidas dos resultados (estes períodos reportam-se ao total de dados válidos e comparáveis entre si mas, devido a razões logísticas, na verdade os tempos efetivos de recolha cobrem períodos mais alargados, mas não em todos os postos simultaneamente).



- A) Imagem frontal e medidas dos primeiros abrigos utilizados  
 B) Imagem lateral e medidas dos primeiros abrigos utilizados  
 C) Imagem e medidas dos abrigos utilizados em alguns postos da segunda fase de medições  
 D) Sonda Tinytag (medição de temperatura e humidade relativa)  
 E) Sonda Tinytalk (medição de temperatura)  
 F) Local de instalação do Posto G-Covelo

Figura 36 - Tipos de abrigos e sondas utilizados nos postos de medição.

---

## 2.2.1. Primeira Fase de Aquisição Direta da Informação

### Recolha de dados em Medições Itinerantes

No que se refere às medições itinerantes, estas foram efetuadas em itinerário previamente definido na área de estudo (figura 37-A e B), entre 12 de novembro de 2003 e até 05 de janeiro de 2005<sup>307</sup>, havendo o cuidado de que fossem representativas de diferentes épocas do ano e de condições de estado de tempo mais variadas possível. Apesar de muito dependentes dos condicionalismos de tráfego, houve ainda a preocupação de que os veículos utilizados nas medições itinerantes se deslocassem a velocidade baixa e tanto quanto possível constante (30-40 Km/h). Uma estratégia que é preconizada por diversos autores<sup>308</sup> da especialidade é a de que os itinerários sejam percorridos em simultâneo nos dois sentidos do percurso, tomando-se como medida num dado ponto de registo, a média das duas observações consideradas nesse ponto; mas, por um lado, devido à falta de meios técnicos (à época dispúnhamos somente de um termohigrómetro) e de recursos humanos (condutores e ajudantes para o eventual segundo veículo) e, por outro lado, devido à escala de análise, em que a curta duração do itinerário não exigia senão uma pequena correção temporal, optou-se por efetuar o percurso num só sentido (é de salientar que a aplicação desta estratégia, mesmo que tivesse sido considerada, seria dificultada pelos próprios condicionalismos da circulação rodoviária, que apresenta na cidade vários casos de tráfego com sentidos únicos). Para ultrapassar esta questão, mas sem perder de vista o objetivo de validação dos dados, instituiu-se a passagem repetida por alguns dos postos de medição, estratégia também bastante utilizada nestes casos. Para não se correr o risco de as alterações nas condições físicas da atmosfera ao longo do tempo se refletirem nas temperaturas medidas, optou-se por um percurso de curta duração. É relevante referir que tentámos uniformizar sistematicamente os procedimentos de recolha de dados para que o trabalho de registo pudesse ser consistente e, caso houvesse lugar a eventual ocorrência de erros sistemáticos, estes se refletissem sempre de forma equitativa em toda a fase de

---

<sup>307</sup> Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>308</sup> Citam-se alguns exemplos de publicações em que são referenciados os possíveis procedimentos metodológicos experimentais de aquisição directa de informação: Chandler, T.J., Londres, 1965; Gomez, A.L., Madrid, 1985; Alcoforado, M.J., Lisboa, 1988; Monteiro, A., Porto, 1991; Ganho, N., Coimbra, 1993; Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

---

experimentação, independentemente do processo seguido, ou dos condicionalismos exteriores ao método utilizado.

### **Definição do percurso das Medições Itinerantes**

A pré-definição do itinerário, levada a cabo com a ajuda de dois especialistas em Climatologia Urbana<sup>309</sup> baseou-se na execução de várias viagens experimentais realizadas em trabalho de campo, que implicaram diversas tentativas efetuadas com vários percursos alternativos; baseou-se também em reflexões prévias em gabinete, com consulta de cartas sobre a área de estudo, e na comparação com projetos de investigação anteriores, acabando por ser definido um itinerário constituído por 100 pontos de medição. Apesar desta tentativa de rigor, o itinerário sofreu posteriormente algumas alterações<sup>310</sup>, tendo-lhe sido retirados alguns pontos e acrescentados 23 pontos, alguns deles localizados fora do perímetro urbano do Porto, passando o percurso no total a ser composto por 121 pontos de medição, ao longo de uma distância de cerca de 16,9 Km.

A seleção dos pontos de observação pretendeu contemplar pelo menos os seguintes critérios gerais:

- abranger diferentes tipologias urbanas (quanto a densidades de ocupação do solo e funcionalidades específicas);
- incluir diversos tipos de geometria urbana;
- incluir pontos em áreas de espaços verdes;
- considerar diferentes distâncias aos mosaicos de água que enquadram a cidade (oceano vs rios Douro e Leça);
- abranger vários aspetos morfológicos e hipsométricos da cidade.

Na aquisição de dados foi utilizado um termohigrómetro digital, tipo Delta OHM-HD 8501 (Figura 37-C) o qual foi aferido por um técnico especializado. Foi instalado temporariamente em veículo ligeiro de passageiros, no exterior do referido veículo, mais concretamente, no lado direito do tejadilho (à altura de cerca de 1,5 m).

---

<sup>309</sup> Cabe aqui um agradecimento especial à Sra. Prof. Dra. Ana Monteiro e ao Sr. Prof. Dr. Hervé Quenol, entre muitas outras ajudas, pelo impulso inicial proporcionado nessa fase do trabalho.

<sup>310</sup> Esta alteração teve por objetivo melhorar a capacidade de quantificação da magnitude do efeito térmico urbano, através da comparação com dados obtidos em meio exterior ao espaço urbano, ainda que este não possa ser considerado verdadeiramente rural.



---

## Duração dos percursos e processo de correção de tendência temporal

Os registos das medições itinerantes revelam variações, quer no espaço – entre diferentes pontos de medição, quer no tempo – no decurso de cada episódio de medição. Para se determinar com a maior precisão possível o efeito da estrutura do edificado da malha urbana no comportamento térmico da área em estudo e poder isolá-lo do fator tempo, torna-se necessário corrigir em cada percurso, os eventuais aumentos/diminuições de temperatura ocorridos entre a primeira e a última passagem. Por isso começámos por fazer um estudo da duração de cada percurso, da média da duração dos percursos (40 a 45 minutos) e do tempo médio entre medições em pontos consecutivos (cerca de 0,33 a 0,37 minutos)<sup>311</sup>, como se segue:

- ordenaram-se os pontos de medição por número de série;
- organizou-se uma tabela com os pontos onde se fazem duas passagens durante o percurso<sup>312</sup>.
- determinou-se a variação térmica temporal sofrida por cada ponto entre duas passagens<sup>313</sup>, calculando o valor individual de  $\Delta t$  dos pontos, da seguinte forma:

$$\Delta t_i = (Tm_{i2} - Tm_{i1}) / (n_{i2} - n_{i1}) \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

$\Delta t_i$  – diferença de temperatura entre os valores medidos na 2ª passagem pelo ponto  $i$  e na 1ª passagem

$Tm_{i2}$  – temperatura medida no ponto de medição  $i$  na 2ª passagem

$Tm_{i1}$  – temperatura medida no ponto de medição  $i$  na 1ª passagem

$n_{i2}$  – nº de série do ponto de medição no local  $i$ , na 2ª passagem

$n_{i1}$  – nº de série do ponto de medição no local  $i$ , na 1ª passagem

Verificou-se que:

---

<sup>311</sup> Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>312</sup> Ficaram de fora desta análise os pontos que se repetem fora do perímetro urbano do Porto dado que o lapso temporal entre as suas duas passagens é extremamente curto e, portanto, as suas alterações térmicas temporais são irrisórias.

<sup>313</sup> C f. Tabela Duração dos percursos, admitindo que o lapso de tempo entre os diversos pontos de medição é aproximadamente constante em cada episódio de medição.

---

i) A maioria dos episódios de medições itinerantes não apresenta diferenças sistemáticas – nem de elevado valor – na tendência térmica ao longo dos percursos<sup>314</sup> (alterações pontuais e momentâneas de +/-0,1 -0,2° C são aceitáveis)<sup>315</sup>.

ii) Alguns episódios de medição apresentam diferenças sistemáticas, as quais correspondem sobretudo aos pontos 42-46 e 68 e em datas específicas<sup>316</sup>, pelo que não são de valorizar.

iii) Somente três percursos em 126 denotam um tipo de tendência distinto, o que aponta para o facto de se tratar de alterações ocorridas no estado de tempo durante o respetivo período de medição.

Portanto, a análise de tendência temporal permitiu concluir o seguinte: se a duração dos itinerários fosse muito prolongada no tempo, seria conveniente efetuar uma regressão temporal de pormenor, ponto a ponto, para corrigir as diferenças existentes entre as temperaturas de início e de final dos percursos; como as variações térmicas temporais são reduzidas, face à curta duração dos percursos optámos por fazer uma correção simplificada de tendência térmica temporal dos valores medidos.

Das 126 medições válidas, efetuadas ao longo de 116 dias e que já foram objeto de análise em trabalho anterior<sup>317</sup>, seleccionámos somente os resultados de 16 percursos, isto é, aqueles que cumpriam os requisitos dos fenómenos que pretendemos agora evidenciar, a saber: medições executadas mais do que uma vez ao dia, algumas vezes em horários próximos, outras distribuídos ao longo do dia, que nos permitissem realçar que a extensão temporal da ICU nem sempre se reduz às horas/períodos geralmente referidos na literatura da especialidade; e que a magnitude máxima da ICU pode ocorrer em horários menos convencionais, fora daqueles que são habitualmente preconizados.

---

<sup>314</sup> A análise da tendência térmica na maioria das situações revela comportamento quase constante, só apresentando aleatoriamente ligeiras flutuações entre os pontos (quer positivas, quer negativas).

<sup>315</sup> Taesler, R., Lokalmeteorologiska förhållanden i Västra Ängby, Knivsta, Stockholm, 1978.

<sup>316</sup> Na generalidade estes pontos denotam tendência térmica negativa com mais frequência que os outros, estando confinados a uma parte do percurso em que predominam áreas verdes ou superfícies abertas.

<sup>317</sup> Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

---

## **Recolha de dados em Postos Fixos (1ª fase) – Período experimental**

A recolha de dados em sete postos fixos, aplicando uma metodologia que, além de incidir sobre diferentes espaços da cidade com características distintas, permitisse também anular o efeito do fator altitude<sup>318</sup> na variação térmica, teve como finalidade primordial efetuar um estudo que privilegiasse a estrutura espaço-temporal da ICU, mesmo que com o risco eventual de perda de alguma informação espacial, para tentar determinar:

- a efetiva evolução temporal da Ilha de Calor Urbano na área de estudo;
- a real magnitude da Ilha de Calor Urbano;
- o comportamento típico da ilha de calor diurna.

Quanto aos sensores térmicos instalados em postos fixos, numa primeira fase experimental, a escolha da sua localização incidiu quer em locais correspondentes aos pontos do percurso de medições itinerantes, quer em posições que lhe são exteriores mas próximas, na área da freguesia de Paranhos-Porto (rever mapa da Figura 37-A e B), de acordo com as prioridades por nós definidas e os condicionalismos burocráticos de autorizações de instalação. O número de postos fixos, tendo em conta a extensão dos referidos perfis, considerou-se que deveria ser no mínimo de sete<sup>319</sup>.

A localização dos postos de medição de temperatura foi escolhida com base no critério de que deveria ser representativa de áreas com diferentes densidades de ocupação do solo e de diferentes altitudes. No sentido de tentar apreender a magnitude máxima da Ilha de Calor Urbano, foi considerado especialmente importante localizar pelo menos um posto de registo tão perto quanto possível da parte mais densamente povoada da área de estudo, que correspondia então, como já referido, somente à freguesia de Paranhos. Para poder incluir “dias completos” de cálculo de desvios térmicos, a recolha de dados em postos fixos processou-se a intervalos de tempo regulares (no período experimental de aquisição de informação, de 30 em 30 minutos), através de dois cortes/perfis, um longitudinal e outro transversal, aproximadamente N-S e W-E.

---

<sup>318</sup> Andersson, K., C., Ekeblad, Högsommandagar i Sverige 1917-2003. Department of Physical Geography, Earth Sciences Centre Göteborg University, Göteborg, 2004.

<sup>319</sup> Pensando de início em eventuais percalços, como o facto de a sonda colocada na área do ISEP ter desaparecido logo após o 1º registo.

---

Os registos foram efetuados na generalidade com recurso a sondas térmicas armazenadoras de dados (*dataloggers* Tinytalk, figura 37-D)<sup>320</sup>, de grande capacidade de memória, que permitem obter dados em intervalos horários diversos e, se necessário, bastante frequentes (de hora a hora, a cada meia hora ou outros períodos ainda mais pormenorizados). Desta forma minimiza-se a necessidade de medições itinerantes e de excessivos momentos de descarga de dados. A hora de medição/registo foi programada de forma que fosse coincidente com as horas de registo das observações sinópticas da estação de Porto-Aeroporto (estação de referência adotada na primeira fase da investigação, localizada em Pedras Rubras, Maia).

Os registos térmicos experimentais foram efetuados sistemática e continuamente durante o período de 21 de Agosto de 2004 até 17 de Fevereiro de 2005<sup>321</sup>. O período de cobertura temporal dos dados assim obtidos não coincidiu exatamente com o período de obtenção dos dados itinerantes, por razões burocráticas, relacionadas com a aquisição e a posterior instalação dos equipamentos<sup>322</sup>.

Para calibrar as sondas térmicas Tinytalk então utilizadas, adotou-se o seguinte procedimento: as sondas permaneceram num mesmo espaço, durante aproximadamente 4 dias (entre as 18h00 do dia 31/03-2004 e as 16h00 do dia 04/04-2004), e os resultados obtidos foram comparados entre si. Não se tendo verificado diferenças relevantes nos valores dos registos, durante o período em análise, considerou-se estarem calibradas.

A análise dos resultados das medições experimentais efetuadas nestes postos fixos teve também a finalidade de testar a metodologia proposta, a qual poderia assim ser posteriormente alargada a outras áreas da cidade do Porto.

---

<sup>320</sup> No prosseguimento da investigação, ao alargar o período de recolha de dados foram utilizados dataloggers do tipo Tinytag e também duas sondas armazenadoras de dados modelo Tinytag Plus 2 (TGP 4500); estes últimos, além da temperatura registam ainda humidade relativa. Apesar de não ser fácil – nem necessário neste caso – obter dados de humidade relativa, considerou-se que a medição desta variável em dois pontos poderia vir a revelar-se útil quer para a análise de resultados, quer para a interpretação das situações sinópticas. O modelo de sonda Tinytag Plus 2 tem um dador incorporado com um tempo de resposta de 25 minutos, o que é bastante lento mas mesmo assim permite acompanhar as variações diárias mais características; as alterações locais mais rápidas não se poderão discernir mas, em caso de necessidade, pode adaptar-se um dador externo especialmente montado para o efeito.

<sup>321</sup> Existem registos contínuos e simultâneos para a totalidade dos postos de aquisição, somente no período acima referido, embora o período total de registos se estenda na verdade desde 04/04-2004 até 24/08-2005.

<sup>322</sup> A aquisição das sondas tipo Tinytalk, primeiro por inexistência no nosso país, depois por serem demasiado onerosas, acabou por ser feita em país estrangeiro, pelo que estes postos fixos só puderam entrar em funcionamento a partir do início de Abril de 2004.



Figura 37 – Área de estudo, localização dos postos de aquisição de informação e tipos de instrumentos (medições itinerantes e período experimental de registo em postos fixos).

---

## 2.2.2. Segunda Fase de Aquisição Direta da Informação

### Postos Fixos (2ª fase)

Posteriormente à fase experimental, na segunda fase de aquisição de dados, entre maio de 2010 até maio de 2012, cobrindo um período de dois anos, foram recolhidos registos de temperatura a partir de dez sondas térmicas Tinytalk/Tinytag, de hora a hora (em duas das instalações, também dados de humidade relativa). A descarga de dados das sondas armazenadoras processou-se através do programa Tinytag Explorer (programa para Windows que pode ser complementarmente utilizado para a construção de tabelas de dados e para apresentações gráficas, e também para exportar dados diretamente para uma folha de cálculo, tipo EXCEL).

Selecionámos 10 locais para instalação dos postos fixos (figura 38), tanto quanto possível segundo os requisitos enunciados por Oke (2004, 2008)<sup>323</sup> – embora em meio urbano, nem sempre seja possível aceder a locais de instalação perfeitos<sup>324</sup>. Os locais selecionados, ao longo de dois cortes de orientação aproximadamente N-S e W-E, correspondem a espaços urbanos de características distintas (exemplos na figura 39), representativos de áreas com diferentes altitudes, densidades de ocupação do solo e tipologias de edificado (Balkeståhl, 2008)<sup>325</sup>.

Por dificuldades no acesso às sondas, obtivemos dados para uma série completa simultânea de dois anos, somente em 8 das estações instaladas. A nossa seleção foi baseada nos critérios atrás nomeados, após observação direta dos locais e de acordo com a opinião de dois especialistas em clima urbano<sup>326</sup>; também apoiámos as nossas opções nos dados obtidos em medições itinerantes, por A. Monteiro (1997) e J. Góis (2004).

Todos os postos se encontram devidamente documentados nas ilustrações relativas à caracterização com base nas LCZ (páginas 180 a 188) e também em anexo (anexo 1 Postos Medição, com recurso a plantas, fotografias e rosas dos ventos).

---

<sup>323</sup> Oke, T. R., “Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No. 1250, 47 pp”, pág. 16-18, 2006.

<sup>324</sup> *Ibidem*, pág 15: “Em muitos aspetos o padrão geralmente aceite para a exposição de instrumentos meteorológicos ... aplica-se a locais urbanos. No entanto, haverá muitas ocasiões em que é impossível ou não faz sentido. Esta secção recomenda alguns princípios que ajudarão em tais circunstâncias, mas nem todas as eventualidades podem ser antecipadas”.

<sup>325</sup> Neste estudo datado de 2008 concluímos que existe ICU de magnitude considerável e variável, sobretudo nas áreas com maior densidade de edifícios, menor *svf* e de mais trânsito rodoviário; as correlações estabelecidas entre a densidade de edifícios/*svf* e os desvios térmicos mostram que a intensa ocupação do solo é claramente um factor potenciador do fenómeno da ilha de calor.

<sup>326</sup> Agradecemos encarecidamente à S<sup>a</sup> Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Monterio e ao Sr Prof. *emeritus* Roger Taesler.

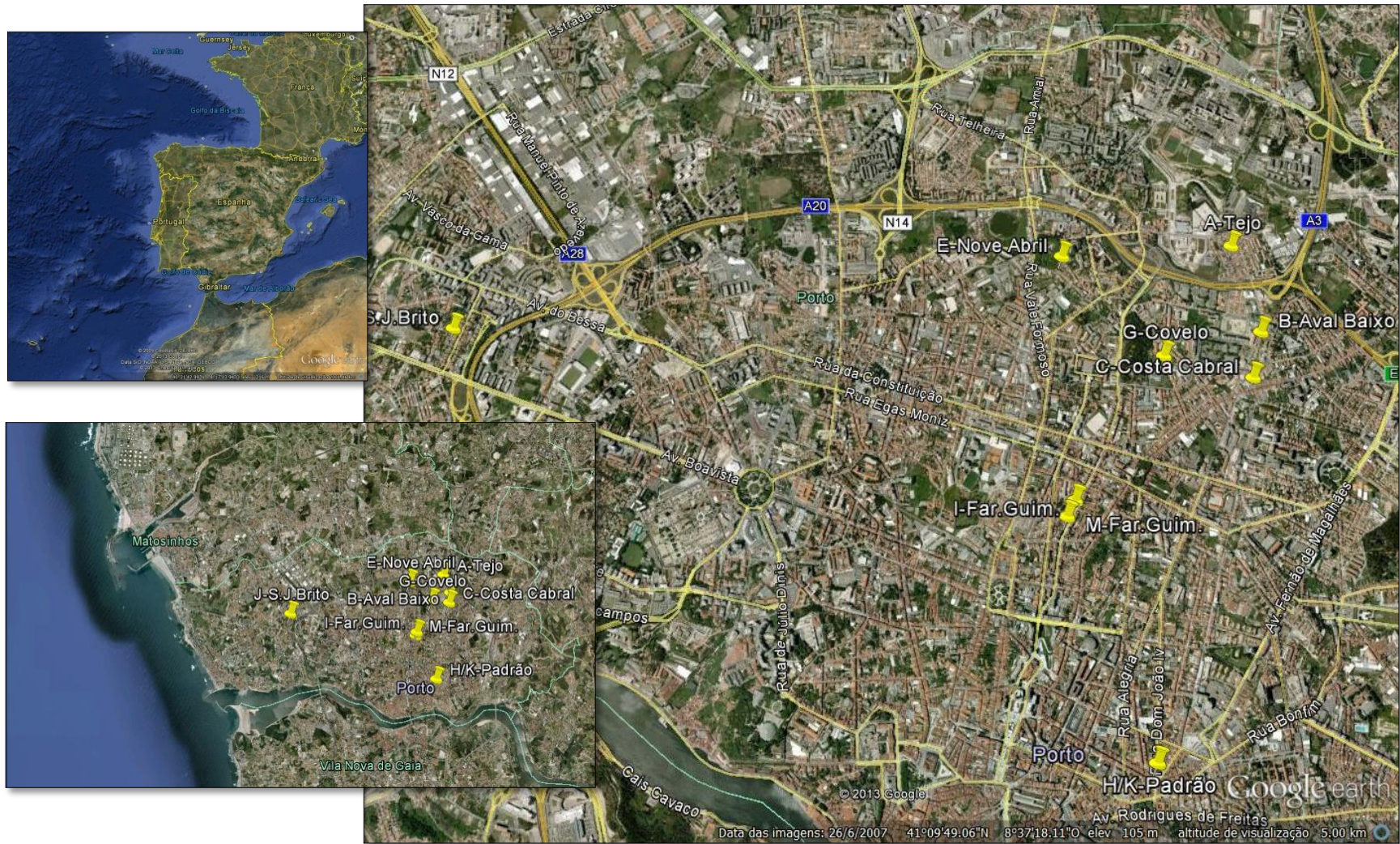


Figura 38 - Enquadramento e localização dos postos fixos - 2ª fase de aquisição de informação - altitude de visualização da carta de maior pormenor, 5 km.

**B-Aval de Baixo**



**C-Costa Cabral**



**E-Arca d' Água**



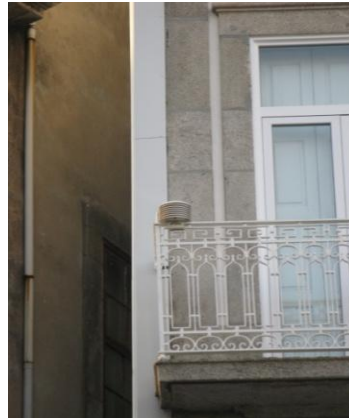
**G Covelo**



**H-Padrão norte**



**K-Padrão sul**



**I- Faria Guim. sul**



**J-S.João Brito**



Figura 39 - Exemplos de locais de instalação de alguns postos fixos.



---

Uma vez que por definição “a ilha de calor urbano é o fenómeno associado ao aumento da temperatura na zona urbana em relação às áreas circundantes não urbanizadas” (Oke, 1987), optou-se por assumir como referência a estação meteorológica de Porto-Aeroporto, tentando cumprir os seguintes objetivos:

- i) Analisar a estrutura espacial da Ilha de Calor Urbano noturna, ao longo de uma determinada secção através da área de estudo (cortes aproximadamente N-S e W-E);
- ii) Determinar a extensão temporal da Ilha de Calor Urbano noturna, ao longo de uma determinada secção através da área de estudo (cortes aproximadamente N-S e W-E);
- iii) Analisar a evolução da magnitude da ICU, noturna e diurna;
- iv) Analisar a evolução da extensão temporal da ICU, em estações do ano distintas e sob diferentes situações sinópticas.

Move-nos a convicção de que a atmosfera urbana configura uma componente fundamental do suporte biogeofísico de grande parte da população do mundo atual.

No sentido de harmonizar a caracterização dos locais de instalação das sondas térmicas da nossa área de estudo, uniformizar a terminologia utilizada nesta investigação de clima urbano e de facilitar eventuais futuras comparações de resultados, optámos por tentar uma abordagem à estrutura/geometria do solo urbano e respetiva cobertura da superfície, através das tipologias classificativas das Zonas de Clima Local, geralmente designadas pela sigla LCZ (Stewart e Oke, 2012).

No nosso entendimento, a aplicação prática do sistema classificativo das LCZ a locais de campo pode processar-se de duas maneiras:

1. Determinar os valores dos vários parâmetros usados na classificação, **numa circunferência em redor do ponto** de medição (**ou seja, 360 graus**), e em face disso decidir a qual LCZ um dado posto de medição pertence (exemplo: calcular o valor do *svf* referente a toda a circunferência em volta do ponto de medição e selecionar a classe LCZ que contém aquele intervalo de *svf*).
2. Determinar os diversos valores dos vários parâmetros **numa dada área**, verificar o intervalo da classe em que esses valores se enquadram e selecionar a classe LCZ que contém aquele intervalo (exemplo: calcular os valores de *svf* numa dada área, identificar o intervalo correspondente a esses valores de *svf* e selecionar a respetiva classe LCZ).

Neste ultimo caso, a superfície estudada deve ser relativamente homogênea em relação aos parâmetros em análise, provavelmente correspondendo a um determinado

---

bairro ou quarteirão de uma cidade. De acordo com este procedimento, deveriam determinar-se os valores dos parâmetros não só para a rua específica de instalação da sonda, mas também nas várias ruas que cercam o posto de medição. Embora este processo nos tenha parecido sensato e bem fundamentado, coloca-nos alguns problemas práticos na sua aplicação: no caso da nossa área de estudo, a sua utilização implicaria a necessidade de agrupar os postos de medição para que uma determinada LCZ fosse representada por mais de um posto, mas não dispomos nem de sondas, nem de metadados suficientes sobre a área para cumprirmos esse requisito. Por essa razão, e considerando que a determinação através do cálculo da média dos valores de *svf* em direções diferentes em volta do local de medição nos pareceu proporcionar uma aproximação razoável à realidade, optámos por seguir o primeiro procedimento.

Mesmo que possamos considerar estes procedimentos algo trabalhosos, introdutórios de uma metodologia de classificação exigente do ponto de vista quer teórico, quer prático, não deixa de ser interessante aplicá-los uma vez que contribuem para uniformizar os procedimentos e facilitam as comparações dos variados estudos da ICU.

Portanto, nesta segunda fase de recolha de dados, tentámos aplicar experimentalmente à nossa área de estudo, o sistema que os autores Stewart e Oke (2012)<sup>327</sup> desenvolveram para a classificação e designação dos locais de campo de aquisição de dados, em clima urbano. No entanto, insistimos em chamar a atenção para o facto de que esta abordagem foi feita unicamente a título experimental, embora seguindo criteriosamente o processo de três passos proposto pelos autores da classificação:

- Coligir metadados do local para quantificar as propriedades da superfície;
- Definir a área térmica de origem ou "pegada" ou "círculo de influência", isto é, a área de superfície a partir da qual o sinal de temperatura é originado e subsequentemente emitido, através de transporte de ar por turbulência, para o sensor;
- Selecionar a LCZ<sup>328</sup> cujos metadados coligidos na Etapa 1 devem levar os utilizadores a eleger a classe que melhor se adapta aos seus locais de campo.

---

<sup>327</sup> Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, 2012, Pag.1879–1900.

<sup>328</sup> *Ibidem*, pág 1891, “Os metadados coligidos na Etapa 1 devem levar os usuários a eleger as classes LCZ que melhor se adaptam aos seus próprios locais de campo, mas nem sempre se consegue uma correspondência exata com as classes LCZ instituídas.”

---

Lamentavelmente, nem sempre pudémos dispor de meios nem de condições logísticas para a obtenção de todos os metadados necessários à especificação das propriedades dos locais de observação e à caracterização da superfície. Por isso enunciamos desde já algumas das falhas que assumimos estarem associadas à nossa classificação experimental:

- Os autores propõem uma base espacial mínima de 200 metros de raio<sup>329</sup> para o "círculo de influência" de cada LCZ e no nosso estudo trabalhámos somente com uma base de 200 m de diâmetro;
- Uma vez que se trata de uma abordagem experimental, apenas efetuámos uma caracterização do local de instalação de cada abrigo das sondas térmicas e não de toda a área LCZ;
- As propriedades Admitância da Superfície, Albedo e Fluxo de Calor Antropogénico não foram medidas por falta de meios técnicos e de dados de base, foram somente estimadas<sup>330</sup> de forma empírica, pelo que acabámos por recorrer aos valores listados nas fichas técnicas das Zonas de Clima Local propostas pelos autores do sistema (Stewart e Oke, 2012);
- A propriedade Classe de Rugosidade do Terreno não foi calculada mas sim estimada, de acordo com as tabelas de Stewart/Oke (2012)<sup>331</sup> e a tabela original de Davenport;<sup>332</sup>
- Apesar de as propriedades "Sky View Factor" e "Ratio H/W" terem sido efetivamente calculadas, nem sempre fomos capazes de seguir exatamente o mesmo procedimento no seu cálculo: em alguns casos usámos o valor médio ao redor do abrigo (em locais abertos), noutros casos usámos o valor médio apenas em torno da parede onde o abrigo está colocado (o local de instalação não corresponde sempre a um *canyon* verdadeiro, nem a um sítio totalmente aberto); devido a dúvidas nos dados relativos à altura dos edifícios, em dois casos foi calculado o *wall vf* e não o *svf*).

---

<sup>329</sup> "Each LCZ should therefore have a minimum diameter of 400–1000m (i.e., a radius of 200–500m)..." Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, 2012, Pag.1889.

<sup>330</sup> *Ibidem*, pág.1887, Tabela 4.

<sup>331</sup> *Ibidem*, pág.1886, Tabela 3 e pág.1890, Tabela 5.

<sup>332</sup> Davenport e al., "New Revision of Davenport Roughness Classification", 3rd European and African Conference on Wind Engineering, Eindhoven, Netherlands, 2001.

---

Os referidos constrangimentos levaram a que tivéssemos algumas dúvidas quanto à classificação das Zonas de Clima Local correspondentes aos postos E-Arca d'Água, J-S. João de Brito e I/M-Faria Guimarães, o que não é inesperado pois os próprios autores admitem que pode tornar-se necessário recorrer a subclasses,<sup>333</sup> no sentido de adicionar flexibilidade ao sistema das LCZ. No entanto, também advertem sobre os inconvenientes e o perigo de se cair em exageros ao constituir demasiadas subclasses, podendo ser subvertidos os objetivos subjacentes à criação das LCZ.<sup>334</sup>

Quanto ao posto J-S. João de Brito, verificámos que o jardim onde o abrigo da sonda está instalado apresenta um tipo de vegetação bastante escassa, confinando também com idênticos logradouros na envolvente próxima, praticamente idêntico a Árvores Dispersas (*scattered trees*, LCZ B). No entanto, as ruas na frente do imóvel e na zona circundante são amplas e ladeadas por vivendas de 2 pisos, no máximo 3 pisos, apontando portanto para um tipo de construção Aberto, Altura Baixa (*open low-rise* – LCZ 6).

No que diz respeito ao posto E-Arca d'Água, verificámos que o jardim público nas imediações apresenta um povoamento arbóreo denso, com árvores de porte alto, o que localmente poderia justificar a atribuição da classificação Árvores Densas (*dense trees*, LCZ A). Por outro lado, a existência de edifícios relativamente altos (5 andares) na sua envolvente próxima, permitiria que fosse classificado como classe de Construção Elevada (*high-rise*); considerando que são os edifícios circundantes que prevalecem neste local, entendemos inicialmente que deveria ser classificado como “Aberto, Altura Elevada” (*open high-rise*, LCZ 4). No entanto, após reflexão sobre o assunto, entendemos optar por “Aberto, Altura Média” (*open midrise*, LCZ 5).

Relativamente às duas instalações de Faria Guimarães, postos I e M, também nos suscitaram algumas dúvidas, não tanto pelas características das suas propriedades em geral ou da morfologia urbana, mas concretamente pelo valor apresentado pela propriedade *sky view factor*: apesar de corresponder a área de construção por nós considerada de Altura Elevada (*high-rise*) e de densa ocupação do solo, os valores de *svf* não atingem os níveis *standard* de baixo valor, típicos para a classe LCZ 1.

---

<sup>333</sup> *Ibidem*, pág 1891, “Alternativamente, os utilizadores podem criar novas subclasses para os sites que se desviem do padrão do conjunto das classes...”

<sup>334</sup> *Ibidem*, pág 1892, “Embora as subclasses adicionem flexibilidade ao sistema LCZ, fazemos várias advertências ao seu uso... Criando demasiadas subclasses LCZ's, ou demasiado complexas, essas subclasses estariam a comprometer esta função principal.”

---

Creemos que embora todas as outras características apontem para a classe Compacto, Altura Elevada (*compact high-rise*, LCZ 1), a situação referente aos referidos valores do *svf* se relacionam com o facto de se tratar de um quarteirão relativamente moderno de uma cidade antiga tipicamente europeia, onde não são tão comuns edifícios de um número de pisos extremamente elevado, como nos *downtown* das cidades americanas.

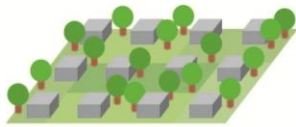










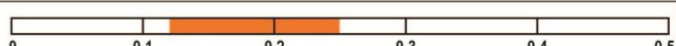
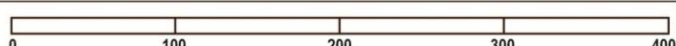
Pelo que ficou exposto, os dois sítios de Faria Guimarães, inicialmente classificados por nós como LCZ 1, não apresentando prédios tão altos como a "*city*" de uma cidade americana, acabámos por lhes atribuir a classificação de Compacto, Altura Média (*compact midrise* LCZ 2). No caso de E-Arca d'Água, por razões idênticas no que diz respeito à altura dos edifícios, acabámos por lhe atribuir a classificação de Aberto, Altura Média (*open midrise* LCZ 5)<sup>335</sup>.

Chamamos também a atenção para o facto de que não medimos todos os parâmetros e, em vez disso, foram utilizados alguns dos valores-padrão como constam de Stewart e Oke (2012). As nossas classificações não são, portanto, compatíveis na perfeição com as do guia LCZ, mas estão muito próximas, pelo que pensamos poder legitimamente transferir, a partir do guia LCZ, os valores que não fomos capazes de medir. Como se pode ver nos textos que, em chamada, acompanham as fichas técnicas de caracterização de cada um dos nossos postos de medição (Ilustrações 1 a 9), os parâmetros não medidos correspondem a duas situações distintas: a classe de rugosidade do terreno foi estimada a partir da tabela de Davenport *et al.* (2000); os três últimos parâmetros (admitância da superfície, albedo e fluxo de calor antropogénico) não foram medidos e os seus valores são representados pelos propostos por Stewart e Oke (2012) no guia LCZ.

Com base na amostra-exemplo das descrições padrão (caraterização da morfologia, funções e localização) e dos tipos de metadados preconizados aos quais tivemos acesso (diversas propriedades associadas à geometria urbana e cobertura do solo) identificámos as designações das diferentes classes, segundo a nomenclatura do guia das LCZ (*Zonas de Clima Local*), seguindo as fichas técnicas tanto quanto nos foi possível, conforme a síntese que se segue e de acordo com a nossa interpretação (Ilustrações 1 a 9):

---

<sup>335</sup> Agradecemos encarecidamente ao Sr. Prof. Iain Stewart pelas sugestões de classificação e pela cedência de algumas imagens.

Classificação padronizada segundo o guia LCZ	Estação A-Tejo ABERTO, ALTURA BAIXA (Open Lowrise)	CLASSE 6
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Vivendas pequenas ou médias, com 1-2 pisos, geralmente geminadas e espaçadas. Cobertura do solo com bastantes áreas permeáveis (plantas baixas, árvores dispersas, de porte pequeno a médio). Materiais de construção com predomínio de tijolo, pedra, azulejo e betão. Baixo fluxo de tráfego.</p> <p><b>Função:</b> Residencial essencialmente. Serviços pontuais, escassos.</p> <p><b>Localização:</b> Periferia do centro, dentro do perímetro urbano (densidade média).</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ5 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
 <p>Aberto, altura baixa</p>		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0,6-0,9 (0,69)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0,3-0,75 (0,67)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 6-14 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> *1 5-6		
<b>Fração superfície construída</b> 20-40% (52%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 20-50% (32%)		
<b>Fração superfície permeável</b> 30-60% (16%)		
<b>Admitância da superfície</b> *2 1200-1800 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> *2 0,12-0,25		
<b>*2 Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		







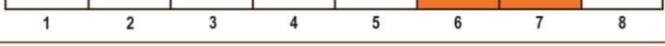
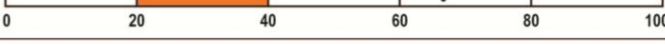



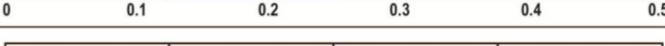
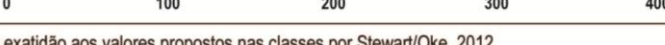
A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

\*1 Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

\*2 Sem dados próprios; estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
 Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 1 – Classificação do posto A-Tejo, segundo as LCZ.

<b>Classificação padronizada segundo o guia LCZ</b>	<b>Estação B-Aval de Baixo ABERTO, ALTURA MÉDIA ( Open Midrise )</b>	<b>CLASSE 5</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Edifícios altos mas espaçados, que podem atingir dez andares (6-10 pisos). Cobertura do solo com bastantes áreas permeáveis (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção onde predomina betão, tijolo, pedra e vidro. Fluxo de tráfego baixo a médio, dependendo da hora do dia.</p> <p><b>Função:</b> Residencial essencialmente, com algum comércio e serviços.</p> <p><b>Localização:</b> Periferia do centro, dentro do perímetro urbano (densidade média).</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ3 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
 <p>Aberto, altura média</p>		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0.5-0.7 (0.68)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0,75-1.25 (1.23)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 10-28 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> *1 6-7		
<b>Fração superfície construída</b> 20-40% (67%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 30-40% (13%)		
<b>Fração superfície permeável</b> 30-40% (20%)		
<b>Admitância da superfície</b> *2 1400-1800 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> *2 0.12-0.25		
<b>*2 Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		



A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

\*1 Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

\*2 Sem dados próprios; estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 2 – Classificação do posto B-Aval de Baixo, segundo as LCZ.

Classificação padronizada segundo o guia LCZ	Estação C-Costa Cabral COMPACTO, ALTURA MÉDIA (Compact Midrise)	CLASSE 2
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Co-existência de edifícios de altura média (2-7 pisos), com elevada densidade de ocupação do solo. Pouca vegetação arbórea, essencialmente em logradouros e como divisão de faixas de rodagem. Na generalidade, cobertura do solo pavimentada. Materiais de construção em pedra, tijolo, telha e betão. Elevado fluxo de tráfego.</p> <p><b>Função:</b> Comercial essencialmente, com algumas residências e serviços.</p> <p><b>Localização:</b> Coroa exterior ao centro da cidade, mas de grande proximidade.</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ2 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
 <p>Compacto, altura média</p>		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0.3-0.6 (0.58)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0,75-2 (1.79)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 5-15 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> *1 6-7		
<b>Fração superfície construída</b> 40-70% (74%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 30-50% (20%)		
<b>Fração superfície permeável</b> <20% (6%)		
<b>Admitância da superfície</b> *2 1500-2200 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> *2 0.10-0.20		
<b>*2 Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		

A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012





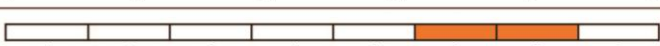






\*1 Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

\*2 Sem dados próprios, estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
 Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 3 – Classificação do posto C-Costa Cabral, segundo as LCZ.



Classificação padronizada segundo o guia LCZ	Estação E-Arca d'Água ABERTO, ALTURA MÉDIA ( Open Midrise )	CLASSE 4
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Edifícios altos mas relativamente espaçados (5-7 andares) na envolvente do posto E; o jardim de Arca d'Água apresenta povoamento arbóreo denso, com árvores de porte alto que poderia justificar a atribuição da classificação "Árvores Densas" (<i>Dense Trees</i>). No entanto, são os edifícios altos circundantes que dominam o local, pelo que propomos "Aberto, Construção Elevada". Materiais de construção em betão, tijolo, pedra e vidro. Fluxo de tráfego médio.</p> <p><b>Função:</b> Residencial e de serviços, com algum comércio.</p> <p><b>Localização:</b> Urbano (densidade média)</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ3 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
 <p>Aberto, altura média</p>  		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0.5-0.7 (0.69)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0,75-1.25 (1.24)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 4-19 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> <sup>*1</sup> 6-7		
<b>Fração superfície construída</b> 20-40% (43%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 30-40% (25%)		
<b>Fração superfície permeável</b> 30-40% (33%)		
<b>Admitância da superfície</b> <sup>*2</sup> 1400-1800 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> <sup>*2</sup> 0.12-0.25		
<sup>*2</sup> Fluxo calor antropogénico (0-400 W m <sup>-2</sup> )		





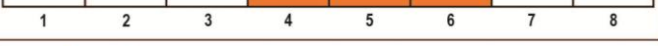




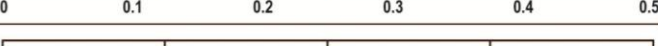
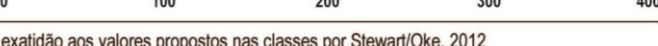
A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

<sup>\*1</sup> Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

<sup>\*2</sup> Sem dados próprios, estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
 Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 4 – Classificação do posto E-Arca d'Água, segundo as LCZ.

Classificação padronizada segundo o guia LCZ	Estação G-Quinta do Covelo EDIFICADO ESCASSO, (Sparsely built)	CLASSE 9
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Topografia regular, com superfície bastante permeável e cobertura predominantemente de plantas, com entorno de vegetação abundante, quer de nível herbáceo quer arbóreo. Abundância de árvores a Oeste e existência de edificado de tamanho médio, mais ou menos espaçado, a Norte e a Este, embora a mais de 30 metros de distância da instalação da sonda. Fluxo de tráfego médio.</p> <p><b>Função:</b> Lazer, residencial e de serviços, com algum comércio.</p> <p><b>Localização:</b> Urbano, mas em cenário mais natural, com caraterísticas semi-rurais (escassez de edificado e entorno de vegetação).</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ6 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
 <p>Edificado escasso</p>		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> >0.8 (0.93)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0.1-0.25 (0.18)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 6-24 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> *1 4-6		
<b>Fração superfície construída</b> 10-20% (20%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> <20% (33%)		
<b>Fração superfície permeável</b> 60-80% (48%)		
<b>Admitância da superfície</b> *2 1000-1800 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> *2 0.12-0.25		
<b>*2 Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		







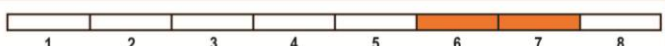






A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

\*1 Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

\*2 Sem dados próprios; estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 5 – Classificação do posto G-Quinta do Covelo, segundo as LCZ.

<b>Classificação padronizada segundo o guia LCZ</b>	<b>Estação H-Padrão norte COMPACTO, ALTURA MÉDIA (Compact Midrise)</b>	<b>CLASSE 2</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Edificado denso de grande proximidade ao centro ou "downtown". À exceção de um edifício bastante alto (um prédio de 7 andares), predominam na envolvente do posto H prédios de 3-5 pisos, os quais cercam uma praça relativamente aberta: nesta área, a densidade de ocupação do solo é elevada e os edifícios são mais antigos, pelo que a nossa proposta é de integração na classe, "Compacto, Construção Média". Na generalidade, cobertura do solo pavimentada. Materiais de construção em tijolo, pedra e betão. Elevado fluxo de tráfego.</p> <p><b>Função:</b> Comercial, de serviços e residencial.</p> <p><b>Localização:</b> Cidade, próximo do CBD, "downtown".</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ2 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
   <p>Compacto, altura média</p>		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0.3-0.6 (0.30)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0.75-2 (2.28)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 10-24 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> *1 6-7		
<b>Fração superfície construída</b> 40-70% (70%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 30-50% (26%)		
<b>Fração superfície permeável</b> <20% (3%)		
<b>Admitância da superfície</b> *2 1500-2200 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> *2 0.10-0.20		
<b>*2 Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		

A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

\*1 Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

\*2 Sem dados próprios; estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 6 – Classificação do posto H-Padrão norte, segundo as LCZ.

<b>Classificação padronizada segundo o guia LCZ</b>	<b>Estação I-Faria Guimarães norte COMPACTO, ALTURA MÉDIA (Compact Midrise)</b>	<b>CLASSE 2</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Edificado denso de grande proximidade ao centro ou "downtown". Área de elevado coeficiente de ocupação do solo, com diferentes tipos de edifícios altos (8-10 pisos). Escassez de vegetação, embora existam algumas árvores de médio porte a ladear a rua onde a sonda se encontra instalada. Solo na maior parte das vezes com cobertura pavimentada. Materiais de construção em betão, pedra, vidro e metal. Elevado fluxo de tráfego.</p> <p><b>Função:</b> Residencial, comercial (ao nível dos pisos térreos) e de serviços.</p> <p><b>Localização:</b> Urbano, grande proximidade ao centro ou "downtown".</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ2 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
 <p>Compacto, altura média</p>  		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0.2-0.4 (0.26 wall vf)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> >2 (0.92)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 10-22 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> *1 7-8		
<b>Fração superfície construída</b> 40-60% (68%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 40-60% (17%)		
<b>Fração superfície permeável</b> <10% (15%)		
<b>Admitância da superfície</b> *2 1500-1800 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> *2 0.10-0.20		
<b>*2 Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		









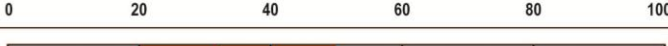




A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

\*1 Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

\*2 Sem dados próprios; estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 7 – Classificação do posto I-Faria Guimarães norte, segundo as LCZ.

<b>Classificação padronizada segundo o guia LCZ</b>	<b>Estação J-S. João de Brito ABERTO, ALTURA BAIXA (Open Lowrise)</b>	<b>CLASSE 6</b>
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Ruas amplas, ladeadas por vivendas de 2, no máximo 3 pisos; a densidade de ocupação do solo é baixa e os edifícios encontram-se afastados, pelo que a nossa proposta é de integração na classe Open Lowrise (o jardim onde se encontra o abrigo da sonda apresenta um tipo de vegetação escasso, idêntico a "Árvores dispersas", mas a área envolvente ao posto J é bastante mais arborizada do que o standard dos quarteirões em Portugal). Fluxo de tráfego baixo a médio, dependendo da hora do dia.</p> <p><b>Função:</b> Residencial, com algum comércio e serviços.</p> <p><b>Localização:</b> Periferia do centro, dentro do perímetro urbano (densidade média).</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ5 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
   <p>Aberto, altura baixa</p>		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0.6-0.9 (0.8)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> 0.3-0.75 (0.38)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 3-12 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> <sup>+1</sup> 5-6		
<b>Fração superfície construída</b> 20-40% (52%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 20-50% (32%)		
<b>Fração superfície permeável</b> 30-60% (16%)		
<b>Admitância da superfície</b> <sup>+2</sup> 1200-1800 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> <sup>+2</sup> 0.12-0.25		
<b><sup>+2</sup> Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		

A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

<sup>+1</sup> Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

<sup>+2</sup> Sem dados próprios; estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 8 – Classificação do posto J-S. João de Brito, segundo as LCZ.

Classificação padronizada segundo o guia LCZ	Estação M-Faria Guimarães sul COMPACTO, ALTURA MÉDIA (Compact Midrise)	CLASSE 2
<b>DESCRIÇÃO</b>		
<p><b>Morfologia:</b> Edificado denso de grande proximidade ao centro ou "downtown". Área de elevado coeficiente de ocupação do solo, com diferentes tipos de edifícios altos (8-10 pisos). Escassez de vegetação, embora existam algumas árvores de médio porte a ladear a rua onde a sonda se encontra instalada. Solo na maior parte das vezes com cobertura pavimentada. Materiais de construção em que predomina o betão, rocha, vidro e metal. Elevado fluxo de tráfego.</p> <p><b>Função:</b> Residencial, comercial (ao nível dos pisos térreos) e de serviços.</p> <p><b>Localização:</b> Urbano, grande proximidade ao centro ou "downtown".</p> <p><b>Correspondência:</b> UCZ2 (Oke 2004)</p>		
<b>ILUSTRAÇÃO</b>		
 <p>Compacto, altura média</p>		
<b>PROPRIEDADES</b>		
<b>Sky view factor</b> 0.2-0.4 (0.30 wall vf)		
<b>Ratio H/W (alt./larg.ruas)</b> >2 (1.15)		
<b>Altura média constr./árvores</b> 10-22 m		
<b>Classe de Rugosidade do terreno</b> *1 7-8		
<b>Fração superfície construída</b> 40-60% (68%)		
<b>Fração superf. impermeável</b> 40-60% (17%)		
<b>Fração superfície permeável</b> <10% (15%)		
<b>Admitância da superfície</b> *2 1500-1800 J m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		
<b>Albedo da superfície</b> *2 0.10-0.20		
<b>*2 Fluxo calor antropogénico</b> (0-400 W m <sup>-2</sup> )		

A azul, dados que não correspondem com exatidão aos valores propostos nas classes por Stewart/Oke, 2012

\*1 Valores estimados, de acordo com Davenport et al. (2000)

\*2 Sem dados próprios, estes parâmetros não foram medidos, foram utilizados os valores do guia LCZ, listados em Stewart e Oke (2012), para a respetiva LCZ proposta

Adaptado de Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.  
Adapted from Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93, Pag.1879-1900, 2012.

Ilustração 9 -- Classificação do posto M-Faria Guimarães sul, segundo as LCZ.

---

Sem a veleidade de aprofundar ou esgotar os temas, pretendemos dar aqui uma breve explicação sobre os três termos Albedo, Admitância da Superfície e Fluxo de Calor Antropogénico referidos nas propriedades da superfície de cada LCZ, que são talvez os conceitos que são menos dominados pelo público em geral.

**Albedo:** este conceito refere-se à razão entre a quantidade de radiação solar que é refletida por uma superfície, relativamente ao total de radiação nela incidente. Varia de acordo com a cor da superfície, humidade e rugosidade.

Na generalidade, no que diz respeito aos fenómenos associados à ICU, refere-se fundamentalmente às radiações de pequeno comprimento de onda provenientes do sol e do firmamento<sup>336</sup>. Da quantidade de energia da radiação que incide numa dada superfície, uma fração sofre reflexão (albedo) e outra é absorvida. Uma parte dessa energia absorvida, é gasta no aquecimento da superfície, e uma parte é transmitida ao material subjacente.

Os valores típicos de albedo que ocorrem nas superfícies e materiais das cidades, variam numa gama relativamente limitada, aproximadamente entre 0.10-0.30. Portanto, é uma parte muito pequena da radiação solar que é efetivamente refletida pela superfície urbana<sup>337</sup> – a maior parte é absorvida. Antes disso, parte da radiação incidente no globo, já havia sido absorvida e refletida pela atmosfera e seus diversos elementos, nomeadamente as nuvens. Por sua vez, as superfícies reemitem essa energia na forma de radiação de grande comprimento de onda (por exemplo, radiação infravermelha): a radiação que é libertada/emitida depende muito da temperatura da superfície emitente. A emissividade indica a irradiação de uma certa superfície em relação à radiação que seria emitida a partir de uma superfície ideal, à mesma temperatura. Uma parte significativa da energia emitida é gasta no aquecimento do ar que está em contato direto com a superfície, outra parte é gasta na evaporação da água existente na superfície.

---

<sup>336</sup> O conceito é descrito com algum pormenor por Oke, p. 280-288 (ver última edição de 1987).

<sup>337</sup> No entanto, existem outras superfícies e materiais que apresentam um albedo significativamente mais elevado, por exemplo: a neve reflete mais de 90% (albedo > 0.9), a areia seca (0.6); as superfícies brancas pintadas também têm valores muito elevados de albedo (0.5-0.95); as superfícies com cobertura vegetal refletem cerca de 30%, mas neste caso ocorrem grandes variações, dependendo de a superfície estar seca ou húmida – quanto mais seca, maior é o albedo.

---

**Admitância da Superfície:** a admitância da superfície ( $\mu_s$ ) é um conceito que se refere à capacidade de uma superfície para absorver ou emitir calor (Oke, 1987, pág. 44-46) e, matematicamente, corresponde à raiz quadrada do produto da condutividade térmica pela capacidade de calor volumétrica. É referido por Stewart/Oke (2012) como a “Capacidade da superfície para absorver ou libertar calor ( $J m^{-2} s^{-1/2} K^{-1}$ ). Varia de acordo com a humidade do solo e a densidade do material” ... “Note-se que na LCZ A [solo coberto por árvores densas] a “superfície” é indefinida e a sua admitância é desconhecida”. Calcula-se através da Expressão:

$$\mu_s = \sqrt{k_s * C_s} = (k_s * C_s)^{1/2}$$

A Condutividade Térmica ( $k_s$ ) indica a capacidade de um material para conduzir calor, expressa em ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ).

A Capacidade de Calor Volumétrica ( $C_s$ ) indica a quantidade de energia por unidade de volume de um material que provoca uma alteração da temperatura de 1°C, expressa em ( $Ws m^{-3} K^{-1}$ ).

Os valores típicos destas propriedades relativos aos materiais das várias superfícies naturais (Oke, 1987, tabela 2.1, página 44) são muito variáveis. Na falta de elementos para as superfícies artificializadas que caracterizam as cidades, poderemos assumir que esses valores possam estar relativamente perto do intervalo relativo a “solos argilosos” (*clay soil*). Em igualdade de circunstâncias, quanto mais pesado e mais denso for o material, maior será o valor da admitância da superfície; mas sem dúvida que o binómio secura/saturação assume aqui grande importância (de notar que em relação ao ar, há uma diferença muito significativa entre a admitância do ar em repouso e a do ar em turbulência).

**Fluxo de Calor Antropogénico:** corresponde à densidade anual média do fluxo de calor (expresso em  $W/m^2$  ou  $W m^{-2}$ ), associado à dissipação na copa urbana de energia proveniente da queima de combustíveis em particular e das atividades humanas em geral (transportes, refrigeração/aquecimento de espaços, processamento industrial, metabolismo humano...); varia significativamente com a latitude, a estação do ano, a densidade populacional e com o nível de desenvolvimento dos países.



---

Sob o ponto de vista formal, para efeitos de cálculo, considera-se que a proveniência dos ganhos de calor antropogénico libertado na atmosfera tem por base quatro itens essenciais que podem ser estimados<sup>338</sup> da seguinte forma:

- **Contributos provenientes do tráfego:** podem ser calculados a partir de dados da densidade de veículos. Exemplo: o motor de um automóvel desenvolve uma potência de cerca de 100 cavalos (cv) ou 75 kW, com uma eficiência média típica de 25%, isto é, a potência usada para a propulsão efetiva do veículo; os restantes 75% produzem calor que é libertado para a atmosfera, correspondendo a uma potência de  $0,75 \cdot 75 \text{ kW} = 56 \text{ kW}$ . Este valor é então, convertido em potência por unidade de área de ocupação urbana. Supondo que os veículos em movimento no referido meio urbano, em média ocupam cerca de 5% do espaço urbano em estudo<sup>339</sup>, então o contributo momentâneo do tráfego para o fluxo de calor antropogénico seria aproximadamente:

$$0,05 \text{ m}^{-2} \cdot 56 \text{ kW} = \text{cerca de } 2,8 \text{ kW/m}^2 \text{ ou } 2800 \text{ W/m}^2$$

- **Contributo do aquecimento:** este parâmetro depende da densidade do edificado e da temperatura de exteriores. Perante uma temperatura exterior de  $-20^\circ\text{C}$  (valor estimado para instalações de aquecimento em países de latitudes elevadas) Taesler (1981) obteve em Uppsala por exemplo, valores de fluxo de calor antropogénico variando na faixa de  $130\text{-}150 \text{ W/m}^2$  no centro da cidade (edifícios de 4-6 andares), e de cerca de  $40 \text{ W/m}^2$  nos subúrbios (com edifícios de 2-3 andares). Para um aquecimento desde  $-20^\circ\text{C}$  até à temperatura interior desejada (cerca de  $+20^\circ\text{C}$ ), isso corresponde a uma potência por área, por grau de aquecimento de cerca de:

$$140 \text{ W m}^{-2} / 40^\circ\text{C} = 3,5 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \quad (\text{centro da cidade})$$

$$40 \text{ W m}^{-2} / 40^\circ\text{C} = 1,0 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \quad (\text{subúrbios})$$

No caso das nossas latitudes – considerando que os edifícios habitualmente em Portugal não estão tão bem isolados como na Suécia – haverá necessidade de maior potência (W)

---

<sup>338</sup> Os métodos de cálculo são geralmente complexos e muito exigentes em termos de metadados, mas Arnfield/Grimmond sugerem a utilização de um processo mais simplificado, com recurso à utilização de valores constantes de calor antropogénico no tempo e no espaço: Arnfield, A. J.; Grimmond, C. S. B.: “An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling”. *Energy and Buildings*, v.27, p.61–68, 1998. O processo de simulação com base em técnicas de modelação é também sugerido por Grimmond et al, 1991.

<sup>339</sup> Valor estimado a partir de imagem do Google, em área de tráfego médio.

---

por grau de aquecimento ( $\text{W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) <sup>340</sup>: assumindo aqui, a título de exercício exemplificativo e sem dados reais, cerca do dobro do valor de potência por área, por grau de aquecimento, isto é, de cerca de  $7,0 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  e de  $2,0 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , respetivamente em áreas de maior e menor densidade de edificado, perante uma temperatura exterior em média bastante mais elevada, de por exemplo  $+12^{\circ}\text{C}$  e com uma temperatura interior desejada de  $+20^{\circ}\text{C}$ , o contributo do aquecimento para o fluxo de calor antropogénico poderia atingir um valor total de cerca de:

$$7,0 \text{ Wm}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} * (20-12)^{\circ}\text{C} = 56 \text{ W/m}^2. \quad (\text{centro da cidade})$$

$$2,0 \text{ Wm}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} * (20-12)^{\circ}\text{C} = 16 \text{ W/m}^2. \quad (\text{subúrbios})$$

- **Contributo do uso do ar condicionado:** provavelmente, a utilização de equipamentos de produção de frio pode originar contributos da mesma ordem de grandeza dos do aquecimento.

No entanto, os usos por ar condicionado e por aquecimento não costumam ocorrer em simultâneo, pelo que talvez se possa partir da base de que o aquecimento e o ar condicionado, contribuem em conjunto para o fluxo de calor antropogénico.

- **Contributo dos seres humanos**<sup>341</sup>: um indivíduo imóvel e em repouso absoluto<sup>342</sup> emite, em média, aproximadamente  $75 \text{ W}$ ; se existirem cerca de  $0,1$  pessoas por  $\text{m}^2$ , o contributo proveniente dos seres humanos será de cerca de  $8 \text{ W/m}^2$ :

$$75\text{W} * 0,1 \text{ m}^{-2} \approx 8 \text{ W/m}^2$$

Por conseguinte, nas nossas latitudes, o fluxo total de calor antropogénico poderá da ordem de:

$$\text{tráfego} \approx 2800 + \text{aquecimento/arrefecimento} \approx 56 + \text{seres humanos} \approx 8 = 2864 \text{ W/m}^2,$$

$$\text{tráfego} \approx 2800 + \text{aquecimento/arrefecimento} \approx 16 + \text{seres humanos} \approx 8 = 2824 \text{ W/m}^2,$$

respetivamente, centro da cidade/subúrbios ou arredondando, cerca de  $2850 \text{ W/m}^2$ .

---

<sup>340</sup> No entanto, no cômputo geral é necessária menor quantidade de energia (Wh) para aquecimento em Portugal, uma vez que o número de horas (quer por dia, quer por ano) em que há necessidade de aquecimento é muito menor no nosso país.

<sup>341</sup> Em meio urbano pode ignorar-se o fluxo de calor antropogénico de origem animal não humana uma vez que aí é o ser humano que representa a fonte principal.

<sup>342</sup> O fluxo de calor antropogénico libertado por um indivíduo de estatura média em repouso absoluto é de aproximadamente  $75\text{W}$ ; sentado, esse valor aumenta para  $115\text{W}$ ; perante atividades que exigem maior esforço físico, esse valor pode ser da ordem dos  $300\text{W}$  (Fanger, Thermal Comfort, 1972).

<sup>343</sup> Nos subúrbios e em meio rural, o valor do fluxo de calor antropogénico devido ao tráfego também pode ser significativamente inferior.

---

Estes valores constituem apenas estimativas, mas cremos que podem posicionar-se numa ordem de grandeza razoavelmente similar à realidade. No entanto, como atrás referido, dado que não dispúnhamos de metadados suficientes para um cálculo efetivo, limitámo-nos a utilizar os valores listados em Stewart e Oke (2012), constantes do guia LCZ, cientes de que esta adaptação às classes padronizadas pode vir a ser alterada e melhorada com dados de cálculo real.

### 2.2.3. Aquisição recente de dados termográficos

Uma situação ideal seria podermos também efetuar termogramas das áreas urbanas e fazer fotografias térmicas aos elementos expectavelmente produtores de calor antropogénico, uma vez que, segundo T. R. Oke, a forma da calefação dos edifícios e os veículos motorizados constituem fontes significativas de produção de calor em meio urbano<sup>344</sup>, conforme provou com a utilização de imagens obtidas através do termógrafo de infravermelhos de Barnes<sup>345</sup>. Devido à dificuldade que tivemos em aceder a este tipo de tecnologia/metodologia, as fotografias térmicas aqui inseridas (figura 40 A e B) pretendem ser mostradas simplesmente a título de exemplo<sup>346</sup> de mais um possível método de aquisição de dados, mas não sofreram nesta fase qualquer tipo de tratamento científico.

De notar:

- em A, perda de calor do edifício através de pontes térmicas planas, correspondentes à estrutura de lajes e pilares do mesmo, que não se encontra devidamente isolada;
- em B, o veículo estacionado à frente deve estar parado há algum tempo pois não se deteta radiação significativa ao nível do *capot* do mesmo, mas o segundo veículo terá acabado de estacionar pois apresenta perda temporária de calor proveniente do motor. Na segunda termografia, pode notar-se ainda a diferença significativa da radiação calorífica emitida pelo material do pavimento da rua,

---

<sup>344</sup> T.R.Oke, “The Climate of Urban Areas,” adaptado de “Boundary-Layer Meteorology, vol.1, Pags. 411-437, 1971.

<sup>345</sup> As imagens térmicas obtidas com recurso ao termógrafo de infravermelhos de Barnes, ou câmara para a produção de termogramas, patente de Robert Bowling Barnes, 1965, foi primeiramente usada para fins clínicos e posteriormente adaptada a usos em Climatologia Urbana e Arquitetura.

<sup>346</sup> A forma de obtenção destas fotografias térmicas não obedeceu ao rigor dos critérios técnico-científicos necessários para o seu tratamento, pelo que não puderam ser analisadas para fins comparativos.

---

em contraste com o pequeno triângulo preenchido com vegetação, situado no entroncamento das vias.

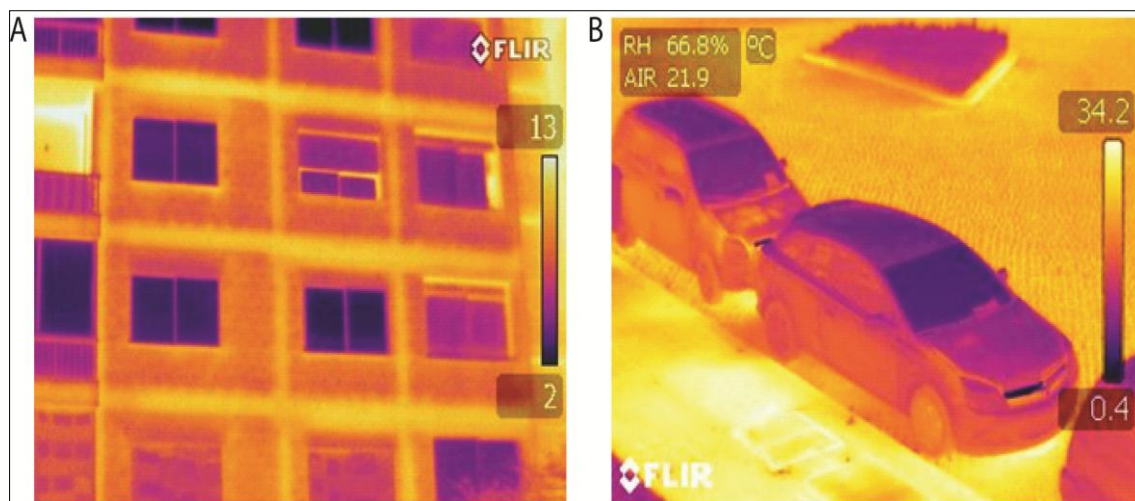


Figura 40 - Termografias de infravermelhos, obtidas com câmara térmica, respetivamente:  
A - edifício na área envolvente da instalação do posto C-Costa Cabral;  
B - viaturas estacionadas junto ao edifício do posto de B-Aval de Baixo.  
Cortesia/permissão de Arq. Nuno Duborjal, OFF4 - Oficina de Arquitetos, Lda.

Nem sempre estes recursos e equipamentos estão disponíveis, pelo que só conseguimos ter acesso a eles na fase final da nossa investigação (final de julho de 2013). Acabámos então por efetuar termogramas somente em dois locais de instalação das nossas sondas térmicas (B-Aval de Baixo e C-Costa Cabral), tendo essa ação por objetivo primordial tentar esclarecer a possível influência das diferenças na exposição solar dos dois locais, nos valores das temperaturas registadas pelas respetivas sondas, em diferentes horas do dia.

A razão de este tipo de estudo ter sido levado a cabo somente, e justamente, nas duas estações referidas, é justificado por um lado pela dificuldade de acesso ao equipamento e, por outro lado, pelo facto de serem dois dos locais mais contrastantes em termos de exposição solar, com a vantagem de se encontrarem suficientemente perto um do outro para que as perdas de tempo nas deslocações entre ambos não perturbassem os resultados.

---

Quanto à aquisição direta da informação, em síntese podemos referir que decorreu durante duas fases distintas e baseou-se fundamentalmente em três procedimentos:

- na primeira fase, medições itinerantes<sup>347</sup> de temperatura e humidade relativa levadas a cabo em veículo ligeiro de passageiros; e ainda registos térmicos obtidos através de sondas instaladas em recintos exteriores, programadas para registar a temperatura de 30 em 30 minutos, colocadas em 7 abrigos fixos<sup>348</sup> na freguesia de Paranhos, Porto;
- na segunda fase, registos térmicos obtidos através de sondas programadas para registar a temperatura de hora a hora, colocadas em 10 abrigos fixos<sup>349</sup> em diversos locais da cidade do Porto (figura 41), instalados em recintos exteriores, com exposições diferentes, a altitudes variáveis e em locais de densidade de ocupação do solo distintas (dada a especificidade do meio urbano, que por vezes impossibilita a sua colocação a 1,5m do chão, as sondas foram colocadas a alturas diferentes); nesta segunda fase, procedeu-se também a uma pequena experiência de aquisição de termografias em dois postos fixos.

Quer os pontos de recolha de dados do percurso das medições itinerantes, quer os postos fixos das sondas Tinytalk/Tinytag foram previamente definidos e localizados com recurso a um Recetor GPS<sup>350</sup>, no sentido de possibilitarem posteriormente uma eventual utilização georreferenciada.

---

<sup>347</sup> MONTEIRO, Ana, “Para compreendermos ... melhor o peso do fenómeno da urbanização na *forma e intensidade* que a “ilha de calor” assume... na cidade do Porto...As medições itinerantes da temperatura... pareceu-nos...a metodologia mais adequada...”, *O Clima Urbano do Porto*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, pág. 245.

<sup>348</sup> Lamentavelmente, uma das sondas foi roubada poucos dias após a sua instalação no recinto do ISEP, ficando assim em funcionamento apenas seis postos fixos.

<sup>349</sup> Por cortesia da firma António Moutinho, Lda-Instrumentos de Precisão, foram ainda utilizadas temporariamente 6 sondas para a consecução de pesquisa específica que se referirá adiante (exposição solar dos abrigos das sondas).

<sup>350</sup> GPS da marca Magellan Meridian Color, na 1ª fase e GPS da marca Tomtom One Classic, na 2ª fase.

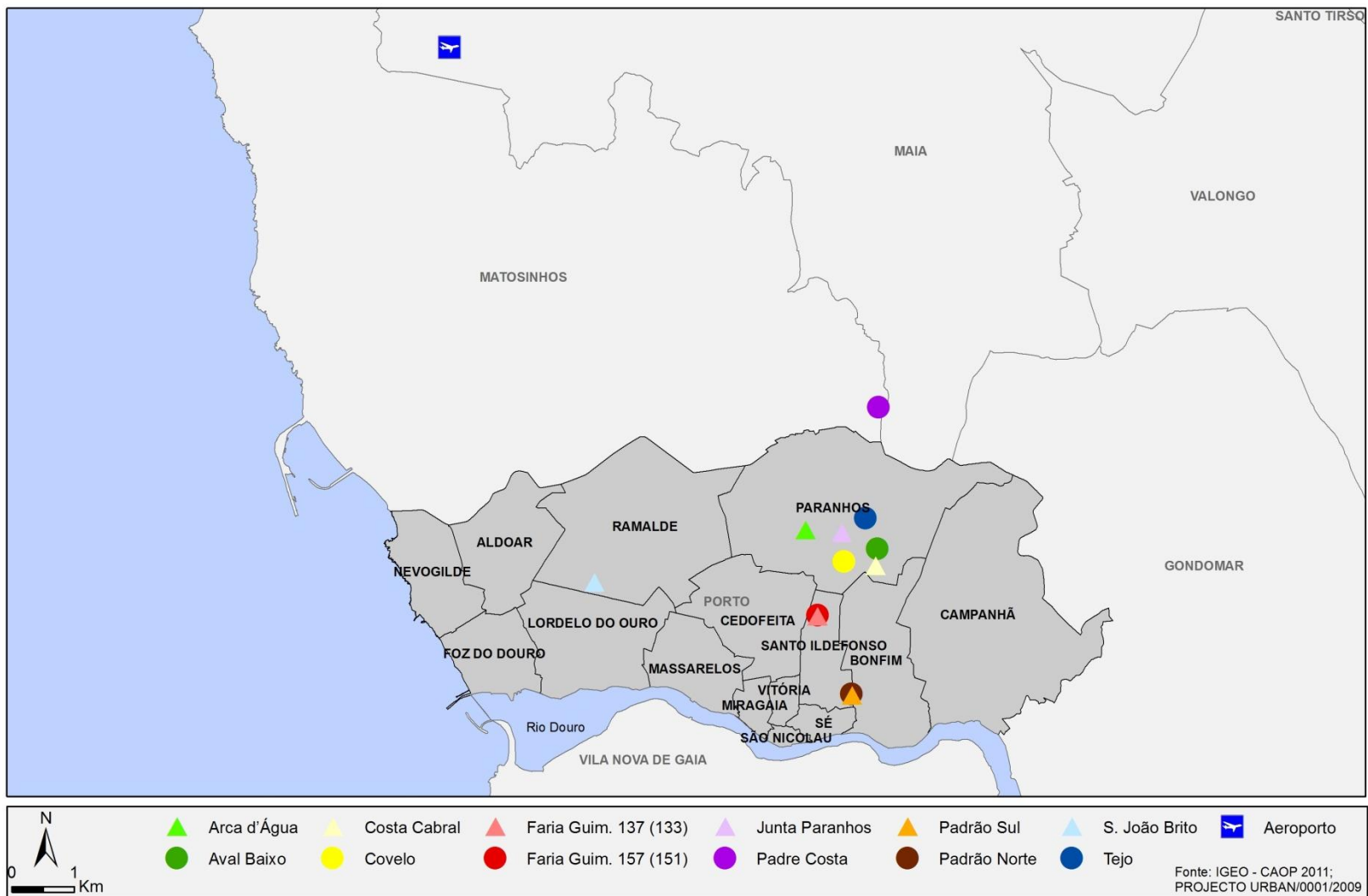


Figura 41 - Localização dos locais de instalação dos abrigos das sondas nas duas fases de aquisição de dados - postos fixos.

---

### 3. TRATAMENTO DOS DADOS - Modelos adotados

Numa primeira abordagem foi efetuada uma análise estatística simples preliminar dos dados recolhidos e referentes às múltiplas variáveis suscetíveis de contribuir para o comportamento do fenómeno de Ilha de Calor Urbano em estudo; posteriormente utilizou-se a metodologia clássica da geoestatística, recorrendo à krigagem e georreferenciação, com vista à respetiva representação cartográfica dos resultados.

Face ao volume de dados e à multidimensionalidade da informação a tratar, optou-se por uma abordagem que, para além da estatística clássica, envolvesse também técnicas no domínio da estatística multivariada AFC (Análise Fatorial das Correspondências), ou mesmo técnicas estatísticas na área das séries temporais.

#### 3.1. Processos de Tratamento dos Dados

Na primeira fase de aquisição de dados (Novembro/2003 a Janeiro/2005) privilegiaram-se as medições itinerantes<sup>351</sup> executadas pelas 22h00/23h00, cumprindo o estipulado na literatura da especialidade de efetuar medições cerca de 3-5 horas após o pôr-do-sol<sup>352</sup>; mas foram também efetuadas algumas medições noutros horários, nomeadamente pelas 00h00, 01h00 e 02h00 e ainda algumas medições diurnas, pelas 12h00, 15h00 e 16h00, no sentido de verificar se existiriam “ilhas de frio diurnas” e se as características do comportamento térmico diurno eram diferenciadas.

Foi justamente no seguimento dos resultados obtidos nas medições efetuadas a horas menos convencionais – das quais neste trabalho selecionámos somente 16 percursos – e dos dados recolhidos nos postos fixos no período experimental (Agosto/2004 a Fevereiro/2005)<sup>353</sup> que resolvemos dedicar esta investigação ao estudo do fenómeno da Ilha de Calor não só Noturna como Diurna,

---

<sup>351</sup> Balkeståhl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>352</sup> OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 291.

<sup>353</sup> Balkeståhl, L., “*Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano (Porto)*”, Ciclo de Colóquios Geografia aos Sábados, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 1, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Outubro 2009, pág. 11-31, ISSN 978-972-8932-44-2.

---

prolongando a recolha de dados nos postos fixos por ciclos de 24 horas, com registos de hora a hora (e equacionando também a vertente dos contrastes sazonais).

### 3.1.1. Tratamento dos dados das medições itinerantes

Como anteriormente referido, foi efetuado um estudo da duração de cada percurso, da média da duração dos percursos e do tempo médio entre medições em pontos consecutivos. Tendo-se constatado que se poderia prescindir da correção temporal entre pontos de medição, dada a curta duração dos itinerários, procedeu-se à correção geral de tendência temporal simplificada dos dados obtidos nas medições itinerantes, após o que foram calculados os desvios térmicos relativos à estação de Porto-Aeroporto, de acordo com os seguintes passos:

i) Identificou-se a temperatura da estação de referência à hora do início de cada episódio de medição;

ii) Inseriram-se os valores das temperaturas medidas num modelo de regressão linear e efetuaram-se os cálculos, através de análise de tendência, dos valores previstos de temperatura e do valor de  $\Delta T$ <sup>354</sup>, seguindo os procedimentos:

$$T_{prev\ i} = a_0 + a_1 * n_i \quad (\text{Eq. 1})$$

com  $i = 1, 2, \dots, 121$ <sup>355</sup>,

$$a_0 = \frac{\sum Tm_i \sum n_i^2 - \sum n_i \sum (n_i Tm_i)}{N \sum (n_i^2) - (\sum n_i)^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$a_1 = \frac{N \sum (n_i Tm_i) - \sum n_i \sum Tm_i}{N \sum (n_i^2) - (\sum n_i)^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\Delta T = T_{prev_1} - T_{prev_{121}} \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

---

<sup>354</sup> O cálculo de  $\Delta T$  a partir de valores medidos pode originar interferência dos fatores que condicionam a distribuição espacial das temperaturas; pelo contrário, o recurso ao processo de regressão, por constituir uma média, permite diluir esses efeitos externos.

<sup>355</sup> O número de série do ponto de medição no local  $i$ , de acordo com o facto de  $N$  ser igual a 100 ou 103 pontos, pode não atingir o valor 121.



---

$n_i$  – número de série do ponto de medição no local  $i$   
 $a_0$  – parâmetro da reta de regressão, ordenada na origem  
 $a_1$  – parâmetro da reta de regressão, declive da reta  
 $N$  – número total de pontos  
 $T_{m_i}$  – temperatura medida no ponto de medição  $i$   
 $T_{prev_i}$  – temperatura prevista no ponto de medição  $i$   
 $\Delta T$  – diferença de temperaturas entre os valores previstos no primeiro local de medição ( $T_{prev_1}$ ) e no último local de medição ( $T_{prev_{121}}$ )

iii) Após determinado o valor de  $\Delta T$ , procedeu-se à correção temporal simplificada da variação térmica a partir dos dados das temperatura efetivamente medidas ( $T_m$ ), com o objetivo de obter valores corrigidos ( $T_{corr}$ ), segundo a expressão:

$$T_{corr_i} = T_{m_i} - \frac{\Delta T}{N} \left( n_i - \frac{N}{2} \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

em que:

$T_{corr_i}$  - temperatura corrigida no ponto de medição  $i$

$T_{m_i}$  - temperatura medida no ponto de medição  $i$

$n_i$  - número de série do ponto de medição  $i$

$N$  - Número total de pontos

iv) Calcularam-se os desvios térmicos relativamente à estação de referência:

$$T_{desv_i} = T_{corr_i} - T_{aerop} \quad (\text{Eq. 6})$$

em que:

$T_{desv_i}$  – desvio térmico no ponto de medição  $i$

$T_{corr_i}$  - temperatura corrigida no ponto de medição  $i$

$T_{aerop}$  – temperatura registada no aeroporto à hora do início da medição

Em síntese, ao efetuar a referenciação de todos os valores medidos ao ponto central do período de medição, a correção temporal simplificada de tendência térmica permite-nos minimizar a interferência do fator tempo (Tabelas números 6 A, B e C no anexo 2 ITINERANTES). Em face do que ficou dito, sempre que nos reportarmos a desvios térmicos e/ou anomalias térmicas nesta fase da investigação relativa a medições itinerantes, estaremos a referir-nos a desvios corrigidos em termos de fator tempo.

---

### 3.1.2. Tratamento dos dados dos postos fixos

Perante a nossa opção de efetuar um estudo que, em detrimento da estrutura espacial, privilegiasse a estrutura espaço-temporal da ICU, aplicando uma metodologia que nos permitisse ter uma visão alargada do comportamento não só da ilha de calor noturna mas também da ICU diurna<sup>356</sup>, passámos à análise dos dados recolhidos nos postos fixos na primeira fase de aquisição de informação, encarando-a como um estudo experimental que nos poderia dar pistas quer para a instalação de mais alguns postos, quer para a orientação da linha de investigação.

Relativamente ao método clássico de aquisição de dados por medições itinerantes, a informação que se perde em termos de extensão espacial com esta metodologia, é compensada com a mais-valia da determinação da extensão temporal da ICU e da possibilidade de captar não só a sua magnitude máxima em cada ponto de medição, mas ainda de verificar a evolução diária da referida magnitude. Acresce ainda a possibilidade de verificar o comportamento desses fenómenos por períodos sazonais<sup>357</sup>.

#### Tratamento preliminar e compilação – Procedimentos

##### 1ª Fase - Período experimental, seis postos fixos (Paranhos-Porto)

Para a preparação dos dados com vista ao seu tratamento, foram adotados os seguintes procedimentos:

- a) Os dados resultantes das medições de temperatura feitas nos diferentes postos fixos, durante a primeira fase de aquisição de dados ao qual chamámos período experimental, foram compilados em folha de EXCEL em anexo (anexo 3 POSTOS FIXOS 2004\_2005, Tabelas 1\_2\_3), de acordo com o seguinte modelo (excerto temperaturas medidas, Tabela 1):

---

<sup>356</sup> Cf. OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 294: “The cause of daytime negative heat island awaits more work but their occurrence may be restricted to cities with deep and narrow canyons in their centre”.

<sup>357</sup> Cf. OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 293: “In the summer it would seem possible that ‘causes’...may combine to make the canopy a store of sensible heat by day, and that after sunset ... prevent its rapid dissipation and hence keep urban temperatures higher than in the countryside. In the winter the role ... is likely to become more important or even dominant.”

Tabela 1 - Temperaturas medidas registadas hora a hora, período experimental

Temperaturas Medidas 2004/2005				A-125m Tejo	B-139m Aval Baixo	C-148m C.Cabral	D-130m Junta P.	E-115m Arca Água	G-141m Covelo	Aerop- 77m	
Dia	Data			Hora	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C	
Sábado	21	08	2004	12:00	24,5	21,6	22,3	28,4	24,8	27,4	24,0
Sábado	21	08	2004	13:00	27,4	24,8	24,1	30,7	25,2	28,4	24,0
Sábado	21	08	2004	14:00	28,4	27,7	25,2	30,7	25,2	29,6	24,0
Sábado	21	08	2004	15:00	27,4	28,8	24,8	28,1	23,7	28,4	25,0
.....											
Quinta	17	02	2005	21:00	8,0	9,1	8,8	7,3	8,0	5,0	8,0
Quinta	17	02	2005	22:00	6,9	8,0	8,0	6,5	7,7	5,4	6,0
Quinta	17	02	2005	23:00	6,9	7,7	7,7	6,2	7,3	6,2	7,0
Sexta	18	02	2005	00:00	6,5	7,3	7,3	6,5	6,5	6,2	6,0

- b) Os valores de temperatura medidos em cada posto e os valores registados na estação de Porto-Aeroporto foram corrigidos ao nível do mar<sup>358</sup>.

A correção da altitude foi efetuada para, ao recalcular as temperaturas medidas reduzindo-as ao nível médio das águas do mar, obter um referencial comum, segundo a seguinte expressão:

$$\theta = T_{corr} = T + \Delta z * 0,98/100$$

em que  $\theta$  é a temperatura potencial e  $\Delta z$  é a altitude acima do nível médio das águas do mar.

Os dados corrigidos foram compilados em nova tabela de EXCEL de acordo com o seguinte modelo (excerto temperaturas potenciais, Tabela 2):

<sup>358</sup> A correção ao nível do mar tem por objectivo nivelar todas as temperaturas relativamente a um referencial comum e, neste caso, optámos por utilizar o nível médio das águas do mar por ser um referencial internacionalmente utilizado; a razão de ter sido sistematicamente utilizado o valor de gradiente térmico da troposfera de 0,98°C/100m está relacionada com a adiabática seca, pois em situação de ilha de calor, a adiabática húmida deverá ser, teoricamente, menos comum.

Tabela 2 - Temperaturas corrigidas a um referencial comum (nível médio das águas do mar)

Temperaturas potenciais ( $\theta$ ), reduzidas ao nível médio das águas do mar											
Período experimental 2004/2005				A-125m	B-139 m	C-148m	D-130m	E-115m	G-141m	Aerop-77m	
Dia	Data			Hora	$\theta$ °C	$\theta$ °C	$\theta$ °C	$\theta$ °C	$\theta$ °C	$\theta$ °C	$\theta$ °C
Sábado	21	08	2004	12:00	25,7	23,0	23,8	29,7	25,9	28,8	24,8
Sábado	21	08	2004	13:00	28,6	26,2	25,6	32,0	26,3	29,8	24,8
Sábado	21	08	2004	14:00	29,6	29,1	26,7	32,0	26,3	31,0	24,8
Sábado	21	08	2004	15:00	28,6	30,2	26,3	29,4	24,8	29,8	25,8
.....											
Quinta	17	02	2005	21:00	9,2	10,5	10,3	8,6	9,1	6,4	8,8
Quinta	17	02	2005	22:00	8,1	9,4	9,5	7,8	8,8	6,8	6,8
Quinta	17	02	2005	23:00	8,1	9,1	9,2	7,5	8,4	7,6	7,8
Sexta	18	02	2005	00:00	7,7	8,7	8,8	7,8	7,6	7,6	6,8

Os valores caracterizadores da Ilha de Calor Urbano entendem-se aqui como sendo as diferenças de temperatura entre os dados de cada um dos respetivos postos de medição e os da estação de Porto-Aeroporto. Os dados de aquisição indireta obtidos no aeroporto compreendem valores horários de: temperatura do ar, nebulosidade, pressão atmosférica, humidade relativa, direção e velocidade do vento.

- c) De seguida calcularam-se os desvios térmicos urbanos em cada hora, para cada posto de medição, de acordo com:

$$(\Delta\theta)_U = \theta - \theta_{\text{aerop}}$$

em que  $\theta$  é a temperatura potencial.

Organizaram-se os resultados dos desvios potenciais numa terceira tabela (exceto desvios potenciais, tabela 3), com elementos idênticos aos das colunas das tabelas 1 e 2.

Tabela 3 - Desvios térmicos potenciais, nos diferentes postos de medição, calculados relativamente à estação de Porto-Aeroporto

Desvios das temperaturas potenciais relativamente a Porto-Aeroporto (θ <sub>i</sub> - θ <sub>airport</sub> )										
Período experimental 2004/2005					A-125m	B-139m	C-148m	D-130m	E-115m	G-141m
Dia	Data			Hora	Δθ °C	Δθ °C	Δθ °C	Δθ °C	Δθ °C	Δθ °C
Sábado	21	08	2004	12:00	1,0	-1,8	-1,0	4,9	1,2	4,0
Sábado	21	08	2004	13:00	3,9	1,4	0,8	7,2	1,6	5,0
Sábado	21	08	2004	14:00	4,9	4,3	1,9	7,2	1,6	6,2
Sábado	21	08	2004	15:00	2,9	4,4	0,5	3,6	-0,9	4,0
.....										
Quinta	17	02	2005	21:00	0,5	1,7	1,5	-0,2	0,4	-2,4
Quinta	17	02	2005	22:00	1,4	2,6	2,7	1,0	2,1	0,0
Quinta	17	02	2005	23:00	0,4	1,3	1,4	-0,3	0,7	-0,2
Sexta	18	02	2005	00:00	1,0	1,9	2,0	1,0	0,9	0,8

Como critério para a existência de Ilha de Calor Urbano noturna, definimos preliminarmente que é satisfeita, em algum momento e em algum posto de medição, a seguinte condição<sup>359</sup>:

$$(\Delta\theta)_U \geq + 2^\circ\text{C}$$

### Tratamento estatístico com vista à análise dos dados – Procedimentos

Dado que a nossa intenção consiste em efetuar um estudo descritivo e estatístico da evolução da magnitude máxima e da extensão espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano, assim como estabelecer as relações entre as principais propriedades da ICU e as situações sinópticas que lhe estão associadas<sup>360</sup>, prosseguimos a nossa linha de investigação inserindo em novas tabelas de Excel os dados necessários para o cumprimento desses objetivos.

Já tínhamos procedido ao cálculo do *sky view-factor* tridimensional<sup>361</sup> ( $\Psi_S$ ), segundo o método preconizado por T. R. Oke (1981)<sup>362</sup>, e tínhamos também

<sup>359</sup> Ponderámos rever esta condição no desenvolvimento do trabalho pois verificou-se que algumas situações interessantes de ICU, quer no espaço, quer no tempo, ficaram excluídas do estudo, mas optámos por não o fazer tendo em conta os descontos das margens de erro.

<sup>360</sup> Balkestahl, L., Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 1, FLUP, Porto, 2009.

<sup>361</sup> Razão H/W: H corresponde à altura dos edifícios dos dois lados da via, W à largura das ruas.

<sup>362</sup> Oke, T.R., - "Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations", Journal of Climatology, Vol. 1, pp 237-254, 1981.

---

definido uma medida para a *influência integrada do edificado* circundante, nos valores da temperatura, recorrendo ao parâmetro que foi utilizado por nós em trabalho anterior<sup>363</sup>, designado por *densidade de edifícios* ( $B_d$ )<sup>364</sup>.

A primeira tarefa desenvolvida consistiu em verificar se existe uma relação do tipo linear entre a máxima ICU e o *sky view-factor*, de acordo com:

$$((\Delta\theta)_U)_{\max} = a + b(\ln \Psi_S) \quad \text{para } \Psi_S > 0 \quad \text{eq. (1)}$$

A segunda tarefa consistiu em verificar se existe correlação entre a situação sinóptica, por um lado, e a intensidade máxima da ilha de calor; e, por outro lado, entre a situação sinóptica e uma combinação do *sky view factor* com a densidade de edifícios, de acordo com:

$$((\Delta\theta)_U)_{\max} = a + b((1 - D_B) \Psi_S) \quad \text{para } D_B < 1 \text{ e } \Psi_S > 0 \quad \text{eq.(2)}$$

Foi então construída mais uma tabela, a que se acrescentou uma nova coluna dedicada ao tipo de situação sinóptica, os valores do *svf* e os valores da densidade de edifícios ( $D_B$ ), de acordo com os seguintes procedimentos:

**1º Procedimento:**

- i) Atribuição a cada local de medição dos valores de *sky view-factor* e de *densidade do edificado* ( $B_d$ ) circundante;
- ii) Especificação, para cada situação de ilha de calor, do ponto de medição que apresenta  $((\Delta\theta)_U)_{\max}$ .

Os dados em análise estão compilados na Tabela 4 (anexo 3 POSTOS FIXOS 2004\_2005, Tab\_4\_sinóptica): durante os 180 dias observados, segundo o critério atrás especificado, verificaram-se cem situações de ocorrência de ICU noturna que foram selecionadas para análise.

---

<sup>363</sup> Balkestähl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>364</sup> Refere-se ao nº de edifícios/hm<sup>2</sup> (pode obter-se uma medida alternativa através do somatório do valor do indicador  $D_B$  no sentido descendente da direcção do vento desde o limite da área edificada até ao ponto com o valor máximo; no entanto, isso implica que cada ponto de medição assume diferentes valores de  $D_B$ , dependendo da direcção do vento).

Tabela 4 - Relação entre a máxima intensidade da ICU noturna e as variáveis em análise

Relação $((\Delta\theta)_u)_{\max}$ vs svariáveis					$(\theta_i - \theta_{\text{airport}})$			
Dados do período experimental				Situação sinóptica	$((\Delta\theta)_u)_{\max}$ °C	Sky view factor ( $\psi_s$ )	Dens. Edif. (Edif./hm <sup>2</sup> )	
Posto	Data		Hora					
C-148m	22	08	2004	02:00	AC, Atl. ac	4,5	0,35	20
C-148m	24	08	2004	03:00	AC, Atl. ac	3,0	0,35	20
.....	...	...	...	....	.....	.....	.....	.....
B-139m	15	02	2005	02:00	ac (AC Atl)	2,8	0,64	12
C-148m	16	02	2005	05:00	AC Atl cc	3,5	0,35	20

Em simultâneo com esta análise e em conjunto com os dados de medição, deverá poder verificar-se empiricamente a localização da máxima intensidade da ilha de calor, na área em estudo – a qual pode variar de caso para caso – assim como determinar as principais características do edificado que influenciam/determinam a localização e a magnitude do valor máximo da ilha de calor.

## 2º Procedimento:

- i) Cálculo das médias das anomalias térmicas  $(\Delta\theta)_U$  do conjunto dos 6 postos fixos, hora a hora.
- ii) Construção de gráficos representativos das médias de  $(\Delta\theta)_U$  referentes aos 6 postos fixos, hora a hora, em diversos períodos<sup>365</sup>.

Espera-se que os gráficos elaborados com base nas médias dos desvios térmicos potenciais  $(\Delta\theta)_U$  dos seis postos fixos, hora a hora, revelem uma imagem média, das características da variação temporal diária das anomalias térmicas em geral, e da intensidade da ilha de calor em particular (anexo 3 POSTOS FIXOS 2004\_2005, Tab 1\_2\_3).

<sup>365</sup> Extensão temporal e magnitude máxima da Ilha de Calor Urbano - estudo de caso em Paranhos, Porto, Comunicação ao VII Congresso da Geografia Portuguesa, Coimbra, 2009.

---

### 3º Procedimento:

- i) Compilação de dados/construção de matrizes para ciclos de 24 horas, das 12h00 às 12h00, correspondentes a cada “dia completo” de desvios térmicos (encontraram-se  $N_d$  dias com ilha de calor noturna e diurna).
- ii) Construção de uma tabela com os dados organizados em ciclos de 24 horas, das 12h00 às 12h00, para cada dia em análise e cálculo das respectivas médias dos desvios relativas ao conjunto de todos os dias, em cada hora (média horária horizontal) e de cada dia de ciclo de 24 horas (média diária vertical).
- iii) Construção de diagramas representativos das médias dos desvios térmicos  $(\Delta\theta)_U$  referentes ao conjunto de todos os dias de um dado período, em cada hora, em ciclos de 24 horas (apresentados em Resultados).

Neste caso, dada a extensão das tabelas de cálculo, organizadas por períodos mais ou menos extensos considerados interessantes para análise, nomeadamente períodos sazonais com muitos dias ou até meses, reproduzimos aqui somente uma tabela experimental (excerto da Tabela 5), estando as restantes tabelas em anexo (anexo 3 POSTOS FIXOS 2004\_2005”, Tab\_5\_ ICU ciclos).

Especificaram-se as datas de cada ocorrência e extraíram-se da matriz os valores máximos de intensidade da ICU em período noturno. Analisaram-se ainda os dados de velocidade e direção do vento<sup>366</sup> dominantes em cada dia. Em algumas situações pode ser difícil determinar/eleger “a direção dominante” do vento. Nesses casos deverá escolher-se a direção do vento que prevaleceu durante as últimas horas imediatamente anteriores ao máximo valor de  $(\Delta\theta)_U$ .

Chegados a esta fase da investigação, embora ainda concentrados no estudo da ICU noturna, apercebemo-nos que, no que se refere às anomalias térmicas diurnas, nomeadamente no caso dos valores de final de tarde no posto B-Aval de Baixo, os resultados obtidos eram bastante mais elevados do que esperávamos.

---

<sup>366</sup> A direção do vento é fundamental para posteriormente, no decorrer da futura investigação, poder ser usada na divisão dos resultados em classes distintas. Em alguns casos é difícil determinar/eleger “a direção dominante” do vento (nesses casos optou-se pelo critério de escolher a direção de vento que tiver prevalecido durante as últimas horas imediatamente anteriores ao máximo valor de  $(\Delta\theta)_U$ ).



Tabela 5 - Médias horárias e diárias dos desvios urbanos potenciais ( $\Delta\theta$ )<sub>U</sub> dos seis postos fixos

Tabela 5 - Médias dos desvios urbanos potenciais ( $\Delta\theta$ °C), hora a hora (Exemplo de 17 dias, de 21 Agosto a 06 Setembro 2004)																		
Hora	Datas																	Média horária
	2004 08 21	2004 08 22	2004 08 23	2004 08 24	2004 08 25	2004 08 26	2004 08 27	2004 08 28	2004 08 29	2004 08 30	2004 08 31	2004 09 01	2004 09 02	2004 09 03	2004 09 04	2004 09 05	2004 09 06	
12:00	1,4	2,3	2,1	-0,2	2,6	2,4	4,0	1,9	0,8	2,9	1,5	1,3	-0,2	3,9	2,1	0,0	0,7	1,73
13:00	3,3	2,5	1,8	1,5	3,4	3,6	4,9	0,0	1,0	4,4	2,5	2,9	2,7	3,1	2,7	1,0	2,6	2,58
14:00	4,3	2,8	2,5	3,5	2,2	2,7	3,2	0,8	1,9	1,7	4,3	2,9	3,1	2,4	4,9	3,2	3,1	2,92
.....																		
10:00	-0,5	-1,6	-1,5	-1,7	-2,9	2,5	-2,3	-2,7	-1,7	-1,4	0,3	-1,5	-0,7	-3,7	1,1	-2,8	-1,3	-1,30
11:00	0,3	0,4	-2,5	0,8	-0,1	2,8	-0,6	0,9	-0,9	-1,5	0,2	-1,2	4,2	-1,0	0,6	-0,3	0,9	0,18
12:00	2,3	2,1	-0,2	2,6	2,4	4,0	1,9	0,8	2,9	1,5	1,3	-0,2	3,9	2,1	0,0	0,7	-1,0	1,59
<b>Média diária</b>	1,8	1,0	1,1	1,7	2,0	2,9	2,0	1,2	1,1	1,3	0,9	0,8	1,5	1,1	0,9	0,9	0,9	1,36

Perante os factos, vimo-nos na contingência de ter de inserir aqui um pequeno acrescento à metodologia de trabalho, como se segue:

- i) nas tabelas de tratamento de dados, foi adicionado o cálculo das médias dos desvios térmicos, excluindo desse cálculo os desvios térmicos do posto B-Aval Baixo;
- ii) os dados dos 6 postos fixos foram trabalhados de novo, mas agora também individualmente, de acordo com a metodologia anteriormente enunciada, sendo que para facilitar a comparação dos resultados, foram produzidos dois tipos de gráficos:
  - vários gráficos de síntese do comportamento térmico individual dos 6 postos fixos, em diversos períodos;
  - dois gráficos, um do período de verão e outro do período de inverno, relativos à média dos desvios térmicos, calculados com e sem o posto B-Aval Baixo.

A totalidade dos gráficos encontra-se junto das tabelas de cálculo (anexo 3 POSTOS FIXOS 2004\_2005” Tabelas\_1\_2\_3), estando três deles apresentados também na secção Resultados, como exemplo.

---

## Tratamento dos dados da 2ª Fase – dez/oito postos fixos (Porto)

À semelhança do estudo levado a cabo com os dados recolhidos em Paranhos-Porto, durante a fase experimental, no presente trabalho pretendeu-se efetuar um estudo estatístico de caracterização da evolução da magnitude e da extensão espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano (ICU), não só na área de Paranhos, mas também alargar a área de estudo para fora do perímetro da freguesia. Desta forma pretendeu-se incluir outros pontos da cidade que se tinham revelado interessantes como objeto de estudo, em trabalhos de investigação precedentes já atrás referidos (A.Monteiro, 1997<sup>367</sup> e J.Góis, 2004<sup>368</sup>). Pretendeu-se ainda estabelecer as eventuais relações entre as principais propriedades da Ilha de Calor Urbano e as situações sinópticas que lhe estão associadas (Balkeståhl *et al*, 2006)<sup>369</sup>.

Para tal procedemos à recolha de dados térmicos, em dez postos fixos instalados no espaço urbano do Porto, segundo cortes aproximadamente Norte-Sul e Oeste-Este, incidindo sobre áreas da cidade com diferentes características, seguindo uma metodologia que permitisse anular o efeito do factor altitude<sup>370</sup> na variação térmica, dada a nossa convicção de que a anulação do referido factor<sup>371</sup> nos permitirá evidenciar, com maior acuidade e rigor, a real magnitude e a efetiva evolução temporal da Ilha de Calor Urbano noturna e diurna. Uma vez que por definição “a ilha de calor urbano é o fenómeno associado ao aumento da temperatura na zona urbana em relação às áreas circundantes não urbanizadas” (Oke, 1987), optou-se por continuar a utilizar a estação meteorológica de Porto-Aeroporto como estação de referência (Pedras Rubras, Maia).

Os dados resultantes dos registos de temperatura, obtidos em simultâneo em oito postos fixos durante a segunda fase de aquisição de dados (rever figura 41, página 196), foram submetidos a procedimentos idênticos, de acordo com o modelo

---

<sup>367</sup> Cf. MONTEIRO, A. “O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território”, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, págs. 290-292.

<sup>368</sup> Góis, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, tese de doutoramento, FEUP, Porto, 2004.

<sup>369</sup> O estudo efetuado sob a mesma temática por Balkeståhl *et al* (2006), resumiu-se a tratamento estatístico descritivo.

<sup>370</sup> Esta metodologia torna-se significativa sempre que seja conveniente reportar os dados a um referencial comum.

<sup>371</sup> Os primeiros estudos sobre ICU realizaram-se em cidades caracterizadas por topografia bastante uniforme mas no caso da cidade do Porto justifica-se esta metodologia dado que a cidade apresenta diferenças de altitude razoáveis.

---

já referido para o período experimental (Balkeståhl, Outubro//2009)<sup>372</sup>. Portanto, as temperaturas medidas foram corrigidas ao nível do mar e foram calculados os desvios térmicos potenciais em folhas de EXCEL, de que se apresentam neste texto excertos, como exemplo (a totalidade dos cálculos, em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, pasta 01 TABELAS TEMP\_POTENCIAL Tabela 6\_7\_8), conforme se segue:

- i) foi feito o tratamento preliminar de compilação dos dados adquiridos nos diferentes postos fixos, da qual constam as temperaturas medidas hora a hora, as altitudes dos postos e os dados térmicos da estação de referência (excerto, Tabela 6);
- ii) os valores dos registos de temperatura medidos e os registados na estação de Porto-Aeroporto foram submetidos a uma correção ao nível do mar (excerto temperaturas potenciais, Tabela 7)<sup>373</sup>;
- iii) procedeu-se ao cálculo das anomalias térmicas potenciais urbanas horárias, de cada posto de medição, relativamente à estação de referência<sup>374</sup> (excerto desvios potenciais, Tabela 8).

Procedeu-se à identificação/seleção das situações de ocorrência de Ilha de Calor Urbano noturna, para tratamento estatístico, de acordo com o critério que estabelece o mesmo limite inferior já anteriormente definido na primeira fase de aquisição de dados (limite de  $(\Delta\theta)_U \geq + 2^\circ\text{C}$ ).

À semelhança do procedimento na fase experimental, fez-se a identificação/seleção dos postos cujos valores dos desvios potenciais noturnos correspondem a  $((\Delta\theta)_U)_{\max}$ , para cada uma das situações de ocorrência de ICU noturna.

---

<sup>372</sup> Balkeståhl, L., “Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano (Porto),” Ciclo de Colóquios Geografia aos Sábados, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 1, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Outubro 2009, pág. 11-31, ISSN 978-972-8932-44-2.

<sup>373</sup> A correcção adiabática tem por objectivo nivelar todas as temperaturas relativamente a um referencial comum, segundo a expressão  $\theta = T_{\text{corr}} = T + \Delta z * 0,98/100$ , em que  $\theta$  é a temperatura potencial e  $\Delta z$  é a altitude acima do nível médio das águas do mar ( Balkeståhl, L., Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, Porto, 2009).

<sup>374</sup> Segundo a expressão  $(\Delta\theta)_U = \theta - \theta_{\text{aerop}}$ , em que  $\theta$  é a temperatura potencial (Balkeståhl, L., Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, Porto, 2009).

Tabela 6 - Temperaturas medidas registadas hora a hora, 2ª fase de aquisição de dados

Temperaturas Medidas	Tejo	Aval Baixo	Costa Cabral	Nove Abril	Quinta Covelo	Padrão 1 N	Faria Guimar.N	S. João Brito	Aeroporto
Maio 2010-Maio 2012	A-125m	B-139m	C-148m	E-115m	G-141m	H-100m	I-130m	J-60m	77m
Data/Hora	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C	T°C
2010-05-10 12:01	15,4	15,1	15,0	16,0	16,7	15,3	15,8	15,1	13,0
2010-05-10 13:01	15,2	15,0	15,1	15,7	16,6	16,2	16,5	14,6	13,0
.....									
2012-05-31 23:00	24,9	25,8	26,1	23,1	20,9	25,4	25,3	24,0	20,0
2012-06-01 00:00	24,7	25,7	25,7	22,9	21,4	24,6	24,6	23,0	19,0

Tabela 7 - Temperaturas potenciais (corrigidas ao nível do mar), 2ª fase de aquisição de dados

Temperaturas Potenciais	A-125m	B-139m	C-148m	E-115m	G-141m	H-100m	I-130m	J-60m	Aerop-77m
Data/Hora	Θ °C	Θ °C	Θ °C	Θ °C	Θ °C	Θ °C	Θ °C	Θ °C	Θ °C
10-05-2010 12:01	16,6	16,4	16,4	17,1	18,1	16,3	17,1	15,7	13,8
10-05-2010 13:01	16,5	16,4	16,6	16,8	18,0	17,2	17,7	15,2	13,8
.....									
2012-05-31 23:00	26,1	27,1	27,5	24,2	22,3	26,4	26,6	24,6	20,8
2012-06-01 00:00	26,0	27,1	27,2	24,0	22,8	25,6	25,9	23,6	19,8

Tabela 8 - Desvios térmicos potenciais (2010/2012), relativamente à estação Porto- Aeroporto\*

Desvios térmicos potenciais	Tejo	Aval Baixo	Costa Cabral	Nove Abril	Quinta Covelo	Padrão 1 N	Faria Guimar.N	S. João Brito	Média Urbana (todos os postos)	Média Urbana (s/posto B)
Maio 2010-Maio 2012	A-125m	B-139m	C-148m	E-115m	G-141m	H-100m	I-130m	J-60m		
Data/Hora	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C	$\Delta\theta$ °C
2010-05-10 12:01	2,9	2,7	2,7	3,4	4,3	2,6	3,3	1,9	3,0	3,0
2010-05-10 13:01	2,7	2,6	2,8	3,1	4,3	3,4	4,0	1,4	3,0	3,1
2010-05-10 14:01	-0,2	-0,5	-0,2	0,2	1,2	-0,1	0,5	-1,1	0,0	0,0
2010-05-10 15:01	-0,5	-0,3	0,1	-0,4	0,3	-0,1	0,6	-1,3	-0,2	-0,2
2010-05-10 16:01	-1,8	-1,7	-1,4	-1,6	-1,1	-1,7	-1,0	-2,5	-1,6	-1,6
.....										
2012-05-31 20:00	3,0	3,6	3,3	0,5	1,5	3,3	1,3	1,8	2,3	2,1
2012-05-31 21:00	2,9	3,6	3,5	1,1	0,0	3,2	2,3	2,0	2,3	2,2
2012-05-31 22:00	3,7	4,6	4,6	1,5	-0,1	4,0	3,2	2,4	3,0	2,8
2012-05-31 23:00	5,3	6,4	6,8	3,5	1,6	5,7	5,8	3,8	4,9	4,6
2012-06-01 00:00	6,2	7,3	7,4	4,2	3,0	5,8	6,1	3,8	5,5	5,2

\*No ficheiro original, esta tabela também tem dados de vento (direção/velocidade), pressão atmosférica, estado de tempo e horários de nascer/por do sol.

Os dados em análise estão compilados numa tabela à qual se acrescentaram não só alguns elementos relativos às situações sinópticas e respetiva informação sobre direção e velocidade do vento (excerto da Tabela 9, neste texto e anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, pasta 01 TABELAS TEMP\_POTENCIAL\_Tab 9 sinóptica), mas também a hora de início e a duração da ICU noturna: durante os 180 dias observados, representativos dos períodos Primavera/Verão e Verão/Outono que faltavam analisar (não cobertos pela análise do período experimental) segundo o critério atrás especificado, verificaram-se 145 situações de ocorrência de ICU noturna que foram selecionadas para análise.

Tabela 9 (excerto) - Relação entre  $((\Delta\Theta)_u)_{max}$  e variáveis sinópticas em análise

Tabela 9-Relação entre $((\Delta\Theta)_u)_{max}$ e variáveis em análise			Situação sinóptica	$(\Theta_i - \Theta_{airport})$ $((\Delta\Theta)_u)_{max} \text{ } ^\circ\text{C}$	Início aprox. ICU	Duração aprox. ICU	Vento: Direc/ Veloc
Período	Posto	Data/Hora					
Julho 2010-Novembro 2010							
1	C -148m	10-07-2010 04:00	C (AC Atl)	4,1	23:00:00	7h	Calm
2	I -130m	11-07-2010 03:01	ac (AC Atl)	3,2	02:00:00	5h	Calm
3	I -130m	11-07-2010 23:01	ac (AC Atl)	2,9	23:00:00	2h	Calm
4	I -130m	14-07-2010 02:01	ac (AC Atl)	2,7	02:00:00	2h	WNW 8
5	C -148m	15-07-2010 04:01	nc (AC Atl)	4,5	22:00:00	8h	Calm
6	I -130m	17-07-2010 02:01	nc (AC Atl)	4,6	02:00:00	4h	Calm
7	C -148m	18-07-2010 01:02	cc (AC Atl)	5,8	01:00:00	6h	Calm
8	I -130m	20-07-2010 01:02	ac (AC Atl)	2,4	01:00:00	2h	NNW 6
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
93	E -115m	28-10-2010 06:00	ac (AC Cont)	3,3	04:00:00	4h	Variable 3
94	B -139m	31-10-2010 02:00	cc (C Atl)	2,7	01:00:00	2h	W9
95	E -115m	02-11-2010 02:00	AC Atl ac	3,9	00:00:00	8h	NNW 6
96	E -115m	03-11-2010 04:00	ac (AC Atl)	5,7	03:00:00	6h	Calm
97	E -115m	04-11-2010 01:00	AC Cont (AC Atl)	5,5	21:00:00	10h	Calm
98	C -148m	06-11-2010 01:00	AC Cont (AC Atl)	3,6	00:00:00	3+1h	Calm

No sentido de avançar na nossa pesquisa, tentando desde já tirar algumas conclusões, e com o objetivo de testar e afinar linhas preferenciais de investigação, foram ainda executadas, sobre os dados da segunda fase de aquisição de informação, análises de regressão linear e de coeficiente de correlação.

## Correlações lineares

Com o propósito de se analisarem eventuais relações entre as diferentes estações (entenda-se, correlações entre os desvios térmicos), efetuou-se uma simples e rápida análise de regressão linear considerando a totalidade dos valores registados/tratados nos diferentes postos fixos, durante o período em estudo<sup>375</sup>.

Codificação das estações para efeito da análise de regressão e correlação, dos dados patentes na tabela 10, que constitui uma tabela de base:

- A – Tejo (Te)
- B – Aval de Baixo (Av)
- C – Costa Cabral (CC)
- E – Arca D'Água (AA)
- G – Quinta do Covelo (QC)
- H – Padrão (Pa)
- I – Faria Guimarães (FG1)
- J – São João Brito (SJB)

Tabela 10 – Desvios térmicos potenciais urbanos (2010/2012), calculados relativamente à estação Porto- Aeroporto

Postos de medição	Te (A-Tejo)	Av (B-Aval Baixo)	CC (C-Costa Cabral)	AA (E-Arca d'Água)	QC (G-Quinta Covelo)	Pa (H-Padrão Norte)	FG1 (I-Faria Guimarães)	SJB (J-S. João Brito)	Média urbana	Média urbana (s/ B)
Data/Hora	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$	$\Delta\theta^{\circ}\text{C}$
10-05-2010 12:01	2.9	2.7	2.7	3.4	4.3	2.6	3.3	1.9	3.0	3.0
.....										
01-06-2012 00:00	6.2	7.3	7.4	4.2	3.0	5.8	6.1	3.8	5.5	5.2
<b>N = 18 061 indivíduos</b>		<b>Variáveis = 10 variáveis</b>								

<sup>375</sup> Apesar de as análises de regressão e correlação serem, em si mesmas, já um tipo de resultado, foram inseridas nesta parte do trabalho por terem sido encaradas por nós como um instrumento de decisão para ações futuras.

---

## Análise de Regressão e Correlação

A análise de regressão linear limitou-se à determinação do coeficiente de correlação linear  $r$  (coeficiente de correlação de Pearson) e à identificação, através do método dos mínimos quadrados, dos parâmetros da recta de regressão que melhor se ajusta aos dados (anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, PASTA ANÁLISE REGRESSÃO CORRELAÇÃO).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}}$$

Tabela 11 - Valores de  $r$  (coeficiente de correlação linear)

	Te	Av	CC	AA	QC	Pa	FG1	SJB
Te	1.00							
Av	0.83	1.00						
CC	0.83	0.85	1.00					
AA	0.68	<b>0.49</b>	0.69	1.00				
QC	0.90	0.70	<b>0.61</b>	<b>0.57</b>	1.00			
Pa	0.86	0.89	0.93	<b>0.62</b>	0.71	1.00		
FG1	0.84	<b>0.65</b>	0.76	0.79	0.73	0.71	1.00	
SJB	0.89	0.77	0.77	<b>0.65</b>	0.83	0.80	0.79	1.00

Da análise às simples correlações lineares entre os diferentes postos de observação (Tabela 11), considerando a totalidade dos valores registados, infere-se:

- Existe, para a generalidade das observações, um coeficiente de correlação positiva entre todas as variáveis consideradas, isto é, verifica-se uma razoável semelhança de comportamentos dos desvios potenciais registados nas diferentes estações;
- Os valores registados na Estação de Arca d'Água são aqueles que exibem as mais baixas correlações entre os coeficientes calculados. Este facto sugere um comportamento diferente – que se afasta da linearidade – dos desvios



---

potenciais registados em Arca d'Água em relação aos registos dos restantes postos de observação;

- Entre os valores registados na Estação de Aval de Baixo (Av) e os valores registados, à mesma hora, na Estação de Arca D'Água (AA) existe uma correlação baixa ( $r = 0,49$  corresponde ao valor mais baixo de todos) o que indicia uma quase independência linear entre os registos destes dois postos de observação;
- As segundas correlações mais baixas, em médias, são as que se estabelecem entre Covelo (QC) e os dois postos Arca d'Água (AA) e Costa Cabral (CC);
- O valor mais elevado corresponde à correlação Costa Cabral (CC)/Padrão (Pa), mas a correlação com os restantes postos em alguns casos revela-se fraca;
- Os valores registados na Estação de Tejo (Te) são aqueles que exibem as correlações mais elevadas entre os coeficientes calculados, em média.

A tabela 12 representa uma síntese dos resultados da análise de regressão (regressão linear monovariável), com as equações das retas de regressão e a qualidade do ajustamento obtido.

Apresentam-se neste texto, a título de exemplo, os gráficos das correlações estabelecidas entre Tejo (Te) e todas as outras estações (gráficos 1 a 8, nas páginas 217-220), mas remetem-se para o Anexo 4, pasta ANÁLISE DE REGRESSÃO\_CORRELAÇÃO todos os outros gráficos das correlações estabelecidas entre as restantes estações.

Tabela 12 - Análise de Regressão (regressão linear monovariável, equações das rectas de regressão e qualidade do ajustamento -  $r^2$ )

	<b>Te</b>	<b>Av</b>	<b>CC</b>	<b>AA</b>	<b>QC</b>	<b>Pa</b>	<b>FG1</b>	<b>SJB</b>
<b>Te</b>	---							
<b>Av</b>	$Av = 1.102Te + 0.279$ $r^2 = 0.69$	---						
<b>CC</b>	$CC = 0.810Te + 0.285$ $r^2 = 0.70$	$CC = 0.621Av + 0.314$ $r^2 = 0.72$	---					
<b>AA</b>	$AA = 0.644Te + 0.009$ $r^2 = 0.47$	$AA = 0.348Av + 0.328$ $r^2 = 0.24$	$AA = 0.670CC - 0.022$ $r^2 = 0.48$	---				
<b>QC</b>	$QC = 1.044Te - 0.226$ $r^2 = 0.81$	$QC = 0.611Av + 0.196$ $r^2 = 0.49$	$QC = 0.731CC + 0.289$ $r^2 = 0.38$	$QC = 0.707AA + 0.711$ $r^2 = 0.33$	---			
<b>Pa</b>	$Pa = 0.985Te - 0.484$ $r^2 = 0.74$	$Pa = 0.770Av - 0.480$ $r^2 = 0.79$	$Pa = 1.095CC - 0.640$ $r^2 = 0.86$	$Pa = 0.751AA + 0.313$ $r^2 = 0.38$	$Pa = 0.703QC + 0.078$ $r^2 = 0.50$	---		
<b>FG1</b>	$FG1 = 0.807Te + 0.897$ $r^2 = 0.70$	$FG1 = 0.471Av + 1.227$ $r^2 = 0.42$	$FG1 = 0.750CC + 1.002$ $r^2 = 0.57$	$FG1 = 0.808AA + 1.349$ $r^2 = 0.62$	$FG1 = 0.607QC + 1.311$ $r^2 = 0.54$	$FG1 = 0.598Pa + 1.535$ $r^2 = 0.51$	---	
<b>SJB</b>	$SJB = 0.742Te - 0.235$ $r^2 = 0.79$	$SJB = 0.484Av - 0.036$ $r^2 = 0.59$	$SJB = 0.667CC - 0.102$ $r^2 = 0.60$	$SJB = 0.579AA + 0.353$ $r^2 = 0.42$	$SJB = 0.600QC + 0.087$ $r^2 = 0.69$	$SJB = 0.583Pa + 0.316$ $r^2 = 0.64$	$SJB = 0.685FG1 - 0.545$ $r^2 = 0.62$	---

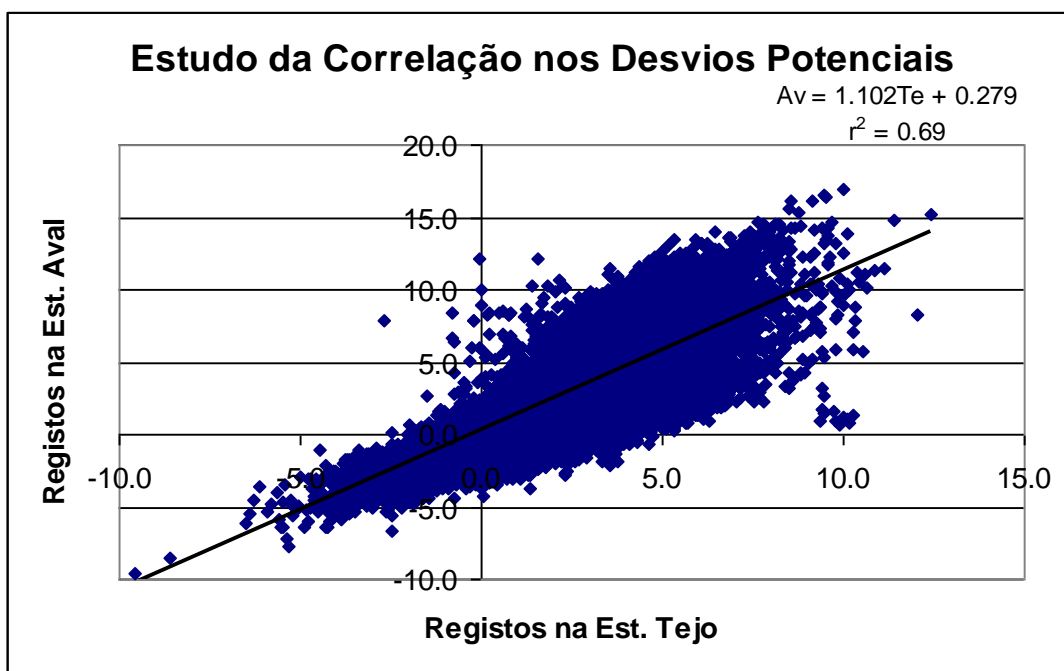


Gráfico 1 - Desvios potenciais: correlação Tejo/Aval de Baixo.

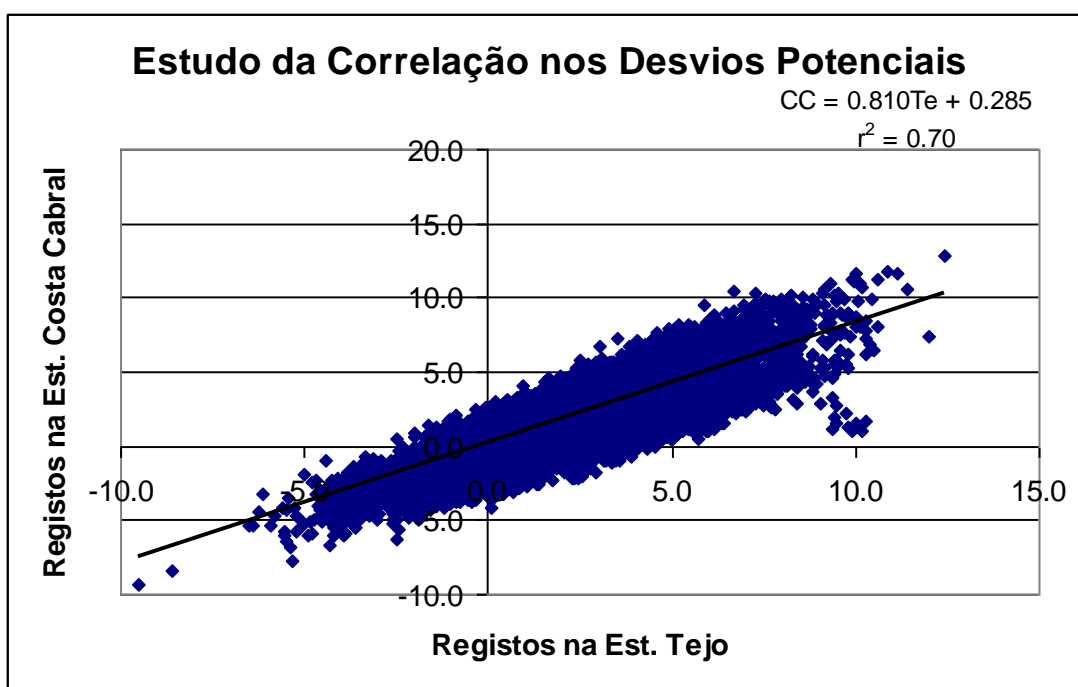


Gráfico 2 - Desvios potenciais: correlação Tejo/Costa Cabral.

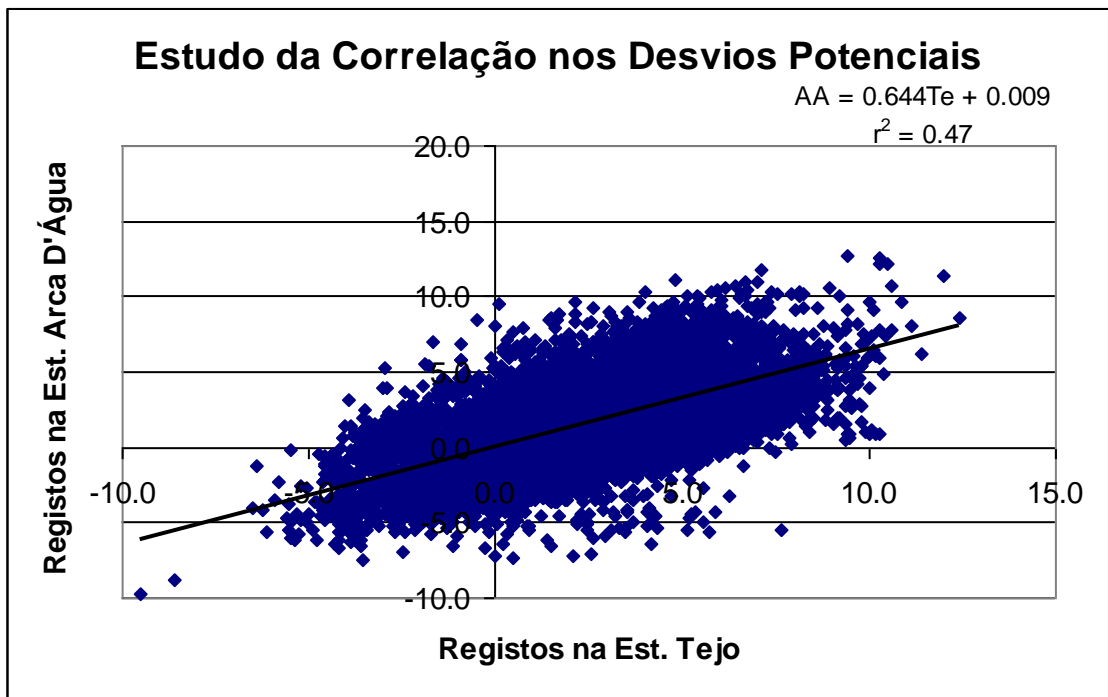


Gráfico 3 - Desvios potenciais: correlação Tejo/Arca d'Água.

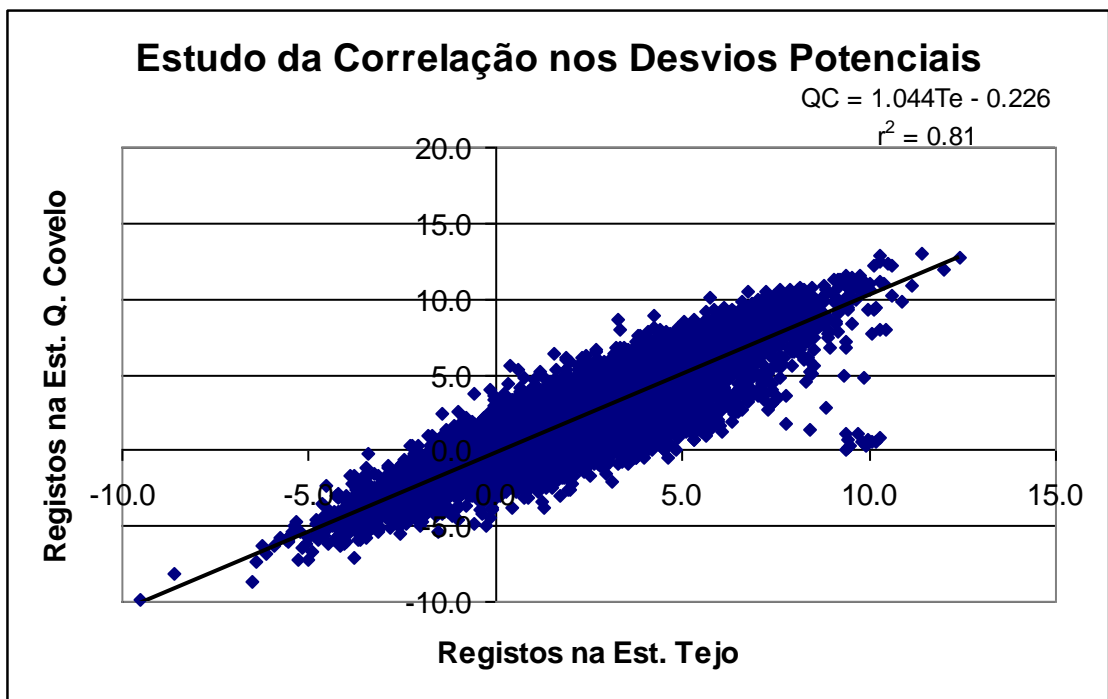


Gráfico 4 - Desvios potenciais: correlação Tejo/Covelo.

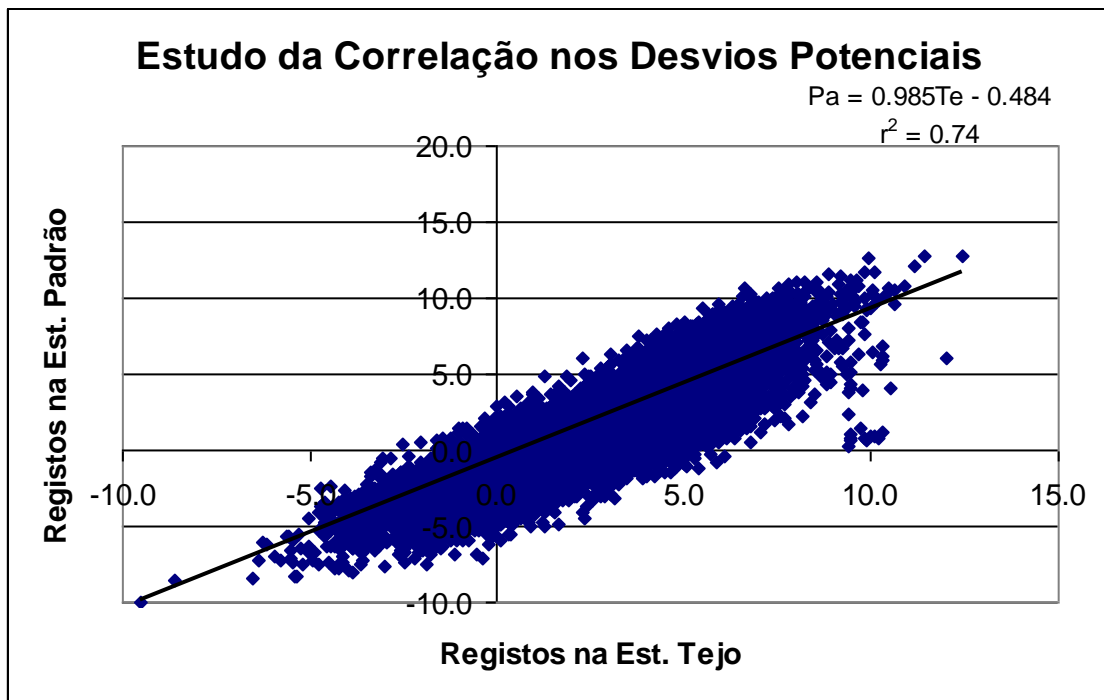


Gráfico 5 - Desvios potenciais: correlação Tejo/Padrão.

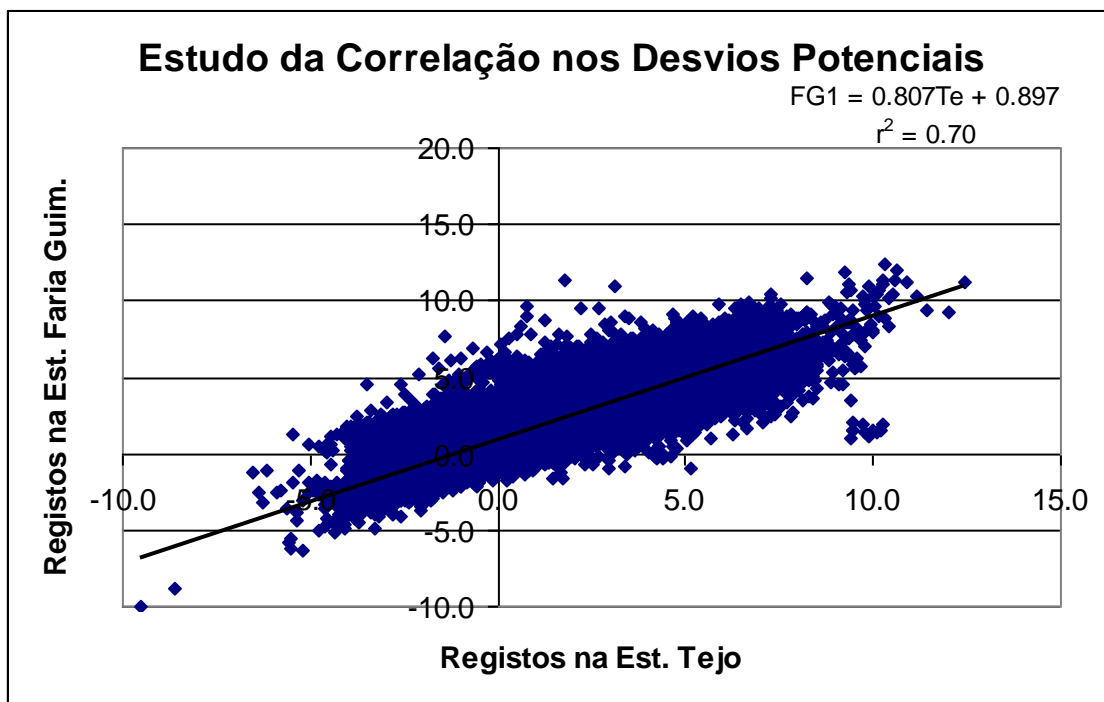


Gráfico 6 - Desvios potenciais: correlação Tejo/Faria Guimarães.

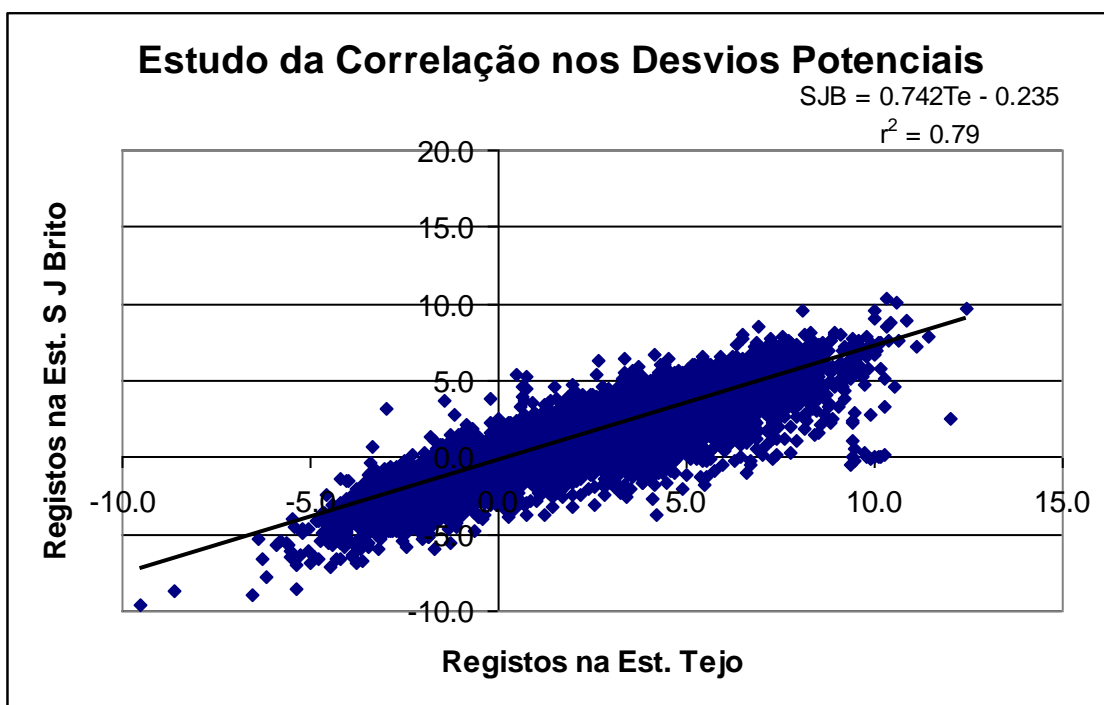


Gráfico 7 - Desvios potenciais: correlação Tejo/S. João de Brito.

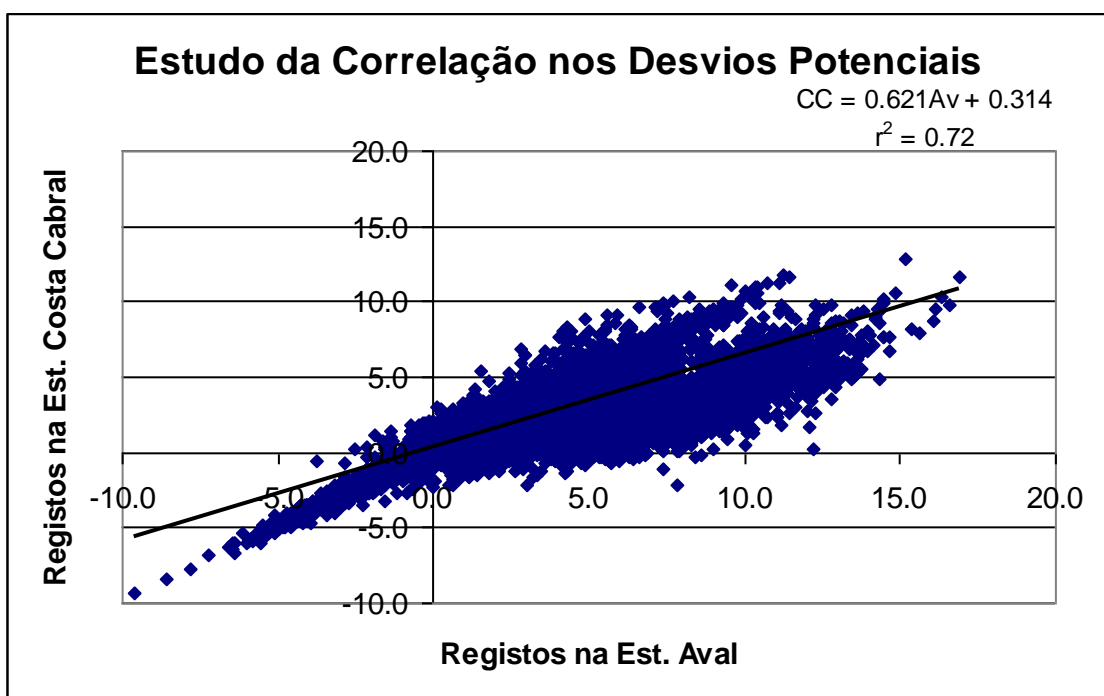


Gráfico 8 - Desvios potenciais: correlação Aval de Baixo/Costa Cabral.

As reflexões que agora se avançam sobre os resultados obtidos, decorrem da tentativa de interpretar qual(ais) o(s) eventual(ais) fator(es) que condiciona(m) os comportamentos verificados. Este exercício teve por base a nossa experiência, sensibilidade e conhecimentos destes fenómenos e não são apenas consequência direta do tratamento estatístico efetuado.

Foi produzida uma tabela com a síntese dos valores de  $r^2$ , organizados por ordem decrescente, para tentar visualizar, de forma mais direta, a qualidade do ajuste das retas de regressão, e de forma indireta a natureza – “força” – das correlações. Com base nessa tabela e na tabela anterior dos coeficientes de correlação linear (valores de  $r$ ) podemos ainda acrescentar que, salvo algumas exceções, na generalidade os modelos de correlações estabelecidas por regressão linear estão em consonância com a classificação dos locais de instalação das sondas através do sistema das LCZ (Zonas de Clima Local). Assim, podemos afirmar que:

Tabela 13 - Síntese dos valores de  $r^2$ , organizados por ordem decrescente, e respetiva média

Valores de $r^2$ por ordem decrescente	Te-Tejo	Av-Aval Baixo	CC-Costa Cabral	AA-Arca d'Água	QC-Quinta Covelo	Pa- Padrão N	FG1-Faria Guimarães	SJB- S.J.Brito
	0.81 QC	0.79 Pa	0.86 Pa	0.62 FG1	0.81 Te	0.86 CC	0.70 Te	0.79 Te
	0.79 SJB	0.72 CC	0.72 Av	0.48 CC	0.69 SJB	0.79 Av	0.62 SJB	0.69 QC
	0.74 Pa	0.69 Te	0.70 Te	0.47 Te	0.54 FG1	0.74 Te	0.62 AA	0.64 Pa
	0.70 CC	0.59 SJB	0.60 SJB	0.42 SJB	0.50 Pa	0.64 SJB	0.57 CC	0.62 FG1
	0.70 FG1	0.49 QC	0.57 FG1	0.38 Pa	0.49 Av	0.51 FG1	0.54 QC	0.60 CC
	0.69 Av	0.42 FG1	0.48 AA	0.33 QC	0.38 CC	0.50 QC	0.51 Pa	0.59 Av
	0.47 AA	0.24 AA	0.38 QC	0.24 Av	0.33 AA	0.38 AA	0.42 Av	0.42 AA
Média	<b>0,70</b>	<b>0,56</b>	<b>0,62</b>	<b>0,42</b>	<b>0,53</b>	<b>0,63</b>	<b>0,57</b>	<b>0,62</b>
Dif max-min	<b>0.34</b>	<b>0.55</b>	<b>0.48</b>	<b>0.38</b>	<b>0.48</b>	<b>0.48</b>	<b>0.28</b>	<b>0.37</b>

- Tejo apresenta forte correlação com Covelo e S. J. de Brito, os quais constituem locais de menor densidade de ocupação do solo e com elevado *svf*, conforme verificamos na classificação LCZ; Tejo é também o posto que apresenta, em média, as correlações mais fortes;

- é relativamente surpreendente que Faria Guimarães, sendo um posto da área de proximidade ao centro, não se apresente mais fortemente correlacionado com as outras áreas de elevada densidade de ocupação do solo e de baixo *svf*. No entanto, se levarmos em conta que o abrigo da sonda está instalado num quarto piso, perceberemos que faz sentido, uma vez que essa localização elevada acima do solo lhe modifica substancialmente as condições de exposição solar;
- da mesma forma, a correlação mais forte de Arca d'Água é estabelecida com Faria Guimarães (mas não vai além de  $r^2 = 0.62$ , o que mesmo assim é pouco): as semelhanças entre estes dois postos limitam-se à altura dos edifícios, as restantes características da morfologia/envolvente urbana são muito diferentes.

A observação global dos gráficos de regressão evidencia, de imediato, que as regressões que revelam menores correlações (ou correlações mais fracas) se referem a Arca d'Água: nestes casos os valores de  $r^2$  variam entre 0.24 e 0.62, isto é, são todas correlações fracas ou relativamente fracas e cujas nuvens de pontos apresentam as maiores dispersões de todo o conjunto, estando os pontos no geral bastante afastados da reta de regressão. Os valores registados na Estação de Arca d'Água são aqueles que exibem mais baixas correlações entre os coeficientes calculados.

A estação A-Tejo é aquela que revela a melhor relação de regressão com a temperatura das outras estações. A inclinação da reta é a que está mais próxima do valor 1, isto é, apresenta uma relação quase de 1:1. O intercepto está mais próximo de 0, ou seja, a reta de regressão passa mais próxima do cruzamento 0/0. A variância é em média 0,700, o que é significativamente melhor do que para as outras estações.

Tejo é o posto que apresenta maior número de correlações fortes com todos os outros postos (os valores de  $r^2$  variam entre 0.47 e 0.81), sendo isso evidente na maioria das nuvens de pontos que lhe estão associadas. Os únicos postos que apresentam correlações mais fortes entre si do que Tejo com os restantes, são Costa Cabral e Padrão. À exceção de Aval de Baixo, com o qual apresentam correlação razoavelmente elevada ( $\geq 0.72$ ), estes dois postos, por sua vez, apresentam fraca correlação com os restantes quatro postos.

Podemos concluir que a relação de regressão para o Posto A-Tejo explica, em média, 70% das variações de temperatura. A melhor relação é estabelecida com



as temperaturas em A-Tejo e G-Covelo ( $r^2 = 0,81$ ); a pior relação é aquela que é estabelecida entre B-Aval de Baixo e E-Arca d'Água, que explica apenas 24%.

É também curiosa a correlação Tejo-Costa Cabral, com uma regressão em que a nuvem de pontos é a mais estreita de todas e acompanha mais de perto a reta de regressão, ou seja, a nuvem de pontos é a "mais linear" de todas as nuvens de pontos e portanto, aquela onde se verifica a menor dispersão dos pontos e em que os parâmetros da reta de regressão melhor se ajustam aos dados. Dado que do ponto de vista da geometria urbana, não existem muitas semelhanças entre estes dois postos, na base desta correlação pode estar a exposição aos ventos pois encontram-se geograficamente próximos e ambos na vertente norte do interflúvio que separa as redes hidrográficas do Douro e do Leça.

Os valores registados na Estação de Arca d'Água são aqueles que exibem as mais baixas correlações entre os coeficientes calculados, e este é também o posto que apresenta, em média, as correlações mais fracas.

Aval de Baixo relaciona-se preferencialmente com Padrão e Costa Cabral, todos eles postos com prédios de altura média a elevada e com densidades de ocupação do solo razoavelmente elevadas. Mas Aval de Baixo é o posto que apresenta maior dispersão em termos de correlações fortes e fracas, o que denota à partida um comportamento térmico relativamente desviante no contexto dos restantes postos.

### **Desvios térmicos calculados relativamente ao Posto G-Covelo**

Face aos resultados obtidos com as diversas formas de tratamento e análise das anomalias térmicas, até este momento da investigação, ponderámos efetuar um despiste sobre prováveis causas que poderiam eventualmente estar a amplificar os desvios térmicos diurnos, tais como exposição solar, brisas mar/terra e tempo de resposta dos diversos instrumentos de medição. Por dificuldades de logística<sup>376</sup> acabámos por seguir somente as duas primeiras linhas de investigação, como veremos adiante nas seções 3.1.3 e 3.1.4 (no entanto, ainda efetuámos uma tentativa de análise da situação dos instrumentos, sem sucesso por falta de dados técnicos).

---

<sup>376</sup> Não pudemos seguir esta última hipótese de investigação pois, mesmo tendo acesso às características técnicas dos instrumentos de medição que nós próprios usámos, não o conseguimos relativamente ao equipamento da estação Porto-Aeroporto, sendo que esse estudo só faria sentido em termos comparativos de todos os instrumentos em utilização.

O resultado desses dois estudos – o primeiro por não demonstrar grande influência sobre os desvios térmicos, o segundo por provavelmente contribuir somente para uma quota-parte do problema – veio pôr em causa a nossa escolha inicial da estação de referência Porto-Aeroporto, tornando pertinente a utilização de uma outra estação de referência, neste caso, a do Posto G-Covelo. A partir deste ponto da investigação, passámos a designar os ficheiros referentes a cada uma das estações de referência, respetivamente por “UHI(A)” e “UHI(G)” para distinguir os cálculos efetuados em relação às estações de referência Porto-Aeroporto e Posto G.

O processamento dos dados de base foi idêntico ao cálculo já antes demonstrado para os desvios térmicos obtidos relativamente à estação de Porto-Aeroporto e encontra-se em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, na pasta “POSTO G estatísticas” (três ficheiros relativos a 2010, 2011 e 2012 designados por “UHI(G) weekly results”). Os valores dos desvios térmicos de cada posto de medição, calculados relativamente ao Posto G-Covelo, foram inseridos em folhas de Excel (no anexo e pasta acabados de referir, tabela “Ground data”), nas quais se procedeu também ao cálculo das médias horárias para cada posto.

Os dados foram processados semanalmente, tendo as semanas sido numeradas, a partir de 2010/05/10: as diversas semanas foram assinaladas através de um número cardinal, estando o número de cada semana especificado ao lado direito das colunas de cálculo (no caso do ficheiro relativo a 2010, período de 2010/05/10-2011/03/01), assim como marcadas também com as cores amarelo e cinza para facilitar a identificação da alternância semanal.

Os períodos de tempo analisados nos três anos abordados nos respetivos ficheiros englobam um número de semanas variável, dado que os anos de 2010 e 2012 não estão completos, mas no conjunto perfazem um total de cerca de 2 anos. No entanto, as tabelas de cálculo estão preparadas para o tratamento de 52 semanas cada, caso viesse a ser possível obter mais dados e completar as respetivas operações. Nos três ficheiros em análise, os valores das médias semanais das anomalias térmicas urbanas foram calculados para cada posto de medição, de acordo com os seguintes procedimentos:

### **1º Procedimento – Tabelas dos dados semanais acumulados**

Os desvios térmicos diários, de hora a hora (ciclos de 24 horas, organizados em períodos das 12h00-11h00) foram adicionados em totais semanais para cada posto,

obtendo-se assim os valores semanais acumulados hora a hora (folhas designadas por "*Tables, Weekly accumulated data*"). Relativamente a cada semana foram também calculadas as médias acumuladas do conjunto dos 6 postos de A-J, hora a hora, na mesma folha do ficheiro em análise.

## **2º Procedimento – Tabelas das médias dos valores semanais, por posto**

Com base nos valores acumulados a partir da tabela anterior, foram calculadas hora a hora, posto a posto, as médias semanais de cada posto (folhas "*Tables, Weekly point mean values*"). Nas presentes tabelas, os cálculos são atualizados automaticamente a partir da tabela da folha anterior, em virtude das fórmulas previamente inseridas. Na mesma folha, foram também calculados os valores das médias semanais da totalidade dos 6 postos de A-J, relativamente a cada semana.

## **3º Procedimento – Tabelas das médias urbanas semanais**

Os valores das médias urbanas semanais referentes à totalidade dos 6 postos de A-J, automaticamente calculados na folha anterior, foram coligidos numa folha autónoma para facilidade de manuseamento (folha "*Tables, Weekly urban mean values*"). O objetivo de apresentação dos dados assim coligidos é proporcionar uma visão de conjunto de todo o período em análise e facilitar a produção gráfica, cujos resultados se encontram ilustrados não só neste texto, na respetiva secção, mas também mais pormenorizadamente, em anexo, no respetivo ficheiro.

## **4º Procedimento – Produção gráfica**

Com base nos dados dos desvios urbanos assim coligidos, nesta fase do trabalho sempre organizados em ciclos de 24 horas, por períodos das 12h00-11h00, foram executados vários tipos de gráficos representativos das diversas médias urbanas obtidas para o período em análise, de que se apresentam alguns exemplos na secção de resultados, estando a totalidade da produção gráfica em anexo (anexo já acima referido, "POSTO G estatísticas", ficheiros "*UHI(G) weekly results*", folhas designadas por "Fig. 1 a 5").

## **Intensidade da ICU, em representação cartográfica de “mapas temporais”**

Tendo por objetivo uma visualização de síntese que permitisse obter uma visão de conjunto das anomalias térmicas médias da área de estudo, no sentido de facilitar comparações, decidimos proceder à representação cartográfica dos desvios térmicos médios de cada posto, através de isotérmicas “temporais”<sup>377</sup> (médias horárias mensais). A vantagem destes mapas relativamente aos gráficos de linhas já produzidos relaciona-se com o facto de constituírem uma espécie de “gráfico tridimensional” onde se podem visualizar simultaneamente três aspetos das variáveis: a magnitude média dos desvios, na sua distribuição temporal, ao longo do dia e pelos meses do ano.

### **1º Procedimento**

Foram compiladas as médias horárias mensais dos desvios térmicos, de cada posto de medição, em folhas de Excel, para os anos de 2010, 2011 e 2012 (somente o ano de 2011 está completo).

Esta compilação de dados baseou-se nos procedimentos anteriores, isto é, nas tabelas de dados acumulados e nas tabelas das médias urbanas semanais.

Chama-se a atenção para os seguintes factos:

- quanto aos desvios térmicos relativos à estação Porto-Aeroporto, as médias horárias foram efetivamente calculadas numa base mensal, uma vez que esses cálculos já estavam preparados com antecedência (em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, na pasta “ESTATÍSTICAS para Surfer”, três ficheiros designados por “*MAPS Synth Urban mean\_Intra-urban variation(A)*”);
- quanto aos desvios térmicos relativos à estação Posto G-Covelo, as médias horárias tinham sido calculadas numa base semanal devido à necessidade de organização dos desvios térmicos em ciclos de 24 horas. Para poupar tempo e evitar ter de se efetuar de novo os cálculos, agora com base nos meses, isso implicou posteriormente a junção das diversas semanas em períodos aproximadamente mensais (em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012 na pasta

---

<sup>377</sup> Klysik, K., Fortuniak K., Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September Lodz, Poland, 2003

“ESTATÍSTICAS para Surfer”, três ficheiros designados por “*MAPS Synth Urban mean\_Intra-urban variation(G)*”).

### **2º Procedimento**

No caso dos desvios relativos à estação Posto G-Covelo, as médias horárias dos desvios potenciais urbanos, semana a semana, foram adicionadas para cada posto de medição, em grupos de 3 a 5 semanas, de acordo com o esquema que aparece na folha inicial dos três ficheiros, no sentido de constituírem aproximadamente médias horárias mensais.

### **3º Procedimento**

As médias horárias dos desvios potenciais de cada posto, por grupos de semanas (aproximadamente mensais), foram transferidas para folhas individuais relativas a cada posto (em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012 na pasta “ESTATÍSTICAS para Surfer”, ficheiros designados por “*MAPS Synth Urban mean\_Intra-urban variation(G)*”, folhas designadas por “*MeanV(alues) week\_month*”).

### **4º Procedimento**

As médias horárias dos desvios potenciais urbanos mensais dos dois anos completos, foram transformadas em médias horárias por posto, por ano, desde Maio de 2010 até Maio de 2012, estando essas médias organizadas em folhas de síntese dos ficheiros atrás referidos.

Com os dados assim sintetizados, foram produzidos “mapas temporais” para cada posto que permitem visualizar a evolução e a distribuição temporal dos desvios térmicos médios, na sua relação com as horas do dia e os meses do ano, para o período dos dois anos completos em estudo, os quais se encontram na seção Resultados.

## ICU normalizada

Passamos agora a uma breve descrição da metodologia subjacente ao cálculo da ICU normalizada (Oke, 1998)<sup>378</sup>.

A normalização dos valores da ICU foi processada por ciclos diários, sendo que nesta parte da investigação cada ciclo diário foi assumido como compreendendo o período temporal da 01h00 às 24h00. O cálculo da normalização implicou que a diferença entre os valores horários das anomalias térmicas potenciais ( $\Delta\theta$ ) e o valor da anomalia potencial mínima desse dia, foram relativizadas, dividindo-as pela diferença entre o valor máximo e mínimo das anomalias potenciais do mesmo dia<sup>379</sup>.

Para o cálculo da normalização foi utilizada a fórmula:

$$(ICU)_{norm} = (\Delta\theta_i - \Delta\theta_{min}) / (\Delta\theta_{max} - \Delta\theta_{min})$$

em que

$i$  refere-se à hora considerada

$\Delta\theta$  refere-se às anomalias térmicas potenciais.

Através deste processo, à hora com a maior anomalia térmica durante o dia considerado, é atribuído o valor 1 (um) e à hora com o menor valor de anomalia térmica é atribuído o valor 0 (zero), ficando todos os outros valores compreendidos entre ambos.

A metodologia de trabalho compreendeu os seguintes passos:

- Os dados horários das médias urbanas relativas ao Aeroporto e ao Posto G, excluindo o posto B, foram extraídos dos ficheiros de base "Tabelas\_6\_7\_8 temp potencial", e inseridos em ficheiros separados, em tabelas mensais previamente preparadas (anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012 pasta "06 ICU NORMALIZADA") – tabela 1 de cada folha;
- Foram determinados os valores das anomalias térmicas máxima e mínima, relativos a cada dia (na 1ª tabela);
- Foi aplicada a fórmula de normalização acima referida – tabela 2.

---

<sup>378</sup> Oke, T.R, - "An algorithmic scheme to estimate hourly heat island magnitude", Proc. of *The Second Symposium on Urban Environment*, Nov. 1998, Albuquerque, New Mexico, USA, 80-83.

<sup>379</sup> Klysik, K., Fortuniak K., Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September Lodz, Poland, 2003.

Todos os cálculos efetuados até este momento foram baseados no valor médio da ICU, não nos postos de medição considerados individualmente. Os cálculos referem-se quer à ICU relativa ao aeroporto, quer à ICU calculada relativamente ao Posto G-Covelo: no primeiro caso, foi calculada a média urbana das anomalias térmicas englobando os dados dos postos A, C, E, G, H, I, e J; no segundo caso, englobando os pontos A, C, E, H, I, J, isto é, a média urbana sem o posto G, uma vez que este passou a constituir uma estação de referência (anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012 pasta “06 ICU NORMALIZADA”, ficheiros anuais designados por “*Norm UHI(A)*” e “*Norm UHI(G)*”).

A partir destes cálculos, foram produzidos gráficos mensais e anuais da ICU normalizada que permitam descrever o decurso diário típico das anomalias térmicas urbano-rurais, evidenciando assim o perfil térmico da área de estudo.

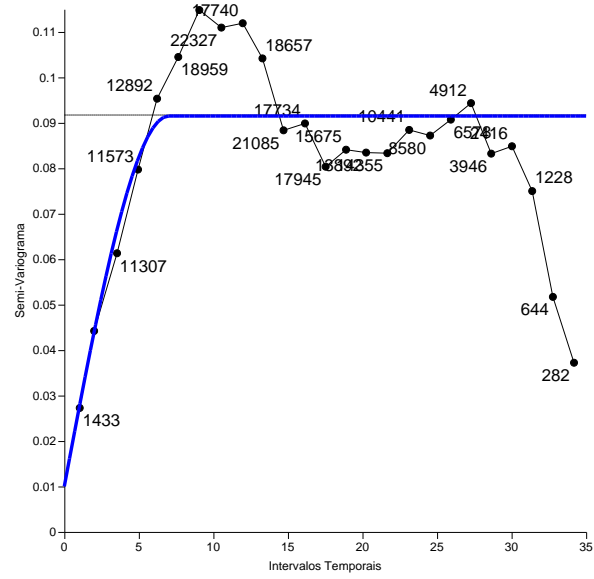
Foi também efetuada uma experiência de produção de mapas no programa Surfer, representativos dos desvios térmicos normalizados mensais, no âmbito da “geoestatística temporal” (exemplos figuras 42 e 43). Como alternativa ao estudo clássico permitimo-nos tratar a série temporal no contexto da Geoestatística (Cressie, 1992), tentando mostrar a estrutura da variabilidade temporal dos desvios térmicos através da construção de semivariogramas que evoluem no tempo, conforme se descreve abaixo.

Os variogramas teóricos ajustados têm por base o modelo Esférico com a seguinte expressão matemática:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[ 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{para } h \leq a \\ C, & \text{para } h > a \end{cases}$$

Alguns dos variogramas considerados exibem efeito de pepita. Nas representações que se seguem esta característica dos variogramas é identificada pelo valor de  $c_0$ .

Variograma Experimental e Ajuste do Modelo Teórico (Normalizados - G, Jan 2011)  
 Modelo esférico Omni-direcional (c = 0.0815 ; c0 = 0.010 ; a = 7.0)  
 Direction: 0.0 Tolerance: 90.0



Desvios Térmicos Normalizados (G) - Janeiro 2011

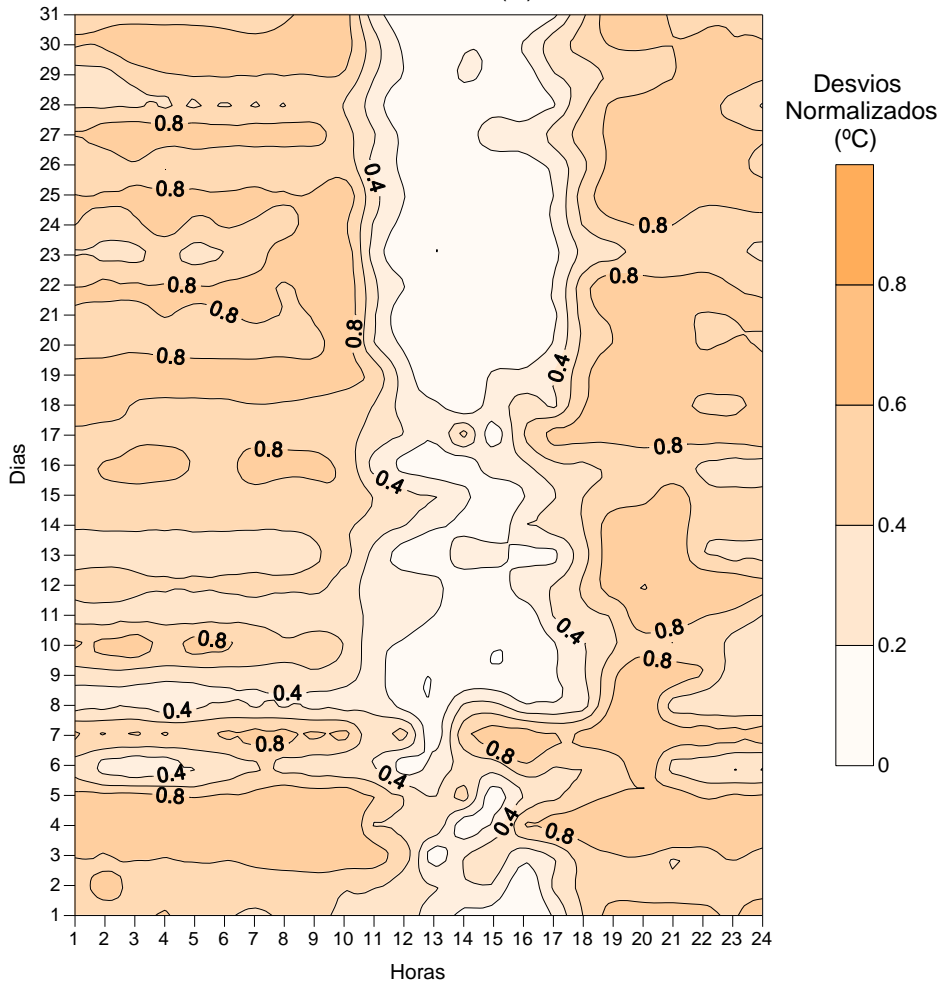


Figura 42 - ICU normalizada relativamente ao Posto G-Covelo e respetivo Variograma experimental, Janeiro de 2011.



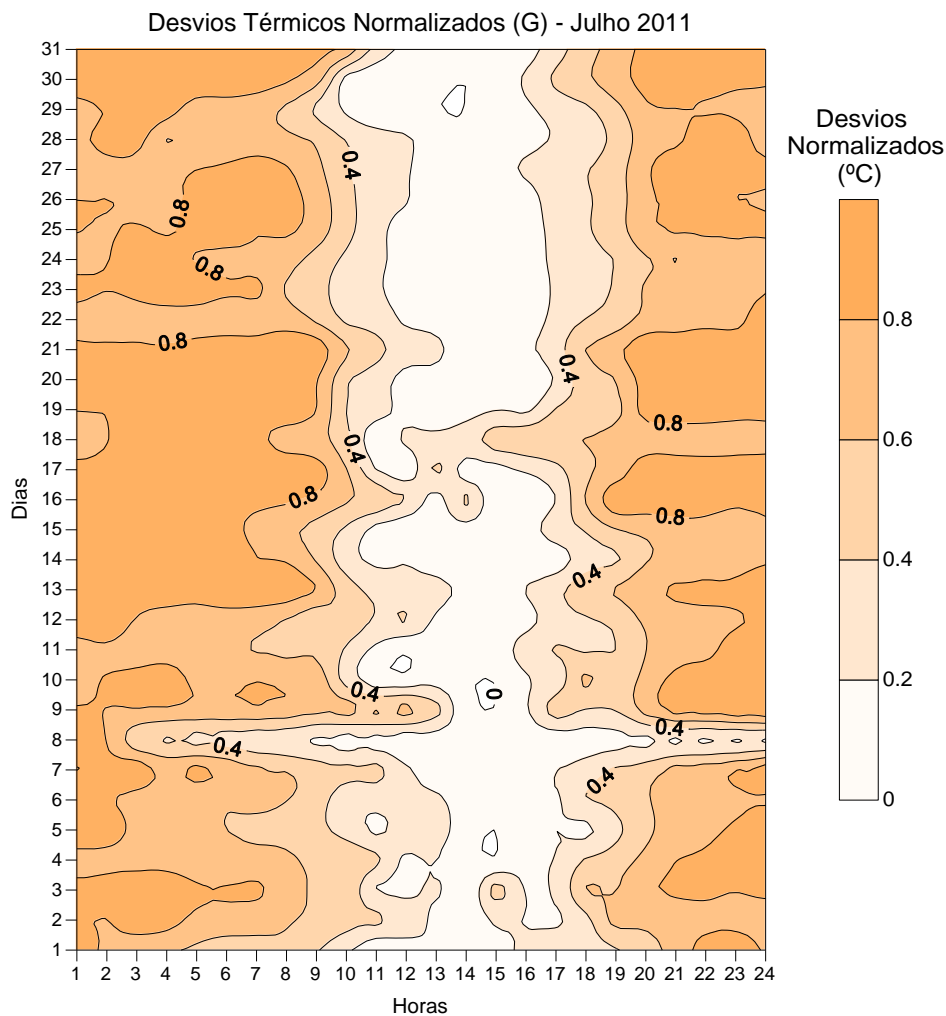


Figura 43 - ICU normalizada relativamente ao Posto G-Covelo, Julho de 2011.

De entre as várias tentativas de produção cartográfica que efetuámos, no sentido de melhorar a receção de informação tornando-a mais facilmente apreendida visualmente, estes mapas parecem-nos os únicos que não acrescentam, relativamente à representação gráfica, grande vantagem na forma de apresentação da informação, por se tornarem um pouco confusos. Nestes casos de normalização da ICU, pensamos que a representação gráfica é preferível à cartográfica.

### **Cálculo das frequências relativas dos desvios térmicos urbanos**

Entendemos que o cálculo das frequências relativas dos desvios térmicos urbanos poderia constituir um contributo mais fundamentado para a determinação do perfil térmico da área de estudo.

Segue-se por isso a descrição da metodologia que esteve na base do cálculo das frequências relativas<sup>380</sup> das anomalias térmicas urbanas. À semelhança da determinação da ICU normalizada, este cálculo parte também de dados organizados em ciclos de 24 horas (períodos da 01h00 às 24h00).

O processo do tratamento dos dados implicou a produção de várias tabelas auxiliares, previamente preparadas para o efeito, até chegar à tabela final das frequências relativas. A metodologia de trabalho consistiu no seguinte:

- i) Inserção dos dados de base nas tabelas mensais (desvios térmicos horários);
- ii) Contagem matemática simples, através das fórmulas do Excel, para obtenção das frequências absolutas;
- iii) Subtração sucessiva entre os valores das frequências absolutas contíguas (intervalos de 1 grau);
- iv) Relativização das frequências absolutas ao número de dias do mês em causa, para obtenção das frequências relativas.

Como resultado destes procedimentos (em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012 pasta ICU FREQUÊNCIAS”), as folhas de cada um dos ficheiros designados por “ICU frequências (A)2010” e “ICU frequências (G)2011” onde estão tratados os dados, incluem, por mês, quatro tabelas cada:

- a) Uma tabela com o valor dos desvios térmicos horários/mensais relativos ao posto G, durante cada dia, no respetivo mês (tabelas A, magnitude horária dos desvios médios urbanos, dados de base deste estudo);
- b) Uma tabela com a contagem do número de casos de ICU por mês, distribuídos por grupos de 1°C de diferença, entre valores contíguos, em cada hora do dia, decrescendo desde +10°C até -5°C (tabelas B, número de casos com dada intensidade de desvios térmicos, isto é, frequências absolutas dos valores da ICU - tabela auxiliar do processo);
- c) Uma tabela com o número de casos por mês, com ICU relativa ao posto G, para intervalos de 1°C de diferença, em cada hora do dia (tabelas C, número de casos

---

<sup>380</sup> Klysik, K., Fortuniak K., Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September Lodz, Poland, 2003.

com intensidade da ICU distribuídos dentro de intervalos de 1 grau - tabela auxiliar do processo);

- d) Tabela com as frequências relativas dos valores da ICU, organizadas em intervalos de 1°C, para cada hora do dia, por mês (tabelas finais, designadas por tabelas D).

A última folha dos dois ficheiros apresenta a síntese das frequências anuais, extraídas das anteriores folhas de dados mensais.

Apesar de este ser um processo simples, é bastante trabalhoso, pelo que como se depreende pela designação dos ficheiros, foram tratados somente os dados do ano de 2010 para os desvios referentes ao Aeroporto e os do ano de 2011 para os desvios referentes ao Posto G.

Neste estudo foi efetuada também uma experiência de produção de mapas no programa Surfer, representativos das frequências relativas dos desvios térmicos, no âmbito da geoestatística temporal, dos quais se apresentam exemplos na secção Resultados.

### **Variabilidade Intra-Urbana (médias mensais)**

O tratamento dos dados para a obtenção da análise da variabilidade intra-urbana foi feito a partir dos desvios à estação Porto-Aeroporto, pelo facto de que já tínhamos procedido a esta análise quando decidimos passar a utilizar como estação de referência principal, o Posto G-Covelo. No entanto, para a determinação da variabilidade intra-urbana não é relevante qual a estação de referência usada, uma vez que o que está em estudo são os comportamentos intrínsecos dos desvios de cada posto (isto é, comparam-se os desvios dos postos entre si, partindo da média urbana de todos os postos e, caso haja lugar a erros, nomeadamente de “amplificação” ou subestimação das anomalias térmicas, o erro final é sistemático e por isso mesmo menosprezável). Diga-se ainda que, neste caso concreto, essa utilização dos desvios ao Aeroporto teve ainda a vantagem de se poder englobar na comparação da variabilidade intra-urbana o próprio posto G.

A razão pela qual se procede ao cálculo da variabilidade intra-urbana é simplesmente porque os seus resultados tornam-se particularmente interessantes como base de discussão no que se refere aos mecanismos de génese da ICU.

O processo do tratamento dos dados implicou a produção de três tabelas para cada mês, com todos os postos de medição representados (em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, pasta 08 VARIABILIDADE INTRA-URBANA, tabelas A, B e C, mês a mês), de acordo com o seguinte procedimento:

- i) A partir dos dados de base dos desvios térmicos, procedeu-se à adição acumulada dos desvios térmicos diários, de hora a hora (ciclos de 24 horas, organizados em períodos das 01h00-24h00), em totais mensais para cada posto, obtendo-se assim os valores mensais acumulados, os quais foram inseridos em folhas próprias para cada mês (tabelas A, nas folhas designadas pelo mês/ano respetivos);
- ii) Passou-se de seguida ao cálculo das médias dos valores acumulados mensais, através da divisão pelo número de dias acumulados em cada mês (tabelas B, nas folhas designadas pelo mês/ano respetivos);
- iii) Finalmente foram calculados novos desvios, os valores dos desvios térmicos de cada posto relativamente à média urbana do conjunto da totalidade dos postos, isto é, foi calculado aquilo que designámos por "variabilidade intra-urbana da ICU". Portanto, efetuou-se o cálculo dos desvios, tendo como referência a média de todos os desvios de A-J (tabelas C, nas folhas designadas pelo mês/ano respetivos).

Os referidos ficheiros que apresentamos em anexo (08 VARIABILIDADE INTRA-URBANA) referem-se ao cálculo da variabilidade intra-urbana para todo o período em análise de que temos dados. Entendemos ser este período suficiente (cerca de dois anos) para mostrar as variações relativas dos desvios dos postos, uma vez que, como veremos, as diferenças são sistemáticas, isto é, os mesmos postos surgem como sendo recorrentemente os mais frios *vs* os mais quentes, mês a mês.

### 3.1.3. Pesquisa sobre Exposição/Ocultação solar das sondas térmicas

Quando iniciámos este trabalho de investigação sobre o clima urbano de áreas da cidade do Porto, baseando-nos na recolha de dados térmicos em postos fixos, ocupámo-nos fundamentalmente do estudo da ICU no seu sentido mais comum<sup>381</sup> – a ICU noturna – mas já com uma ideia definida de obter/analisar os resultados também sob o ponto de vista da ilha de calor urbano diurna<sup>382</sup>.

Logo desde as primeiras análises, apercebemo-nos de que os resultados obtidos eram relativamente inesperados: contrariando as expectativas, verificámos que a ICU persistia durante a maior parte das horas do dia, apenas interrompida por uma ilha de frio não muito intensa durante as primeiras horas após o nascer do sol<sup>383</sup>. Particularmente no que se refere a algumas das estações de medição estudadas, constatou-se que o desenvolvimento diurno dos desvios térmicos urbano-rurais apresentavam valores bastante mais elevados do que seria de esperar, e durante períodos do dia não-convencionais (sendo estes factos bastante mais acentuados no que se refere ao posto B-Aval de Baixo). São várias as explicações que podemos encontrar para os referidos resultados inusitados pelo que, num primeiro passo, resolvemos iniciar esta parte do estudo com o despiste de prováveis causas que poderiam estar na base da sua génese, investigando desde logo a eventual influência da exposição dos abrigos das sondas à radiação solar direta (refira-se, no entanto, que a radiação solar difusa, ainda que indireta, também pode eventualmente afetar as medições). Nesse sentido, após um estudo detalhado da localização/caraterização de cada posto de recolha de dados e da sua envolvente de edificado<sup>384</sup> (ver exemplos das Ilustrações 10 e 11, rever Ilustrações 1 a 9 e consultar as imagens do anexo 09 Cálculo ÂNGULOS OCULTAÇÃO), adotámos uma metodologia que nos permitisse verificar se as sondas nos respetivos abrigos poderiam estar a ser influenciados pela radiação solar direta e em que medida essa situação poderia condicionar a operacionalidade das sondas. Esta parte da

---

<sup>381</sup> Oke, T.R. - *Boundary layer climates*, Routledge, London and New York, 1987.

<sup>382</sup> Fumiaki, F. - "Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring", *The 7<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan, 2009.

<sup>383</sup> Balkestähl, L., Monteiro, A., Taesler, R., "Unexpected features in the diurnal course of the urban-rural temperature difference (study-case of the possible influence of exposure to solar radiation, Porto, Portugal)", *8<sup>th</sup> International Conference on Urban Climates, ICUC8, UCD, Dublin, Ireland*, 2012.

<sup>384</sup> Limitámo-nos a representar aqui o exemplo das plantas de dois postos de medição (A-Tejo e C-Costa Cabral, respetivamente de elevado e baixo *svf*), encontrando-se as plantas relativas aos restantes postos em Anexo 09 Cálculo ÂNGULOS OCULTAÇÃO.



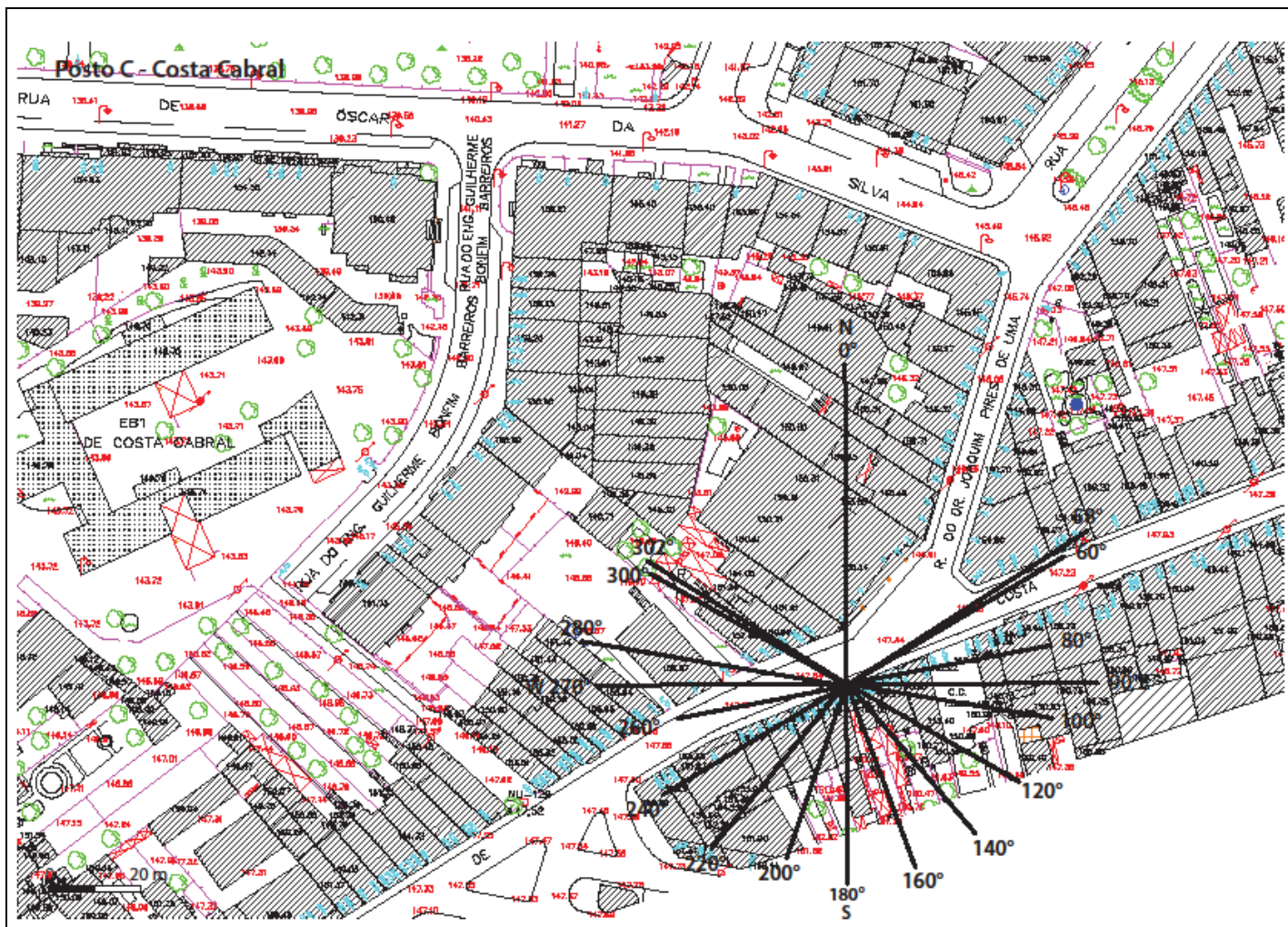


Figura 45 - Localização/caracterização do posto C-Costa Cabral e respectiva envolvente de edificado.

## 1º procedimento - Determinação da exposição/ocultação solar dos abrigos

Na etapa que se segue pretendemos determinar se os sensores térmicos poderiam estar a ser influenciados pela exposição solar direta dos abrigos. Os cálculos desta etapa envolveram três momentos distintos:

- Determinação da posição do sol no firmamento (altura e azímute), em diferentes momentos do dia, ao longo do ano;
- Determinação dos ângulos de exposição/ocultação dos abrigos dos sensores térmicos relativamente aos edifícios/objetos circundantes, em diferentes direções (segundo a rosa dos ventos).
- Análise comparativa dos ângulos de elevação do sol e da altura dos edifícios/objetos circundantes, em diversas direções ao longo das horas do dia, entre o nascer e o pôr do sol (se o ângulo de elevação do sol for superior ao dos objetos que, a uma dada distância, rodeiam os abrigos, a radiação solar atinge diretamente os abrigos dos sensores térmicos).

Para a consecução dos nossos objetivos, procedemos da seguinte forma:

### Momento 1 – Determinação da posição do sol no firmamento

Começámos por definir as posições do sol ao longo do ano, para a nossa latitude<sup>385</sup> (Ilustrações 10 e 11), fundamentalmente no que se refere à altura e ao azimute solar. Este procedimento baseou-se na utilização de um dos muitos programas existentes para o efeito, à disposição dos utilizadores, na internet, neste caso concreto da Universidade do Oregon<sup>386</sup>(EUA). Inserem-se no programa disponibilizado *on-line* os dados da localização atual (como já referido, optámos por G-Covelo como posto representativo da média das restantes localizações), escolhe(m)-se o(s) período(s) desejados, estabelecem-se as definições pretendidas e o próprio programa gera diagramas no formato *PDF*<sup>387</sup>: os referidos diagramas representam as linhas dos azimutes e alturas do sol, mês a mês, um diagrama de 21 de dezembro a 21 de junho, e outro diagrama de 21 de junho a 21 de dezembro.

---

<sup>385</sup> Dado que para este tipo de estudo (altura e azímute solares), a diferença de latitude/longitude entre os dez postos de medição é irrisória devido à sua proximidade geográfica, decidimos adotar as coordenadas do posto G-Covelo, como ponto médio representativo de todos os outros postos.

<sup>386</sup> <http://solardat.uoregon.edu/SoftwareTools.html>

<sup>387</sup> Pode ser encontrado no *site* <http://pvcdrom.pveducation.org/SUNLIGHT/SUNCALC.HTM> um outro programa com a vantagem de apresentar animações *on-line*, mas cujos diagramas são mais complexos para interpretar.



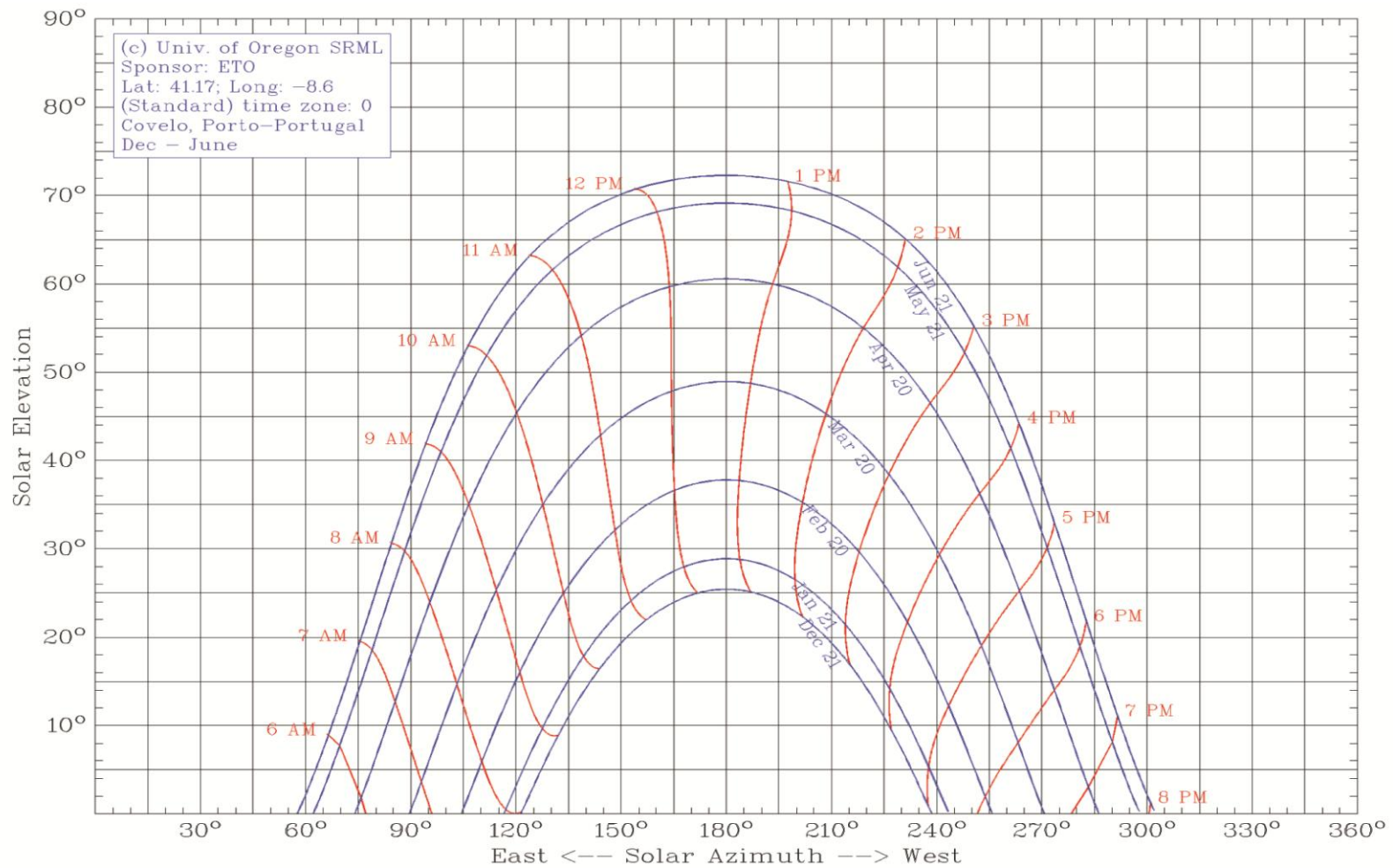


Ilustração 10 - Altura e azimute solar, dezembro a junho para Covelo-Porto, Portugal (aproximadamente, latitude 41°N e longitude 8°W).

Fonte: <http://solardat.uoregon.edu/SoftwareTools.html>

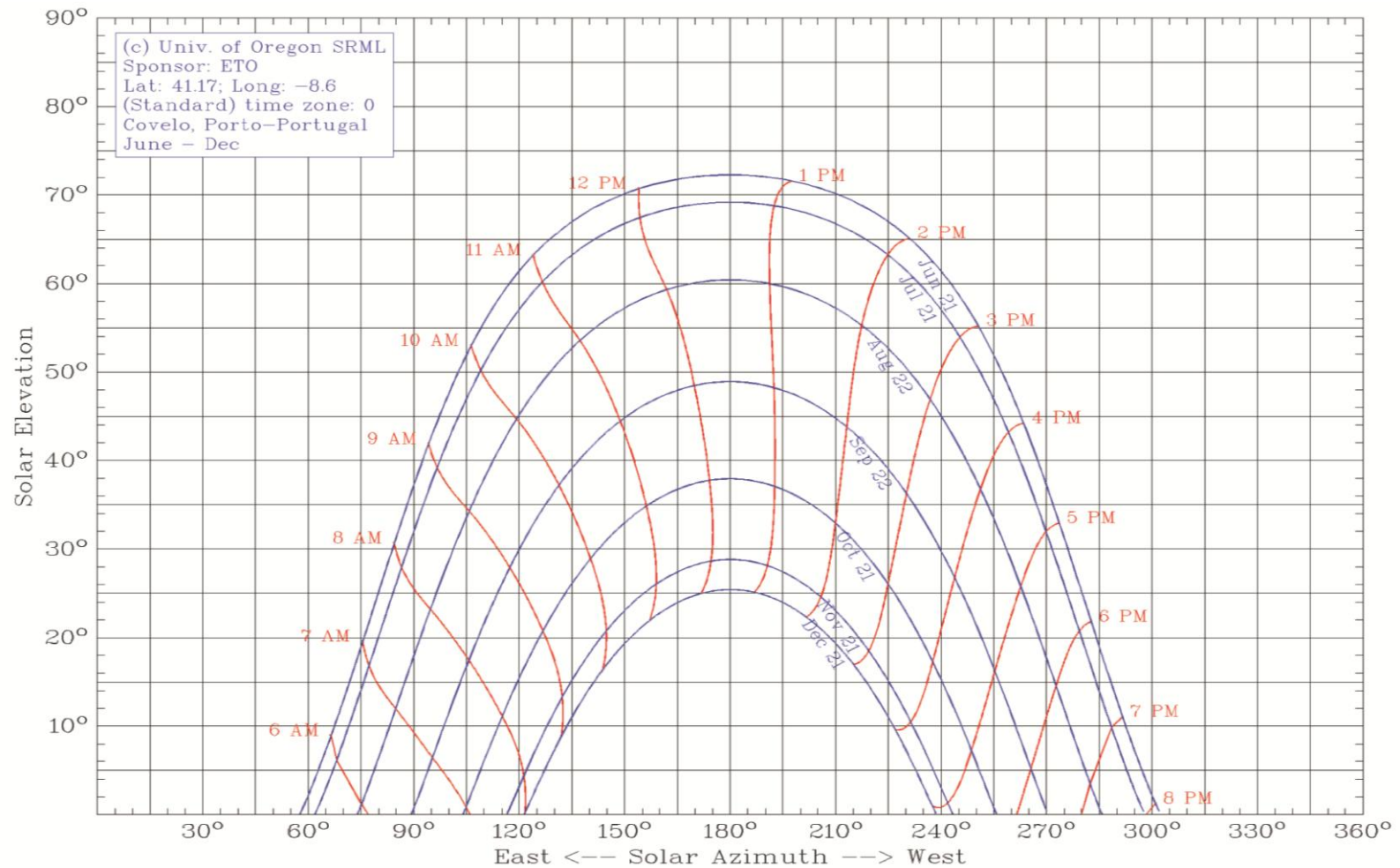


Ilustração 11 - Altura e azimute solar, junho a dezembro, para Covelo-Porto, Portugal (aproximadamente, latitude 41°N e longitude 8°W).

Fonte: <http://solardat.uoregon.edu/SoftwareTools.html>

Este procedimento permitiu-nos, à partida, verificar que, para efeito da exposição solar das sondas, na latitude visada não necessitaríamos de considerar as direções da rosa dos ventos compreendidas aproximadamente entre 0° e 58° e entre 0° e 302°; por essa razão, as rosas dos ventos que inscrevemos em cada uma das plantas dos diversos postos de medição não assinalam essas direções. Por outro lado, forneceu-nos os dados relativos às alturas do sol ao longo do dia e do ano, para as podermos confrontar com os valores obtidos nos diagramas solares do momento 2.

### **Momento 2** – Determinação da ocultação/exposição de cada abrigo

Pensámos inicialmente usar um modelo matemático para calcular o ângulo de ocultação/exposição ao sol, a partir do local de instalação de cada abrigo (hipotético Posto P, figura 46) que nos facultasse, de forma automática e sem grandes perdas de tempo, a largura das ruas nas diversas direções de exposição ao sol.

- i) Antes de mais, determinámos matematicamente a variação da largura das ruas nas diversas direções de exposição ao sol (segundo a variação do ângulo do azimute solar), de acordo com os seguintes procedimentos:

$$W(d) = W(90)/\sin(d) \quad \text{ekv. (1)}$$

em que

- $W(d)$  é a largura da rua na direção  $d$  a partir do local do abrigo
- $W(90)$  é a largura da rua medida na direção perpendicular (90°) ao alinhamento da rua (ou inversamente, zero graus a partir da perpendicular à fachada)
- $d$  corresponde às direções/distâncias, **no plano horizontal**, de quaisquer ângulos a partir do abrigo, até aos objetos/edifícios que se localizam do outro lado da rua.

Com o objetivo de simplificar os cálculos, as direções do azimute solar foram substituídas pelas correspondentes direções relativas ao alinhamento de cada rua: os ângulos horizontais foram calculados desde a direção perpendicular à fachada do edifício/local de instalação do abrigo até ao lado diametralmente oposto à sonda, e a partir daí em várias direções, no sentido do alinhamento da via, até aproximadamente 90° de ângulo para cada lado da rua.

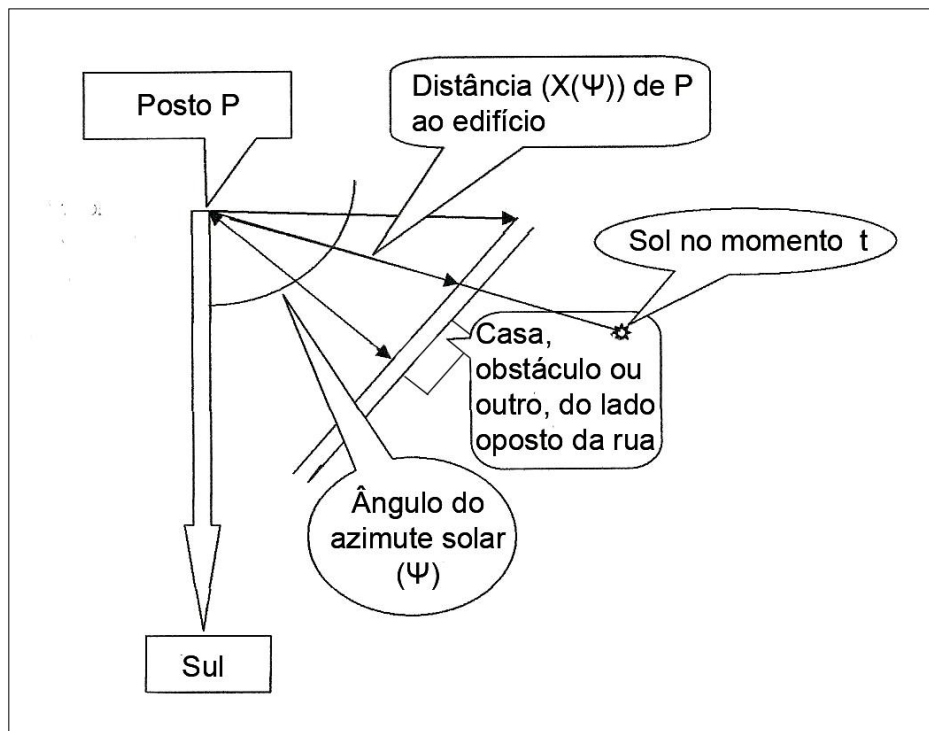


Figura 46 - Projeção, no plano horizontal, dos objetos/edifícios opostos ao hipotético posto de medição P, segundo os ângulos das diversas direções de exposição ao sol.

- ii) A partir destas direções horizontais, foram calculados os ângulos de ocultação/exposição solar (hipotético Posto P, figura 47) de acordo com a expressão:

$$V(d) = ARCTAN\{(H-h)/W(d)\} \quad \text{ekv. (2)}$$

em que

- $V(d)$  é o ângulo de ocultação, **no plano vertical**, originado por um qualquer objeto existente na direção  $d$  que se opõe ao ponto de localização do abrigo de medição
  - $H$  é a altura do objeto (edifício) que se encontra do lado oposto da rua
  - $h$  é a altura a que se encontra o abrigo da sonda, acima do solo,
- uma vez que, ao ângulo de ocultação  $V(d)$  na direção  $d$  corresponde a tangente

$$tg\{V(d)\} = \{(H-h)/W(d)\}$$

isto é, o arco de tangente  $ARCTAN$  designa o ângulo cuja tangente é  $\{(H-h)/W(d)\}$ .

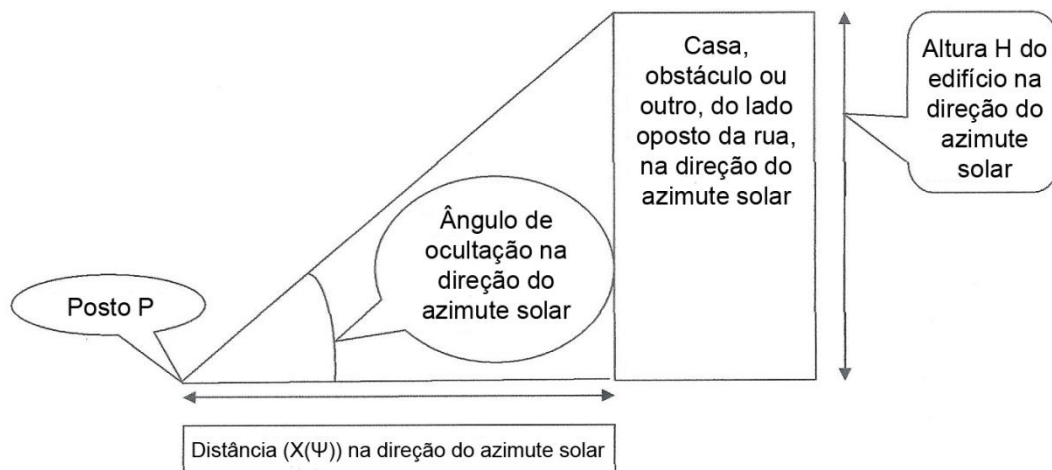


Figura 47 - Projeção, no plano vertical, dos objetos/edifícios opostos ao hipotético posto de medição P, e respetivos ângulos de ocultação nas diversas direções de exposição ao sol.

Em folha de Excel, os cálculos dos ângulos de ocultação, devem ser feitos em radianos, pelo que procedemos à conversão de graus da escala de 360° em radianos, obedecendo ao seguinte procedimento:

Ângulo em graus:  $VV(g)$

Ângulo em radianos:  $VV(r)$

$$VV(r) = VV(g) * 2\pi / 360 \quad \text{em que } \pi = 3,142$$

Portanto, na folha de cálculo de Excel em anexo (anexo 09 Cálculo ÂNGULOS OCULTAÇÃO, ficheiro 1 Calculo Mat Ângulos ocult F Gui Sul.xls), os valores dos ângulos estão apresentados quer em graus, quer em radianos.

Dada a irregularidade das ruas, a existência de diversas praças e a ocorrência frequente de cruzamentos/entroncamentos, verificámos que a utilização deste modelo teórico seria de difícil aplicação na prática, excetuando os casos em que as ruas correspondessem a verdadeiros “*canyons*” urbanos. Por essa razão, este modelo é aqui apresentado unicamente como exemplificação de como o processo do cálculo matemático deve ser utilizado, em caso de regularidade das ruas, tendo sido na prática aplicado somente ao posto M-Faria Guimarães sul.

Em substituição do referido modelo teórico destinado ao cálculo matemático da largura das ruas, procedemos ao estudo da ocultação/exposição aos raios solares, para cada posto de medição, utilizando duas metodologias distintas<sup>388</sup>:

- primeiro, com recurso à observação direta e respetiva estimativa empírica da exposição solar ao longo do ano, com a inscrição, em diagramas solares (exemplo da Fig. 48), dos valores dos ângulos de exposição ao sol (figura 49, lado esquerdo) ;
- posteriormente, recorrendo também a um modelo teórico idêntico ao apresentado na figura 46, equação 2, mas neste caso baseado em medições efetivas da largura das ruas (anexo 09 Cálculo ÂNGULOS OCULTAÇÃO, ficheiro 2 Calculo angulos ocultação medidos.xls), nas diversas direções horizontais. Este modelo permitiu efetuar o cálculo matemático dos ângulos de obstrução dos edifícios/objetos circundantes (tabela 14), relativamente a cada um dos abrigos das sondas, inscrevendo-os também nos já referidos diagramas solares (exemplo figura 49, lado direito).

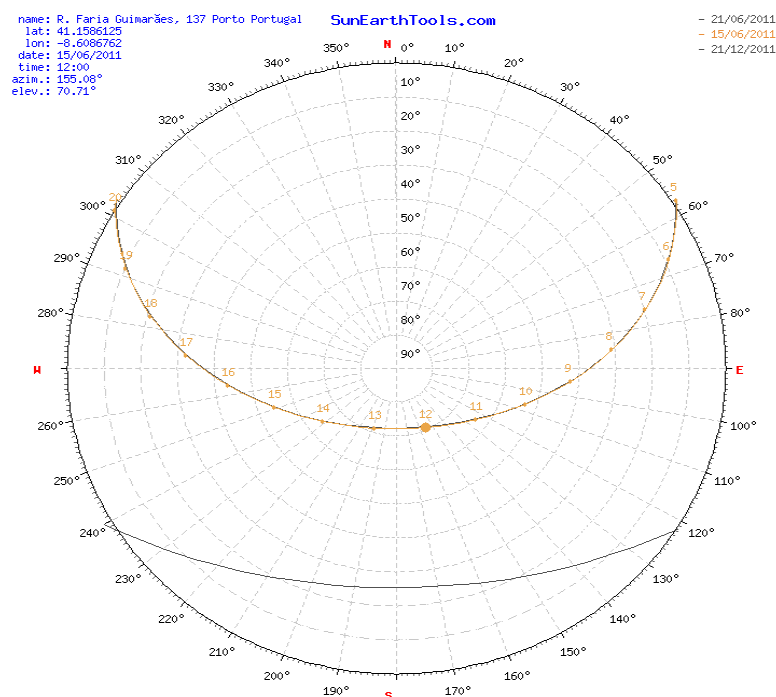


Figura 48 - Exemplo de diagrama solar, em 15/06/2011, para o posto M-Faria Guimarães sul: exposição/ocultação do horizonte, segundo a perspetiva do local de observação.

<sup>388</sup> Balkeståhl, L., Monteiro, A., Taesle, R., "Unexpected features in the diurnal course of the urban-rural temperature difference (study-case of the possible influence of exposure to solar radiation, Porto, Portugal)", 8<sup>th</sup> International Conference on Urban Climates, ICUC8, UCD, Dublin, Ireland, 2012

Os diagramas solares aqui apresentados são disponibilizados através de um programa *on-line* na página “*SunEarth Tools.com-Ferramentas para designers e consumidores de energia solar*”, sendo necessário para os obter inserir os dados do endereço do local desejado, ou as suas coordenadas geográficas, e a(s) data(s) pretendidas<sup>389</sup>.

Após a obtenção dos diagramas solares das diversas datas consideradas pertinentes, procedemos à sua impressão e, nesses mesmos diagramas, desenhámos o perfil do horizonte local, dado pelos ângulos de ocultação/exposição estimados e/ou calculados em torno de cada ponto de medição, obtidos pelo processo matemático descrito no momento 2.

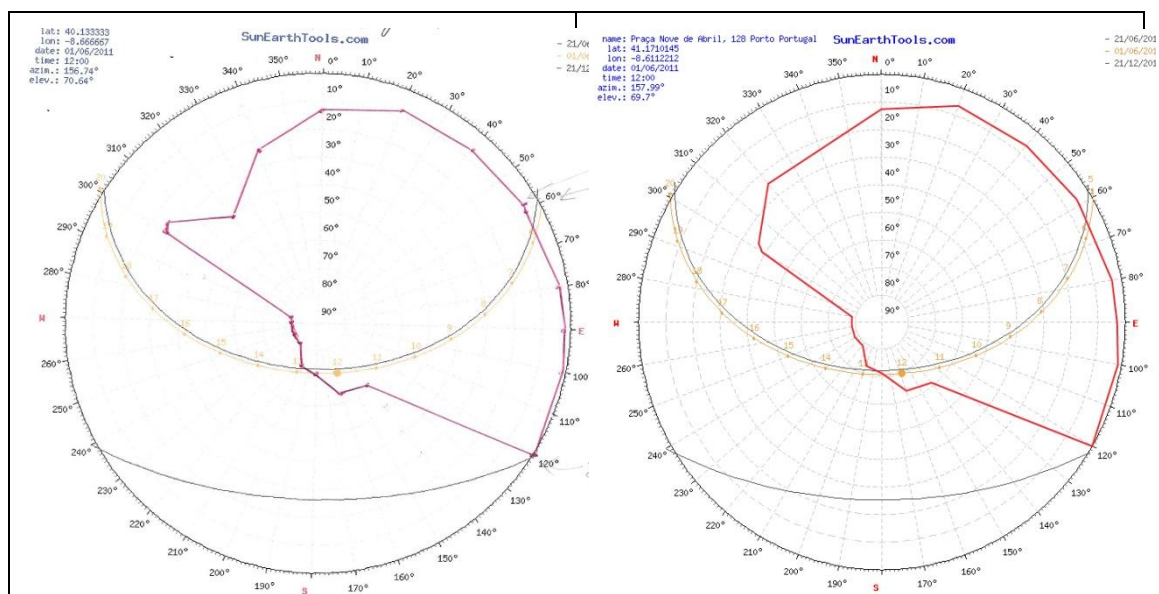


Figura 49 - Inscrição, em diagramas solares, dos valores dos ângulos de ocultação/exposição ao sol, posto E-Arca d'Água, 01/06/2011: lado esquerdo, estimativa empírica por observação direta; lado direito, segundo os resultados proporcionados pelo modelo teórico de cálculo matemático.

Por um lado, este processo de cálculo baseado em medições efetivas locais revela-se bastante mais moroso, uma vez que se torna necessário medir a largura das ruas em todas as direções que se pretende sejam analisadas. Mas por outro lado,

<sup>389</sup> [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php)

permite um rigor acrescido de grande aproximação à realidade local, face à complexidade da morfologia urbana da maior parte das áreas estudadas, como se pode verificar pelo ficheiro de comparação dos resultados obtidos através dos dois processos de cálculo (anexo, pasta e ficheiro atrás mencionado, “Comparação modelo\_prática”): os resultados não diferem muito e, nos casos em que diferem, isso deve-se mais às irregularidades na geometria das ruas do que aos processos de cálculo.

Tabela 14 - Modelo teórico para o cálculo do ângulo de obstrução dos edifícios circundantes e/ou demais objetos

Abrigo da sonda	Posto M - Faria Guimarães sul-dados da morfologia urbana				
Direção (°) a partir de N	Largura da rua DD (m)	Altura dos obstáculos HH (m)	Altura do abrigo h (m)	Tan( $\theta$ (h))	$\theta$ (HH)
58	27	15	4,2	0,400	21,8
60	26	15	4,2	0,415	22,6
80	19	9,5	4,2	0,279	15,6
90	17	9,5	4,2	0,312	17,3
<b>100</b>	<b>16</b>	<b>10,5</b>	<b>4,2</b>	<b>0,394</b>	<b>21,5</b>
120	17	19,5	4,2	0,900	42,0
140	18	19,5	4,2	0,850	40,4
160	26	19,5	4,2	0,588	30,5
180	48	19,5	4,2	0,319	17,7
200	150	21,5	4,2	0,115	6,6
220	0,7	19,5	4,2	21,857	87,4
240	0,6	19,5	4,2	25,500	87,8
260	0,5	19,5	4,2	30,600	88,1
270	0,5	19,5	4,2	30,600	88,1
280	0,5	19,5	4,2	30,600	88,1
300	0,6	19,5	4,2	25,500	87,8
302	0,6	19,5	4,2	25,500	87,8

### Momento 3 – Comparação dos ângulos de elevação do sol vs altura dos edifícios/objetos circundantes<sup>390</sup>

<sup>390</sup> Embora os resultados desta pesquisa configurem uma parte importante deste trabalho, esses resultados constituem em si mesmos também uma metodologia para a continuidade da investigação, razão pela qual são apresentados neste capítulo.



Os resultados dos cálculos que efetuámos, descrevem matemática e pormenorizadamente, através das tabelas, o horizonte local em torno do respetivo posto de medição. A fim de determinar quando (em que momentos ao longo do dia) é que o sol se encontra em situação de ocultação pelo horizonte local, é conveniente comparar o horizonte local com o "*movimento diurno solar*". Como acabámos de ver, isto envolve um passo adicional que, para melhor visualização, deve ser feito também graficamente<sup>391</sup>.

Relativamente aos diagramas solares construídos com o objetivo de mais facilmente se visualizar e comparar a ocultação/exposição solar dos abrigos, elegemos somente quatro casos de postos representativos de médio, elevado e baixo grau de obstrução pelos objetos circundantes, para exemplificar aqui no corpo do texto: posto G-Covelo e posto J-S. João Brito, com obstrução baixa em quase todas as direções (figura 50); posto C-Costa Cabral, com elevada obstrução em praticamente todas as direções, e posto M-Faria Guimarães sul, com obstrução elevada a média, aproximadamente entre as direções NE-SSW (mais rigorosamente, entre as direções de 40° e 200°) e com obstrução muito elevada nas restantes direções (figura 51). Os ângulos de obstrução de todos os outros abrigos foram também estimados e/ou calculados, mas encontram-se em anexo.

Embora tenhamos construído diagramas solares referentes a duas datas mensais, para cada um dos postos de medição considerados, dado o grande volume de informação utilizada, optámos por representar aqui unicamente diagramas solares correspondentes a três datas que considerámos bastante representativas e relativas aos quatro postos já referidos (G-Covelo, J-S. João Brito, C-Costa Cabral e M-Faria Guimarães). A totalidade dos diagramas produzidos para todos os postos de medição (dois por mês, isto é, vinte e quatro diagramas por posto de medição) foram por isso também remetidos para o referido anexo.

---

<sup>391</sup> Estes diagramas solares apresentam ainda a vantagem de poderem substituir-se, como descritores do horizonte local, às fotografias obtidas com câmara "olho de peixe" para a representação do *svf*, uma vez que não tivemos acesso a esse tipo de equipamento.

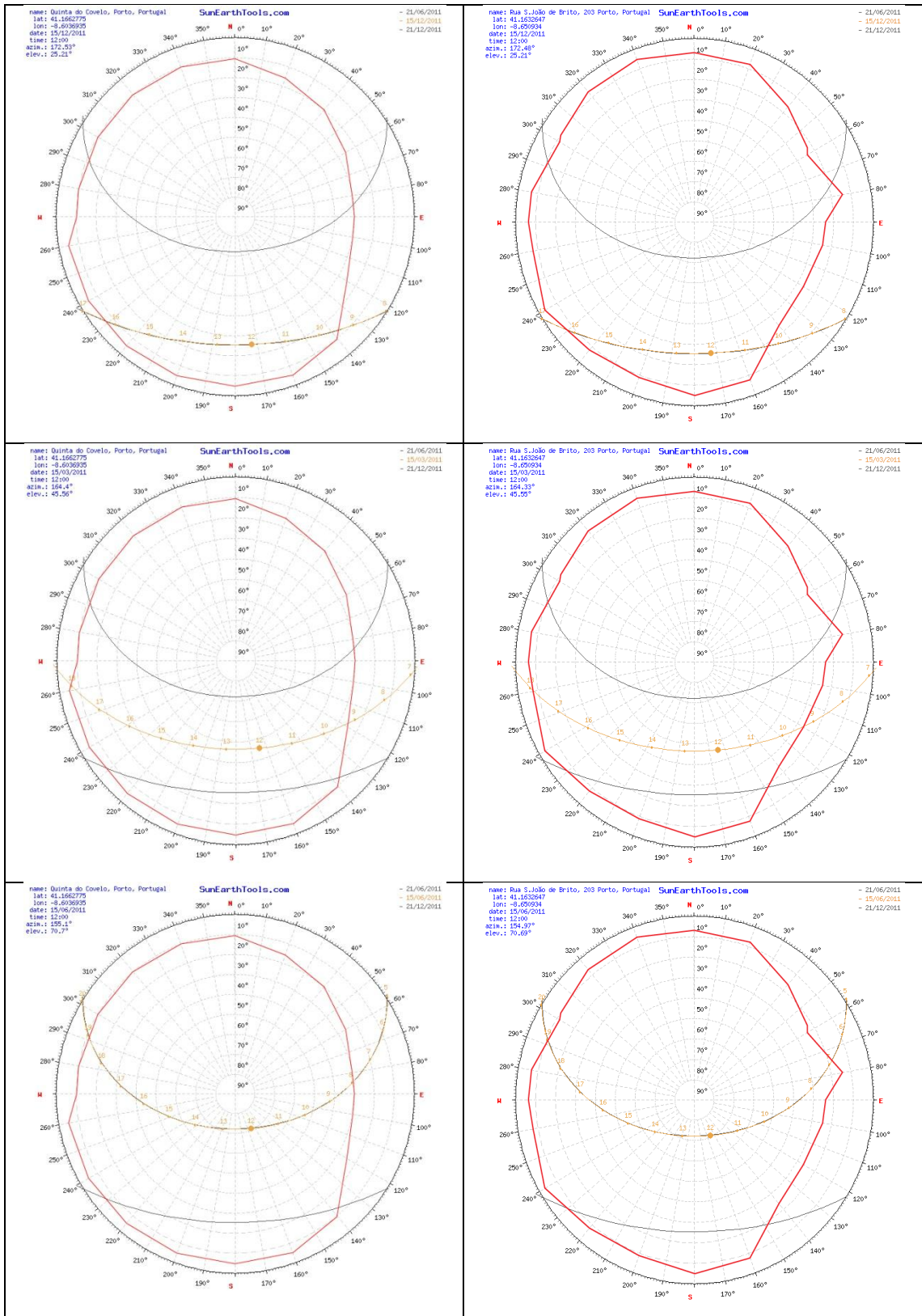


Figura 50 - Alturas/posições do sol em três datas (dezembro/março/junho): postos G-Covelo (lado esquerdo) e J-S. João de Brito (lado direito), e respetiva ocultação do horizonte.

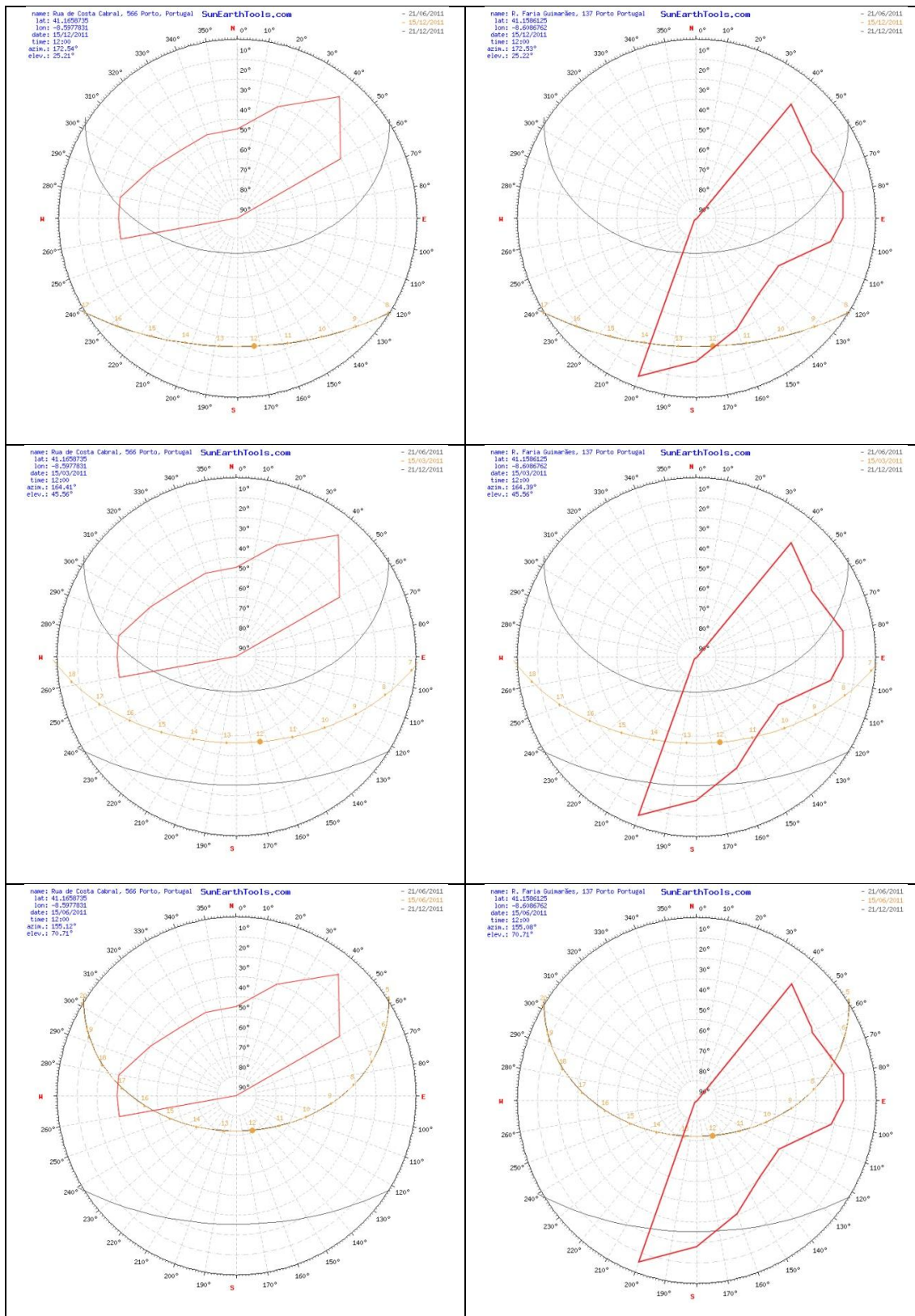


Figura 51 – Alturas/posições do sol em três datas (dezembro/março/junho): postos C-Costa Cabral (lado esquerdo) e M-Faria Guimarães sul (lado direito), e respetiva ocultação do horizonte.

Procedemos então à análise comparativa dos ângulos de ocultação/exposição solar calculados, confrontando-os com os ângulos da altura do sol, em momentos diferentes ao longo do dia, e em datas diferentes. Nas datas e horas em que a altura do sol, numa determinada direção, for superior à altura dos objetos/obstáculos do horizonte local, nessa mesma direção, a radiação solar atinge diretamente o abrigo do sensor térmico.

## 2º Procedimento - Verificação experimental da operacionalidade das sondas

Nesta segunda etapa, constituída por dois momentos, pretendemos proceder à verificação experimental da operacionalidade das sondas, como se segue:

**Momento 1** - Apesar de as sondas terem sido calibradas antes de serem instaladas nos abrigos dos respetivos postos, entendemos ser pertinente efetuar um novo teste de verificação do seu funcionamento para constatar se haveria diferenças substantivas entre os resultados das diversas sondas térmicas sujeitas a exposições solares distintas.

Um abrigo de grandes dimensões (1m x 1m x 0,5m, aproximadamente), foi especialmente concebido e construído, com placas brancas de esferovite de cerca de 5cm de espessura. Este abrigo especial dispunha de aberturas amplas em diversas direções, para permitir uma boa ventilação/arejamento, tendo sido colocado na sombra, adjacente a um dos abrigos normais (Figura 52).



Figura 52 – Posto A-Tejo: enquadramento do abrigo especial e do abrigo do posto A (lado esquerdo); pormenor do abrigo do posto A, exposto ao sol durante grande parte do dia, com as cinco sondas em conjunto (lado direito).

No sentido de verificar a possibilidade de aquecimento dos sensores térmicos, enquanto instalados nos abrigos comuns utilizados neste estudo, algumas

das sondas foram temporariamente retiradas dos seus locais habituais<sup>392</sup>: cinco sondas foram colocadas em conjunto no posto A-Tejo (o qual se encontra exposto ao sol durante grande parte do dia) e duas sondas foram colocadas no mesmo local, mas à sombra, no abrigo especialmente construído para o efeito (figuras 52 e 53).



Figura 53 – Detalhe do abrigo em esferovite, de grandes dimensões (1m x 1m x 0,5m) e munido de aberturas amplas, especialmente concebido para albergar sondas térmicas provenientes dos abrigos de outros postos, colocado à sombra junto do Posto A-Tejo.

**Momento 2** - As sete sondas permaneceram conjuntamente, no mesmo local, durante cerca de cinco dias (desde as 17h00 do dia 2011 09 09 até às 15h00 do dia 2011 09 15). A partir das sondas temporariamente colocadas nos dois abrigos de exposições solares distintas, foram registados dados, em paralelo e simultaneamente, para poderem ser depois analisados e comparados.

---

<sup>392</sup> Agradece-se à firma *António Moutinho, Lda-Instrumentos de Precisão*, que nos cedeu temporariamente, para a realização desta experiência, 6 sondas que instalámos nos abrigos dos nossos postos, evitando assim termos de interromper as séries de dados.

### 3.1.4. Pesquisa sobre eventual efeito das Brisas

Ainda com base no facto de as primeiras análises sobre a ilha diurna de calor da área de estudo terem revelado resultados relativamente inesperados, num segundo passo resolvemos efetuar um estudo de despiste da possível interferência das brisas marítimas/terrestres.

Esta parte da investigação consiste num estudo<sup>393</sup> que abrange o ciclo diário das anomalias térmicas urbano-rurais e a respetiva intensidade da ICU, calculadas a partir das temperaturas registadas nos postos fixos de medição, relativamente aos valores de temperatura da estação meteorológica de Porto-Aeroporto, conforme já referido.

Introduziram-se em folha de Excel os dados térmicos recolhidos nos postos fixos de medição – neste caso concreto sem ter sido feita qualquer correção adiabática – com o objetivo de os confrontar com as direções predominantes de vento. O presente estudo reporta-se a dois períodos: cerca de 40 dias, desde 21 de Agosto até 30 de Setembro de 2004; e cerca de mais 40 dias, desde 27 de Março até 05 de Maio de 2011 (em anexo 4, respetivos ficheiros na subpasta 10 EFEITOS BRISAS).

#### Tratamento dos dados

Tendo como ponto de partida a direção do vento na estação de referência, os dados das anomalias térmicas urbano-rurais da área de estudo foram agrupados por quatro classes de setores de vento ( $\approx$ NW/NE,  $320^{\circ}$ - $040^{\circ}$ ;  $\approx$ NE/SE,  $050^{\circ}$ - $130^{\circ}$ ;  $\approx$ SE/SW,  $140^{\circ}$ - $220^{\circ}$ ; e  $\approx$ SW/NW,  $230^{\circ}$ - $310^{\circ}$ , como se pode ver na figura 54, tendo sido as direções do vento convertidas empiricamente em graus de direção. A opção por esta divisão em classes de setores de vento baseia-se no facto de estes quatro setores corresponderem aproximadamente aos ventos mais comuns que se fazem sentir ao longo da costa norte portuguesa (grosso-modo, trata-se de ventos dos quadrantes de Norte e de Sul) e ainda às brisas marítima e terrestre (grosso-modo, ventos de Oeste e de Leste).

---

<sup>393</sup> Balkeståhl, L., Monteiro, A., Taesler, R., “Desenvolvimento diurno das anomalias térmicas urbano-rurais – caso de estudo da possível interferência das Brisas (Porto, Portugal)”, XIII Coloquio Ibérico de Geografia, 24-27 de outubro, Departamento de Xeografía de la Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Espana, 2012.

Os dados sobre direção e velocidade do vento foram recolhidos a partir das observações sinópticas a cada 3 horas, para o Aeroporto<sup>394</sup>. Nos casos que levantaram dúvida por coincidirem com a divisão em classes das direções por setores, foram consultados os dados METAR<sup>395</sup> de arquivo.

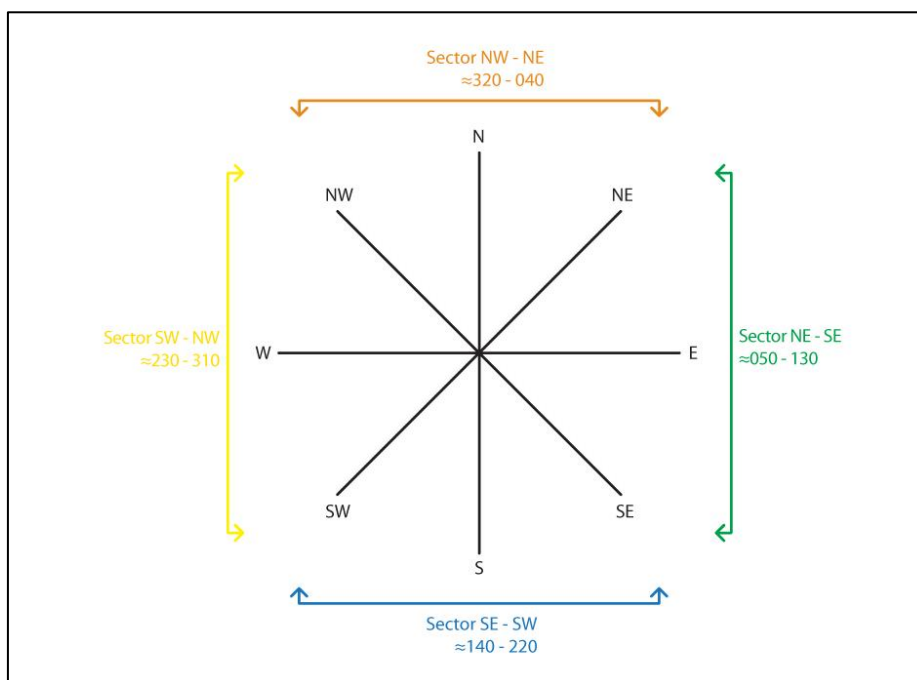


Figura 54 - Setores de direções de classes de vento, divisão em 4 classes.

Nas situações de ocorrência de ventos com direção colateral, antes da conversão foi consultado o arquivo METAR e rigorosamente convertidas as direções em valores de grau.

As ocorrências de Calmaria e vento Variável de direção indeterminada foram assinaladas na folha de Excel mas não foram levadas em conta neste estudo, dadas as dificuldades de quantificação. Para cada setor foram calculados os valores médios das anomalias térmicas ao longo do dia, hora a hora, estabelecendo-se a relação entre estas e a direção dos ventos.

<sup>394</sup> C.f. Utilização simplificada do método proposto por Högström, A.S., Högström, U., A Practical Method for Determining Wind Frequency Distributions for the Lowest 200 meters from routine meteorological data, Journal of Appl. Meteorology, vol. 17, n° 7, pp 942-954, 1978.

<sup>395</sup> <http://www.wunderground.com/history/airport/LPPR>

### 3.1.5. Tratamento das imagens termográficas

Os registos termográficos constantes deste trabalho foram obtidos<sup>396</sup> através de equipamentos da marca FLIR, devidamente licenciados e calibrados.

#### **Enquadramento local e procedimento de aquisição**

Procedeu-se à captação de imagens em 23 de julho de 2013 em duas instalações que albergam sondas térmicas, localizadas na Rua de Costa Cabral (posto C-Costa Cabral) e Rua de Aval de Baixo (posto B-Aval Baixo), integradas na área de estudo. Esta ação teve por objetivo primordial tentar esclarecer a possível influência, nos valores das temperaturas das sondas, das diferenças na exposição solar dos dois locais, em diferentes horas do dia.

Para isso foram efetuados três registos em cada um dos dois locais, em três momentos distintos do dia: pelas 09h00, 14h00 e 19h00. Os termogramas foram efetuados com uma máquina termográfica de infravermelhos Flir B-365 Serial N.º 48805220 devidamente certificada e calibrada, tendo sido feito o registo permanente da temperatura ambiente e humidade relativa através de um termo-higrómetro digital Extech M0297, que transmitia em tempo real via *bluetooth* os respetivos valores adquiridos para a máquina mencionada.

#### **Metodologia e termogramas registados**

A temperatura ambiente refletida foi determinada no próprio local em cada uma das situações e nos diferentes horários, e inserida nos parâmetros da câmara, tendo sido considerada uma emissividade de 0,95 para o material de que é feita a estrutura que alberga as sondas – abrigo em madeira pintada de branco.

Em cada uma das instalações foi definida uma área adequada à distância a que os registos foram adquiridos, por forma a enquadrar unicamente a estrutura que alberga as sondas, pelo que os termogramas foram registados a uma distância de 2,5m do objeto alvo. Dentro dessa área foram registados e marcados os pontos com a temperatura mínima e máxima, bem como a temperatura média da área em questão.

---

<sup>396</sup> Agradece-se a colaboração do Sr. Arq. Nuno Duborjal, OFF4 - Oficina de Arquitectos, Lda.



Os termogramas adquiridos foram expressos graficamente numa paleta de cores “Iron”<sup>397</sup> e com uma escala de temperaturas automaticamente definida pela máquina, em graus Celsius.

### 3.2. Seleção de Fatores Potencialmente Condicionantes

Dado que em estudo datado de 2005<sup>398</sup> já havíamos efetuado uma análise razoavelmente aprofundada e bastante conclusiva de algumas das variáveis condicionantes do clima local urbano, resolvemos agora concentrar-nos nos fatores que nos pareceram não só mais significativos para a explicação do fenómeno, mas também que não terão sido suficientemente explorados na altura.

De entre os variados fatores habitualmente referidos em estudos de clima urbano como sendo fortemente condicionadores do comportamento térmico das áreas urbanizadas<sup>399</sup>, entendemos abordar de forma um pouco mais aprofundada a questão dos fatores *sky view factor (svf)*<sup>400</sup> e densidade de ocupação do solo. Para este último parâmetro, nesta fase do estudo recorreremos à medida habitualmente designada por *building densities (B<sub>d</sub>)*, expressa pelo número de edifícios por hectómetro quadrado.

Submetemos os dados provenientes das medições itinerantes – já tratados e transformados em anomalias térmicas sujeitas a correção temporal simplificada de tendência térmica – a novo tratamento estatístico (rever ficheiro na pasta 2 ITINERANTES Ficheiros 2003\_2005).

---

<sup>397</sup> Paleta de cores *Iron*- paleta de cores contrastantes, mais indicada para diferenças de temperatura de baixa amplitude.

<sup>398</sup> Balkeståhl, Licínia, Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>399</sup> Segundo T.R.Oke, 1978, a maior magnitude da ilha de calor urbano no espaço rua, isto é, abaixo do nível dos telhados dos edifícios, pode ser definida como uma função do chamado “*sky view factor*”. C f. OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London e New York, pág 293.

<sup>400</sup> O parâmetro *svf* refere-se à fracção de abóbada celeste que pode ser vista a partir de um dado ponto, isto é, em meio urbano geralmente a parte de um ângulo de firmamento que é visível a partir do centro de um “*canhão urbano*”.

A metodologia adotada<sup>401</sup> baseou-se em análises de regressão efetuadas entre os desvios térmicos urbano-rurais ( $\Delta T_{u-r}$ ) *versus* os dois parâmetros (e com os dois parâmetros entre si) que, como acabámos de referir, são caracterizadores da estrutura urbana<sup>402</sup>:

- Geometria das ruas, parametrizada por um *view factor* (*vf*) bidimensional<sup>403</sup> simplificado, representando a fração angular descoberta do firmamento, em relação a um plano vertical perpendicular à rua;
- Densidade de construção (*Bd*), parametrizada pelo número de edifícios (*n*) em pequenas áreas de espaços delimitados de 100×100 metros ( $n/hm^2$ ).

Devido à falta de equipamento adequado (câmara fotográfica para fotografias de olho de peixe, *fish-eye photography*) mas também devido ao facto de a geometria das construções ser muito irregular ao longo das ruas, o que entra em conflito com a geometria de *canyon* idealizado, nesta fase do trabalho não tivemos possibilidade de calcular o *svf* tridimensional. Em sua substituição, adoptámos o *view factor* (*vf*) bidimensional que foi calculado de acordo com a seguinte equação<sup>404</sup>:

$$vf = (180 - (\arctg(Hl / 0.5W) + \arctg(Hr / 0.5W))) / 180$$

em que:

$H_l$  (high left) – altura dos edifícios à esquerda da rua (no ponto medição *i*)

$H_r$  (high right) – altura dos edifícios à direita da rua (no ponto medição *i*)

$W$  (wide) – largura da rua (no ponto medição *i*)

$Arctg$  – ângulo que tem tangente  $H/0,5W$

---

<sup>401</sup> Balkeståhl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesle, R., “*Urban geometry parameters as indicators for urbanization effects: a case study in Paranhos, Portugal*”, “Climate Change and Urban Design - The Third Congress of the Council for European Urbanism”, Actas do Congresso, Oslo, Noruega, Setembro 2008.

<sup>402</sup> Cabe aqui um agradecimento à Porto Vivo-Sociedade de Reabilitação Urbana, pelos dados fornecidos sobre as alturas dos edifícios e a largura das ruas; e à CMP, pelos excertos da Cartografia Digital do Porto, escalas de 1:2000 e 1:1000.

<sup>403</sup> A fórmula aqui usada é uma versão bidimensional, simplificada a partir das diversas fórmulas propostas por Oke, de acordo com diferentes contextos da geometria urbana; representa a redução do horizonte livre somente num dado ponto da rua, mas não ao longo de toda a rua, isto é, não leva em conta a real tridimensionalidade dos “canhões urbanos”. Cf. OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 293 e Apêndice A1, págs. 351 a 353.

<sup>404</sup> Apesar de constituir uma versão simplificada, a fórmula utilizada é mais rigorosa do que aquela que se limita a estabelecer a relação entre a largura das ruas e a altura dos edifícios ( $H/W$ ).

Uma vez que existem muitos outros fatores condicionantes, não temos a expectativa de que os resultados das regressões feitas com base nestes dados apresentem correlações absolutamente perfeitas<sup>405</sup>, pois outros fatores terão também a sua quota de responsabilidade. Mas teoricamente, pensámos que deveria verificar-se uma razoável correlação entre eles.

No decorrer da investigação e dado que alguns dos postos fixos se apresentam instalados em locais onde é mais simples proceder ao cálculo do *sky view-factor* tridimensional ( $\Psi_S$ ), este foi calculado segundo o método proposto por T. R. Oke (1981)<sup>406</sup>.

---

<sup>405</sup> Como exemplo podemos citar o seguinte: dois pontos de medição distintos, localizados em ruas com larguras iguais e ladeados por edifícios de alturas também iguais e, portanto com o mesmo valor de *svf*, dificilmente apresentariam exatamente a mesma temperatura, até porque, entre outros fatores, a exposição solar poderia ser diferente.

<sup>406</sup> Cálculo do *svf* tridimensional, que corresponde à fracção de firmamento que pode ser visto a partir de um determinado ponto. Cf. Oke, T.R., *Journal of Climatology*, Vol. 1, pp 237-254, 1981.

## 4. PROCESSOS DE REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS - opção pela estatística, geoestatística e estatística multivariada

### 4.1. Geoestatística

#### 4.1.1. Geoestatística espacial (com recurso à georreferenciação)

Na atualidade a Geoestatística<sup>407</sup> configura uma ciência autónoma do conhecimento científico, que surgiu formalmente na década de 60 do século XX (G. Matheron, 1962)<sup>408</sup> e cuja aplicação inicial se confinava ao domínio da engenharia de minas. No entanto, sob a designação de *objective analysis*, as técnicas geoestatísticas teriam sido simultaneamente aplicadas a estudos de meteorologia, pelo meteorologista russo L.S. Gandin (1963)<sup>409</sup>. Os trabalhos experimentais de Sichel (1950-60) e de Daniel Krige (1951) – que deu o nome ao termo “krigagem” – foram desenvolvidos depois por G. Matheron (1962) e posteriormente por A. Journel e M. Davis (1978), revelando uma grande de aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento científico.

O objetivo da Geoestatística consiste no estudo da variabilidade de fenómenos espacialmente distribuídos, da sua estimação e definição de incertezas, assim como da representação espacial do comportamento das variáveis. Desta forma, possibilita a interpretação dos resultados estatísticos de variáveis regionalizadas (V.R.), nomeadamente as variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, quer ao nível estatístico formal, quer ao nível da sua visualização.

A geoestatística permite a análise da continuidade espacial de um conjunto de dados discretos a partir de uma amostra, extraindo dela a máxima informação possível para criar um modelo da realidade que a represente da forma mais fiável possível<sup>410</sup>. O tratamento geoestatístico aplicado a uma variável georeferenciada

---

<sup>407</sup> Foi com os estudos de G. Matheron que a disciplina se desenvolveu e a ele é atribuída a autoria do termo “geoestatística”.

<sup>408</sup> GÓIS, J., “Inspirado pelos desenvolvimentos da escola soviética no domínio da meteorologia e alicerçado nas evidências experimentais levantadas pelos trabalhos de Krige, Sichel e De Wijs na década de 50, Matheron explana e conceptualiza... o suporte teórico da Geoestatística”, Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004, pág. 6.1.

<sup>409</sup> CRESSIE, Noel, 1991, pág 87.

<sup>410</sup> Os investigadores Ana Monteiro e A. Fernandes, através de um estudo geoestatístico aplicado à variabilidade térmica na “baixa” portuguesa, verificaram que cada um dos procedimentos geoestatísticos que adoptaram gera um resultado cartográfico distinto e, portanto, induz a conclusões explicativas diferentes - MONTEIRO, A, FERNANDES, A., “A Geoestatística-uma incursão exploratória a considerar no domínio da Climatologia Urbana?” Cadernos de Geografia, nº 15, 1996, Coimbra, FLUC, págs. 61.73.

subdivide-se paradigmaticamente em três abordagens sequenciais: o estudo da variabilidade de fenómenos espacialmente distribuídos; a estimação e definição de incertezas; e a representação espacial de variáveis (figura 55).

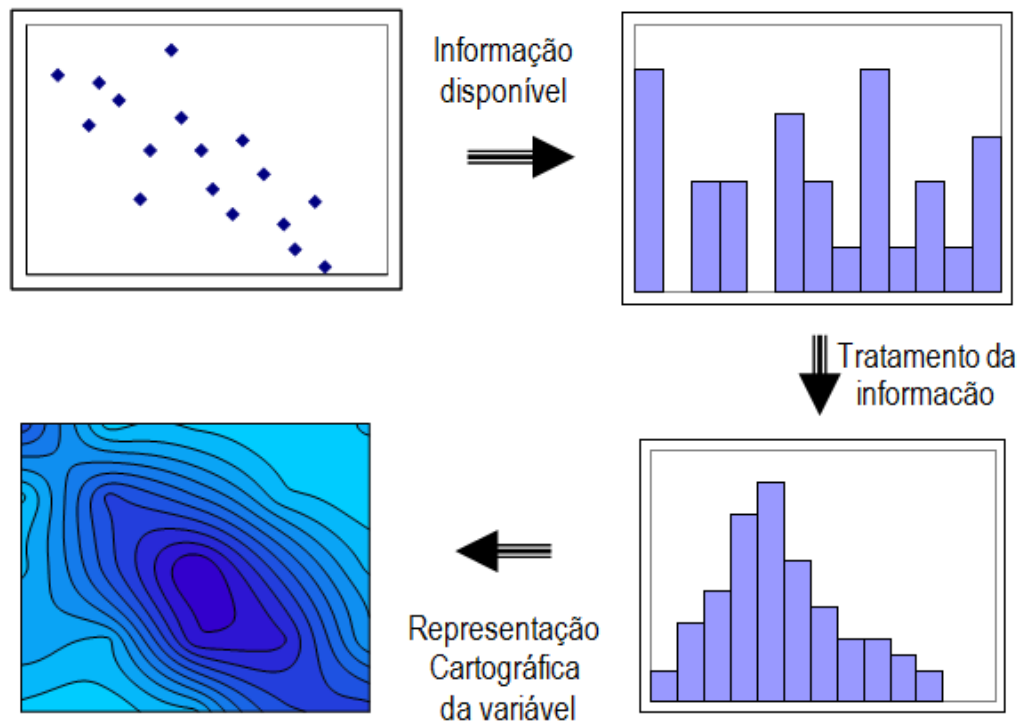


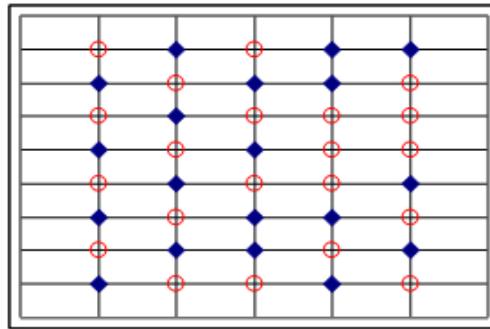
Figura 55 – Abordagem sequencial da aplicação das metodologias geoestatísticas à informação georeferenciada.

Fonte: Adaptado de J. Góis, Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004

Portanto, as diversas fases da análise geoestatística desenvolvida no estudo do comportamento espacial dos valores da temperatura registados nas diferentes campanhas de medições itinerantes, e respetivos desvios térmicos, obedeceram aos seguintes procedimentos: através da análise variográfica efetuou-se um estudo estrutural da dependência espacial dos dados discretos; seguidamente, a partir da informação discreta conhecida fez-se a estimação de valores desconhecidos da variável regionalizada (VR), pelo processo de krigagem; numa terceira fase procedeu-se à cartografia dos resultados, isto é, estabeleceram-se as representações da distribuição espacial do fenómeno em estudo<sup>411</sup> (Figura 56, síntese resumida da forma de representação).

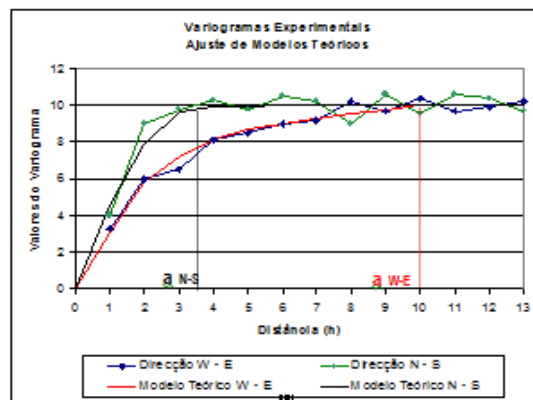
<sup>411</sup> GÓIS, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004, pág. 6.2.

Informação de partida (temperaturas registadas em diversos locais de medição)



○ Valores desconhecidos      ◆ Valores conhecidos

Análise Variográfica (estudo da continuidade espacial da V.R. temperatura)



Estimação por Krigagem e representação cartográfica da V.R. temperatura

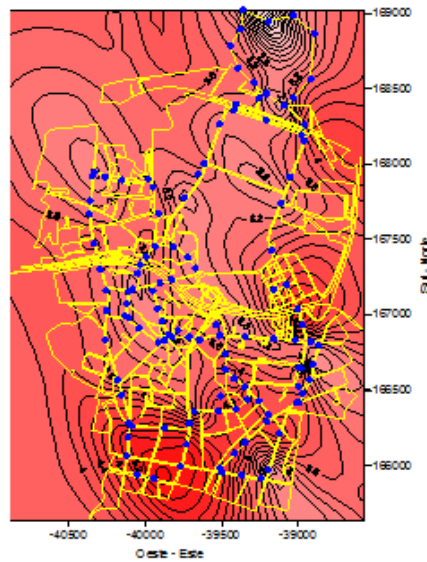
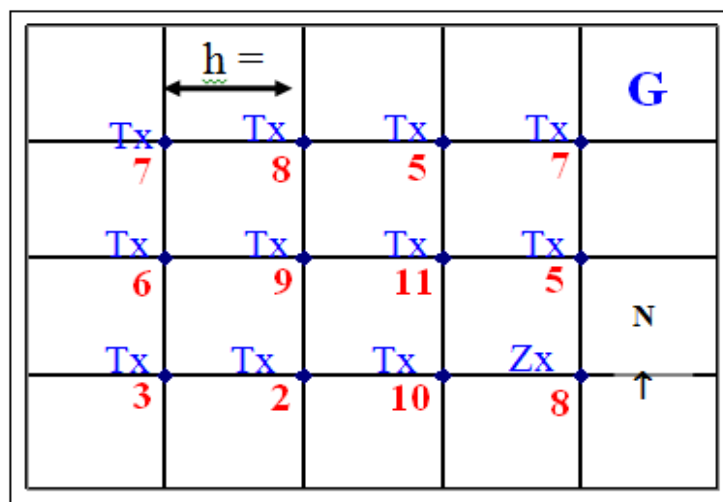


Figura 56 - Representação dos procedimentos geoestatísticos aplicados ao registo dos desvios térmicos.

Fonte: Adaptado de J. Góis, Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004

A construção dos variogramas<sup>412</sup> experimentais constitui uma etapa imprescindível para a análise das direcções de maior continuidade espacial da V.R. Nesta fase, além de se poder detetar a existência de anisotropias na distribuição espacial do fenómeno em estudo, também se consegue incorporar essas direcções preferenciais na fase de estimação e representação espacial da variável. O cálculo do variograma experimental está exemplificado, no esquema que se segue (Figura 57) e obedece à expressão geral:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [T(x_i + h) - T(x_i)]^2$$



$T_x \rightarrow$  Temperatura registada no local de medição  $x_i$

Figura 57 - Determinação de um Variograma Experimental na direção W – E.

Fonte: Adaptado de J. Góis, Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004

- Para pares de registos (temperaturas) a uma distância,  $h = 1 \rightarrow$  cálculo de  $\gamma(1)$

$N \rightarrow$  n.º total de pares de registos segundo (W – E) que distam  $h = 1 \rightarrow 9$

$$\gamma(1) = \frac{1}{2 \times 9} \sum_{i=1}^9 [(Tx_2 - Tx_1)^2 + (Tx_3 - Tx_2)^2 + \dots + (Tx_{12} - Tx_{11})^2]$$

$$\gamma(1) = \frac{1}{18} [(8 - 7)^2 + (5 - 8)^2 + \dots + (8 - 10)^2] \Leftrightarrow \gamma(1) = 3.2$$

- Para pares de registos (temperaturas) a uma distância,  $h = 2 \rightarrow$  cálculo de  $\gamma(2)$

$N \rightarrow$  n.º total de pares de registos segundo (W – E) que distam  $h = 2 \rightarrow 6$

<sup>412</sup> Variograma é uma expressão matemática que permite avaliar a continuidade espacial de um dado fenómeno, posteriormente ajustado por modelos teóricos aplicados aos variogramas experimentais.

$$\gamma(2) = \frac{1}{2 \times 6} \sum_{i=1}^6 [(Tx_3 - Tx_1)^2 + (Tx_4 - Tx_2)^2 + \dots + (Tx_{12} - Tx_{10})^2]$$

$$\gamma(2) = \frac{1}{12} [(5 - 7)^2 + (7 - 8)^2 + \dots + (8 - 2)^2] \Leftrightarrow \gamma(2) = 5.3$$

- Na direção considerada, e posteriormente noutras direções, o processo continua para  $\gamma(3)$ ,  $\gamma(4)$ , ..., até  $\gamma(h)$  “estabilizar”.

Após a construção dos variogramas experimentais, e analisadas as direções de maior continuidade espacial, procedeu-se ao ajuste dos diversos modelos de variogramas teóricos aos variogramas experimentais representativos.

Os parâmetros do variograma teórico (alcance do variograma, efeito de pepita, distância intrapatamar e patamar), quando aplicados ao caso dos desvios térmicos, são como se segue:

a → alcance do variograma (valor das abcissas para o qual o variograma entra em patamar), corresponde à distância máxima para a qual é legítimo interpolar valores desconhecidos à custa de informação conhecida, isto é, zona de influência das amostra;

$C_0$  → efeito de pepita (valor do variograma na origem, teoricamente igual a zero), resulta de eventuais erros de amostragem e/ou presença de microregionalizações;

$C_1$  → distância intra-patamar, corresponde à diferença entre os valores do efeito de pepita e o patamar;

C → patamar (variância *a priori*), corresponde ao valor do variograma a partir do qual deixa de existir correlação espacial entre os dados  $C = C_0 + C_1$ .

Perante diversas situações de experimentação, de entre os diversos modelos de variogramas teóricos passíveis de modelarem o comportamento dos variogramas experimentais, elegemos o modelo esférico (figura 58).



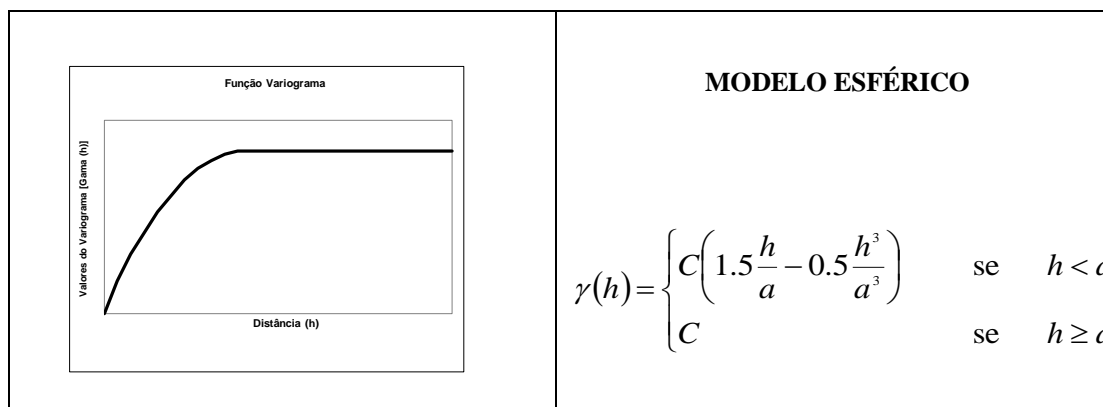


Figura 58 - Modelo variográfico teórico esférico passível de aplicação e ajuste aos variogramas experimentais em análise.

Fonte: Adaptado de J. Góis, Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004

A expressão matemática associada ao modelo teórico esférico, utilizado e ajustado aos variogramas experimentais, pode ser representada pela função<sup>413</sup>:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left( 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \frac{h^3}{a^3} \right) & \text{se } h < a \\ C & \text{se } h \geq a \end{cases}$$

No andamento inicial do variograma (primeiros valores da distância  $h$ ), a função evidencia um comportamento regular e crescente, estabilizando quando os valores da distância  $h$  são superiores ao alcance  $a$  (patamar da função variograma).

Através da análise variográfica são estabelecidos os vários alcances nas diferentes direções – construção da elipse de anisotropias – e as direções de maior continuidade espacial; assim, é possível introduzir essa informação num sistema matricial, o qual proporcionará a determinação de ponderadores  $\lambda_i$  que permitirão a estimação de um valor desconhecido da temperatura no ponto de coordenadas  $x_0, T^*(x_0)$ , à custa de valores conhecidos da temperatura localizados nos pontos de coordenadas  $x_i, T(x_i)$ . A fase última da geoestatística consiste na consequente representação cartográfica (figura 59).

Todos estes procedimentos estatísticos são conducentes à representação cartográfica dos desvios térmicos, obtida através do *software* Surfer.

---

<sup>413</sup> GÓIS, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004.

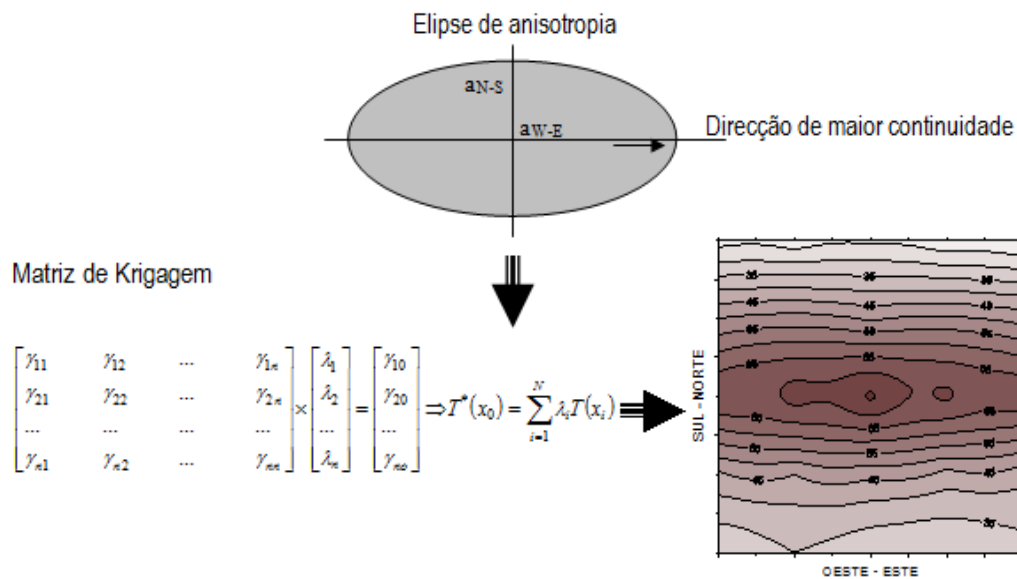


Figura 59 - Matriz de Krigagem.  
 Fonte: Adaptado de J. Góis, Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004

Quando confrontados os padrões de distribuição das anomalias térmicas com os padrões espaciais das temperaturas medidas, verifica-se que são praticamente iguais, o que significa que as correções feitas, apesar de introduzirem mais rigor no processo, praticamente não afetam os resultados finais.

Este tipo de mapas permite ainda o cálculo das probabilidades de ocorrência de uma determinada temperatura numa dada área, pelo que podem ser a partir deles elaboradas “cartas de risco térmico”, cuja utilização pode ser muito útil em aplicações ao planeamento e gestão do território.

#### 4.1.2. Geoestatística temporal

Como alternativa aos estudos estatísticos clássicos, tratou-se também a série temporal dos dados de aquisição da segunda fase, no contexto da geoestatística (Góis, 2004), tentando evidenciar a estrutura da variabilidade temporal das temperaturas e dos desvios térmicos, através da construção de semivariogramas que evoluem no tempo<sup>414</sup>.

<sup>414</sup> J. Góis aplicou esta metodologia ao estudo da «...estrutura da dependência temporal na ocorrência ou ausência de precipitação e compararam-se os resultados com os propostos por abordagens clássicas baseadas em metodologias do tipo de Box e Jenkins. Procurou-se ainda detetar eventuais ciclicidades nos registos com recurso a ‘variogramas temporais’...», Góis, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, tese de doutoramento, FEUP, Porto, 2004.

Os procedimentos necessários a este tratamento geoestatístico implicam as etapas que se seguem:

Considerando  $Z(X_t)$  o valor do registo da temperatura (ou do seu desvio) na hora  $t = 1, 2, 3, \dots, 2880$ , e impondo que o processo obedeça aos seguintes constrangimentos:

- $E[Z(x_t)] = \text{const. } \forall t \in T$  (estacionaridade);
- $\text{Var} [Z(x_t) - Z(x_s)] = 2\gamma |t - s|, \forall t \neq s \in T$  (isotropia).

é possível definir o semivariograma temporal como,

$$\gamma(t) = \frac{1}{2N(t)} \sum_{i=1}^{N(t)} [Z(X_i) - Z(X_i + t)]^2 \quad (2)$$

onde:

$\gamma(t)$  é o semivariograma para um vector  $t$  (horas);

$Z(X_i)$  e  $Z(X_{i+t})$  são os pares de observações das temperaturas separados pelo vector  $t$  (horas);

$N(t)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(X_i)$  e  $Z(X_{i+t})$ , separados por  $t$  horas.

Produzem-se então variogramas experimentais cuja visualização permite identificar, através da análise dos seus parâmetros, algumas características das séries temporais, da seguinte forma:

Ao definir como  $a_t$  o alcance do variograma experimental, por analogia com os variogramas espaciais clássicos, pode-se concluir acerca da dependência temporal dos sucessivos estados térmicos;

A análise do efeito de pepita  $CO_t$ , também à semelhança dos variogramas espaciais, permitirá concluir acerca da variabilidade associada à série de valores observados.

## 4.2. Estatística Multivariada

A definição de Estatística Multivariada não é tarefa simples e, segundo Hair *et al* (2009)<sup>415</sup>, todos os métodos estatísticos que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre cada indivíduo ou objeto sob investigação, podem ser considerados Análise Multivariada.

A Análise Fatorial, como técnica integrada dentro da estatística multivariada, ainda de acordo com Hair *et al* (2009), permite a redução de dados<sup>416</sup>, promovendo análises que evidenciam a estrutura das inter-relações entre um grande número de variáveis. Esta técnica distingue-se das demais técnicas de dependência porque considera as variáveis originais do modelo como dependentes, isto é, todas são inter-correlacionadas, sem a pré existência de uma variável de resposta.

### 4.2.1. Análise Fatorial de Correspondências Binárias - AFCB

A Análise Fatorial das Correspondências (adiante simplesmente designada por AFC) constitui uma técnica integrada no âmbito da estatística multivariada que elegemos para complementar o tratamento descritivo dos dados, uma vez que é especificamente indicada para grandes volumes de informação, com séries longas e/ou de grande número de variáveis, o que se aplica ao nosso caso.

Este método fatorial da análise de dados, cujo objetivo consiste na descrição das estruturas relacionais subjacentes a determinados dados de partida, permite-nos, através de gráficos bidimensionais – os chamados planos fatoriais, obtidos à custa de uma redução na dimensão espacial dos dados originais – visualizar não só o sistema de relações no interior de cada um dos conjuntos formados pelas variáveis/indivíduos em análise, mas também os sistemas de relações conjuntas existentes entre variáveis e indivíduos.

---

<sup>415</sup> Cf Hair, J.F. Jr *et al*, *Multivariate Data Analysis*, Prentice Hall, 7ª edição, 2009, ISBN-10: 0138132631: “Qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis de certo modo pode ser considerada Análise Multivariada”, pág. 26.

<sup>416</sup> Adicionalmente, em função de seu caráter de redução de dados, a técnica também pode ser considerada como exploratória.

Considerando que a nossa matriz dos dados iniciais continha variáveis de diferentes naturezas (por exemplo a variável quantitativa *desvios térmicos*, medida numa escala intervalar, em contraponto à variável *rumo do vento*, expressa numa escala nominal) foi necessário assegurar, *à priori*, a homogeneidade de todas as variáveis, garantindo, aquando do tratamento estatístico simultâneo, o mesmo "estatuto" a todas as variáveis em estudo. Este facto remeteu-nos para uma outra abordagem possível da AFC, normalmente designada por Análise Factorial das Correspondências Binárias (AFCB). A AFCB constitui uma variante da análise fatorial de correspondências, particularmente aplicada ao tratamento de dados que resultam de questionários e outros, que privilegia a formulação dos dados de partida em quadros disjuntivos completos. Desta forma é possível o tratamento estatístico simultâneo de variáveis medidas em diferentes métricas.

### **Matriz de dados originais vs matriz codificada em AFCB**

Se considerarmos que  $Q$  corresponde ao número total de variáveis e  $r_j$  o número de classes (modalidades) em que se subdivide a variável de ordem  $j$ , o número total de colunas da matriz de dados (leia-se o número total das modalidades das  $Q$  variáveis) é dado por:

$$P = \sum_{j=1}^Q r_j$$

Se designarmos por  $X$  a matriz de  $n$  linhas ( $n$  indivíduos ou amostras) por  $p$  colunas ( $p$  modalidades), preenchida em termos de presença/ausência, através da seguinte codificação binária:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{se o indivíduo } i \text{ ocorre na modalidade } j \\ 0 - \text{no caso contrário} \end{cases}, \quad \forall x_{ij} \in X,$$

será então possível construir o quadro de descrição lógica (matriz codificada<sup>417</sup> em disjuntiva completa, exemplo da figura 60) de tal forma que

$$X = [X_1 | X_2 | \dots | X_Q]$$

---

<sup>417</sup> Os ficheiros de dados de partida foram sujeitos a tratamento pelo *software* ANDAD e podem ser visualizados em Anexo 5 ESTATÍSTICA AFCB? nas tabelas dos 3 ficheiros, *software* desenvolvido por Jorge Sousa e colaboradores, CVRM/IST, Versão 7.1 de 2000.

onde o sub-quadro  $X_j$  com  $n'$  linhas e  $r_j$  colunas é tal, que a  $i$ -ésima linha contém  $(r_j - 1)$  zeros e uma vez o valor 1 correspondente à modalidade da variável  $j$  onde ocorre o indivíduo  $i$ .

Indivíduo n.º	Hora do dia			Temperatura (°C)					Direcção do vento (graus)					Velocidade do vento (m/s)				
	(H1)	(H2)	(H3)	(T1)	(T2)	(T3)	(T4)	(T5)	(D1)	(D2)	(D3)	(D4)	(D5)	(V1)	(V2)	(V3)	(V4)	(V5)
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
96645	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
96646	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0

$Q$  variáveis ( $Q = 4$ ),  $p$  modalidades ( $p = 18$ ) e  $n$  indivíduos ( $n = 96646$ )

Figura 60 - Exemplo de quadro de descrição lógica (presença – ausência), matriz de dados codificada em disjuntiva completa.

Adaptado de J. Góis - *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*, tese de doutoramento, FEUP, Porto, 2004

Este sistema de codificação (Garcia Pereira, 1987, pág. 738) assegura que, seja qual for a natureza das variáveis, a soma em linha dos valores que surgem na tabela é constante e igual ao número de variáveis  $Q$ , o que se traduz numa homogeneidade estatística necessária para o processamento subsequente.

A análise dos gráficos bidimensionais (exemplo na figura 61), obtidos a partir da aplicação da AFC, obedece a algumas regras de interpretação relacionadas com a escolha do número de eixos cuja análise se privilegia, nomeadamente: a simplicidade da interpretação, a posição e contribuição absoluta das variáveis para a construção do eixo fatorial e a forma da nuvem de projeções, cuja distribuição espacial fornece indicações sobre a estrutura subjacente ao quadro de partida.

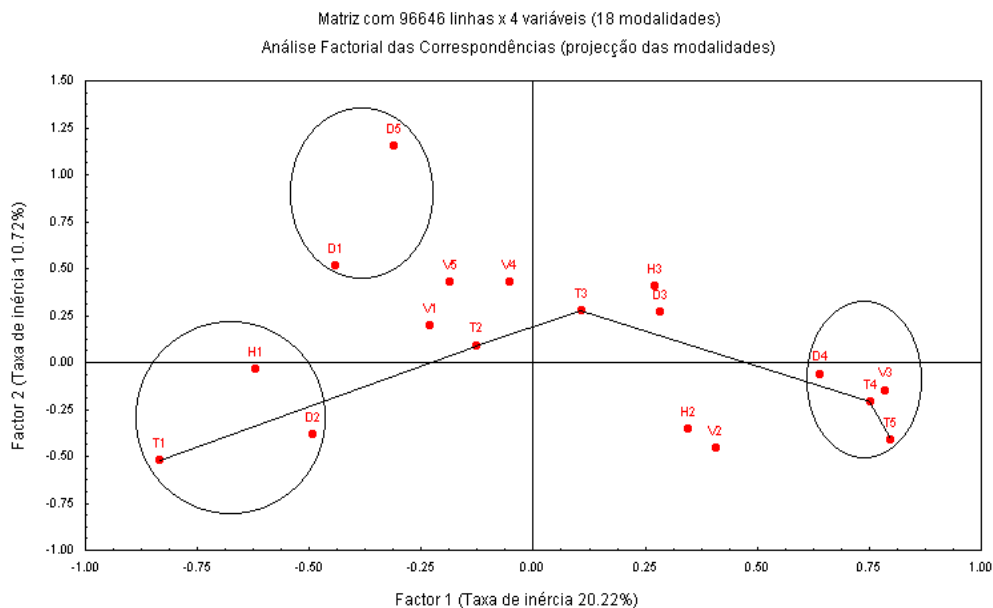


Figura 61 - AFC, projecção das modalidades das variáveis no plano factorial.  
Adaptado de J. Góis - *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*, tese de doutoramento, FEUP, Porto, 2004

Uma das principais vantagens da aplicação da AFC reside na possibilidade de se proceder à descrição da estrutura relacional entre variáveis e de se visualizarem simultaneamente as estruturas entre as variáveis e os indivíduos.

Como veremos adiante de forma mais pormenorizada, além dessa vantagem, a nossa opção pela AFCB, enquanto técnica de análise de dados aplicada ao estudo das anomalias térmicas, deveu-se fundamentalmente à grande flexibilidade que este método fatorial apresenta no tratamento de dados cujas variáveis originais se exprimem em escalas de medida muito diversificadas.

## **V. ANÁLISE DE RESULTADOS**



# **1. COMPORTAMENTO TÉRMICO DA ÁREA DE ESTUDO ao longo dos períodos de medições**

## **1.1. MEDIÇÕES ITINERANTES – Resultados da primeira fase da aquisição de informação, estatísticos simples**

Inicialmente os registos dos episódios de medições itinerantes foram analisados com base em medidas estatísticas simples<sup>418</sup>. Os resultados evidenciados pelo tratamento estatístico simplificado são como se segue:

- i) As temperaturas máximas de cada dia registadas no conjunto de dados relativos a medições com início entre as 22h00 e as 23h00, concentram-se espacialmente, num padrão bastante compacto, entre os pontos 20 (R.Vale Formoso/ R. Amial) e 30 (Antero de Quental), eventualmente até ao posto 33 (R. António Cândido), embora esporadicamente possam ultrapassar estes limites espaciais. Em três episódios os pontos mais quentes confinam-se à Rua de Costa Cabral e verifica-se também uma ocorrência no Largo da Igreja de Paranhos.
- ii) As temperaturas máximas registadas no conjunto de dados relativos a medições com início por volta das 00h00 (imediatamente antes ou depois) dispersam-se, num padrão bastante mais difuso, sobretudo entre os pontos 22 (R. Amial) e 33 (R. Faria Guimarães) mas há também alguns casos em torno de R. Costa Cabral e R. Constituição.
- iii) O maior desvio negativo<sup>419</sup> ocorreu no dia 23 de Setembro de 2004 (-5,9°C).
- iv) As temperaturas mais baixas encontram-se quase recorrentemente bem demarcadas e confinadas à envolvente de dois postos (7I-R. Padre Costa, 13-R. António Bernardino de Almeida), salvo algumas exceções pontuais.

Das medições itinerantes efetuadas em estudo anterior<sup>420</sup> foram selecionados dezasseis episódios com as seguintes características: seis medições

---

<sup>418</sup> Na primeira fase do trabalho as anomalias térmicas foram calculadas relativamente à média aritmética das temperaturas medidas.

<sup>419</sup> Relembra-se que nesta fase de tratamento estatístico, os desvios são calculados em relação a média aritmética das temperaturas.

especiais realizadas durante o período diurno<sup>421</sup>, duas pelas 12h00, uma pelas 15h00 e três pelas 16h00; e dez medições em período noturno, distribuídas entre as 22h00 e as 02h00. Esta distribuição horária, com mais do que um episódio de medição feito no mesmo dia, em momentos diferentes, realizados com intervalos de cerca de 1 ou 2 horas (Quadros VII, VIII e IX), teve por base quatro objetivos:

- tentar obter resultados do processo evolutivo do padrão térmico diurno/noturno;
- demonstrar que a extensão temporal da ICU nem sempre é confinada às horas habitualmente consideradas na literatura da especialidade;
- evidenciar que a magnitude máxima da ICU pode ocorrer em horários menos convencionais
- salientar que o fenómeno da ICU também é frequente, mesmo em situação sinóptica de menor estabilidade.

As medições especiais foram efetuadas nos seguintes dias/noites: 16 e 23 de novembro de 2003, a intervalos variáveis; 9 de abril e 15 de maio de 2004, no primeiro caso uma única medição diurna, no segundo caso uma medição diurna e outra noturna; 23 e 24 de setembro de 2004, medições noturnas com intervalos de cerca de 2 horas; e nos dias 04 e 05 de Janeiro de 2005, medições noturnas com intervalos de cerca 1 hora (ver Tabela(s) dados originais, anexo 2 ITINERANTES Ficheiros 2003\_2005).

As seis medições de observação diurna, apresentam um padrão espacial de distribuição das temperaturas totalmente diferente, dada a especificidade horária: por exemplo, no dia 16/11-2003 pelas 12h00 a maioria dos desvios são positivos, embora muito irregulares; no mesmo dia pelas 16h00 os desvios são todos negativos, sem exceção, assim como no dia 23/11-2003, pelas 12h00 e pelas 16h00.

---

<sup>420</sup> Balkestahl, L., “Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela”, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

<sup>421</sup> OKE, T.R., “Given reasonably constant weather the heat island intensity varies in a recognizable way through the day”, *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 290.

Quadro VII – Síntese de Medições Itinerantes (2003)

<b>Ano 2003</b>	<b>Número dos pontos</b>	<b>Data</b>	<b>Hora Inicial<sup>1*</sup>/ Temp Aerop</b>	<b>Diferença máxima (°C)</b>	<b>Comentário<sup>5*</sup></b>
<b>Semana 46</b>	100	2003 11 16	12:09 <sup>2*</sup> +14°C <sup>2*</sup>	16,6-13,3=3,3	<b>Medições 3 vezes.</b> Muito vento, durante as medições de manhã e tarde. (N 9m/s ou N20 às 12:00). Medição noturna, menos vento.* 1018 hPa
	100	2003 11 16	15:58 <sup>3*</sup> +15°C <sup>3*</sup>	14,9-13,6=1,3	<b>Medições 3 vezes.</b> Muito vento, durante as medições de manhã e tarde. (N 6m/s ou N14 às 16:00). Medição noturna, menos vento.* 1019 hPa
	100	2003 11 16	22:02 <sup>4*</sup> +11°C <sup>4*</sup>	10,4 -9,7=0,7	<b>Medições 3 vezes.</b> Muito vento, durante as 2 medições de manhã/tarde. Medição noite, menos vento (NNE 5m/s ou NNE11). * 1023 hPa
<b>Semana 47</b>	100	2003 11 23	11:56 +14°C	13,8 -12,5=1,3	<b>Medições 3 vezes.</b> Céu bastante nublado; muito húmido, sonda de HR deu Error; pouco vento (SSW 3m/s ou SSW7). Muito trânsito na R. do Amial às 12 horas. 1000 hPa
	100	2003 11 23	15:57 +14°C	14,3 -12,4=1,9	<b>Medições 3 vezes.</b> Céu muito nublado; muito húmido, HR deu Error; pouco vento (Variable 1,4m/s ou Var3). 1001 hPa
	100	2003 11 23	23:15 +10°C	11,2 -10,1=1,1	<b>Medições 3 vezes.</b> Muito húmido, sonda de HR deu Error; Céu parcialmente nublado; Algum vento (N 2m/s ou N5);início da noite choveu bastante. 1006 hPa

\* Verificar comentários em “Estado de tempo”, Apêndice (CD-Rom)

<sup>1\*</sup> Sempre que não especificado, todas as temperaturas são da Estação EMA de Porto- Aeroporto, à hora certa mais próxima da hora de início de medição

<sup>2\*</sup> Dados de Temperatura registados na Estação Clássica de Porto-Aeroporto (experiência de validação/comparação dos dados das três estações: EMA, SIO e Estação Clássica, que decorreu entre Janeiro de 2002 a Fevereiro de 2004): às 12h00, 51% de HR

<sup>3\*</sup> Idem: às 15h00, 48% de HR

<sup>4\*</sup> Idem: às 21h00, 62% de HR

<sup>5\*</sup>Vento em m/s e em mph

Quadro VIII - Síntese de Medições Itinerantes (2004)

Ano 2004	Número dos pontos	Dia	Hora Inicial <sup>1*</sup> / Temp Aerop	Diferença máxima (°C)	Comentário <sup>5*</sup>
Semana 15	103	2004 04 09	14:50 +17°C	20,8 -17,8=3,0	6ª feira santa. Medições com termómetro de infra-vermelhos. (N 8m/s ou N18). 1012 hPa
Semana 20	103	2004 05 15	16:09 +24°C	27,5 -24,3=3,2	Visita Estudo Asprela. Tarde, céu limpo e algum arejamento (N 6m/s ou N14). 1018 hPa
	103	2004 05 15	22:54 +16°C	20,6 -19,0=1,6	1ª medição c/Prof. Roger. Noite, temperatura estável e pouco vento. Costa Cabral + quente. (NE 2m/s ou NE5). 1018 hPa
Semana 39	121	2004 09 23	23:01 +21°C	26,2-18,5=7,7	Temperatura relativa/ elevada, H.R. baixa, pouco vento. Grande estabilidade ao final do dia e noite. Calmo. 1015 hPa. Posto + quente 30F (3 percursos para "movie 1")
	121	2004 09 24	01:03 +20°C	23,8-16,3=7,5	Muito seco, céu limpo, pouco vento (S4m/s ou S9). Posto + quente 23 e 29. 1015 hPa ("movie 1")
	121	2004 09 24	02:52 +18°C	22,1-17,0=5,1	Seco, céu limpo, tempo relativa/ quente; pouco vento. Grande estabilidade. Calmo 1014 hPa. Posto + quente 28 e 30E ("movie 1")

\* Verificar comentários em "Estado de tempo", Apêndice (CD-Rom)

<sup>1\*</sup> Sempre que não especificado, todas as temperaturas são da Estação EMA de Porto- Aeroporto, à hora certa mais próxima da hora de início de medição

<sup>5\*</sup> Vento em m/s e em mph

Quadro IX - Síntese das Medições Itinerantes (2005)

Ano 2005	Número dos pontos	Data	Hora Inicial <sup>1*</sup> / Temp Aerop	Diferença máxima (°C)	Comentário <sup>5*</sup>
Semana 1	121	2005 01 04	22:04 +6°C	8,0 - 3,6=4,4	Frio e relativamente seco (estação referência 6°C); céu parcialmente nublado. Calmo à tarde e algum vento hora medição (E3m/s ou E7)* 1036 hPa (4 percursos para "movie 2")
	121	2005 01 04	23:03 +6°C	7,2 - 4,4=2,8	Frio e relativamente seco (estação referência 6°C); céu parcialmente nublado. Algum vento (Variável 1,4 m/s ou Var3).* 1036 hPa ("movie 2")
	121	2005 01 05	00:15 +7°C	6,1 - 3,2=2,9	Frio e relativamente seco (estação referência 7°C - mais quente às 00h00 de 050105 do que às 23h00 de 050104); céu parcialmente nublado. Algum vento (ENE 3m/s ou ENE7).* 1036 hPa ("movie 2")
	121	2005 01 05	01:18 +6°C	5,7 - 4,4=1,3	Frio e relativamente seco (estação referência 6°C); sem vento. Calmo.*1036 hPa ("movie 2")

\* Verificar comentários em "Estado de tempo", Apêndice (CD-Rom)

<sup>1\*</sup> Sempre que não especificado, todas as temperaturas são da Estação EMA de Porto- Aeroporto, à hora certa mais próxima da hora de início de medição

<sup>5\*</sup> Vento em m/s e em mph

Ao proceder à seleção dos dezasseis episódios de medição tentámos também que abrangessem diferentes épocas do ano:

- seis medições integradas no período que designámos por outono/inverno<sup>422</sup>;
- três medições integradas no período de primavera<sup>423</sup> a qual consistiu no que poderemos designar por uma primavera relativamente fresca;
- três medições integradas no período que designámos por verão<sup>424</sup>, o qual na generalidade não correspondeu a um verão muito quente;
- quatro experiências de verificação no início do inverno de 2005.

Quanto ao período de outono/inverno, a análise dos resultados obtidos revelou que a área entre os pontos 20 e 30 (Ameal, Vale Formoso e Antero de Quental) é habitualmente a mais quente. Os desvios térmicos da ilha de calor noturna detetada na primeira parte deste período, até meados de fevereiro de 2004, raramente vão além dos +2°C. A norte, o limite da ICU geralmente não ultrapassa os postos 20/23-Ameal e o limite sul corresponde sensivelmente ao ponto 30-Antero de Quental (ocorrem alguns episódios durante fevereiro e março em que a ICU chega esporadicamente a atingir até +5°C e em que, sob o ponto de vista espacial, se nota já um certo aumento da intensidade da ICU para sul em direção ao ponto 30 e um alargamento para leste entre os pontos 33-Faria Guimarães/41-Álvaro Castelões, alargamento esse que virá a consolidar-se durante o período de primavera). O padrão diurno é muito diferente, potenciando frequentemente nesta época do ano “ilhas de frio”, como adiante comprovaremos, com recurso à estatística espacial.

No período da primavera subsequente, a intensidade da ICU aumentou de forma ténue em direção a sul até aos pontos 30B/E e alargou-se para leste até ao ponto 33-Faria Guimarães (nos gráficos posteriores a 17 de maio de 2004, estes

---

<sup>422</sup> Nas latitudes médias a ilha de calor urbano é mais intensa no inverno, quando as noites são longas e, portanto, propícias ao desenvolvimento do fenómeno.

<sup>423</sup> A primavera e início do outono apresentam muitas vezes ilhas de calor de magnitude significativa, dado que os dias e as noites são de duração idêntica e, portanto, ainda propícias ao desenvolvimento do fenómeno da ICU.

<sup>424</sup> A ilha de calor ocorre em épocas de verão e pode eventualmente ser intensa, mas tem geralmente curta duração: por ser um fenómeno eminentemente nocturno, sendo as noites de curta duração, acaba por ser rapidamente erodida.

pontos correspondem aos novos números de ordem 41 a 51)<sup>425</sup>; pode afirmar-se pois, que a ICU praticamente conservou o seu limite espacial a sul mas espalhou-se um pouco mais para leste, na direção e proximidades de Constituição /Marquês<sup>426</sup>; o limite norte desloca-se ligeiramente para sul, no sentido do centro ou “*downtown*”, independentemente da situação sinóptica, estabiliza por volta do ponto 23 e só esporadicamente retorna ao limite do ponto de medição 20.

Durante o final da primavera e período de verão, de modo geral a magnitude das anomalias térmicas sofre um aumento acentuado, com desvios que podem ir além dos +7°C, mas a magnitude máxima continua a centrar-se em volta dos pontos 43/44-Vale Formoso. Neste período de verão, ocorre uma particularidade relativamente aos outros dois períodos, no que se refere ao padrão espacial: quando a magnitude dos desvios é relativamente baixa ( $\leq +3^\circ\text{C}$ ) as diferenças térmicas atenuam-se e verifica-se uma certa uniformidade térmica na área de estudo; quando os desvios são elevados, intensificam-se as diferenças térmicas e os contrastes espaciais são muito mais evidentes (esta observação não é válida para a área do percurso até aproximadamente ao ponto 70-Travessa Dr. Barros, número de ordem 23, onde as diferenças térmicas são recorrentemente contrastantes).

Posteriormente ao tratamento estatístico simplificado, procedeu-se ao tratamento dos dados com recurso à geoestatística.

---

<sup>425</sup> De notar que, com a introdução de novos postos de medição a partir de 17 de maio de 2004, as designações iniciais dos pontos nos ficheiros de Excel mantiveram-se acrescidos de letras mas, para efeito de construção de gráficos, tivemos que atribuir novos números de ordem aos pontos de medição.

<sup>426</sup> É exatamente segundo essas direções que a ilha de calor Ameal/Vale Formoso/Antero de Quental entronca na ilha de calor secundária detetada por A. Monteiro (1997) em Constituição/Marquês/S. Roque.

## 1.2. RECURSO À ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA

Dada a inerente conotação espacial da informação adquirida, para além das representações gráficas habituais dos dados de aquisição, privilegiaram-se também as representações cartográficas ligadas à estatística espacial.

### 1.2.1. Formas de Representação Gráfica e Cartográfica

Grande parte dos dados recolhidos consiste em informação discreta que pretendemos converter em informação contínua e, em alguns casos, simultaneamente submetê-la a georeferenciação. Poderiam ser adotados diversos métodos de interpolação, conforme verificámos em trabalhos de investigação sobre o tema<sup>427</sup>; mas em face da perspectiva de existência de direções preferenciais da variabilidade dos fenómenos temperatura/desvios térmicos, e prevendo-se a presença de anisotropias, optou-se por uma metodologia ligada à geoestatística, de utilização anteriormente comprovada (J. Góis, 2004).

O método de representação cartográfica espacial que elegemos, com prévia análise estrutural e estimação por krigagem, é particularmente aconselhável em fenómenos expectavelmente anisotrópicos. Apesar de este método não estar isento de falhas, possibilita a quantificação do erro de estimação associado à interpolação por krigagem, apresentando ainda a vantagem de permitir detetar qual a direção preferencial de maior continuidade espacial do fenómeno em análise.

A estimação por krigagem de valores desconhecidos a partir de dados conhecidos, implica a construção de variogramas<sup>428</sup>: a continuidade espacial dos desvios térmicos de cada episódio de medição, calculados relativamente à estação

---

<sup>427</sup> Monteiro, A., Fernandes, A., “A Geoestatística-uma incursão exploratória a considerar no domínio da Climatologia Urbana?”, Cadernos de Geografia, nº 15, 1996, Coimbra, FLUC, págs. 61.73; GÓIS, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, FEUP, 2004.

<sup>428</sup> Um variograma consiste numa função matemática que permite avaliar a continuidade espacial de um dado fenómeno em estudo, posteriormente ajustado por modelos teóricos aplicados aos variogramas experimentais.

do Aeroporto, foi estimada a partir da construção de variogramas experimentais aos quais foi ajustado o modelo esférico<sup>429</sup> (Quadro X).

Quadro X – Quadro síntese dos parâmetros associados à análise variográfica para os 16 percursos em estudo.

N.º do Itinerário	Data	Hora	Modelo Teórico	Intra-Patamar C <sub>1</sub> - (°C <sup>2</sup> )	Efeito Pepita C <sub>0</sub> - (°C <sup>2</sup> )	Alcance a (m)	Direcção de anisotropia Dir - (Graus)	Razão de anisotropia, r
1	16/11/2003	12h09	Esférico	0.155	0.05	850	120	1.5
2	16/11/2003	15h58	Esférico	0.145	0.06	520	120	1.3
3	16/11/2003	22h02	Esférico	0.0181	0.004	750	90	1.5
4	23/11/2003	11h58	Esférico	0.0487	0.020	1300	150	1.4
5	23/11/2003	15h57	Esférico	0.048	0.032	720	120	1.4
6	23/11/2003	23h15	Esférico	0.0312	0.010	820	90	1.4
7	09/04/2004	14h50	Esférico	0.155	0.200	400	60	1.3
8	15/05/2004	16h09	Esférico	0.280	0.11	290	120	1.3
9	15/05/2004	22h54	Esférico	0.078	0.01	1300	150	1.4
10	23/09/2004	23h01	Esférico	1.1000	0.000	780	120	1.8
11	24/09/2004	01h03	Esférico	1.1000	0.060	1450	110	1.9
12	24/09/2004	02h52	Esférico	0.5670	0.150	1000	115	1.9
13	04/01/2005	22h04	Esférico	0.3250	0.000	1000	55	1.4
14	04/01/2005	23h03	Esférico	0.1650	0.000	1150	50	1.8
15	05/01/2005	00h14	Esférico	0.1070	0.000	1300	55	1.6
16	05/01/2005	01h17	Esférico	0.0562	0.005	1600	65	1.8

Com base nos resultados obtidos nos variogramas experimentais, segundo o respectivo modelo teórico ajustado – nos casos considerados, o esférico – procedeu-se à representação gráfica e cartográfica dos desvios térmicos através de processos de estatística espacial, com recurso ao *software* Surfer, como se pode ver pelo exemplo que se segue (Figura 62, 22/11/2003).<sup>430</sup>

<sup>429</sup> Foram primeiro experimentalmente ajustados os diversos tipos de modelos teóricos (modelo esférico, gaussiano, potência, etc), a fim de tentar encontrar os variogramas mais representativos da continuidade espacial do fenómeno desvios térmicos, tendo-se concluído neste caso pela vantagem da utilização do modelo esférico.

<sup>430</sup> Balkestahl, L., “Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela”, Anexos IV-A, pág. IV.6, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.



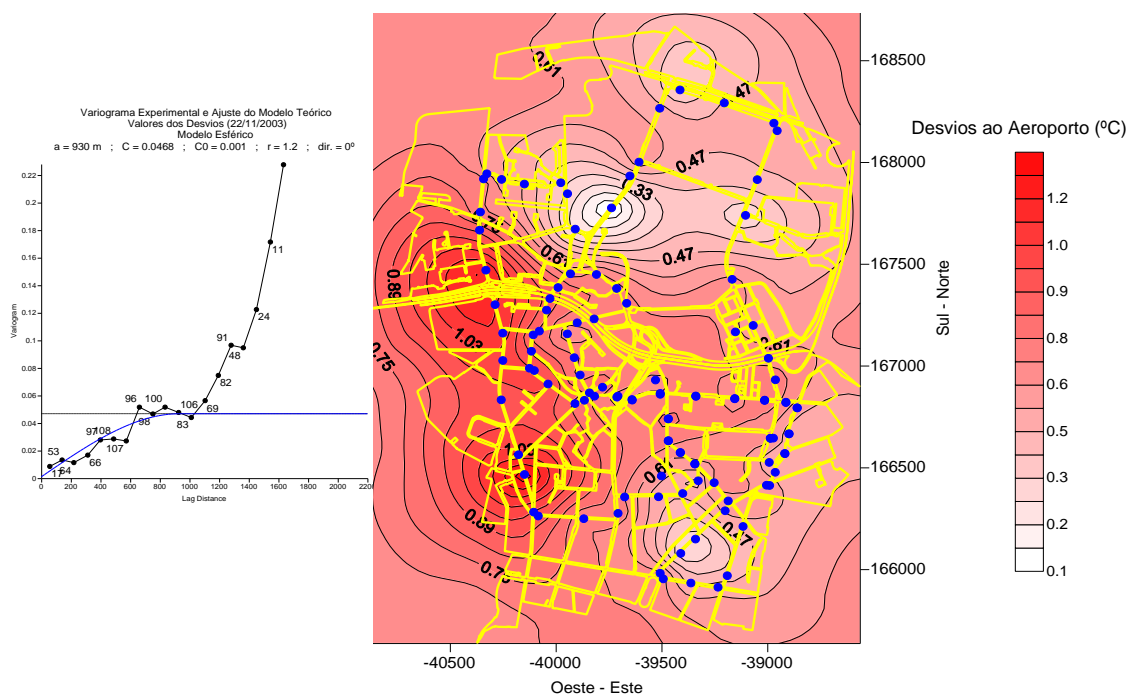


Figura 62 - Variografia e representação cartográfica dos desvios térmicos em relação ao aeroporto (22/11/2003, 22h59).

Para além da análise estatística simplificada já atrás apresentada, a georreferenciação, krigagem e subsequente cartografia<sup>431</sup>, permitiu ainda evidenciar que a ilha de calor da área de estudo se desenvolve grosso-modo na direção NE/SW, e emerge recorrentemente com maior intensidade na área centrada na parte sudoeste da freguesia de Paranhos, assumindo aí localmente a direção quase perpendicular, isto é, NW-SE. A direção dominante NE/SW é pontualmente interrompida por “ilhas de frio” na área do pólo da Asprela (universidades), sobretudo nas medições efetuadas nos períodos de inverno.

Na parte mais a norte da área de estudo, instalam-se ilhas de frio na envolvente aos dois hospitais e particularmente junto ao ISEP, e ainda, já na área exterior ao perímetro urbano, na área correspondente à zona da Arroiteia.

<sup>431</sup> Constatou-se que o padrão espacial das temperaturas medidas e das anomalias térmicas, é muito similar o que significa que as correções feitas não afetam os resultados de forma significativa: Balkestahl, L., “Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela”, pág. IV.46 tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.

Quer em situação de anomalias térmicas todas positivas (exemplo: 23/11/2003, 23h15) quer em situação de anomalias todas negativas (exemplo: 16/11/2003, 22h02) – ou ainda em situações em que parte da área apresenta desvios positivos e parte apresenta desvios negativos (exemplo: 04/01/2005, 22h04) – na generalidade dos episódios de medição, em termos relativos, verifica-se que a parte ocidental é quase sempre mais quente (ou menos fria) do que a parte oriental.

Nos casos de desvios todos positivos e de desvios todos negativos, além da oposição ocidente/oriente, verifica-se também uma nítida oposição norte/sul, mas em que se destaca uma verdadeira “ilha” de calor, nítida mas de magnitude mais baixa, correspondente ao quarteirão habitacional do Bairro de Paranhos, por oposição à área das faculdades/cemitério/terrenos do entorno aos hospitais.

A exceção mais marcante corresponde ao dia 02/06/2004, no qual a parte oriental se apresenta mais quente do que a parte ocidental, embora se mantenha a “ilha” nítida da área habitacional do Bairro de Paranhos.

### **“Movies” sequenciais e/ou consecutivos**

Foram também efetuadas medições em dias sequenciais e/ou horas consecutivas, com o objetivo de tentar perceber a evolução do padrão espaço-temporal da ICU<sup>432</sup>.

Através dos mapas de desvios térmicos correspondentes a diferentes horas do mesmo dia/noite, separadas por intervalos de tempo relativamente curtos (exemplo dos dias de 23/09-2004 a 24/09-2004, em que foram efetuadas 3 medições sequenciais; e dos dias 04/01-2005 e 05/01-2005 em que se fizeram 4 medições consecutivas), esta análise revelou o tipo de progressão espacial das anomalias térmicas e características da sua evolução temporal (com frequência em direção à parte sudoeste da área da freguesia de Paranhos em estudo, onde geralmente assume a sua máxima magnitude).

---

<sup>432</sup> C.f. Taesler, R. - “Studies of the development and thermal structure of the urban boundary layer in Uppsala”, Part II, Data Analysis and Results- Relatório N° 61, Uppsala, 1980, Pág. 133-134.

### Sequência 16/11/2003

A representação cartográfica dos desvios térmicos do dia 16/11/2003 (medição itinerante iniciada às 12h09, figura 63A) revela algumas áreas com anomalias positivas. Dado que o final do dia anterior e a madrugada do dia 16 não haviam sido muito ventosos (N7 a N18 mph), cremos que uma eventual ICU de baixa magnitude (na generalidade  $\leq +2^{\circ}\text{C}$ ) terá resistido à erosão aproximadamente até essa hora<sup>433</sup>. O vento manteve-se abaixo de N20 mph até por volta do meio-dia e tornou-se regularmente mais forte justamente pelas 12h00 (N20 mph, embora pontualmente pelas 06h00/07h00 já tivesse havido vento de velocidade superior). Entretanto, a ICU dissipa-se totalmente e pelas 16h00 (medição itinerante iniciada às 15h58, figura 63B) surgem “ilhas de frio” em toda a área, com anomalias que variam aproximadamente entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  e  $-1,5^{\circ}\text{C}$ .

Ao final do dia a pressão atmosférica era elevada, de aproximadamente 1023 hPa (tendência da variação barométrica correspondente aproximadamente a 12 hPa em 24 horas ou cerca de 0,5 hPa/hora, isto é, a pressão aumentou aproximadamente 12 hPa em menos de vinte e quatro horas<sup>434</sup>), a velocidade do vento voltou a diminuir (entre 10 e 2 mph, com direções variáveis) mas as “ilhas de frio” permanecem no essencial (medição itinerante iniciada pelas 22h02, vento NNE10 mph, figura 63 C). No entanto, diríamos que as “ilhas de frio” são relativas, pois:

- i) o desvio máximo pelas 22h02 é de  $-0,6^{\circ}\text{C}$  e o das 15h58 era de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , isto é, a diferença é muito baixa ( $-0,1^{\circ}\text{C}$ );
- ii) o desvio mínimo pelas 22h02 é de  $-1,4^{\circ}\text{C}$  e o das 15h58 era de  $-1,5^{\circ}\text{C}$ , isto é, o desvio mínimo é menor à noite ( $+0,1^{\circ}\text{C}$ );
- iii) as “ilhas de frio” mais evidentes das 15h58 localizam-se na parte centro-sul da área de estudo, onde a densidade de ocupação do solo tipicamente urbana é maior, e portanto, onde em período diurno efetivamente podem existir ilhas de frio;

---

<sup>433</sup> De notar que a ICU significativa se limita à área de Costa Cabral, correspondente a um *canyon* convenientemente abrigado dos ventos de norte.

<sup>434</sup> Valores da tendência de variação barométrica significativamente superiores (tanto positivos como negativos) são frequentemente associados às passagens de ciclones; no entanto, não sendo a magnitude das alterações barométricas deste dia particularmente notável, apresenta valores significativos.

iv) as “ilhas de frio” das 22h02 invertem posição, isto é, à noite as anomalias térmicas negativas mais intensas localizam-se na parte Norte e Nordeste, onde há menor densidade de edificado, enquanto as “ilhas de frio” da área de maior densidade de ocupação do solo se atenuam significativamente, com anomalias térmicas negativas muito moderadas (funcionando como “ilhas de calor” relativas, ou quase como que “falsas” ilhas de calor).

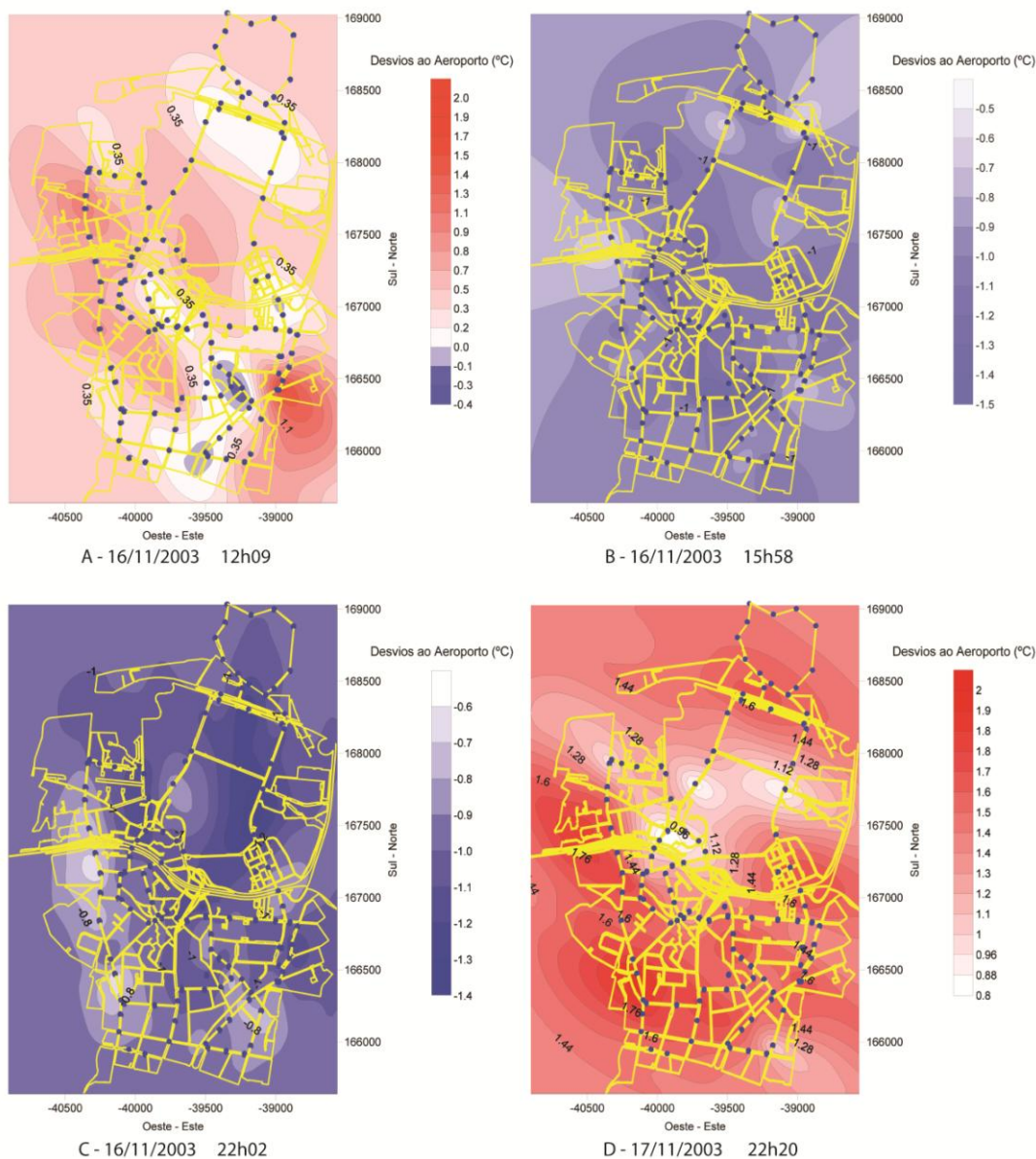


Figura 63 - Representação cartográfica sequencial de desvios térmicos de 16/11/2003 a 17/11/2003

Na noite de 17/11/2003, com tempo seco, vento fraco de nordeste (NE14 mph) e com a intensificação do anticiclone, a ICU manifestou-se de novo em toda a área de estudo com cerca de +2°C de anomalia térmica (Figura 63D); o

mesmo aconteceu em 18/11/2003 para depois em 19/11/2003, já com ventos ESE e NE, embora fracos, a ICU começar a erodir até atingir em 20/11/2003 novamente anomalias térmicas negativas praticamente em toda a área de estudo.

### **Sequência 23/11/2003**

A representação cartográfica dos desvios térmicos do dia 23/11/2003 (medição itinerante iniciada pelas 11h56, Figura 64A) apresenta-se com anomalias negativas em toda a área em estudo. Se recuarmos até à noite de 22/11/2003 (medição itinerante iniciada pelas 22h59, vento a essa hora Var3 mph) constatámos que havia ocorrido uma ICU de padrão espacial muito idêntico ao do dia 17/11/2003, embora de magnitude um pouco inferior. Considerando que o estado de tempo havia estado bastante húmido embora sem chuva, a pressão atmosférica de baixo valor (999 hPa) e de fraco gradiente barométrico e as condições de vento durante quase todo o dia oscilando entre Calmaria, Variável e direcções NNW/NW (velocidade máxima 7 mph) – à exceção das direcções dominantes e dos valores baixos de velocidades do vento – não pareceria existirem boas condições para a ocorrência da ICU. Mas na noite de 22/11/2003, quer antes, quer após o período de medição, pode ter-se gerado um excesso de calor antropogénico devido ao acréscimo de tráfego provocado pela realização do jogo Porto-Boavista, que provavelmente interferiu no balanço energético local. Podemos questionar-nos se isso acontece sempre que ocorre um jogo de futebol de grande afluência, mas neste caso há variáveis importantes a levar em conta: as elevadas humidade e nebulosidade e as condições de vento não favoreciam a dispersão nem dos poluentes, nem do calor extra gerado pelo tráfego (devemos recordar-nos também das filas intermináveis e do excessivo aporte de veículos na área, dado que ainda não existia o metro).

Posteriormente, durante toda a madrugada, manhã e até às primeiras horas da tarde de 23/11/2003, apesar da velocidade do vento não ser muito elevada ( $\leq 8$  mph), as direcções do vento assumiram os rumos de ESE, SSE e E, facto que terá provocado rapidamente a erosão de uma ICU que à partida era já de baixa magnitude. Assim, a representação cartográfica dos desvios térmicos do mesmo dia, ao meio da tarde (medição itinerante iniciada pelas 15h57, figura 64B), apresenta-se também com anomalias negativas, neste caso em quase toda a área em estudo.

Há no entanto diferenças entre o padrão térmico das 11h56 e o das 15h57 (e grandes diferenças relativamente à medição das 12h09 do dia 16//11/2003, comparar figura 63A com 64A): ao contrário do final da manhã do dia 16//11/2003, em que havia algumas áreas com anomalias positivas (mas o vento, apesar de mais forte, era de quadrante norte e a ICU do dia anterior, em certos locais se dissipou somente a partir das primeiras horas da tarde), ao final da manhã do dia 23/11/2003 toda a área apresentava “ilhas de frio”, isto é, a ICU gerada na noite anterior já se havia dissipado totalmente durante a manhã; as “ilhas de frio” cartografadas pelas 16h00 nos dois dias em confronto apresentam magnitude e padrão espacial muito semelhantes, isto é, também na tarde do dia 23/11/2003 se verificou que as “ilhas de frio” mais evidentes das 15h57 localizam-se na parte centro-sul da área de estudo, onde a densidade de ocupação do solo tipicamente urbana é maior.

Ao final do dia 23/11/2003, a pressão atmosférica era baixa, de aproximadamente 1006 hPa (tendência de variação barométrica correspondente a cerca de 6 hPa em 24 horas ou 0,25 hPa/hora, isto é, a pressão aumentou somente 6 hPa durante mais de vinte a quatro horas), o céu estava parcialmente nublado, a velocidade do vento diminuiu significativamente (máximo de 6 mph, com direções diferentes, desde N e NNW a Variável): apesar do tempo húmido e de ter chovido ao final da tarde (aguaceiros ligeiros) as “ilhas de frio” diurnas desaparecem completamente – embora permaneçam “ilhas de frio” relativas (medição itinerante iniciada pelas 23h15, vento N5 mph, Figura 64C) – e a ICU manifestou-se de novo, e com desvios positivos em toda a área de estudo, embora com fraca magnitude (cerca de +1,2°C de anomalia térmica máxima), emergindo claramente na área de maior densidade de ocupação do solo. Após a permanência de “ilhas de frio” tão evidentes durante o período diurno, o aparecimento na área mais antiga e de maior ocupação do solo de uma ICU noturna, ainda que de baixa magnitude, é claramente atribuível ao metabolismo urbano.

É curioso verificar que na noite do dia seguinte, pelas 23h10, a ICU apresenta um padrão espacial muito semelhante, embora de magnitude ligeiramente superior (cerca de mais um grau) mas com os desvios térmicos de baixo valor, correspondentes a “ilhas relativas frescas”.

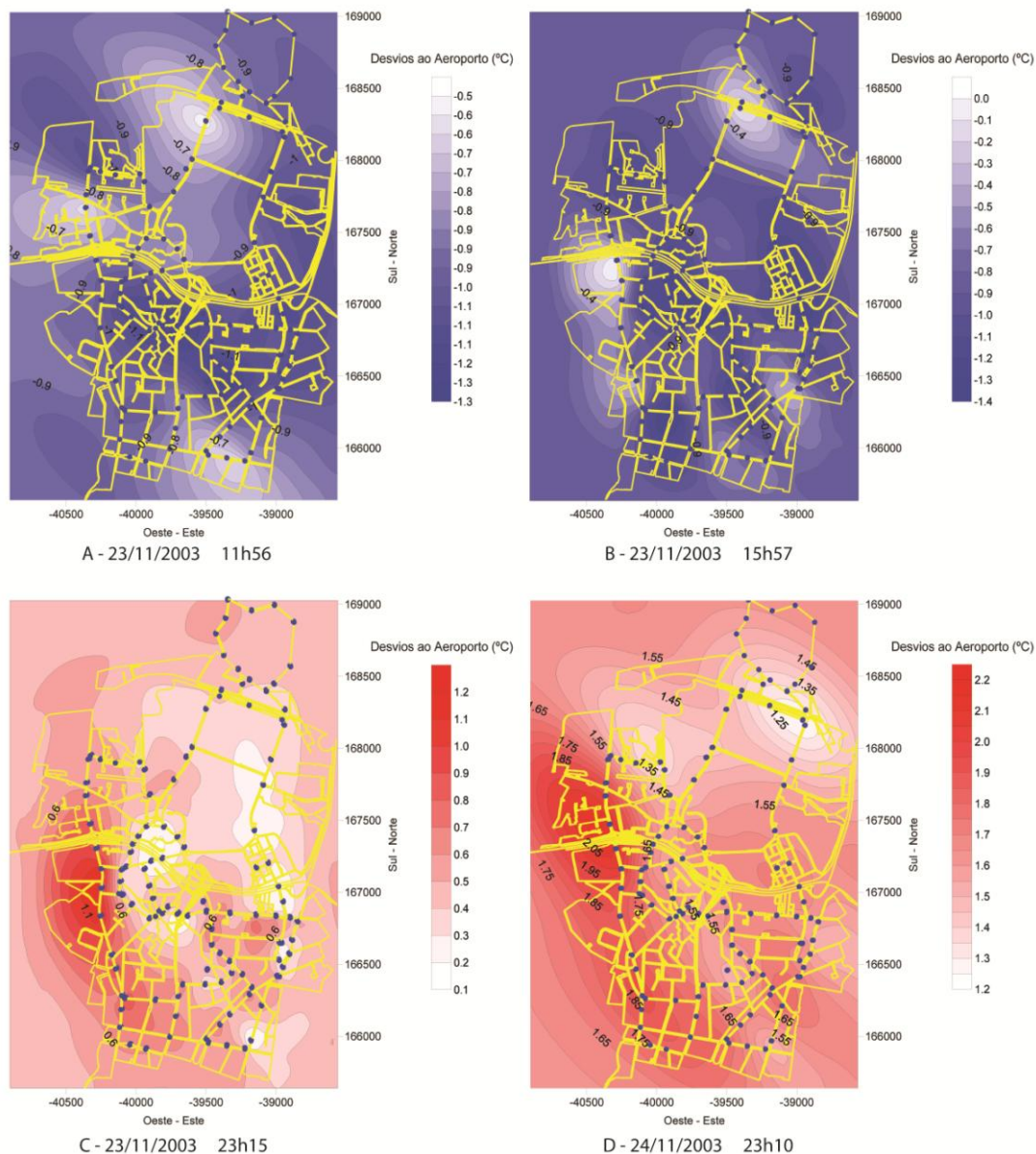


Figura 64 - Representação cartográfica sequencial de desvios térmicos de 23/11/2003 a 24/11/2003

### Seqüência 23/09/2004

A representação cartográfica dos desvios térmicos do dia 23/09/2004 (medição itinerante iniciada pelas 23h01, figura 65A) apresenta-nos anomalias térmicas positivas consideráveis na maior parte da área em estudo, embora existam algumas áreas com ilhas “frescas relativas”. A única “ilha de frio” verdadeira, apesar de confinada apenas à área da sua ocorrência mais habitual (ponto 7I, R. Padre Costa), apresentava uma magnitude muito considerável, isto é, cerca de 1/3 do intervalo total do valor dos desvios térmicos. A temperatura manteve-se

relativamente elevada durante todo o período da medição, a humidade relativa era baixa, com pouco vento ou Calmaria. Às primeiras horas do dia 24/09/2004 (medição itinerante iniciada pelas 01h03, figura 65B) as condições atmosféricas mantiveram-se muito idênticas, sobretudo no que diz respeito à situação do vento (embora com uma única ocorrência de vento S8 mph pelas 01h00). Por essa razão a ICU não foi dissipada, embora a sua magnitude tenha diminuído e tenham surgido mais duas áreas com “ilhas de frio.” À exceção de uma ligeira descida nas temperaturas (quer na estação de referência, quer na área de estudo), mas não generalizada pois alguns locais de medição apresentam inclusivamente subida de temperatura, as condições atmosféricas mantiveram-se até por volta das 08h00 da manhã. Assim, a representação cartográfica dos desvios térmicos (medição itinerante iniciada pelas 02h52, figura 65C), apresenta-se quase sem anomalias negativas.

Convenhamos que, embora tendo integrado este episódio de medição no conjunto das medições do período de verão, na verdade trata-se de um “verão tardio”, passe a expressão, pois foi uma das últimas medições noturnas de temperaturas que efetuámos, na generalidade superiores a +20°C (um dos últimos dias de verão com algumas temperaturas diurnas registadas no Aeroporto  $\geq +30^\circ\text{C}$ ; na noite seguinte, a máxima dos dados de aquisição própria não ultrapassou os +21,9°C e a máxima diurna no Aeroporto ficou-se pelos 24°C)<sup>435</sup>.

O padrão espacial é muito idêntico ao das restantes medições efetuadas no período de verão: “ilhas de frio” verdadeiras ou relativas na área a nordeste, separadas de outras menos frias, localizadas no centro do mapa, por um eixo mais quente de orientação grosso-modo NW-SE, e finalmente, na parte sudoeste da freguesia, mas quase sempre com orientação NW-SE, as zonas das ilhas de calor mais evidentes.

Se avançarmos para a noite de 24/09/2004 (medição itinerante iniciada pelas 22h54, figura 65D), embora em termos de valor absoluto das temperaturas, esta

---

<sup>435</sup> Pela consulta dos dados de aquisição indireta da estação Porto-Aeroporto relativos ao mês de Setembro, poderíamos afirmar que o dito “verão tardio” se manteve pelo menos até ao dia 28/09/2004 (Apêndices em suporte digital, 2003/2005).



noite tenha estado bastante mais fresca que a anterior (temperaturas máxima e mínima mais frias em cerca de 4°C), o padrão espacial repete-se, com duas diferenças: não ocorrem quaisquer anomalias negativas e, portanto, as zonas de cor mais clara não passam de “ilhas de frescura” relativas e a ICU apresenta magnitude bastante superior.

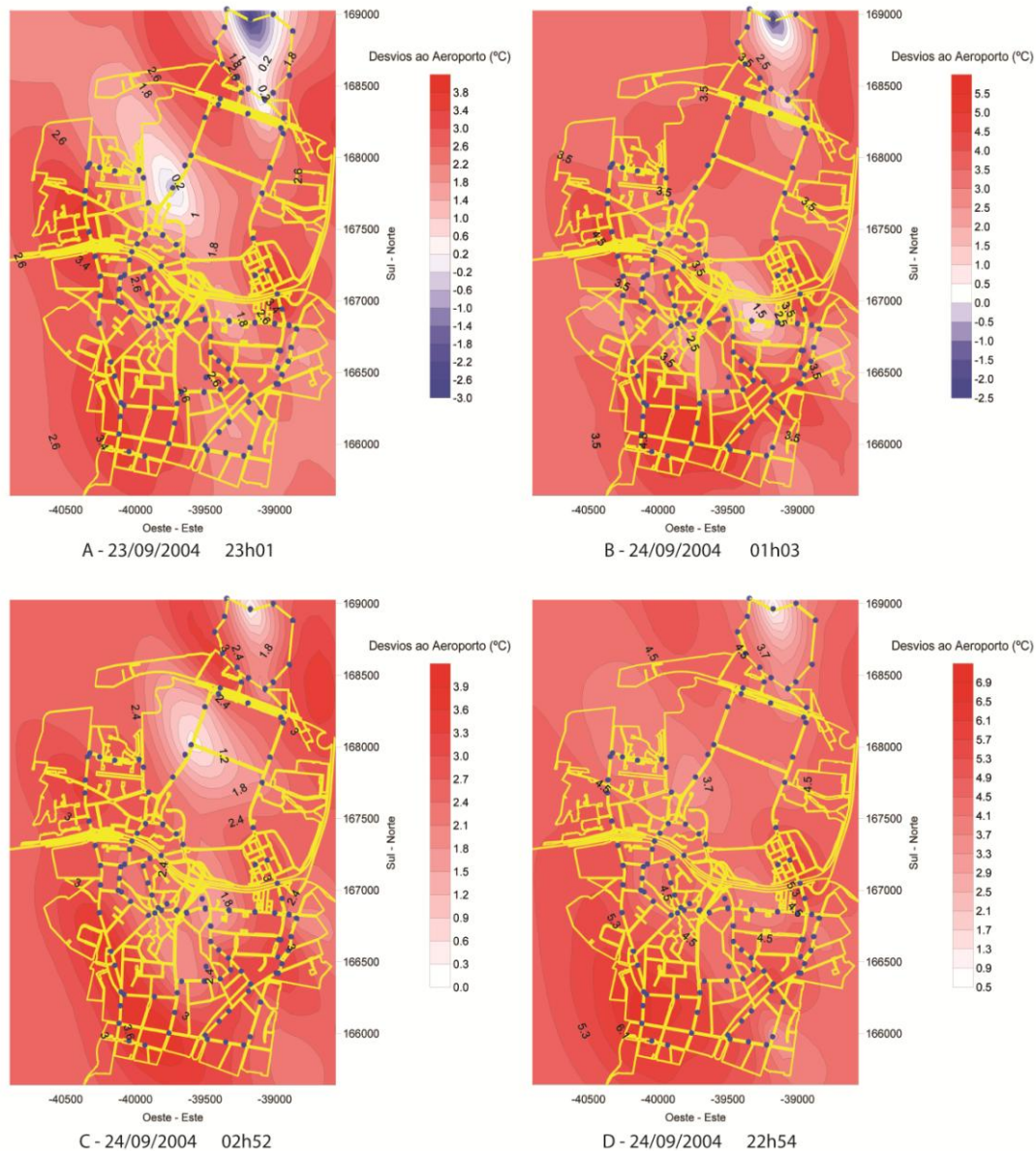


Figura 65 - Representação cartográfica sequencial de desvios térmicos de 23/09/2004 a 24/09/2004.

### **Sequência 04/01/2005**

As representações cartográficas dos desvios térmicos do dia 04/01/2005 (duas medições itinerantes consecutivas iniciadas pelas 22h04 e 23h03, figura 66 A e B) apresentam acentuada alternância de anomalias positivas e negativas em grande parte da área em estudo (as próprias “ilhas de frio relativas” destacam-se bastante), sobretudo no segundo episódio de medição, de que resulta um padrão espacial muito variado. Apesar de, em termos gerais, se poder afirmar que há uma certa concordância entre as áreas, respetivamente mais quentes e mais frias dos outros períodos analisados, aqui as diferenças térmicas são muito mais acentuadas, resultando num padrão espacial muito contrastante. Tratou-se de um dia bastante frio, com elevada pressão atmosférica (1036 hPa durante as quatro medições), céu parcialmente nublado (com neblina desde as 20h00) e ventos fracos ou Calmaria a partir do início da tarde e até à hora da primeira medição. Justamente às 22h00, ocorrência de vento E7 e às 20h00 ENE7, o que pode explicar a rápida dissipação das ilhas de calor após essas horas.

Uma diferença assinalável é que a área correspondente à junção da R. Alegria com R. Constituição, nos períodos de outono/inverno, encontra-se geralmente bastante mais fresca ou mesmo fria, do que nos outros períodos.

As representações cartográficas dos desvios térmicos do dia 05/01/2005 (duas medições itinerantes consecutivas iniciadas pelas 00h15 e 01h18, figura 66 C e D) apresentam-se com anomalias negativas em toda a área em estudo (ENE7 pelas 00h00, o que deve ter contribuído não só para a dissipação da ICU das horas imediatamente anteriores, mas também para que Costa Cabral, que é algumas vezes o posto mais quente, seja precisamente a essa hora, em valor absoluto, o posto mais frio de toda a área).

Nesta sequência de quatro medições praticamente consecutivas, não fomos propriamente felizes na aquisição dos dados pois a ICU das 22h00 sofreu erosão acelerada e acentuada (ao contrário do que pretenderíamos evidenciar). No entanto, serviu para mais uma vez chamar a atenção para dois factos: as “ilhas de frio” da medição a horas mais tardias (01h18) revelam anomalias negativas de magnitude bastante inferior às da medição anterior (o que significa que, dado a temperatura na estação de referência não ter modificado muito, a diferença entre ela e a área de estudo se esbateu); no padrão das “ilhas de frio” da terceira e da última medição,

evidencia-se que as “ilhas de frio” da parte oeste da freguesia se encontram, relativamente à restante área, muito menos frias.

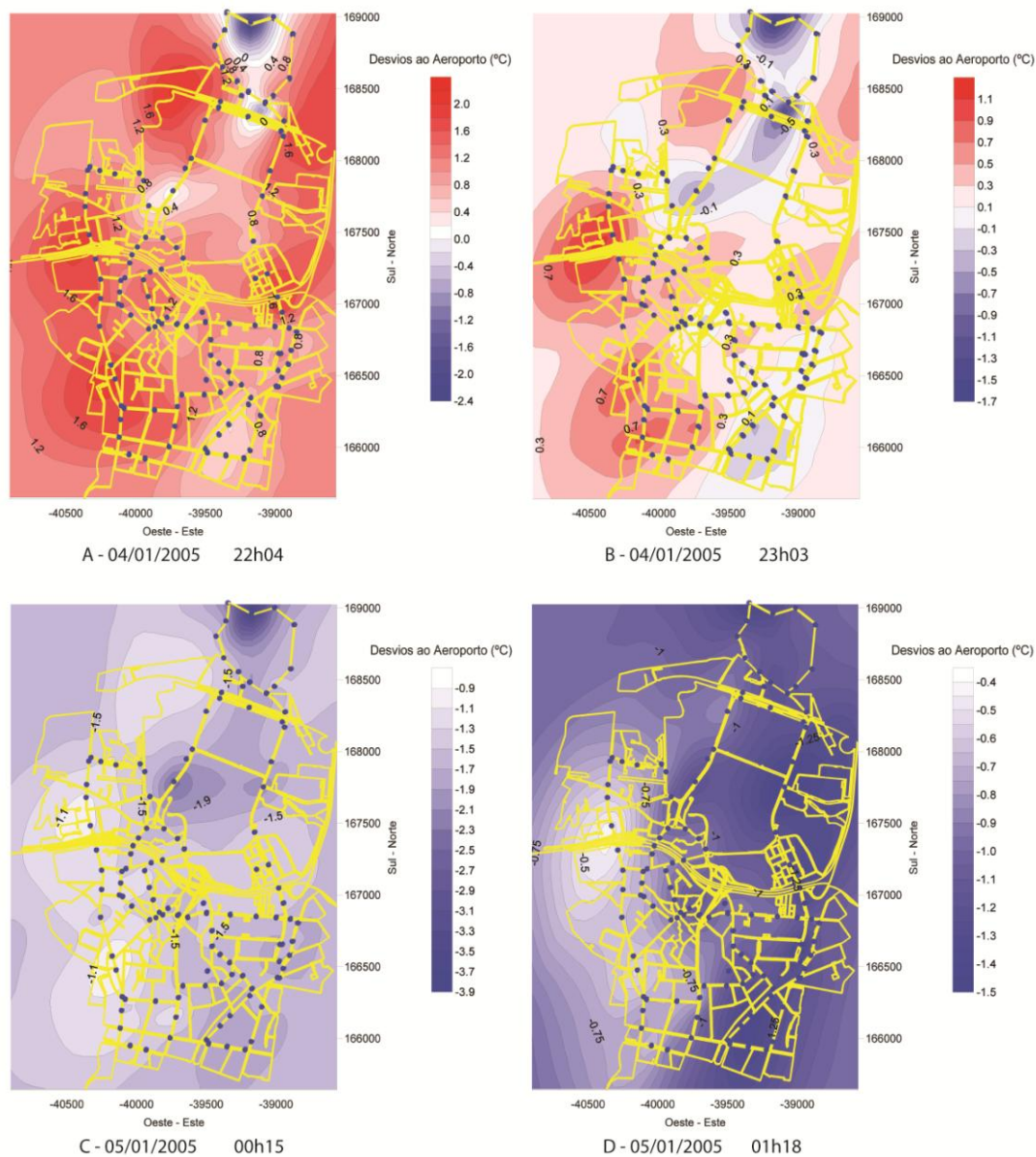


Figura 66 - Representação cartográfica sequencial consecutiva de desvios térmicos de 04/01/2005 e 05/01/2005.

Foram justamente as diferenças detetadas no padrão espacial e sobretudo no padrão temporal das anomalias térmicas obtidas a partir destas observações sequenciais e/ou consecutivas, que estiveram na base da decisão de nos debruçarmos sobre a evolução temporal do comportamento da ICU, através de aquisição de informação em postos fixos.

### 1.3. RESULTADOS OBTIDOS COM CÂMARA TÉRMICA

Conforme referido, foram efetuados registos termográficos em três momentos diferentes do dia, em duas instalações de sondas térmicas, posto B-Aval de Baixo e posto C-Costa Cabral.

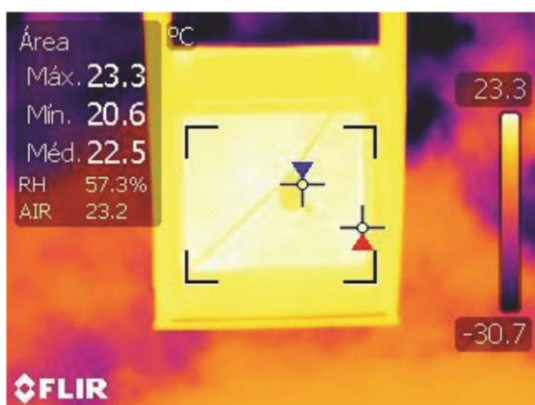
Apresentam-se de seguida os termogramas adquiridos, de acordo com a sua localização e a hora a que foram registados, expressos graficamente numa paleta de cores *Iron* e com uma escala de temperaturas automaticamente definida pela máquina, em graus Celsius.

A análise dos termogramas apresentados revela-nos que no primeiro registo, efetuado pelas 09h00 (figura 67, termogramas 1 e 2), verifica-se uma amplitude térmica reduzida (cerca de 3°C) entre as temperaturas máxima e mínima registadas. Em ambos os casos o ponto mais frio das imagens localiza-se nas próprias sondas (facto que consideramos positivo pois revela que as sondas não estão a ser influenciadas pela proximidade aos diversos materiais envolventes). A estação C-Costa Cabral apresenta valores em média 1°C mais baixos do que o posto B-Aval de Baixo.

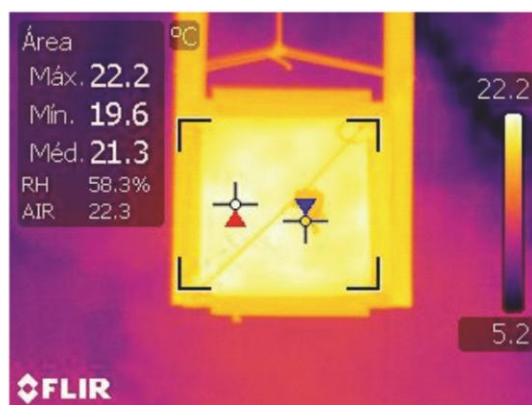
No registo feito pelas 14h00 (figura 67, termogramas 3 e 4), o ponto mais quente detetado refere-se à parte superior da cobertura da estrutura que alberga as sondas, havendo uma diferença significativa dos valores máximos registados entre as duas estações: +28,2°C em C-Costa Cabral e +34,9°C em B-Aval de Baixo. Os valores mínimos registados nesta altura do dia encontram-se na parte inferior da estrutura.

No registo feito pelas 19h00 (figura 67, termogramas 5 e 6), os valores das duas estações voltam a aproximar-se, sendo que em C-Costa Cabral é o invólucro da própria sonda que regista o valor máximo de temperatura, ao passo que em B-Aval de Baixo esse valor se encontra na estrutura que alberga a sonda.

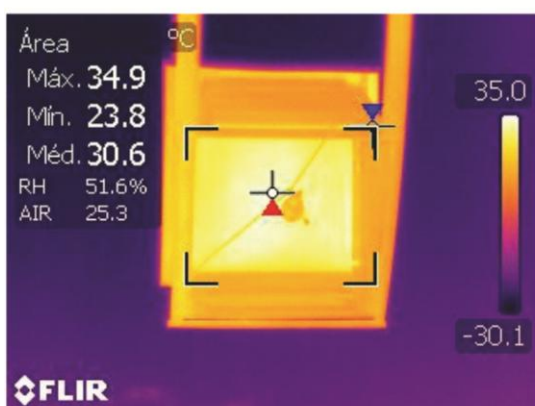
De notar ainda que o diferencial das temperaturas máximas registadas entre as duas estruturas que albergam as sondas nos períodos das 14h00 e 19h00 é substancialmente diferente – cerca de 5°C em C-Costa Cabral e superior a 12°C em B-Aval de Baixo.



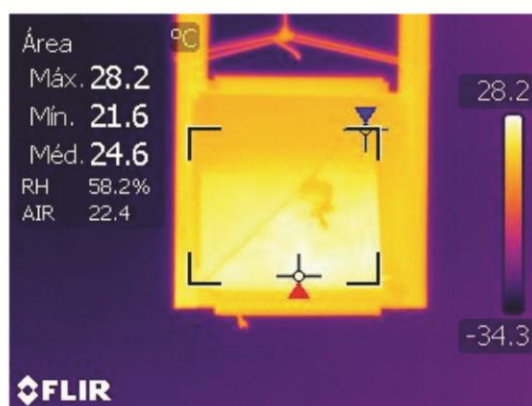
Termograma 1 - Aval de Baixo, 9h00



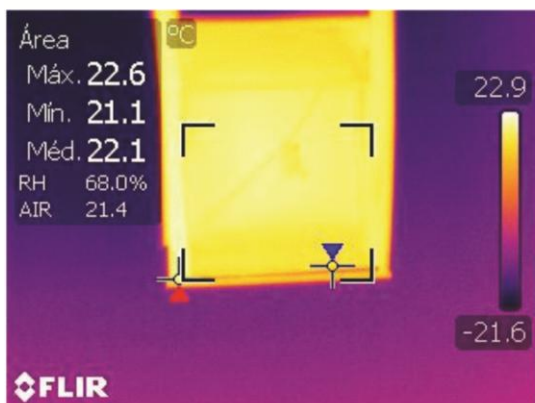
Termograma 2 - Costa Cabral, 9h00



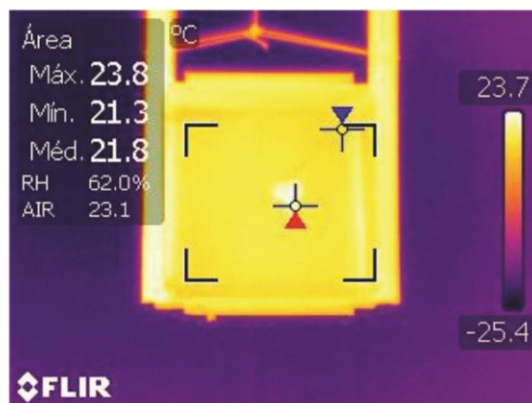
Termograma 3 - Aval de Baixo, 14h00



Termograma 4 - Costa Cabral, 14h00



Termograma 5 - Aval de Baixo, 19h00



Termograma 6 - Costa Cabral, 19h00

Figura 67 – Termogramas adquiridos nos postos B-Aval de Baixo e C-Costa Cabral, de acordo com o local e horários referidos junto a cada imagem.

#### **1.4. RESULTADOS DOS POSTOS FIXOS – informação das duas fases de aquisição**

Inicialmente, com vista à aquisição de informação no período experimental de 2004/2005, os postos fixos tinham sido instalados em locais geograficamente próximos de alguns dos pontos de medição itinerante<sup>436</sup>, para permitirem o confronto com os dados obtidos nessas medições. Na segunda fase de medições, mantiveram-se a maioria dos postos (somente deixou de existir o posto D-Junta de Paranhos) mas o espaço de recolha de dados foi alargado a outras áreas do Porto para estabelecimento de comparação com os dados dos postos já instalados anteriormente. Todos os postos foram fotografados e estão documentados. Para começar, e desde logo podermos obter uma perspetiva geral dos primeiros resultados, procedemos a um tratamento preliminar dos dados, baseado somente em estatísticos simples.

##### **1.4.1. Comportamento térmico dos 6 postos fixos (primeira fase)**

Os resultados desta análise encontram-se documentados no anexo 3 (ficheiro de Excel, 4 Tab\_1\_2\_3\_temp\_pot\_comparação postos E\_B.xls). O ficheiro de EXCEL contém ainda uma comparação entre a estação de Porto-Aeroporto e os postos E e B: a razão para o tratamento justamente destes dois postos deve-se ao facto de serem os postos que correspondem aos valores térmicos mais extremados, de entre todos os locais de aquisição de informação.

As tabelas construídas para o tratamento estatístico dos dados revelaram os seguintes resultados preliminares:

- Quanto às temperaturas médias, na totalidade do período em análise, neste conjunto de postos verifica-se que:
  - ✓ os postos mais frios, em geral, são C-Costa Cabral, E-Junta de Paranhos e G-Covelo;
  - ✓ o posto E é o mais frio no inverno, logo seguido do posto G;

---

<sup>436</sup> Os postos fixos estiveram em funcionamento em períodos diferentes, conforme já explicado; por essa razão, quando por comodidade de escrita se faz referência aos anos de 2004 e 2005, não se trata de anos completos e sim dos meses em que se verificaram registos.

- ✓ o posto B-Aval Baixo é em média o mais quente, seguido do posto D-Junta Paranhos.
- Quanto às médias das temperaturas máximas pode verificar-se que:
  - ✓ o posto B é o mais quente, em geral, quer em termos das médias das temperaturas máximas por mês, por ano ou no total do período (salvo as exceções relativas ao posto D que são referidas abaixo), logo seguido do posto D;
  - ✓ o posto D destaca-se nos meses de Julho/2005 e Maio/2005, em que as médias das temperaturas máximas são ligeiramente superiores às do posto B, assim como em Julho/2004, em que iguala a média máxima do posto B;
  - ✓ o posto E é o mais fresco de todos, mas o posto C evidencia-se como mais fresco durante quase todos os meses de Verão.
- Quanto às médias das temperaturas mínimas constata-se que:
  - ✓ ao posto E correspondem as médias das temperaturas mínimas mais elevadas, por ano e no total do período observado;
  - ✓ as médias das temperaturas mínimas mais elevadas, por mês, em quase todos os meses de verão, também correspondem ao posto E;
  - ✓ o posto G é claramente o que apresenta as médias das temperaturas mínimas mais baixas, em todas as situações (por mês, ano e total do período).

Foi efetuada ainda uma análise mais detalhada dos dados de base da Tabela 1\_2\_3, em simultâneo com as observações sinóticas da estação de Porto-Aeroporto, com os objetivos de avaliar a qualidade dos dados e sobretudo de tentar tirar conclusões relativamente à influência da exposição solar, sobre os dados originais. Obtivemos os seguintes resultados:

A ilha de calor evidencia-se com ventos de velocidade inferior a cerca de 3m/s e simultaneamente com elevada humidade relativa (pequena diferença entre a temperatura do termómetro seco e do termómetro húmido) mesmo perante pressão atmosférica relativamente baixa, o que implica, muito provavelmente, situação de baixa pressão com eventual precipitação. Perante velocidades do vento à volta dos 2-3m/s e baixa humidade relativa, ocorrem elevadas anomalias térmicas em muitos postos de medição. Nessas situações é frequente estar céu limpo e portanto, consequente possível influência da radiação solar nas medições. Em situações de

estado de tempo muito ventoso e húmido as anomalias térmicas urbanas apresentam baixa magnitude em todos os postos. Também ocorrem alguns períodos em que Porto-Aeroporto se encontra bastante mais quente do que as áreas urbanas, o que implicou a necessidade de uma análise mais aprofundada posterior (relacionada com o estudo da alternância das brisas marítimas *vs* terrestres).

Logo após o nascer do sol e praticamente durante toda a manhã, os postos urbanos revelam quase todas anomalias térmicas negativas. Este é um resultado expectável e significativo, podendo ser explicado pelo efeito de um aquecimento mais lento nas áreas urbanas pelo facto de o sol não conseguir atingir o solo nas zonas de edificado mais denso. No entanto, deve ser assinalado o facto de que a ICU negativa diurna apresenta uma magnitude surpreendentemente elevada.

Posteriormente, ao longo do dia, verifica-se supostamente um aquecimento muito rápido e de magnitude considerável em todos os postos urbanos. No Posto B ocorrem ICU positivas de 5 a 10 graus que, inclusivamente, podem atingir 11,8°C, o que é pouco realista. O Posto E (que como se disse, se encontra na parede norte do edifício onde está instalado) revela valores de magnitude bastante mais fiáveis e ainda um desenvolvimento diário das anomalias térmicas muito mais de acordo com o expectável (no ficheiro de Excel 4 Tab\_1\_2\_3\_temp\_pot\_comparação postos E\_B.xls, na folha Pot. temps, isto é, Potential temperature, encontram-se as colunas comparativas dos dados térmicos dos Postos E e B, estando também assinalados com cor azul os períodos mais ventosos correspondentes).

Perante os resultados algo surpreendentes obtidos com o desenvolvimento diário da ICU, tentámos antes de mais encontrar possíveis explicações para o facto de a ICU se intensificar ao longo do dia, até ao pôr-do-sol. O resultado normal expectável seria que o valor máximo da ICU ocorresse durante a noite, 3 a 5 horas após o pôr-do-sol, como consequência do arrefecimento irradiante diferencial da cidade *vs* meio (semi-)rural, isto é, um arrefecimento mais rápido em espaço aberto rural do que em meio urbanizado com edificado mais denso.

Mas, pelo contrário, os nossos resultados apontavam para uma ICU que se ia gerando sucessivamente desde logo, durante o decorrer do dia, até ao final da tarde. Esse facto exigiria alguma forma de armazenamento de calor na atmosfera urbana, mesmo durante as horas de decréscimo de *input* de energia. No entanto, não conseguimos encontrar uma explicação lógica para os nossos resultados, diretamente conotável com as leis da física da atmosfera. Ponderámos então a



possibilidade de os abrigos dos sensores estarem a ser influenciados pela radiação solar, o que poderia estar a acontecer por três razões alternativas e/ou concorrentes:

- exposição direta dos abrigos dos sensores térmicos à radiação solar;
- o ar dos abrigos dos sensores estar a ser mais aquecido do que o ar envolvente (por défice de arejamento, possivelmente);
- os valores das temperaturas medidas pudessem estar a refletir um aquecimento do ar muito localizado, à micro escala, na camada de ar adjacente à fachada dos edifícios.

Esta última alternativa poderia efetivamente corresponder ao caso particular do Posto B-Aval de Baixo, dado que a fachada do edifício se encontra orientada a oeste e completamente exposta ao sol durante toda a tarde (a influência de uma parede sobreaquecida no ar adjacente pode estender-se até cerca de 2 a 3 metros de distância dessa mesma parede); mas continuavam por explicar os casos dos restantes postos que apresentavam também ICU de final de tarde de magnitude elevada.

#### **1.4.2. Comportamento térmico dos postos fixos (segunda fase)**

Analogamente ao tratamento efetuado relativamente aos dados da primeira fase de aquisição de informação nos seis postos fixos de Paranhos, pretendeu-se agora efetuar um estudo estatístico de caracterização da evolução da magnitude e da extensão espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano, alargando a área de estudo para outros pontos da cidade do Porto. Pretendeu-se ainda estabelecer as eventuais relações entre as principais propriedades da Ilha de Calor Urbano e as situações sinópticas que lhe estão associadas (Balkeståhl *et al*, 2006)<sup>437</sup>.

Com base em medições itinerantes<sup>438</sup> de temperatura e na recolha de dados obtidos nos postos fixos, já havíamos comprovado<sup>439</sup> a ocorrência de Ilha de Calor Urbano em distintos locais da área da freguesia de Paranhos (Porto), evidenciando,

---

<sup>437</sup>O estudo efetuado sob a mesma temática por Balkeståhl *et al* (2006), resumiu-se a tratamento estatístico descritivo.

<sup>438</sup> As medições itinerantes constituem a forma clássica de aquisição de dados, em estudos de ICU; na atualidade, dispondo de meios, pode efetuar-se a aquisição por processos mais modernos de deteção remota.

<sup>439</sup> Esses resultados obtidos para a área de Paranhos vieram comprovar, a uma escala mais pormenorizada, os resultados de estudos anteriores efetuados na cidade do Porto, por Monteiro A (1997), e por Góis J (2004).

a uma escala topo-climática, os fenómenos na sua dimensão da relevante vertente espacial (Balkeståhl, 2005). Ao alargar agora a área de estudo a outros locais da cidade do Porto, correspondentes a partes mais densamente ocupadas e com distintas tipologias de edificado – e aplicando uma metodologia<sup>440</sup> que, além de incidir sobre diferentes espaços com características distintas, atribui a prerrogativa à recolha de dados térmicos em permanência, hora a hora, num número reduzido de postos fixos – privilegia-se conscientemente a recolha e o tratamento de informação temporal em detrimento da informação espacial, permitindo assim evidenciar a efetiva magnitude e extensão temporal do fenómeno da Ilha de Calor Urbano noturna e diurna na área de estudo (Balkeståhl, 2009).

As tabelas construídas para o tratamento estatístico dos dados revelaram os seguintes resultados preliminares:

- Quanto às temperaturas médias, na totalidade do período em análise, neste conjunto de postos verifica-se que:
  - ✓ os postos mais frios, em geral, são E-Arca d'Água e G-Covelo, logo seguidos de Padrão norte e Costa Cabral;
  - ✓ o posto E- Arca d'Água é o mais frio no outono e inverno, logo seguido do posto G;
  - ✓ o posto I-Faria Guimarães é em média o mais quente, seguido do posto B-Aval de Baixo, exceto no período de outono/inverno, em que os postos que apresentam as médias mais elevadas são Aeroporto e S. J. Brito.
- Quanto às temperaturas máximas pode verificar-se que:
  - ✓ o posto B é o mais quente, em geral, quer em termos das médias das temperaturas máximas por mês, por ano ou no total do período, logo seguido do posto H, exceto no período outono/inverno em que o segundo mais quente é o posto G;
  - ✓ o Aeroporto é quase sempre o menos quente de todos (exceto no período de outono/inverno, mas o posto C, E e J, evidenciam-se também no grupo dos menos quentes).

---

<sup>440</sup> A metodologia aqui preconizada já foi descrita, aquando da apresentação dos resultados da 1ª fase experimental de aquisição de informação, relativamente aos dados obtidos em 6 postos fixos, entre 2004 e 2005, no primeiro período de medições.

- Quanto às temperaturas mínimas constata-se que:
  - ✓ ao posto J, C e E correspondem as temperaturas mínimas mais elevadas, por ano e no total do período observado;
  - ✓ as temperaturas mínimas mais elevadas, por mês, em quase todos os meses de verão, também correspondem ao posto E;
  - ✓ o posto G é claramente o que apresenta as temperaturas mínimas mais baixas, em todas as situações (por mês, ano e total do período), seguido pelo Aeroporto e posto A.

### 1.4.3. Estrutura espacial da Ilha de Calor Urbano (1ª e 2ª fases)

Na primeira fase de investigação sobre os dados de aquisição de informação em postos fixos, pretendeu-se estabelecer a relação entre a máxima intensidade da ilha de calor na área de estudo e o *sky view factor*.<sup>441</sup> Nesse sentido, havia sido já no período experimental de aquisição de informação em postos fixos, identificado o valor máximo de desvio térmico para cada situação de ilha de calor em análise, tendo sido ponderada a questão chave de que o valor de máxima intensidade da ICU pode manifestar-se em diferentes postos, em diferentes ocasiões, uma vez que supostamente nem só a geometria urbana influencia os resultados.

Foi escolhido para cada caso de situação de ilha de calor detetada o posto de registo que apresenta  $((\Delta\theta)_U)_{\max}$ . Seguidamente foi estipulado o correspondente valor de  $\Psi_S$  (*sky view-factor* tridimensional) e os dados foram inseridos numa tabela síntese.

As regressões que então estabelecemos entre as anomalias térmicas e as variáveis diretamente conotadas com o edificado urbano permitiram afirmar que na área de estudo existe relação entre a máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano e o *sky view factor*, assim como com a medida que designamos por densidade de edifícios ou *building densities* (nº de edifícios/hm<sup>2</sup>, assinalado pela sigla B<sub>d</sub>).

Dos 4333 momentos de observação horários, distribuídos por cerca de 180 dias (de 21/08-2004 a 18/02-2005) do período experimental, de acordo com o critério  $(\Delta\theta)_U \geq +2$  °C já atrás referido, verificaram-se 100 situações de ocorrência

---

<sup>441</sup> Balkestahl, L., “*Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano (Porto)*”, Ciclo de Colóquios Geografia aos Sábados, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, 2009.

de Ilha de Calor. Os dados do quadro XI permitiram-nos sintetizar os diversos resultados obtidos<sup>442</sup>. Esta análise é feita sempre em simultâneo com os resultados dos estatísticos simples, pois estes são muito elucidativos quanto às aparentes contradições térmicas, facilitando as comparações entre postos.

Em termos relativos, as situações de máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano evidenciaram a seguinte correspondência espacial/situação sinóptica:

- 1% ao posto de medição E
- 3% ao posto de medição A
- 16% ao posto de medição B
- 80% ao posto de medição C

Quadro XI - Ocorrências totais de máxima intensidade de ICU e sua relação com a situação sinóptica - 2004/2005

Tipo de situação sinóptica	Nº de ocorrências nos Postos de medição 2004/2005				
	A-125m	B-139m	C-148m	E-115m	Total
<b>AC Atl.</b> -anticiclone centrado no Atlântico	1	6	56	-	<b>63</b>
<b>C (AC Atl)</b> -depressão, associada a anticiclone Atlântico	-	1	13	1	<b>15</b>
<b>ac (AC Atl)</b> -curvatura anticiclónica, associada a anticiclone Atlântico	-	4	2	-	<b>6</b>
<b>AC Cont</b> -anticiclone centrado no continente	2	2	9	-	<b>13</b>
<b>nc</b> -curvatura neutra	-	3	-	-	<b>3</b>
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>80</b>	<b>1</b>	<b>100</b>

Os resultados aqui obtidos para o **posto C** revelam-se explícitos quando comparados com os dados estatísticos simples: este posto é, em média, um dos três postos mais frios (juntamente com E e G) e regista temperaturas diurnas relativamente baixas. No entanto, à noite, é o posto em que ocorre o maior número total de situações de máxima intensidade de ilha de calor, com maior frequência e de maior magnitude. Além disso, pode ainda acrescentar-se que as temperaturas mínimas do posto C são sempre ou quase sempre as mínimas mais altas de todo o conjunto. Essas ocorrências correspondem fundamentalmente a situações sinópticas de Anticiclone Atlântico (56%) mas também é o posto em que se verifica um

<sup>442</sup> Os resultados estatísticos simples caracterizadores do comportamento térmico de cada posto de medição já foram objecto de estudo em trabalho anterior: Balkestahl, L., Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, Porto, 2009.

número razoável de ocorrências, mesmo em situação de depressão barométrica (13%); apresenta também um número considerável em situação associada a Anticiclone Continental (9%), correspondendo-lhe no total 80% das situações de ICU noturna máxima. Revela valores de desvios entre +2,0°C e +7,2°C, sendo este último valor o máximo absoluto verificado neste estudo e correspondendo a situação de Anticiclone Continental.

Quanto aos dados estatísticos simples o **posto B** é, em média, o posto mais quente; e é não só o segundo a apresentar maior frequência de situações de máxima intensidade de ilha de calor mas também é recorrentemente aquele que apresenta anomalias térmicas com a segunda maior magnitude, logo a seguir ao posto C (revela valores de desvios entre +2,1°C e +5,6°C). É o posto que apresenta maior dispersão em termos de ligação às situações sinópticas.

O **posto A** apresenta somente 3 ocorrências de máxima intensidade de ilha de calor e revela valores de desvios entre +2,1° C e +3,7° C, sendo duas situações associadas a Anticiclone Continental, com desvios de valor baixo, e uma a Anticiclone Atlântico.

O único caso em que é o **posto E** a apresentar a máxima intensidade de ilha de calor, corresponde a uma situação sinóptica de baixa pressão na Península Ibérica, em margem de Anticiclone Atlântico (valor do desvio de +2,9 °C).

O **posto G** é claramente o mais frio, quer em média, quer em temperatura mínima; correspondem-lhe algumas situações de ilha de calor de magnitude muito baixa mas apresenta zero observações de máxima intensidade de ilha de calor urbano. O mesmo acontece com o **posto D**, no qual se verificam numerosas situações de ICU, inclusivamente de magnitude muitas vezes superior a +2°C, mas apresenta zero observações de máxima intensidade de ilha de calor urbano.

Na segunda fase de aquisição de dados desta investigação tentámos fazer a cobertura das etapas que ainda não tinham sido abordadas no período experimental, para ficarmos com uma visão do comportamento térmico dos diversos postos, ao longo das diferentes épocas do ano e da sua ligação com as diversas situações sinópticas. Dos 180 dias analisados, verificaram-se, de acordo com o critério preliminarmente assumido, um total de 145 situações de ocorrência de Ilha de Calor

Urbano noturna/diurna que foram selecionadas para tratamento estatístico<sup>443</sup>. À semelhança dos procedimentos seguidos na análise de resultados do período experimental, debruçamo-nos em primeiro lugar sobre os dados da ICU noturna, mas sem perder de vista a questão do perfil térmico diário.

Os quadros XII e XIII, correspondentes a diferentes períodos do ano, permitiram-nos sintetizar os resultados obtidos, quanto à distribuição espacial dos casos de máxima intensidade da ICU.

Quadro XII - Ocorrências de máxima intensidade de ICU por posto, relação com a situação sinóptica, período Primavera/Verão 2010

Tipo de situação Sinóptica*	Nº de ocorrências nos Postos de Medição									
	Maio/2010 a Julho/2010	A-125m	B-139m	C-148m	E-115m	G-141m	H-100m	I-130m	J-60m	Total
<b>AC Atl</b>	-	2	1	-	-	-	7	-	-	<b>10</b>
<b>C (AC Atl)</b>	-	-	5*	-	-	-	10*	-	-	<b>15</b>
<b>ac (AC Atl)</b>	-	-	1	-	-	-	7	-	-	<b>8</b>
<b>AC Cont</b>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	<b>1</b>
<b>nc</b>	-	-	10	-	-	-	2	-	-	<b>12</b>
<b>cc (AC Atl)</b>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	<b>1</b>
<b>Total</b>	-	<b>2</b>	<b>17</b>	-	-	-	<b>28</b>	-	-	<b>47</b>

\*Descodificação das siglas idêntica à utilizada no Quadro XI, exceto: **cc (AC Atl)**-curvatura ciclónica, associada a anticiclone Atlântico.

Em termos relativos, no período de Primavera/Verão 2010 (quadro XII), as situações de máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano evidenciaram a seguinte correspondência espacial:

- 4,2% ao posto de medição B
- 36,2% ao posto de medição C
- 59,6% ao posto de medição I

Os resultados aqui obtidos para os **postos I e C** revelam-se explícitos quando comparados com os dados estatísticos simples: o posto I é em média o mais quente, exceto no período de Outono/Inverno, em que ocupa somente o 3º lugar; quanto às temperaturas máximas, ocupa invariavelmente o meio da tabela ordenada; é, no entanto, o posto onde ocorrem quase 60% de todas as ocorrências

<sup>443</sup> Balkestahl, L., Monteiro, A., Góis, J., “Estudos complementares sobre a Frequência de Ocorrências da Ilha de Calor Urbano em Paranhos, Porto – Interrelações com distintas Situações Sinópticas.” Comunicação ao 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia/3º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo Agosto/Setembro de 2011.

de máxima magnitude da ICU noturna. O posto C é, em média, um dos três postos mais frios (juntamente com E e G) e regista temperaturas diurnas relativamente baixas; no entanto, à noite, é o posto em que ocorre, a seguir ao posto I, o maior número de situações de máxima intensidade de ilha de calor (36%).

Quanto aos dados estatísticos simples, o **posto B** é dos mais quentes em quase todas as situações: é sempre o mais quente em termos de temperaturas máximas; é sempre o segundo mais quente, em média, exceto no período de Outono/Inverno, em que ocupa somente o 4º lugar na tabela ordenada; e quase sempre dos mais quente em termos de temperaturas mínimas, em que ocupa o 2º ou 3º lugar da tabela ordenada, exceto no período de Outono/Inverno, em que ocupa somente o 5º lugar. É o terceiro a apresentar maior frequência de situações de máxima intensidade de ilha de calor, mas somente cerca de 4% das ocorrências.

O posto G é claramente aquele que, em todas as estações, revela as mínimas mais baixas e apresenta zero observações de máxima intensidade de ilha de calor urbano. Os postos A, E, G, H e J todos apresentam zero observações de máxima intensidade de ilha de calor urbano.

Embora até agora a nossa preocupação fundamental tenha residido na caracterização da ilha de calor sob o ponto de vista da correspondência espacial das observações da ICU noturna, já iniciámos a abordagem à sua componente temporal, inserindo na tabela 9 (rever pág. 218 na secção “Tratamento dos dados nos postos fixos”) referências à hora de início e duração da ICU noturna, assim como as correspondentes situações sinópticas e dados sobre direção e velocidade do vento. Continuaremos, pois, a aprofundar a vertente temporal do desenvolvimento diário da ICU, associada à inter-relação com as respetivas situações sinópticas.

Em termos relativos, no período de Verão/Outono 2010 (quadro XIII), as situações de máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano evidenciaram a seguinte correspondência espacial:

- 1% ao posto de medição H
- 5,1% ao posto de medição B
- 13,3% ao posto de medição E
- 14,3% ao posto de medição C
- 66,3% ao posto de medição I

Quadro XIII - Ocorrências de máxima intensidade de ICU por posto, relação com a situação sinóptica, período Verão/Outono 2010

Tipo de situação sinóptica*	Nº de ocorrências nos Postos de Medição									
	Julho/2010 a Nov/2010	A-125m	B-139m	C-148m	E-115m	G-141m	H-100m	I-130m	J-60m	Total
<b>AC Atl</b>			1	1	2			5		<b>9</b>
<b>C (AC Atl)</b>			1	5	2			17		<b>25</b>
<b>ac (AC Atl)</b>			1	1	3			11		<b>16</b>
<b>AC Cont</b>				1	2			2		<b>5</b>
<b>nc</b>				3	1			15		<b>19</b>
<b>cc (Ac Atl)</b>			2	3	3		1	15		<b>24</b>
<b>Total</b>			<b>5</b>	<b>14</b>	<b>13</b>		<b>1</b>	<b>65</b>		<b>98</b>

\*Descodificação das siglas idêntica à utilizada no Quadro XI, exceto: **cc (AC Atl)**-curvatura ciclónica, associada a anticiclone Atlântico.

#### Posto I-Faria Guimarães

- em média, é o posto mais quente, logo seguido do posto B, ambos destacados relativamente aos restantes (à semelhança de quase todos os outros períodos sazonais considerados);
- regista habitualmente temperaturas elevadas, diurnas e noturnas;
- apresenta temperaturas mínimas moderadas (exceto no período Outono/Inverno);
- em termos de temperatura máxima, ocupa somente o 5º lugar, depois dos postos B, H, G e A;
- em período noturno, é o posto em que ocorrem, com maior frequência e de maior magnitude, os episódios de máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano (65/98);
- revela valores de desvios  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$  entre +2,0 °C e +9,0 °C.

#### Posto C-Costa Cabral

- em média, um dos postos mais frios (juntamente com E e G);
- regista temperaturas diurnas menos elevadas que a maioria dos postos, à semelhança de E;
- apresenta a 3ª temperatura máxima mais baixa do conjunto em observação, a seguir ao posto E;
- regista uma temperatura mínima relativamente elevada em comparação com os restantes pontos do conjunto;



- é o segundo posto a apresentar maior frequência de situações de máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano nocturna (14/98) e apresenta a segunda maior magnitude;
- revela valores de desvios  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$  entre +2,5 °C e +7,6 °C.

#### Posto B-Aval de Baixo

- quanto aos dados estatísticos simples, o posto B é, em média, o segundo posto mais quente, imediatamente a seguir ao posto I;
- regista a temperatura máxima mais elevada do conjunto de todos os postos, logo seguido do ponto H;
- a seguir ao posto E e J, apresenta a 3º temperatura mínima mais elevada;
- apresenta somente 5 ocorrências de máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano nocturna (5/98);
- as 5 ocorrências de  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$  de ICU verificaram-se: uma perante Anticiclone Continental, e as restantes com curvatura ciclónica de margem de Anticiclone Atlântico, com calma ou ventos fracos;
- revela valores de desvios  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$  entre +2,7 °C e +7,2 °C.

#### Posto E-Praça Nove de Abril (Arca d'Água)

- quanto aos dados estatísticos simples, o posto E é, em média, o menos quente, imediatamente a seguir à estação de referência Aeroporto;
- regista a temperatura máxima mais baixa do conjunto de todos os postos fixos, logo a seguir à da estação de referência;
- apresenta a temperatura mínima mais elevada de todos os postos, inclusivamente de quase +10° C;
- verificam-se 13 ocorrências de  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$ , concentradas no tempo entre 09/10 e 04/11-2010 (mas de grande dispersão em relação aos tipos de situações sinópticas associadas);
- as 13 ocorrências de  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$  de ICU verificaram-se perante estados de tempo muito diversificados, frequentemente associados a calma ou ventos fracos;
- revela valores de desvios  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$  entre +2,7 °C e +5,9 °C.

#### Posto H-Largo do Padrão norte

- o posto H revela uma única ocorrência de ICU noturna ( $(\Delta\Theta)_u$ )<sub>max</sub>, com desvio térmico de magnitude considerável (+6,7 °C, em 04/08-2010 às 03h00);
- apresenta uma temperatura mínima relativamente baixa neste período (+8,3°C);
- é, em média, um posto pouco quente a meio da tabela, entre os postos I, B, A, J e os restantes;
- apresenta a segunda temperatura máxima, depois do posto B;

#### Postos A (R. Tejo), G (Covelo) e J (S. João de Brito):

- não apresentam qualquer ocorrência de máxima intensidade de ICU noturna, segundo o critério definido;
- o posto A é, em média, o 3º mais quente e apresenta a 4ª máxima mais elevada;
- o posto G é, em média, o segundo posto mais frio, a seguir ao posto E e continua a apresentar a temperatura mínima mais baixa de todo o conjunto, inclusivamente inferior à da estação de referência;
- o posto J constitui, em média, um dos postos de temperatura mais moderada de todo o conjunto (+20,3 °C) mas apresenta uma temperatura mínima relativamente elevada (+9,2°C).

Os postos de medição que na segunda fase de aquisição de informação apresentam as maiores frequência e magnitude de máxima intensidade de ICU noturna são os postos I-Faria Guimarães norte e C-Costa Cabral, o que é expectável e está claramente relacionado com a elevada densidade de edifícios e dos mais baixos *svf* da área em estudo. Os resultados obtidos para os **postos I e C** revelam algumas semelhanças com o período anteriormente caracterizado, embora neste caso o posto C reduza substancialmente (em valor relativo) as ocorrências de máxima magnitude da ICU. Este último posto, apesar de continuar a ser um dos postos mais frios, em média, apresenta a segunda maior frequência e magnitude de máxima intensidade de ICU noturna, o que está claramente relacionado com a elevada densidade de edifícios e o baixo *svf*.

Contrariamente ao expectável, dada a sua localização/envolvente (baixo valor de  $svf$  e elevada  $D_B$ ) o posto H apresenta somente uma ocorrência de máxima intensidade de ICU noturna; este facto deve estar relacionado com o fator condicionante da proximidade ao rio Douro (cerca de 580 m) e com a susceptibilidade do posto aos ventos de quadrante Oeste e Sul, situações em que se verifica claramente uma descida no valor dos desvios, habitualmente elevados.

O facto de os postos A, G e J apresentarem 0% de ocorrências de máxima intensidade de ICU noturna deve-se provavelmente a diferentes fatores condicionantes, em parte relacionados com os elevados valores de  $svf$  e de baixa  $D_B$ . No caso do posto J, além da baixa densidade construtiva e do razoavelmente elevado  $svf$ , acresce ainda que este se localiza somente a cerca de 2,5 Km do mar (em linha reta), sofrendo provavelmente uma influência acentuada das brisas marítimas que contribuem para fazer baixar e/ou anular o valor dos desvios térmicos.

Quanto ao Posto E, apesar de se inserir numa área de elevada densidade construtiva, está nas proximidades de um parque arborizado de dimensão razoável, que contribui muito provavelmente para moderar os valores dos desvios térmicos (entre +2,7 °C e +5,9 °C). As treze "surpreendentes" ocorrências de  $((\Delta\Theta)_u)_{max}$  noturna estão concentradas no tempo, entre 09/10 e 04/11, claramente num período de transição estacional, em que começam a verificar-se situações de acentuado arrefecimento noturno. Esta situação pode apontar para causas de inércia térmica pela proximidade ao parque arbóreo da Praça de 9 de Abril, mas também para variação de exposição solar.

Os dados destes quadros síntese, por períodos sazonais, permitiram-nos ainda constatar que na área de estudo existe uma relação explícita entre a máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano e as respetivas situações sinópticas, conforme se pode verificar pela análise que se segue.

Na época do ano em análise, constatou-se que o maior número de ocorrências de máxima intensidade de ICU noturna  $((\Delta\Theta)_u)_{max}$  corresponde a

situações sinópticas de nítida estabilidade ou de relativa estabilidade<sup>444</sup>, perfazendo um total de setenta e três casos, nomeadamente:

- nove situações de Anticiclone, centrado no Atlântico (AC Atl);
- dezasseis situações de curvatura anticiclónica (ac, AC Atl);
- dezanove situações de curvatura neutra (nc, AC Atl);
- cinco situação de Anticiclone Continental (AC Cont, na realidade prolongamento do AC Atl);
- vinte e quatro situação de curvatura ciclónica (cc, AC Atl).

Ocorreram ainda vinte e cinco casos de máxima intensidade de ICU nocturna  $((\Delta\Theta)_u)_{\max}$  sob depressão barométrica (que correspondem na generalidade a baixas pressões de origem térmica).

Apresentam-se de seguida, com mais pormenor, as situações específicas e os respetivos exemplos acompanhados de cartas sinópticas:

i) Situações sinópticas de estabilidade – nove situações de AC Atl observadas (exemplo figura 68A):

- centrado no Atlântico, geralmente de grande desenvolvimento transversal, fundamentalmente com ventos de Norte e ar de trajeto marítimo;
- nestes casos os desvios térmicos variam entre 2,4 °C e 9,0 °C;
- a ICU tem duração temporal (2h até 8h, dependendo da direção e velocidade do vento) e extensão espacial muito variáveis.

ii) Situações sinópticas de estabilidade – dezasseis situações de ac (AC Atl) observadas (exemplo figura 68B):

- centrado no Atlântico, grande desenvolvimento longitudinal, prolongado desde Açores até Ilhas Britânicas, intensificado no Golfo Biscaia, com ventos por vezes já de tendência de trajeto continental;
- nestes casos os desvios térmicos variam entre 2,3 °C e 7,8 °C;

---

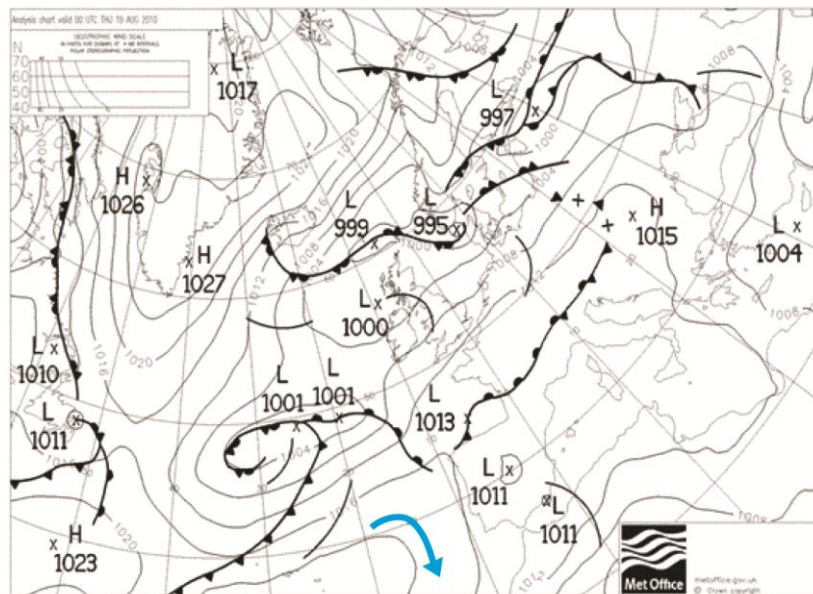
<sup>444</sup> Ventura, J. E. ,“Apesar desta oposição entre a circulação zonal predominantemente anticiclónica no Verão e depressionária no Inverno, no total anual a circulação zonal é responsável por um número de dias anticiclónicos superior aos depressionários.” - Influência das gotas de ar frio no ritmo e na repartição espacial das chuvas em Portugal, Relatório nº 24, Centro de Estudos geográficos, INIC, Lisboa, 1986, pág. 94.



iii) Situações sinóticas de estabilidade – dezanove situações de nc (AC Atl):

- geralmente associado a AC centrado no Atlântico, com depressão nas proximidades da Península Ibérica;
- desvios térmicos variam entre 2,2 °C e 7,6 °C (respectivamente com massa de ar de trajeto tipicamente marítimo (figura 69 C) ou continental (figura 69D);
- a ICU tem duração temporal e extensão espacial muito variáveis (1h até 10h);
- desvios de valor mais elevado com massa de ar de trajeto continental (norte de África e/ou Mediterrâneo).

C)



D)

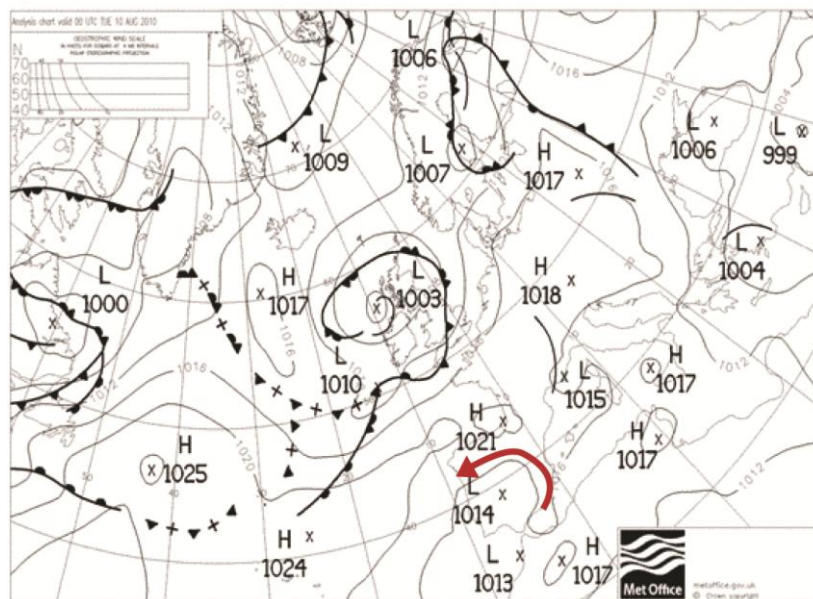


Figura 69 – Massa de ar com: C- trajeto marítimo; D- trajeto continental.

iv) Situações sinópticas de estabilidade – cinco situações de AC Cont:

As poucas ocorrências de ICU nocturna  $((\Delta\theta)_u)_{\max}$  deste período, perante Anticiclone Continental, contrariam os resultados obtidos no período 2004/2005: expectavelmente ocorre a formação de ICU com calma ou vento fraco ( $<3\text{m/s}$ ), mas com valores de desvios relativamente baixos ( $3,1\text{ }^\circ\text{C}$  a  $5,5\text{ }^\circ\text{C}$ ) em comparação com os dados anteriores (figura 70).

Creemos dever-se este facto à posição da alta pressão em margem do Anticiclone principal marítimo ou no seu prolongamento, favorecendo a circulação de ar de trajeto marítimo.

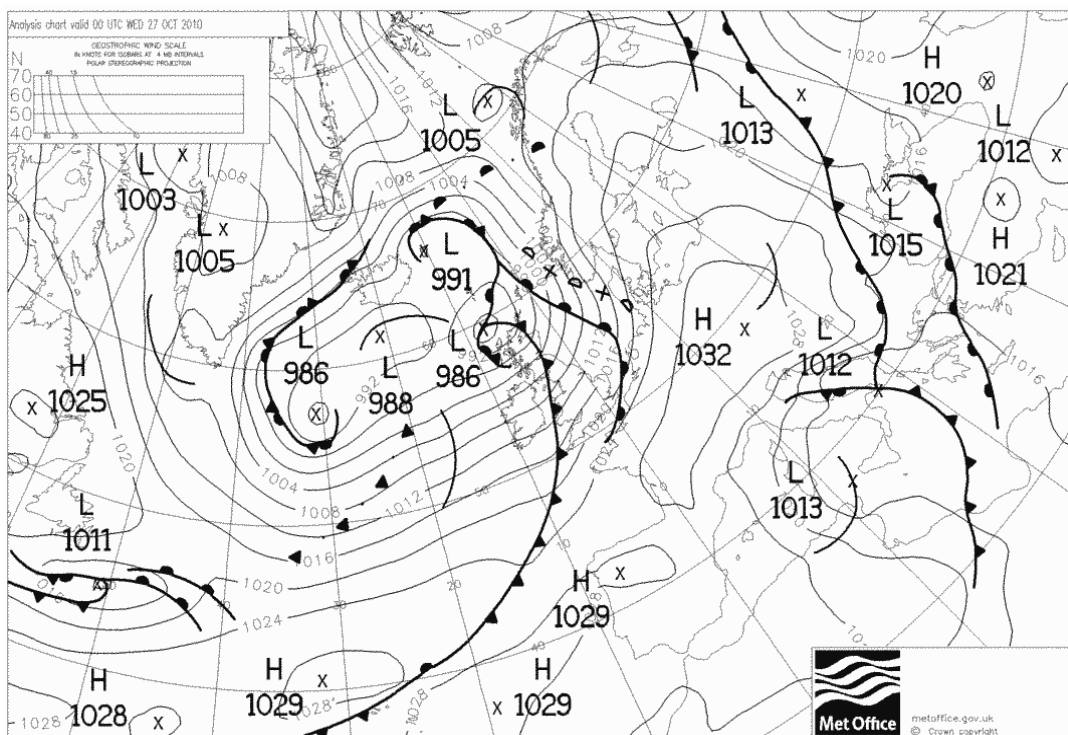


Figura 70 - Situações sinópticas de estabilidade, com AC Cont.

v) Situações sinópticas de instabilidade – vinte e cinco situações de C (AC Atl)

v.i) com C localizada sobre a Península Ibérica (figura 71) e margem de AC junto à costa (dezasseis casos):

- origina ventos de trajeto nitidamente marítimo;
- nestes casos os desvios térmicos variam entre 2,0 °C e 5,3 °C;
- ICU tem duração temporal variável (1h até 10h), dependendo da direção e velocidade do vento) e pode ser espacialmente extensa.

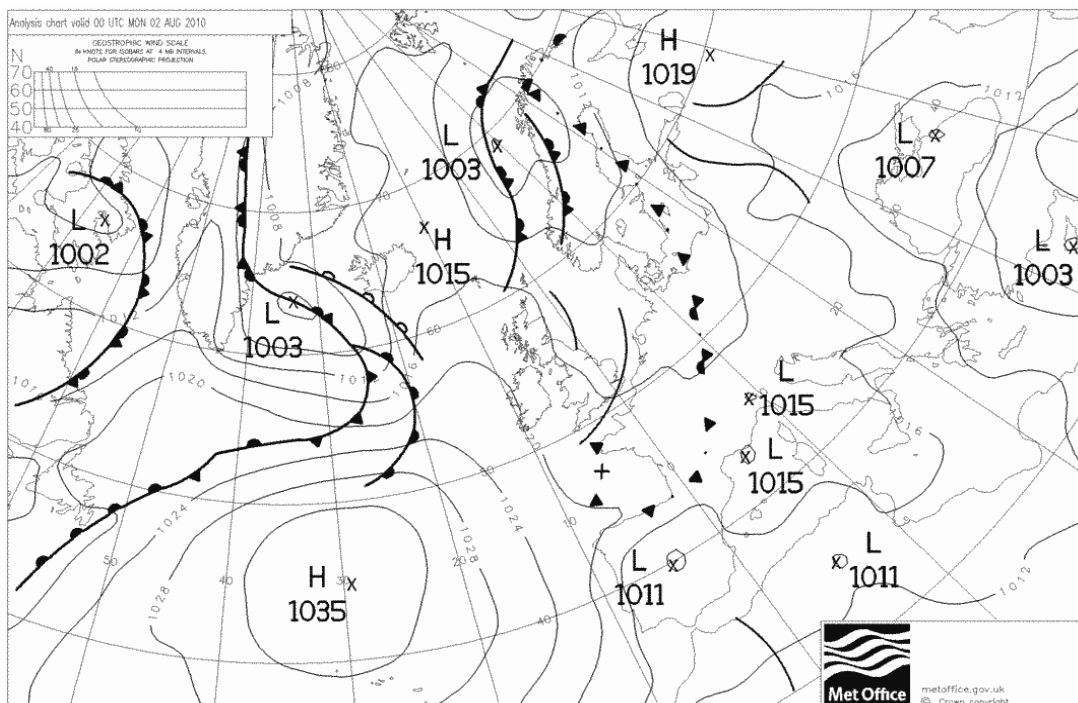


Figura 71 - Situações sinópticas de instabilidade, com C (AC Atl), em que a depressão está localizada sobre a Península Ibérica.



v.ii) com C localizada no ou a SW da Península Ibérica, nove casos (figura 72):

- origina calmaria ou ventos fracos de trajeto continental, muitas vezes provenientes do Mediterrâneo ou do norte de África;
- nestes casos os desvios térmicos variam entre 3,9 °C e 8,5 °C;
- a ICU tem duração temporal variável (4h até 10h), dependendo da direção e velocidade do vento) e pode ser espacialmente extensa.

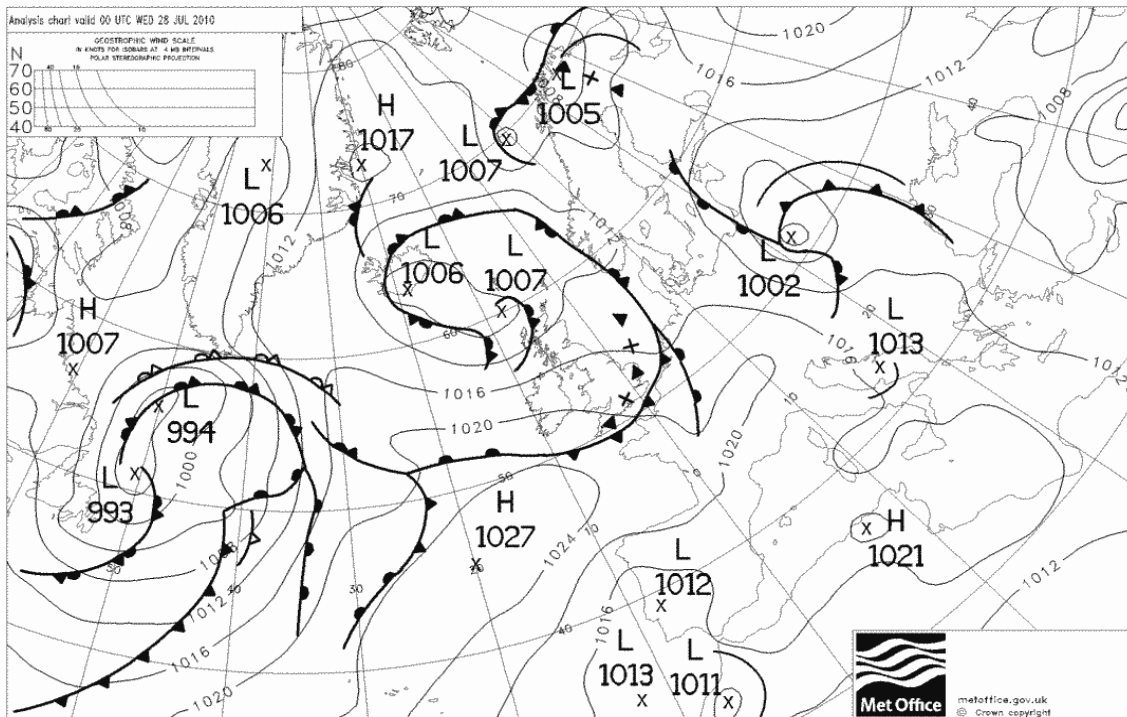


Figura 72 - Situações sinóticas de instabilidade, com C (AC Atl), em que a depressão está localizada no SW ou a SW da Península Ibérica.

vi) Situações sinópticas de relativa estabilidade (figura 73) – vinte e quatro situações de cc (AC Atl):

- ocorre recorrentemente em situação de calmaria ou ventos fracos;
- os desvios térmicos variam entre 2,0 °C e 8,2 °C;
- a ICU tem duração temporal variável (1h até 10h), dependendo da direção e velocidade do vento) e pode ser espacialmente extensa.

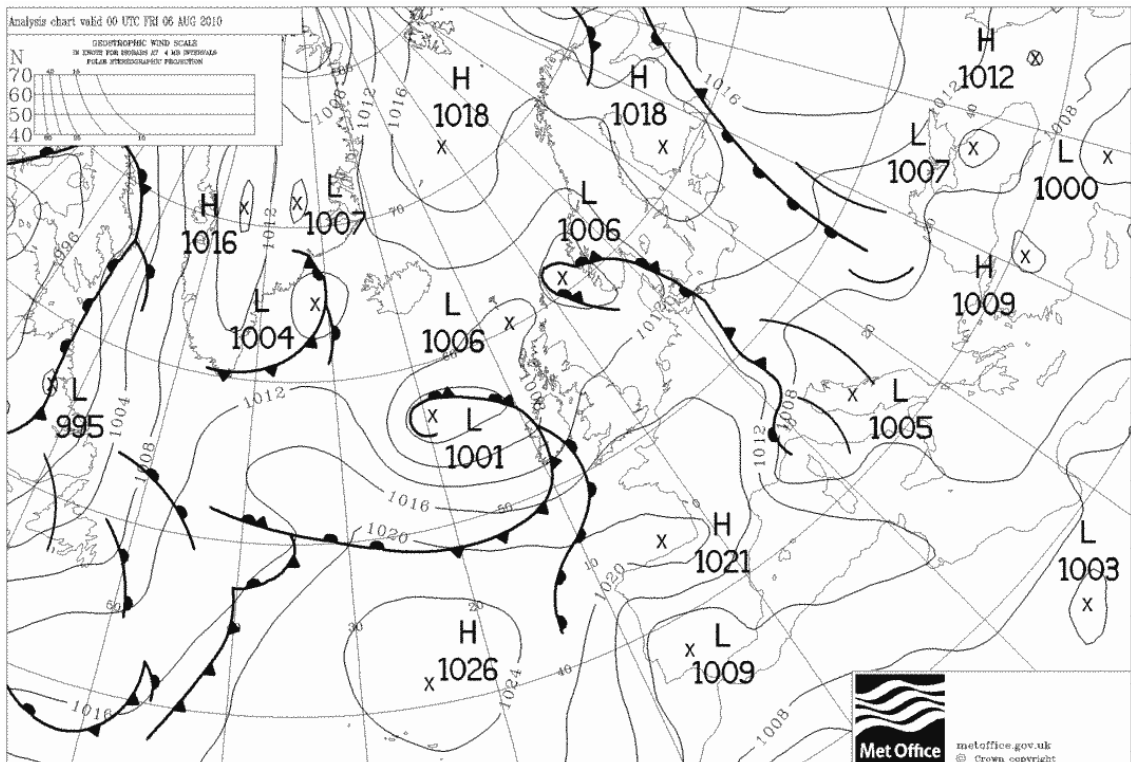


Figura 73 - Situações sinópticas de relativa estabilidade, com cc (AC Atl).

Em síntese, nos períodos considerados, quer a magnitude, quer a extensão temporal da Ilha de Calor Urbano na área de estudo são muito variáveis (2,0 °C a 9,0 °C); os episódios de ICU podem apresentar uma duração de aproximadamente entre 1 hora até 10 horas, com valores de magnitude muito diversos.

Os episódios de ICU de maior extensão territorial nem sempre coincidem com os de maior extensão temporal. Estes, por sua vez, correspondem geralmente às magnitudes mais elevadas.

Quer a magnitude da ICU, quer a sua duração temporal, estão diretamente relacionadas com a situação sinóptica e com a velocidade do vento. Mas esta última está mais dependente da velocidade do vento.

O comportamento individual dos postos apresenta, na generalidade, diferenças sazonais consideráveis, quer ao nível da duração temporal, quer da extensão espacial:

- Mantém-se um grande número de ocorrências de ICU perante situações sinópticas de estabilidade;
- mas no último período analisado aumenta consideravelmente o número de ocorrências em situação de instabilidade ou de relativa estabilidade, uma vez que neste período, muitas das situações sinópticas de Centro Depressionário, são de origem térmica e não de origem dinâmica;
- no geral, a duração temporal da ICU revela uma persistência para além do esperado.

#### **1.4.4. Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano**

##### **Postos fixos - período experimental, estação de referência Porto-Aeroporto**

No sentido de tentar averiguar se ocorrem recorrentemente padrões temporais característicos na Ilha de Calor Urbano da área em estudo, efetuámos a análise descritiva da média dos desvios térmicos da totalidade dos postos fixos, hora a hora, para períodos de vinte e quatro horas. A partir da respetiva tabela com os cálculos das médias dos desvios térmicos  $(\Delta\theta)_U$  (em anexo 3 POSTOS FIXOS 2004\_2005, ficheiro Tab\_1\_2\_3\_temperatura\_potencial, ver Tabelas e Gráficos) foi possível produzir diversos gráficos para períodos por nós considerados significativos (exemplos Gráfico 9, 10 e 11). Esses gráficos revelam uma imagem média, atenuada, das características globais da variação temporal diária da intensidade das anomalias térmicas em geral, e da intensidade da ilha de calor em particular, evidenciando um padrão temporal que se repete diariamente, durante os períodos considerados (o recurso à produção de gráficos em épocas do ano distintas permite ainda evidenciar contrastes sazonais).

Neste tipo de gráfico, quanto menor for o número de dias representados (exemplo gráficos 9 e 10), maior será o pormenor da evolução diária média das anomalias térmicas, embora se perca a visão de conjunto que permite caracterizar períodos sazonais diferentes. Quanto maior for o número de dias representados nos gráficos (exemplo gráfico 11), menor será o pormenor e mais diluídas se tornam as médias dos desvios; mas em compensação, obtém-se uma perspetiva de conjunto da evolução média horária da ICU para períodos mais abrangentes, por exemplo, mensais ou sazonais. Concretamente, o gráfico 11, colocando em confronto dois períodos com a mesma duração, um de verão e outro de inverno, permite comparar as anomalias térmicas típicas de cada um dos períodos, evidenciando assim um padrão temporal que, apesar de se repetir diariamente, mostra algumas diferenças sazonais significativas, quer em termos de duração, quer de magnitude.

Relativamente à incidência temporal sazonal das diversas situações de máxima intensidade da ICU, pode salientar-se o seguinte: não se evidenciam, nem por excesso nem por defeito, meses manifestamente detentores de um número anormal de situações de máxima intensidade de ICU, à exceção de Setembro de 2004, que apresenta o maior número de ocorrências, e de Outubro de 2004, que apresenta apenas 8 ocorrências.

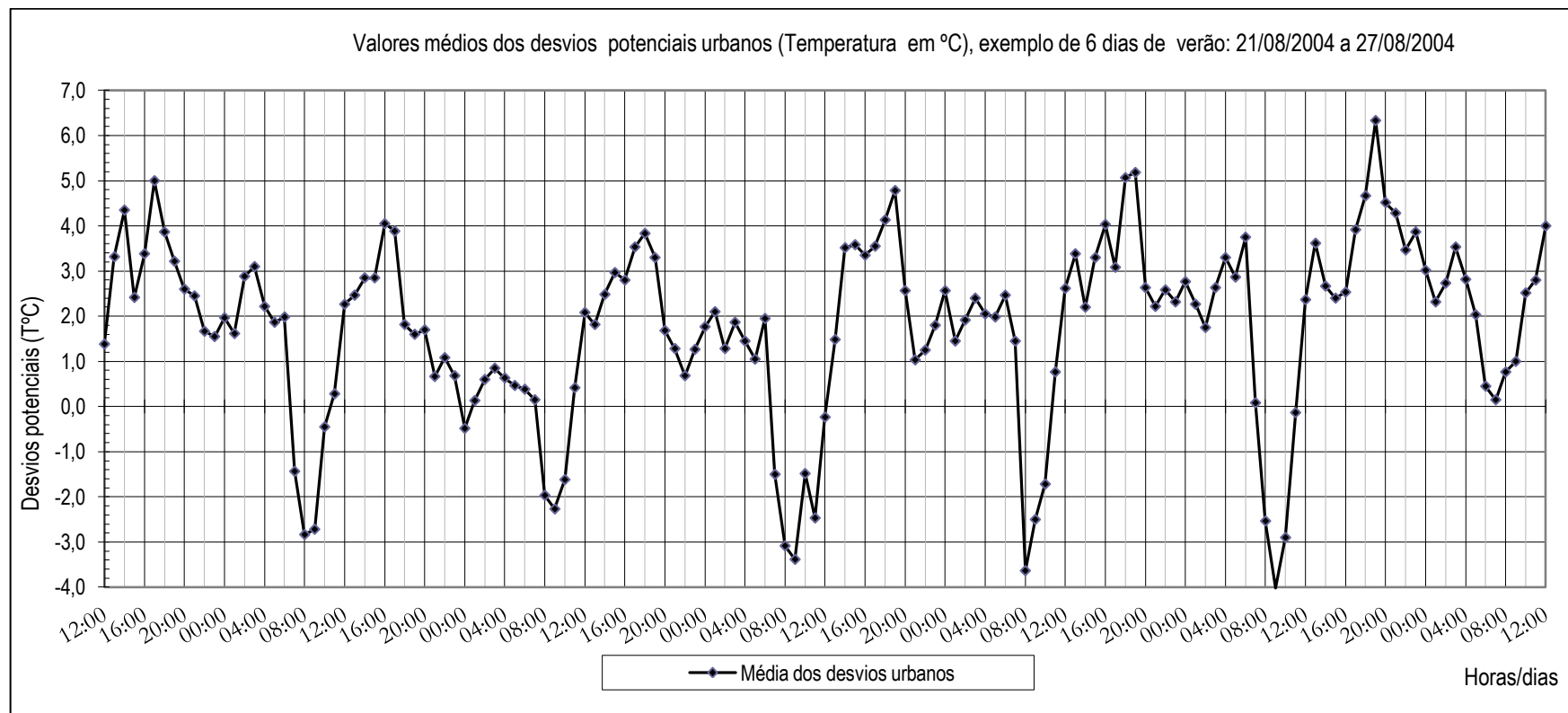


Gráfico 9 - Médias horárias dos desvios urbanos ( $\Delta\theta$  °C), exemplo de 6 dias de verão, estação de referência Porto-Aeroporto.

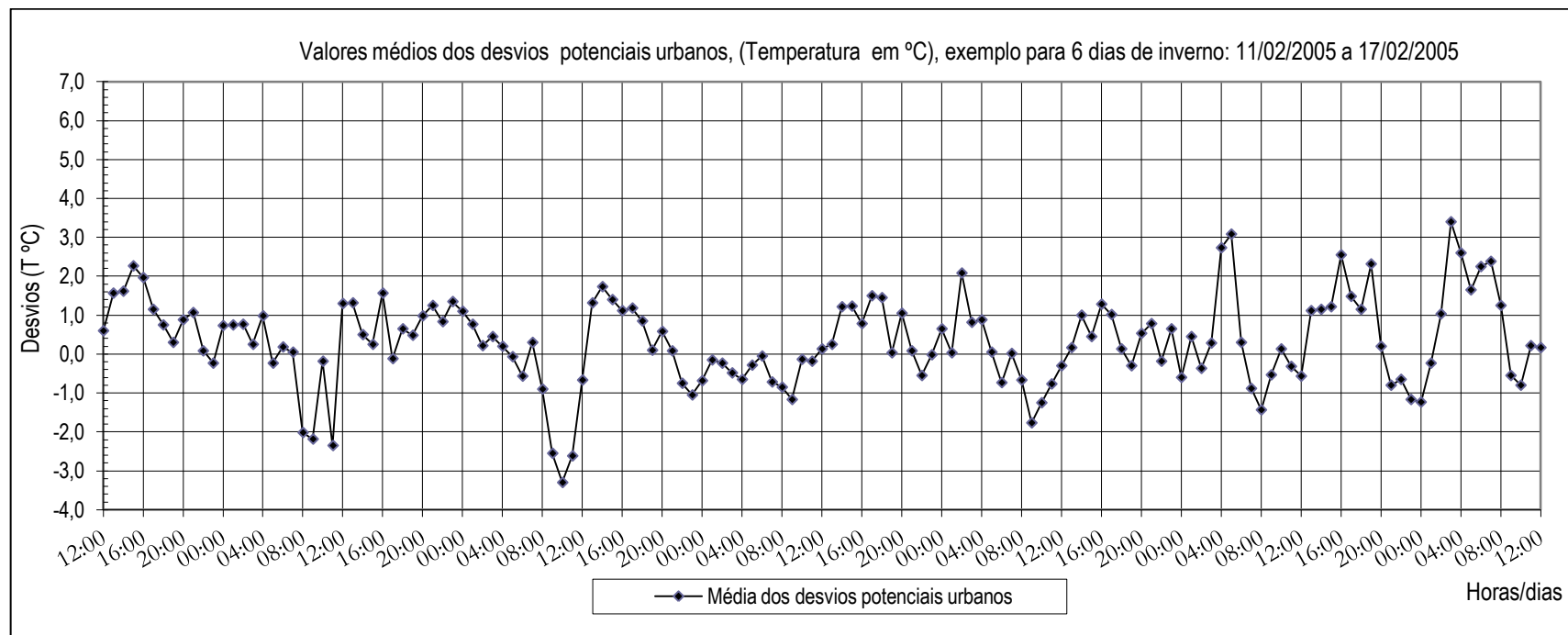


Gráfico 10 - Médias horárias dos desvios urbanos ( $\Delta\theta$  °C), exemplo de 6 dias de inverno, estação de referência Porto-Aeroporto.

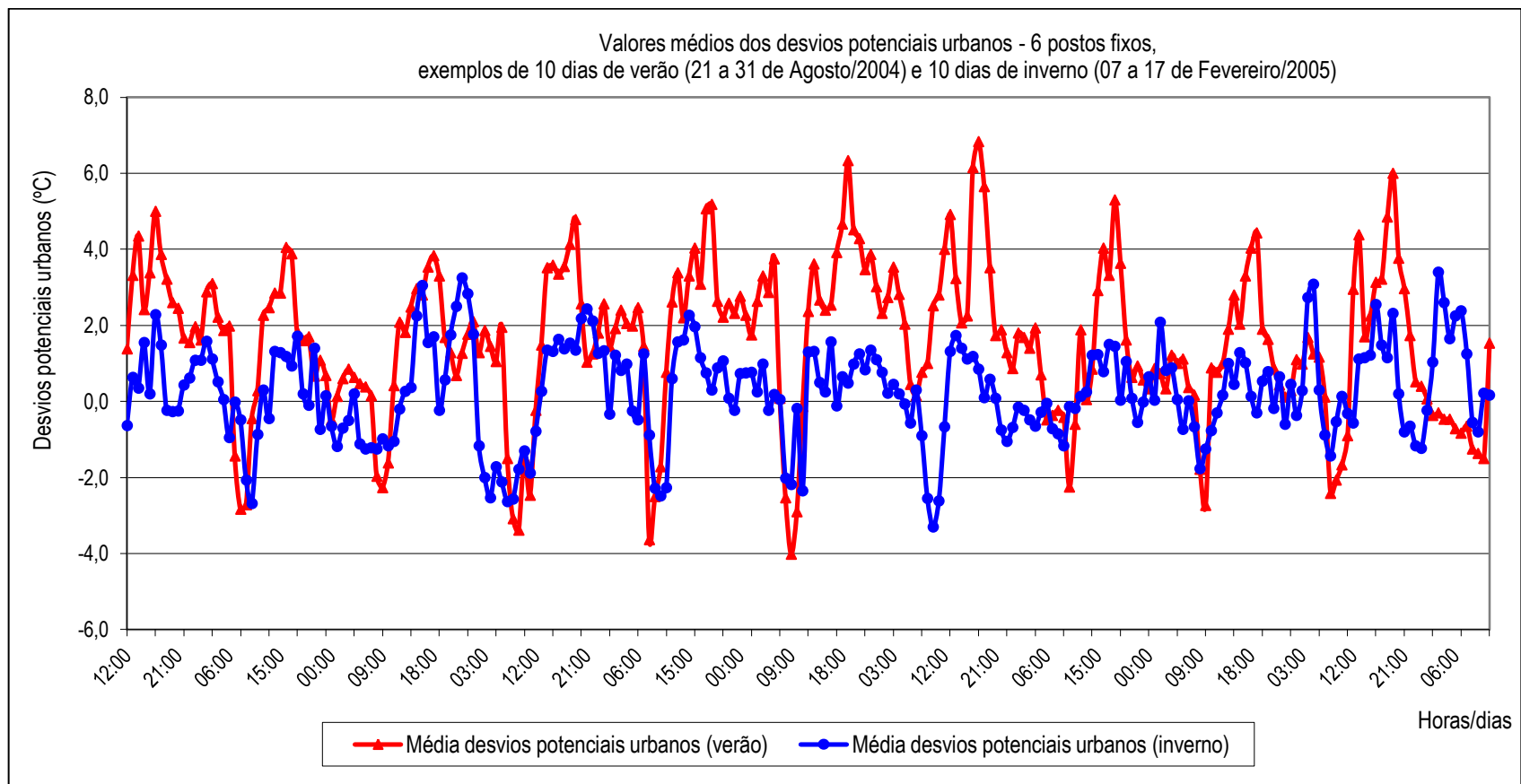


Gráfico 11 - Médias horárias dos desvios urbanos ( $\Delta\theta$  °C), exemplo de 10 dias de verão e 10 dias de inverno, estação de referência Porto-Aeroporto.

Quanto à magnitude da ICU noturna, parece ser evidente que os desvios de valor mais elevado ocorrem preponderantemente nos meses de Verão e início de Outono (8% de desvios superiores a +5°C entre Agosto e Outubro *inclusive*), enquanto os meses habitualmente mais frios apresentam poucas ocorrências (5% de desvios superiores a +5°C entre Novembro e Fevereiro, *inclusive*).

Quanto à evolução temporal noturna na maior parte das ocorrências verificou-se a situação expectável: a ICU de maior intensidade ocorre cerca de 3 a 5 horas após o pôr-do-sol e atenua-se mais ou menos lentamente após uma a duas horas depois do seu aparecimento, mantendo valores baixos mas constantes. No entanto, verificaram-se casos em que a ICU, dependendo da direção e velocidade do vento, pode prolongar-se no tempo, até às 02h00 ou mesmo 05h00, com valores máximos a essas horas tardias, o que normalmente só se verifica em situações de calma ou vento muito fraco. Esta situação pode ser ilustrada com o exemplo da noite de 06/09-2004, em que a máxima intensidade da ICU teoricamente deveria ocorrer entre as 23h00 e a 01h00, mas efetivamente ocorreu por volta das 04h00/05h00; situação idêntica ocorreu no dia 24/09-2004, em que embora o valor máximo se tenha verificado por volta das 20h00, a ICU prolongou-se até às 05h00, com valores muito significativos.

No que se refere às anomalias térmicas diurnas, constatou-se que após o nascer do sol, durante um período variável (de acordo com a estação do ano, 4 a 6 horas), os desvios térmicos assumem valores muito baixos, a maior parte das vezes negativos; a intensidade da ICU diurna é elevada, sobretudo entre as 16h00/18h00, antes do pôr-do-sol.

A partir das tabelas das médias horárias/diárias (em anexo 3, POSTOS FIXOS 2004\_2005, Tab\_5\_ICU Ciclos\_24\_Horas\_estacoes\_ano), por períodos sazonais (médias dos desvios relativas ao conjunto de todos os dias, em cada hora e de cada dia, em ciclos de 24 horas), foram construídos gráficos que confirmam que as anomalias térmicas são mais intensas durante o dia, entre o meio e o final da tarde, em qualquer época do ano (Gráfico 12). Durante a noite e a madrugada, as anomalias térmicas reduzem-se para um nível mais ou menos constante e de valores relativamente baixos, formando uma espécie de um patamar uniforme que apresenta valores mais elevados no verão e mais baixos nos períodos de outono e inverno. Durante um período variável após o nascer do sol (4 a 6 horas, dependendo



da época do ano), as anomalias térmicas assumem valores bastante baixos, na generalidade negativos, revelando contrastes sazonais acentuados e pondo em evidência a forte variabilidade da ICU diurna/noturna vs “ilha de frio” e respetivas magnitudes médias.

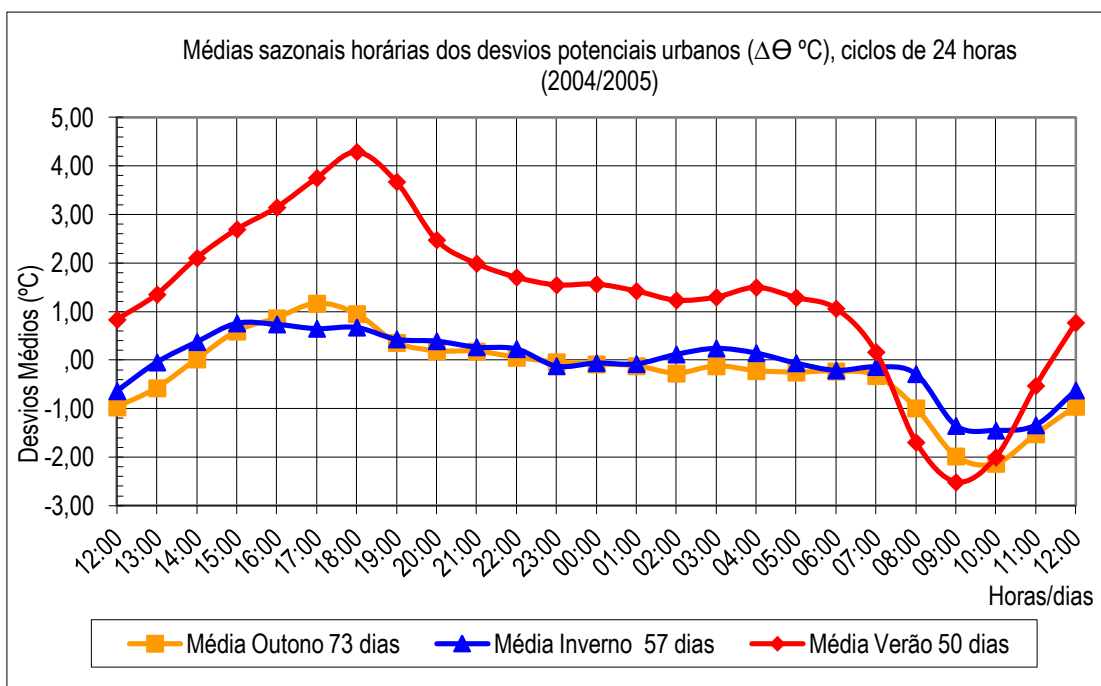


Gráfico 12 – Contrastes sazonais dos desvios médios horários (cálculos efetuados para os períodos em estudo, entre 2004 e 2005, relativamente à estação de Porto-Aeroporto).

Quando comparados com a literatura clássica<sup>445</sup> sobre o tema, em áreas urbanas de latitudes médias<sup>446</sup>, os resultados relativos às características dominantes da ICU diurna revelaram-se relativamente surpreendentes em dois aspetos:

- i) Por um lado, a acentuada intensidade da ICU diurna na generalidade dos postos, mas particularmente no que se refere ao posto B-Aval de Baixo;
- ii) Por outro lado, o desenvolvimento anómalo da ICU ao longo do período diurno, isto é, em evidente desacordo com a ideia de que “a intensidade da ilha de

<sup>445</sup> C f. Oke, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 290: “Given reasonably constant weather **the heat island intensity varies in a recognizable way through the day**. The most notable feature is the reduced cooling in the urban area in the late afternoon and evening resulting in a higher nocturnal minimum temperature in the city. The urban area is also slower to warm-up after sun rise”.

<sup>446</sup> Oke, T.R., Boundary layer climates, Routledge, London and New York, 1987, pág. 291 :”Urban heat islands have also been observed in low and high latitude settlements but there are insufficient data to establish relationships similar ...”

calor varia de uma forma reconhecível durante o dia” (Oke, 1987, pág 290), como se pode ver pelo gráfico número 13.

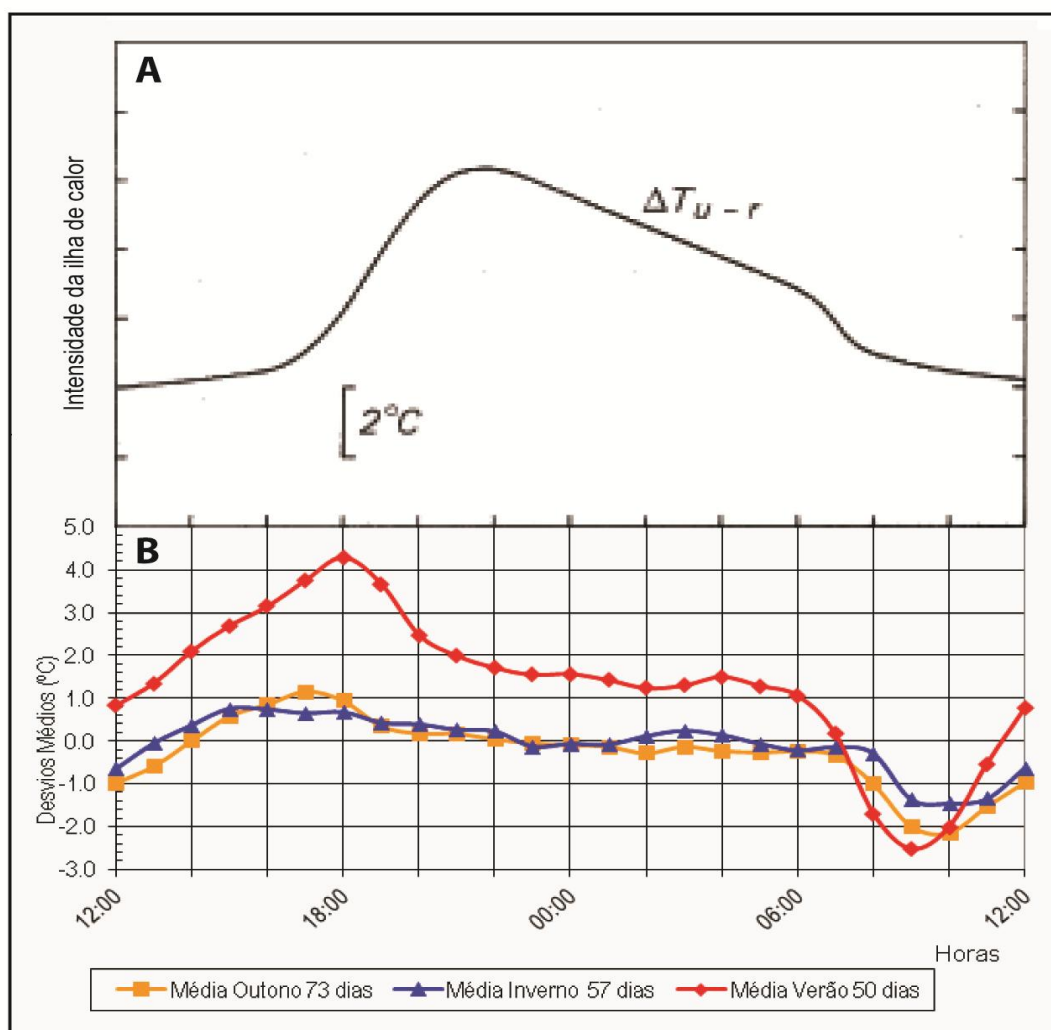


Gráfico 13 – Comparação entre o esquema teórico de variação da ICU e os contrastes sazonais dos desvios médios horários da área de estudo: A - Variação temporal típica da intensidade da Ilha de Calor Urbano ( $\Delta T_{U-r}$ ), adaptado de T.R.Oke, 1978/1987; B - Anomalias térmicas médias da área de estudo, por períodos sazonais, 2004/2005 (desvios ao Aeroporto).

Face aos resultados inesperados<sup>447</sup> das características da ICU diurna<sup>448</sup>, pensou-se que seria conveniente reanalisar alguns dados/resultados e refletir sobre uma eventual alteração de estratégia, sobretudo relativamente às duas questões

<sup>447</sup> Não tão inesperados se tomados em conta estudos mais ou menos recentes levados a cabo em cidades de latitudes relativamente baixas, subtropicais: Fujibe, Fumiaki, “Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring”, The 7<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan, 2009.

<sup>448</sup> Balkestahl, L., “Características Dominantes da Ilha de Calor Diurna (Paranhos-Porto)”, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 2, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Julho 2010, pág. 11-21, ISSN 1647-6506.

levantadas pelo comportamento das anomalias térmicas diurnas: desde logo, a questão do posto B-Aval Baixo e o desenvolvimento da ICU ao longo do período diurno, para os postos em geral.

No sentido de nos certificarmos da verdadeira dimensão dos efeitos provocados pela eventual contaminação da amostra, foram trabalhados de novo, mas agora também individualmente, os dados dos 6 postos fixos, de acordo com a metodologia anteriormente enunciada. Para facilitar a comparação dos resultados, foram produzidos dois tipos de gráficos:

- vários gráficos de síntese do comportamento térmico individual dos 6 postos fixos (exemplo Gráfico 14), em diversos períodos;
- dois gráficos, um do período de verão e outro do período de inverno, relativos à média dos desvios térmicos, calculados com e sem o posto B-Aval de Baixo (Gráficos 15 e 16).

A re-análise dos dados permitiu concluir que:

- o contributo do posto B para a elevação das médias de  $(\Delta\theta)_U$  é inferior a 10% no verão e cerca de 36% na época mais fria;
- apesar de, ao final do dia, estar mais exposto ao efeito da radiação solar direta do que os outros postos, o posto B não apresenta um comportamento térmico desviante relativamente aos outros postos que não estão sujeitos à mesma exposição geográfica, exceto no que se refere à magnitude dos desvios diurnos;
- o padrão temporal noturno e diurno da ICU é idêntico em todos os postos;
- os valores dos desvios térmicos médios da ICU diurna são mais elevados que os valores dos desvios da ICU noturna, em todos os postos.

Em síntese, feita a análise dos resultados, constatou-se que todos os postos apresentam um padrão temporal idêntico, embora com magnitudes consideravelmente diferentes (particularmente no que se refere ao posto B-Aval de Baixo, relativamente aos desvios térmicos diurnos).

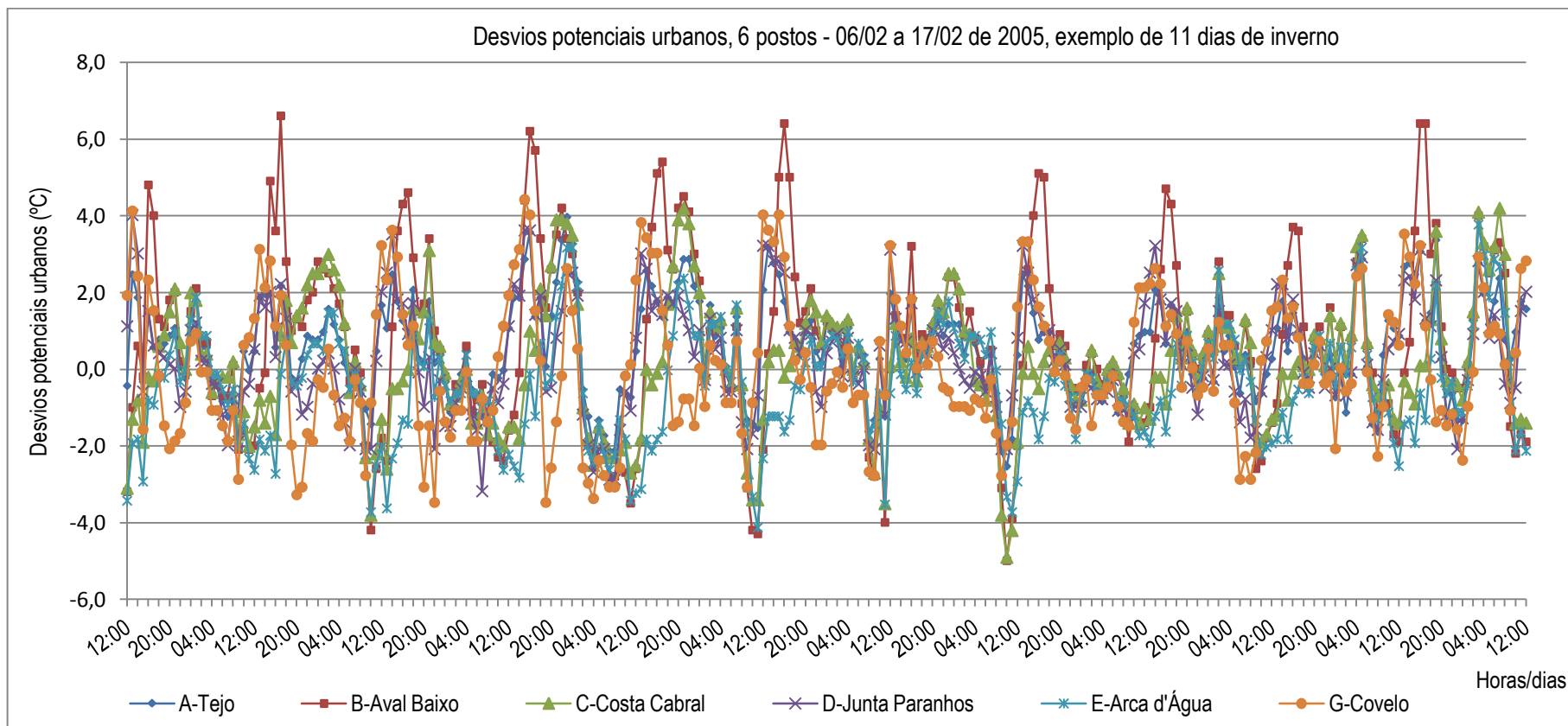


Gráfico 14 – Exemplo de Gráfico de síntese do comportamento individual dos desvios térmicos dos 6 postos fixos, estação de referência Porto-Aeroporto.

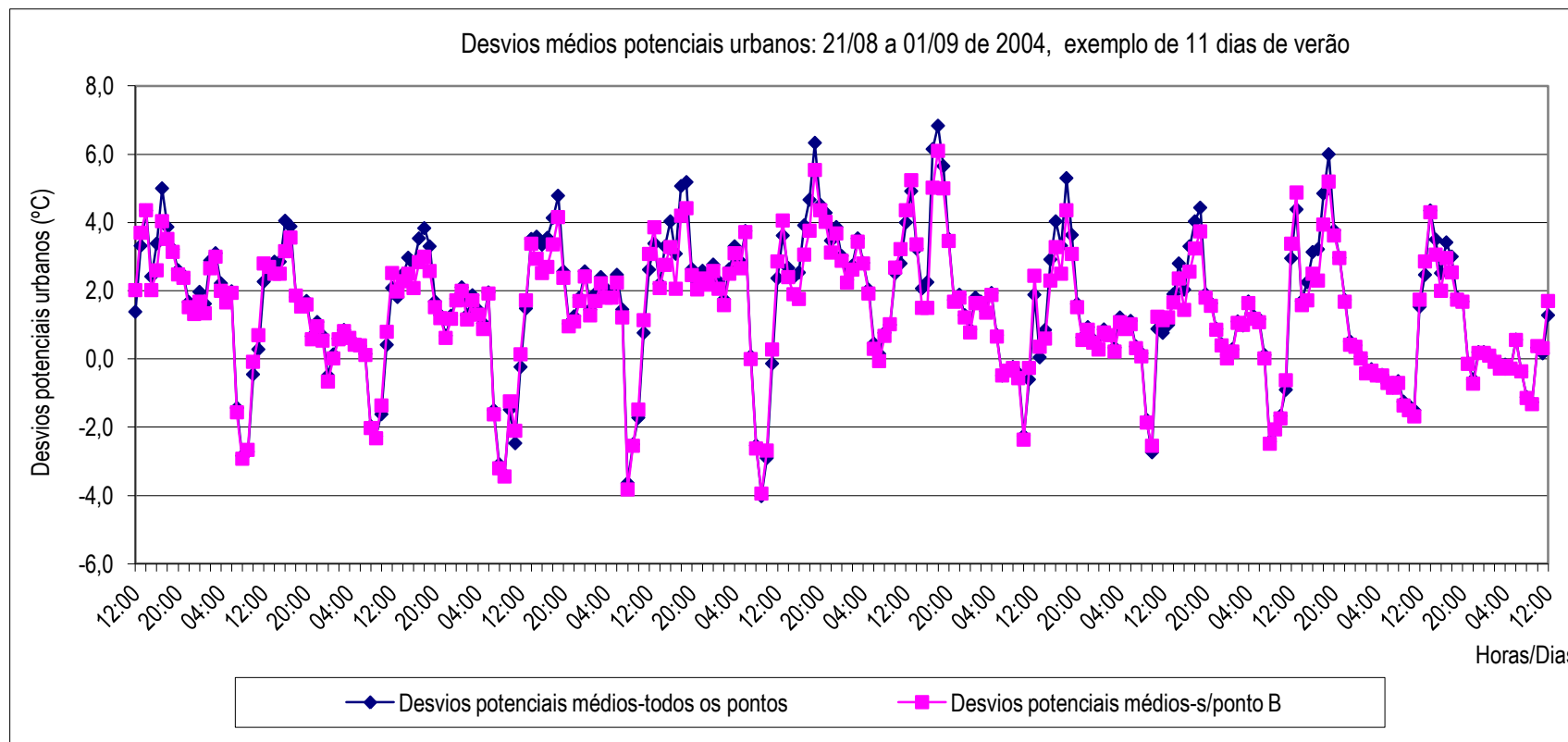


Gráfico 15 - Média dos desvios térmicos, todos os postos, calculados com e sem o posto B-Aval Baixo, exemplo de período de verão, estação de referência Porto-Aeroporto.

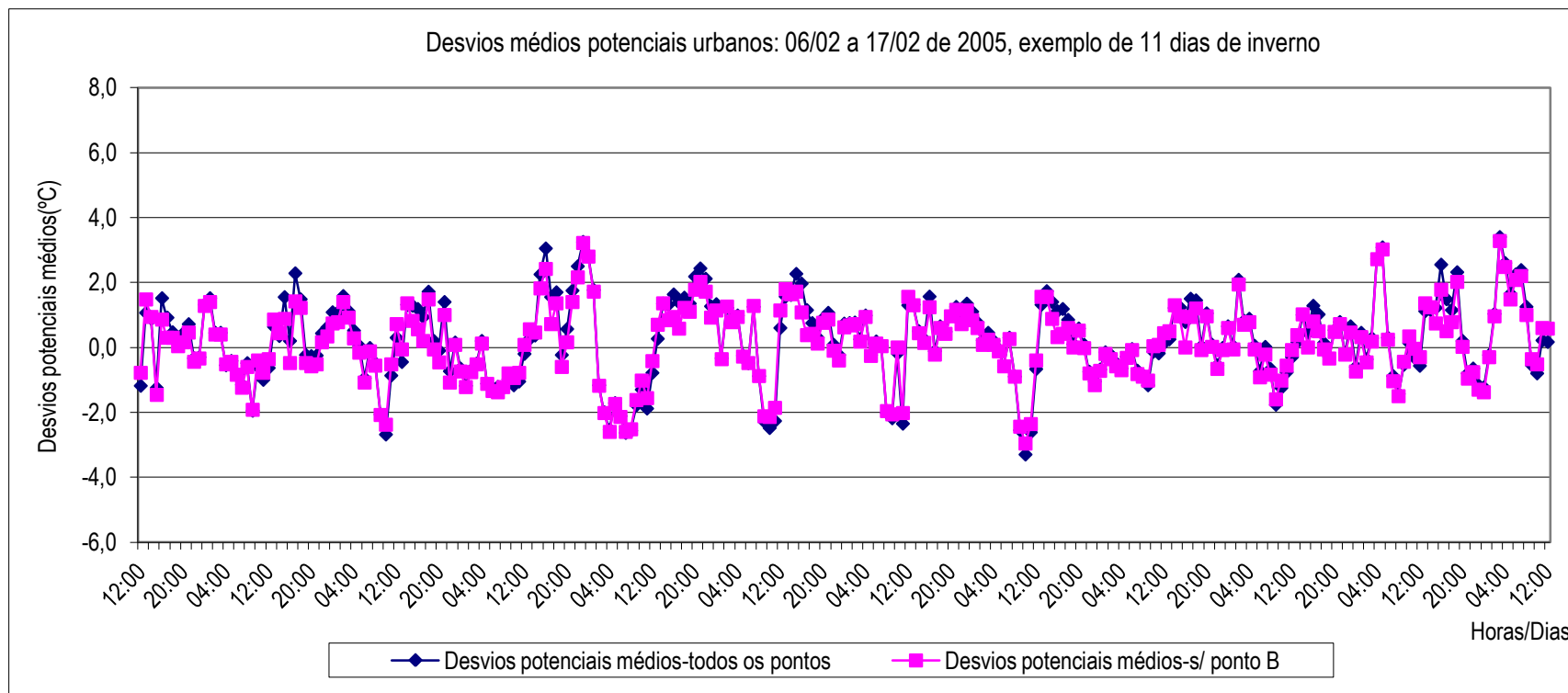


Gráfico 16 - Média dos desvios térmicos, todos os postos, calculados com/sem o posto B-Aval Baixo, exemplo de período de inverno, estação de referência Porto-Aeroporto.

Nesta fase do trabalho, com base nos nossos próprios resultados, e em comparação com o esquema teórico da evolução diária da ICU de T.R. Oke (1987), tomámos duas decisões:

- i) Primeiro, retirar definitivamente do cálculo das médias de  $(\Delta\theta)_U$ , os registos recolhidos no posto fixo que eventualmente poderiam estar a introduzir “ruído” na amostra, nomeadamente os da sonda do posto B-Aval de Baixo<sup>449</sup>, que apesar do excelente arejamento, recebe radiação solar direta durante a tarde e ao final do dia, por apresentar uma exposição completamente aberta a oeste, facto que estaria provavelmente a contribuir em simultâneo para:
  - por um lado, elevar os valores médios das temperaturas registadas e, conseqüentemente, desvirtuar o rigor dos valores dos desvios;
  - por outro lado, deslocar temporalmente os valores máximos dos desvios para o final da tarde, exatamente quando a energia da radiação solar e da irradiação terrestre se conjugam para aumentar a temperatura do ar da baixa atmosfera.
- ii) Segundo, ponderámos e decidimos recorrer a mais uma estação de referência que eventualmente nos permitisse obter um desenvolvimento diurno da ICU expectável, em que “*a intensidade da ilha de calor varia de uma forma reconhecível durante o dia*” (Oke, 1987, pág 290).

## **Postos fixos – 2ª FASE**

### **Análise de ICU calculada relativamente ao Posto G-Covelo vs Aeroporto**

A parte da investigação desenvolvida com os valores dos desvios térmicos calculados relativamente ao Posto G-Covelo constituiu um acréscimo de trabalho inicialmente não planeado mas que, na nossa opinião, valeu a pena ser feito pois contribuiu para clarificar alguns aspetos relativos às características do desenvolvimento diurno da ICU e simultaneamente demonstrar a importância da escolha da estação de referência.

---

<sup>449</sup> Como acabámos de verificar, os dados deste posto não são problemáticos para o cálculo dos desvios noturnos, mas não merecem confiança no caso dos desvios diurnos, facto corroborado também com as medições feitas com câmara térmica.

Passamos agora à exposição de uma breve síntese dos resultados do processamento dos desvios térmicos médios, calculados relativamente ao Posto G-Covelo, organizados em ciclos de 24 horas (períodos das 12h00-11h00).

Com base nos desvios urbanos calculados relativamente à estação de referência Posto G-Covelo, foram produzidos vários tipos de gráficos representativos das diversas médias urbanas, de que se apresentam a seguir apenas alguns exemplos (restantes gráficos em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, na pasta “POSTO G estatísticas”, ficheiros “*UHI(G) weekly results*”, folhas designadas por Fig. 1 a 5):

- média urbana da ICU, semana a semana, do conjunto de todos os postos (ver exemplo do gráfico 17, semanas 1-20 do ano de 2010 e consultar anexos pasta “POSTO G estatísticas”, ficheiros “*UHI(G) weekly results*”, folhas designadas por *Fig. 1 Urban mean UHI, W 1-20* e *Fig. 2 Urban mean UHI, W 21-42*);
- média urbana da ICU por conjuntos de semanas (ver exemplo do gráfico 18, que abarca o período de 2010/05/10-2011/03/01 e consultar anexos referidos, folhas designadas por *Fig. 3 Urban mean UHI 2010\_2011*);
- médias semanais da ICU por posto de medição A-J, semana a semana (ver exemplos dos gráficos 19 A, B, C e D e consultar anexos referidos, folhas designadas por *Fig. 4 Weekly Point Mean UHI*);
- média urbana sazonal da ICU, por períodos diversificados (ver gráfico 20 e consultar anexos referidos, folhas designadas por *Fig. 5 Seasonal urban mean*);
- média urbana anual da ICU, por semana e por ano, relativa aos cálculos de todos os postos (ver gráfico 21 e consultar em anexo pasta “POSTO G estatísticas”, ficheiro “*UHI (G) Síntese de Resultados*”, folha designada por *Fig. 13 Annual UHI profiles*).

Pode colocar-se aqui a questão do porquê das médias urbanas, as quais não são úteis para a apreensão da real magnitude dos desvios térmicos. Segundo K.Klysiak e K. Fortuniak (2003) “...os valores médios são muito mais baixos do que os valores potenciais. Por outro lado, os valores médios fornecem informação valiosa sobre as condições microclimáticas dos postos de medição.”



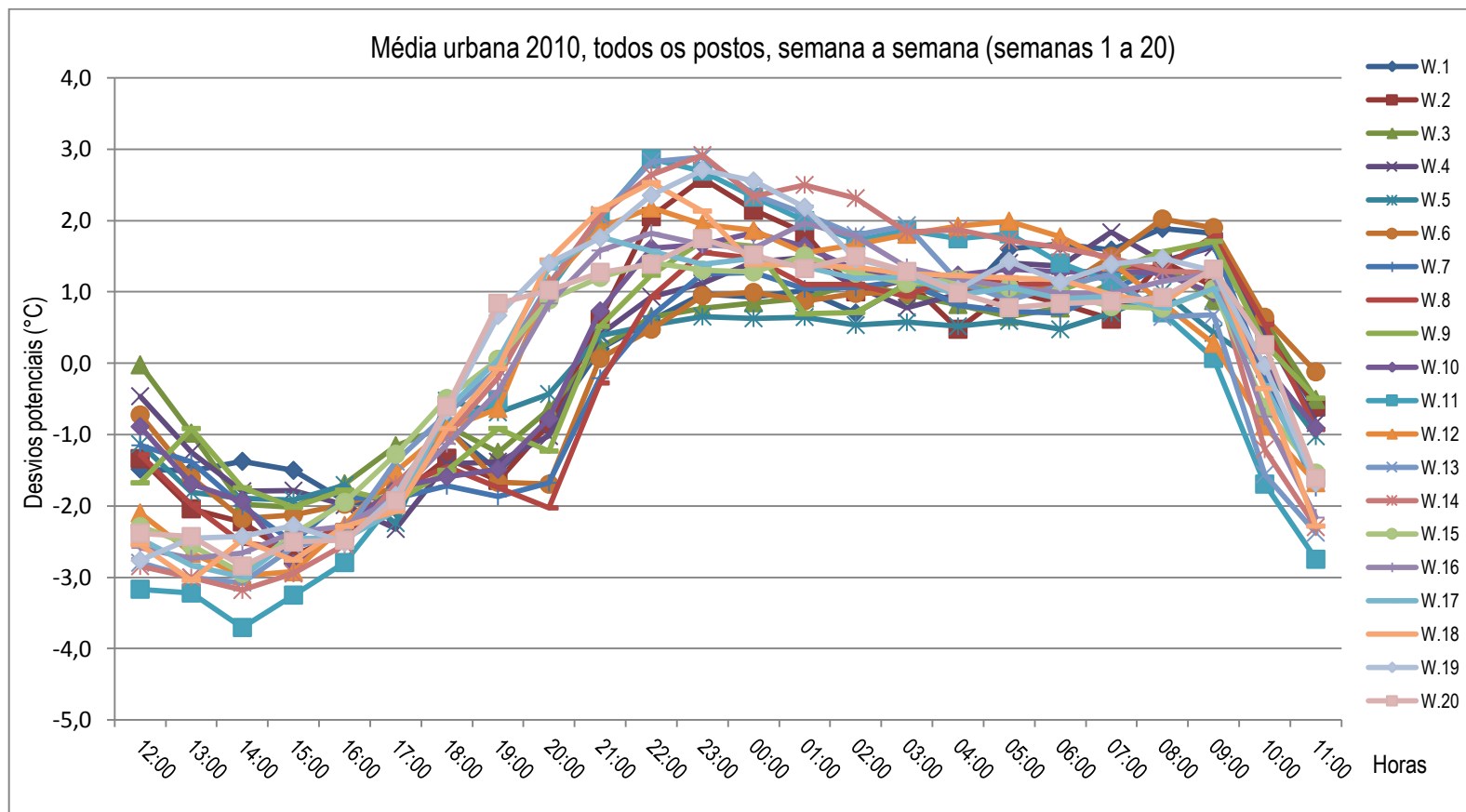


Gráfico 17 – Médias semanais dos desvios térmicos (ao Posto G-Covelo), do conjunto de todos os postos, semanas de 1-20, ano de 2010.

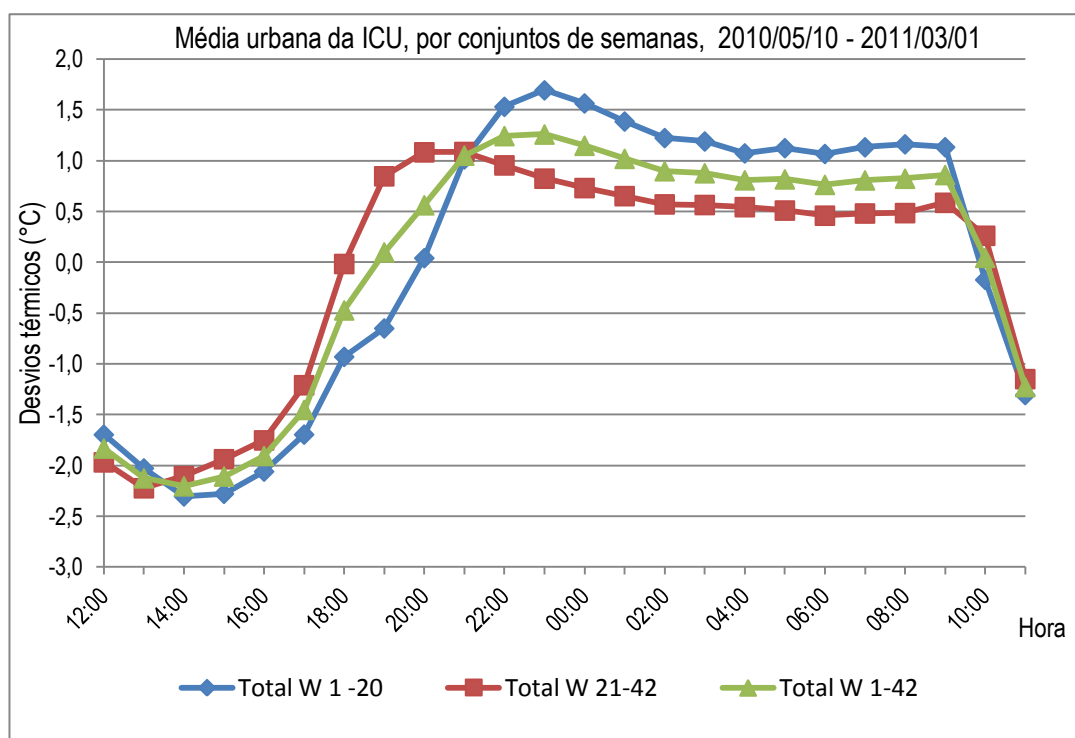


Gráfico 18 – Valores médios da Ilha de Calor Urbano, por grupos de semanas.

**Resultados gerais:** os resultados evidenciados pelas diversas representações gráficas fornecem imagens claras do desenvolvimento das anomalias térmicas, calculadas relativamente ao Posto G-Covelo. O decurso diário das anomalias térmicas durante as diferentes semanas apresenta características muito similares e também muito consistentes com o que é expectável. Pode ver-se claramente a maneira como a ICU emerge rapidamente depois do pôr-do-sol, assim como se evidencia também a rapidez com que se dissipa após o nascer do sol.

Durante a noite e madrugada (aproximadamente entre as 20h00 e as 08h00) a ICU é relativamente estável e bem desenvolvida. É interessante notar que a ICU se intensifica até um máximo bastante evidente pelas 20h00/23h00, dependendo da estação do ano, antes de aplanar por algumas horas até ao nascer do sol. Durante a manhã, a ICU positiva noturna da noite anterior, vai sendo erodida e vai-se transformando em desvios negativos que geralmente se mantêm ao longo da tarde.

As alterações que a ICU positiva vai sofrendo durante a noite até se transformar numa ICU negativa após o nascer do sol e durante o dia, são rápidas e de magnitude considerável.

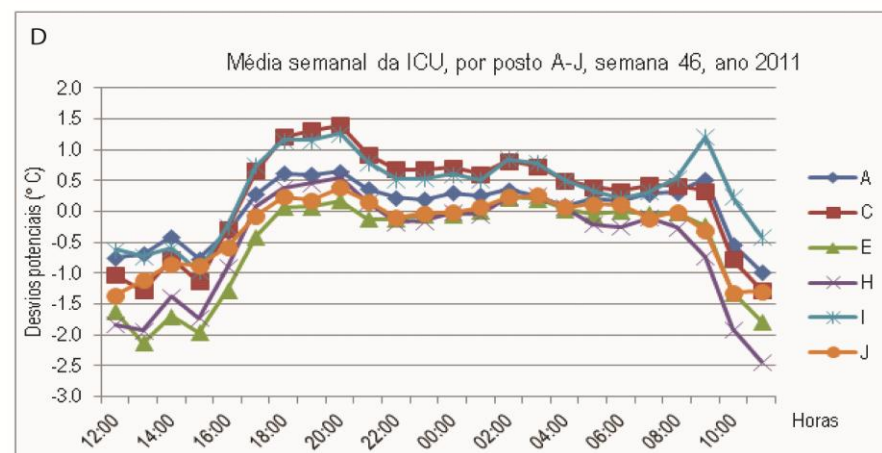
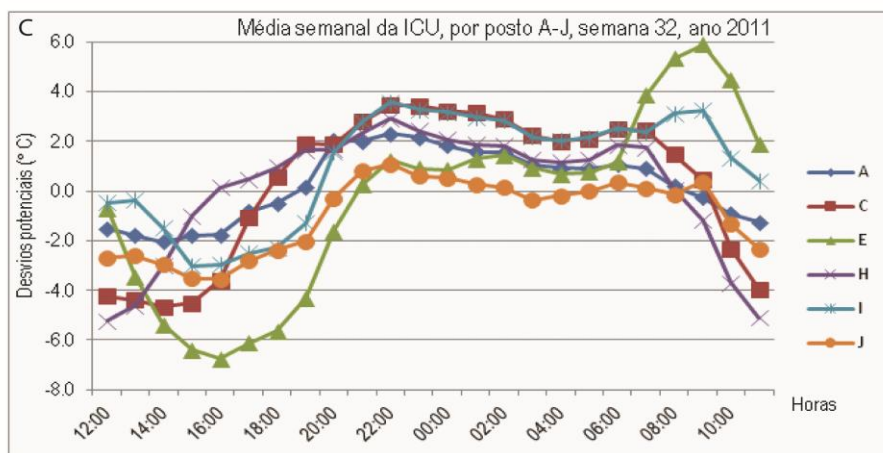
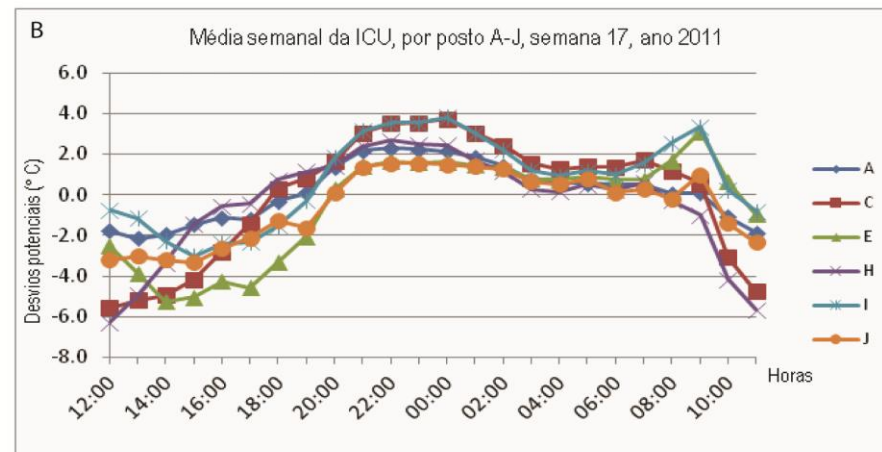
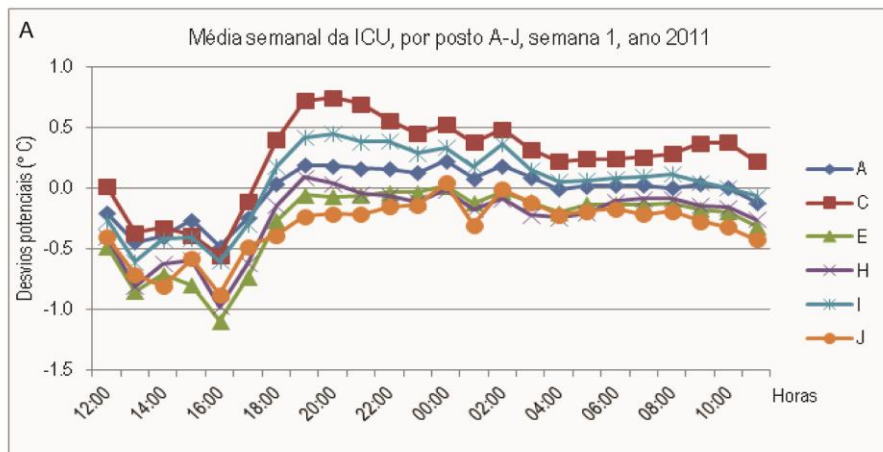


Gráfico 19 – Média semanal dos desvios térmicos, postos A-J, exemplos de 4 semanas do ano 2011 representativas de diferentes estações: A- semana de inverno; B- semana de primavera; C- semana de verão; D- semana de outono.

**Resultados por semanas:** Existem diferenças assinaláveis entre as várias semanas analisadas, mesmo que sejam contíguas. Essas diferenças podem ser explicadas por estados de tempo variáveis, assim como pelas diferenças sazonais, uma vez que os outros fatores que habitualmente explicam diferenças espaciais, nestes casos não se aplicam.

**Resultados por posto de medição:** Os diversos postos revelam, uns em relação aos outros, diferenças razoáveis que podem ser explicadas pela variedade das respetivas envolventes urbanas e pela localização específica de cada posto. O posto E, por exemplo, é frequentemente bastante mais frio do que os restantes durante a tarde, assim como os postos C e J, com um comportamento idêntico. No que se refere ao Posto H, este difere bastante dos outros todos durante as primeiras 16 semanas, revelando uma tendência para um aumento do valor da ICU e, inclusivamente, uma ICU positiva durante o início da tarde, em oposição aos restantes postos. Também se verificam algumas diferenças entre as diversas semanas, o que se relaciona certamente com as diferenças tanto entre as estações do ano, como relativamente às diferentes condições atmosféricas.

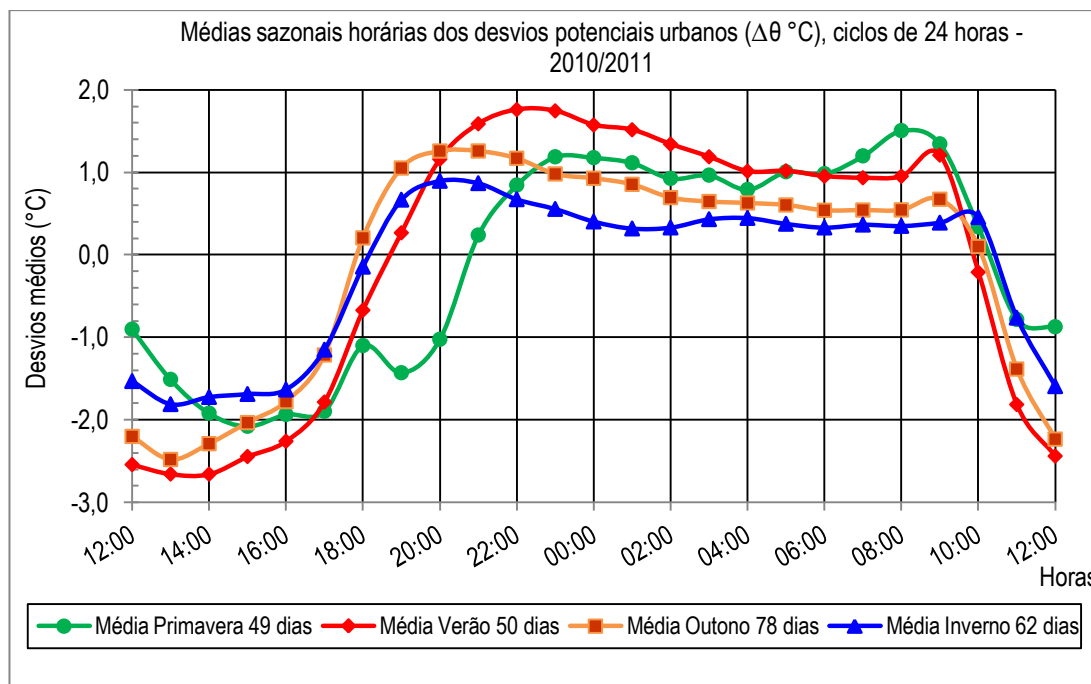


Gráfico 20 - Contrastes sazonais dos desvios médios horários (cálculos efetuados para os períodos em estudo, entre 2010 e 2011, relativamente à estação de PostoG-Covelo).

Quanto aos períodos sazonais analisados, concluímos que quer a Ilha de Frio (média mais baixa  $-2,7^{\circ}\text{C}$ ), quer a Ilha de Calor (média mais alta  $1,8^{\circ}\text{C}$ ) apresentam maior magnitude no verão, originando assim uma maior amplitude dos desvios sazonais.

A Figura 19 mostra os valores médios, por semana e por ano, relativos aos cálculos de todos os postos. Como está evidenciado na figura, os resultados obtidos são muito semelhantes de ano para ano, o que significa que a ilha de calor apresenta um perfil térmico anual muito característico.

Pode ainda constatar-se que a gênese e o desenvolvimento da ilha de calor urbano é não só reprodutível praticamente de ano para ano, mas também em escalas de tempo mais curtas (este facto já foi evidenciado pelos perfis térmicos semanais representados na Figura 19 A a D, os quais praticamente apresentam o mesmo padrão de variação temporal, embora existam algumas diferenças entre as várias semanas).

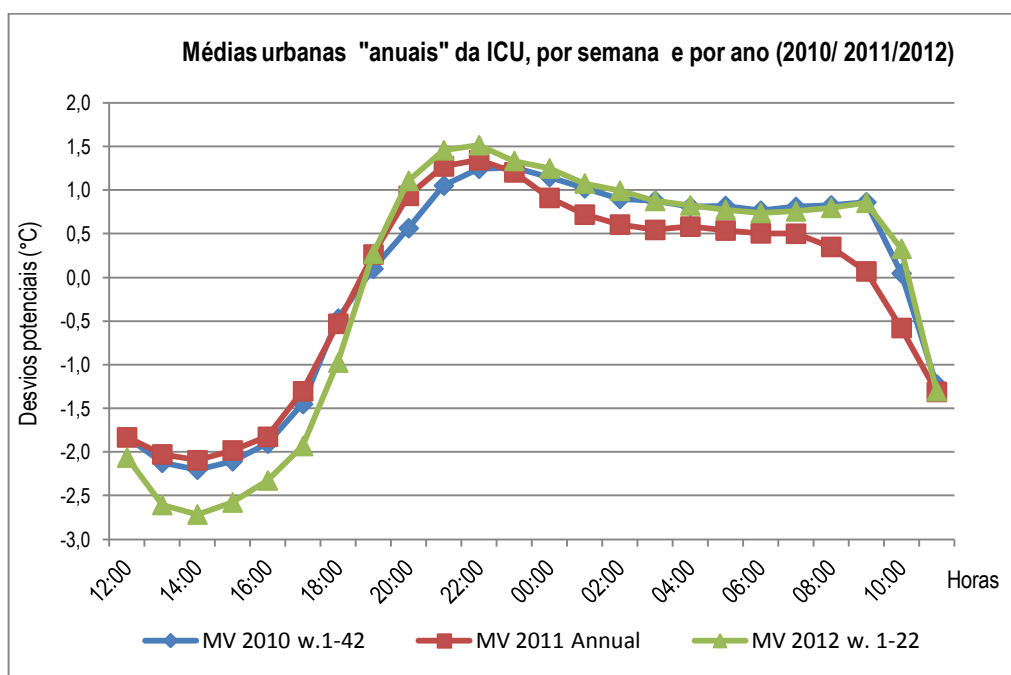


Gráfico 21 – Perfil térmico anual da ICU (2010/2011/2012).

Esta similitude de padrão temporal deve ser interpretada como resultado do armazenamento/retenção de calor em espaços construídos: os edifícios apresentam grande massa e por isso aquecem mais lentamente do que o solo mais exposto do espaço aberto do parque do Covelo, o que por sua vez resulta num aquecimento menor e mais lento do ar nos *canyons* urbanos das ruas, originando uma "ilha de

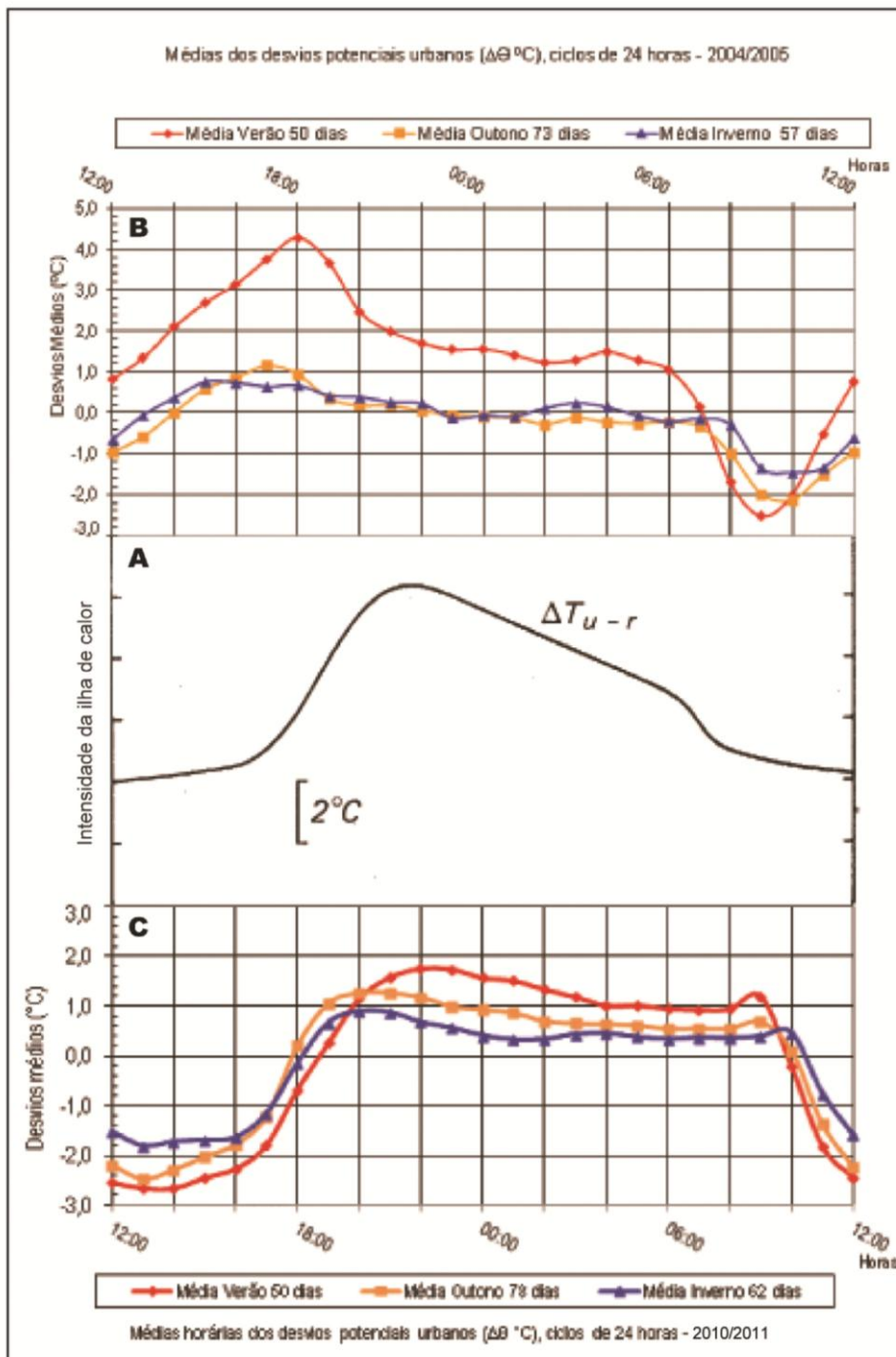
frio" (*UCI-Urban Cold Island*) que se torna bastante evidente durante a maior parte do dia (aproximadamente entre o período das 09h00 às 17h00/18h00). Ao final do dia, o efeito é inverso, isto é, os edifícios emitem a radiação de grande comprimento de onda que liberta o calor armazenado durante as horas de exposição ao sol, e o arrefecimento dos *canyons* urbanos das ruas é retardado, em comparação com todo o espaço aberto do parque do Covelo.

Foi para nós um pouco surpreendente que os efeitos na energia acumulada fossem tão grandes, inclusivamente refletindo-se de forma tão intensa nas próprias médias dos valores anuais, em que as magnitudes da Ilha de Calor Urbano vs da Ilha de Frio Urbano podem ir até valores de cerca de 2 graus de magnitude, em média.

Especialmente interessantes são os valores negativos da ICU que ocorrem durante quase toda a tarde, quando comparados com os elevados valores positivos que havíamos obtido, através dos cálculos relativos ao Aeroporto, como estação de referência.

Os resultados obtidos para os desvios térmicos calculados relativamente ao Posto G-Covelo, são agora discutidos em comparação com os resultados anteriormente obtidos para os desvios térmicos calculados relativamente ao Aeroporto. Esta comparação é de grande relevância e deve ser relatada pois mostra como se torna importante a escolha de estação de referência, para os estudos da UHI.

As imagens do Gráfico 22 mostram a evolução média diária das anomalias térmicas reais da nossa área de estudo, por períodos sazonais, em confronto com o esquema teórico proposto por T.R.Oke (1978/1987): como já havíamos verificado, a imagem do gráfico 13B (rever página 320, desvios ao Aeroporto, imagem reproduzida no gráfico 22B) não se coaduna com o esquema teórico de T.R.Oke, nem temporalmente, nem quanto à magnitude média das anomalias térmicas; pelo contrário, no esquema 22C (desvios ao Posto G-Covelo) as curvas dos desvios térmicos seguem temporalmente o curso diário do esquema de Oke e apresentam médias sazonais de desvios que se enquadram nos valores médios de intensidade da ICU das latitudes médias.



**Legenda**

**A** - Variação temporal teórica da intensidade da Ilha de calor urbano ( $\Delta T_{u-r}$ ), adaptado de T.R.Oke, 1978/1987

**B** - Anomalias térmicas médias da área de estudo, por períodos sazonais (desvios Aeroporto)

**C** - Anomalias térmicas médias da área de estudo, por períodos sazonais (desvios Posto G)

Gráfico 22 – Comparação entre o esquema teórico de variação da ICU e os contrastes sazonais dos desvios médios horários da área de estudo: A - Variação temporal típica da intensidade da Ilha de Calor Urbano ( $\Delta T_{u-r}$ ), adaptado de T.R.Oke, 1978/1987; B - Anomalias térmicas médias da área de estudo, 2004/2005 (desvios ao Aeroporto); C - Anomalias térmicas médias da área de estudo, 2010/2011 (desvios ao Posto G-Covelo).

Estas observações vêm validar a nossa opção pela alteração de estação de referência, sobretudo no que se refere aos desvios térmicos diurnos. Mas assim mesmo, com objetivos comparativos, continuámos a proceder ao estudo da ICU calculada também relativamente à estação Porto-Aeroporto.

### **Breve análise das anomalias térmicas com base em mapas de isolinhas**

Com o recurso a metodologias no âmbito da geoestatística, procedeu-se à construção de mapas/gráficos caracterizadores do comportamento espaço-temporal das variáveis em estudo: sendo certo que as abordagens geoestatísticas preconizadas já foram, em parte, desenvolvidas e aplicadas em trabalhos anteriores, serão a partir daqui generalizadas às novas variáveis.

No caso presente, decidimos proceder à representação cartográfica dos desvios térmicos médios de cada posto, através de isotérmicas “temporais”<sup>450</sup> – médias horárias mensais para a ICU(A) e aproximadamente mensais para a ICU(G). A vantagem destes mapas relativamente aos gráficos de linhas já produzidos relaciona-se com o facto de constituírem uma espécie de “gráfico tridimensional” onde se podem visualizar simultaneamente três aspetos das variáveis em análise: a magnitude média dos desvios, na sua distribuição temporal ao longo do dia e pelos meses do ano.

Apresentam-se de seguida alguns exemplo dos mapas de isotérmicas dos desvios urbanos potenciais médios (figura 74 A, B e C), ilustrativos do decurso médio diário da ICU, ao longo dos meses do ano (encontram-se em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012 os restantes mapas produzidos, subpasta “05 ESTATÍSTICAS para SURFER”, ficheiro Word “Mapas temporais desvios térmicos”) baseados em médias que perfazem dois anos de registos horários térmicos em postos fixos, assim distribuídos:

- período ligeiramente superior a sete meses em 2010, a partir de Maio;
- todo o ano de 2011;
- período de cinco meses em 2012, até Maio, inclusive.

---

<sup>450</sup> Klysik, K., Fortuniak K., Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September Lodz, Poland, 2003.



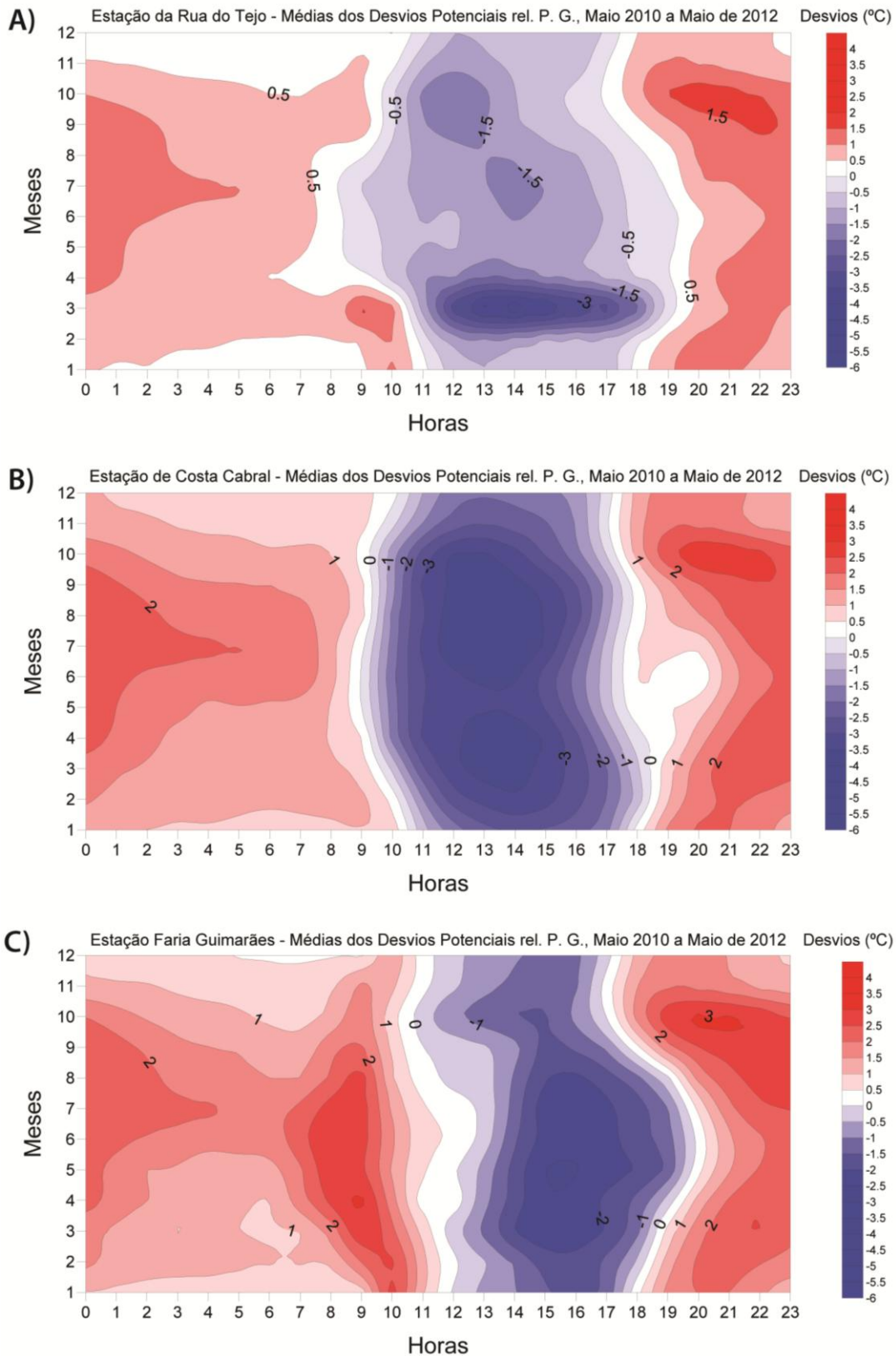


Figura 74 - Mapas de isotérmicas dos desvios urbanos potenciais médios, ilustrativos do decurso médio diário/mensal da ICU em três estações representativas de envolventes urbanas distintas.

Passamos de seguida a uma breve análise dos resultados evidenciados com a representação cartográfica das “isotérmicas temporais” horárias/mensais, relativas às diferenças de temperatura verificadas entre cada uma das duas estações de referência utilizadas e os postos fixos.

#### **Anomalias térmicas médias relativas à Estação de referência Posto G-Covelo:**

- Em todos os postos ocorrem, em média, ilhas de calor noturnas e ilhas de frio diurnas, de magnitudes variáveis no tempo e no espaço: as ilhas de calor noturnas revelam tendência para se prolongarem no tempo, com valores geralmente cada vez mais moderados à medida que a madrugada avança, ao passo que as ilhas de frio são bastante mais confinadas no tempo (geralmente entre as 08h00/10h00 até às 18h00/19h00, com as respetivas variações locais).
- Durante as horas noturnas, a ICU mostra-se bem pronunciada em quase todas as estações, com ligeiras diferenças entre elas, à exceção dos postos E-Arca d'Água e J-S. João de Brito, onde para a madrugada, a ilha de calor se torna bastante mais difusa.
- No mês de outubro, verifica-se a existência de ICU noturna em todos os postos, aproximadamente por volta das 20h00-21h00, de maior magnitude e temporalmente extensa no caso de Costa Cabral e Faria Guimarães, menos intensa e bastante mais delimitada no tempo, no caso de Arca d'Água e S. João de Brito.
- As anomalias diurnas positivas, logo às primeiras horas da manhã, que não constituem um prolongamento das ICU noturnas (ocorrem em Tejo, Arca d'Água e Padrão), verificam-se somente nos postos que, em dada época do ano, estão expostos à radiação solar direta (casos de Arca d'Água e Faria Guimarães durante grande parte do ano, Tejo somente entre janeiro e março)<sup>451</sup>.
- Após o nascer do sol, a ICU dissipa-se rapidamente, dando lugar de imediato a ilhas de frio, exceto nos postos sujeitos à radiação solar direta desde manhã cedo.

**Posto A-Tejo:** Comparando com as outras estações, é o posto que revela a ilha de frio diurna de menor magnitude durante a maior parte do ano, exceto no mês de

---

<sup>451</sup> Klysik, K., Fortuniak K., Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September Lodz, Poland, 2003

março em que a ilha de frio é mais pronunciada ( $\geq -3,5^{\circ}\text{C}$ ); mas apresenta uma das ilhas de frio de maior duração (aproximadamente das 11h00-18h00, embora nos meses de verão um pouco mais demorada, pode iniciar-se pelas 08h00. A ilha de calor noturna é também menos intensa do que nos outros postos, à exceção de S. João de Brito, e nos meses de verão prolonga-se pela madrugada, particularmente no mês de julho.

**Posto C-Costa Cabral:** A ilha de frio diurna é intensa ( $\geq -3^{\circ}\text{C}$ ) e de grande regularidade, durante todo o ano. A ilha de calor noturna também é das mais regulares durante quase todo o ano, prolongando-se no tempo sobretudo nos meses de verão, particularmente no mês de julho, à semelhança do posto A-Tejo. É o posto que apresenta a segunda maior magnitude média da ICU noturna, a seguir a Faria Guimarães.

**Posto E-Arca d'Água:** Apresenta as ilhas de frio diurnas mais intensas de entre todos os postos observados ( $\geq -5^{\circ}\text{C}$ ) particularmente nos meses de outono. Nos meses de verão a ilha de frio inicia-se bastante mais tarde (pelas 13h00 em vez das 10h00). A ilha de calor noturna não é muito pronunciada, ocorrendo os valores modestamente mais elevados ( $\approx 1,5^{\circ}\text{C}$ ) por volta das 21h00/22h00. As anomalias térmicas matinais, presentes praticamente desde março a outubro, apresentam maior magnitude do que a ilha de calor noturna ( $\approx 2-3^{\circ}\text{C}$ ), recorrentemente por volta das 09h00.

**Posto H-Largo do Padrão:** Revela uma das ilhas de frio diurnas mais pronunciadas ( $\approx 4^{\circ}\text{C}$ ) especialmente durante os meses de final de inverno e todo o verão; no entanto, na época do solstício de verão e nos períodos contíguos (meses 5, 6 e 7) a ilha de frio diurna desaparece bastante mais cedo, logo por volta das 16h00. A ilha de calor noturna mais intensa ocorre nos meses de início de primavera e início de outono, é de magnitude modesta, até cerca de  $1,5^{\circ}\text{C}$  ou  $2^{\circ}\text{C}$ , no máximo, estando neste último caso praticamente apenas o mês de outubro.

**Posto I-Faria Guimarães:** Apresenta as ilhas de frio diurnas de duração mais curta relativamente aos restantes postos, com baixa magnitude (de cerca de  $-1^{\circ}\text{C}$  a  $-2^{\circ}\text{C}$ ), durante praticamente todo o ano. As ilhas de calor noturnas, pelo contrário, apresentam as maiores magnitudes médias de todo o conjunto de postos ( $\leq 3^{\circ}\text{C}$ ), e também durante todo o ano. É o único caso em que não se verifica uma separação nítida entre a ilha noturna de calor e a ilha de frio diurna, isto é, a ilha de calor diurna matinal vem declaradamente dar continuidade, em cerca de cinco horas, ao

prolongamento da ICU noturna (esse facto ocorre de forma incipiente em Arca d'Água, mas nesse caso as anomalias térmicas positivas da manhã são até bastante mais elevadas do que as da ICU noturna, não dando tanto a ideia de um prolongamento da ICU noturna).

**Posto J-S.João de Brito:** Quase não apresenta ilha noturna de calor, somente de cerca de 1°C, o máximo das 19h00 às 22h00 e, neste caso, apenas em outubro. É o único posto em que a ilha de calor noturna se dissipa muito rapidamente, embora exista algum prolongamento, bastante incipiente, nos meses entre o final do inverno e o final da primavera. A ilha de frio diurna é a que revela um padrão temporal de mais contrastes sazonais, pois é bastante intensa durante os meses de verão (cerca de -3°C a -3,5°C, entre maio e agosto) mas bastante moderada durante o resto do ano.

Na generalidade, os resultados agora apresentados vieram corroborar muitas das conclusões que já havíamos inferido empiricamente, mas com a vantagem de permitirem uma síntese visual global das principais propriedades médias das ICU diurnas e noturnas, horárias e mês a mês, permitindo-nos assim ter uma noção mais rigorosa dos padrões espaço-temporais das diferenças térmicas da área de estudo.

#### **Anomalias térmicas médias relativas à Estação de referência Porto-Aeroporto:**

- Em todos os postos, nos meses de março e/ou abril e no mês de outubro, são menos pronunciadas em maior ou menor grau, quer as ilhas de calor, quer as ilhas de frio.
- Em todos os postos, a ilha diurna de calor apresenta magnitude superior à ilha de calor noturna. A ilha diurna de calor apresenta-se mais intensa entre as 14h00-15h00 e as 18h00-19h00, exceto em Arca d'Água, onde se inicia muito mais cedo, por volta das 08h00 e até às 15h00, aproximadamente; este facto também é observável, mas de forma menos clara, em Faria Guimarães (durante menos meses e em menos horas do dia).
- De forma geral, o padrão temporal das anomalias térmicas é semelhante em quase todos os postos, notando-se uma separação nítida entre as ilhas de calor diurnas/noturnas e as ilhas de frio diurnas; no entanto, os postos de Arca d'Água e Faria Guimarães, embora em épocas do ano distintas, desviam-se desse padrão geral.

- Todas as ilhas de frio efetivas são declaradamente diurnas, exceto em Quinta do Covelo e Largo do Padrão onde ocorrem incipientes ilhas de frio noturnas, nos meses de outono e início de inverno. Verificam-se, no entanto, “ilhas de frio relativas” praticamente em todos os postos.
- O posto Faria Guimarães revela ilhas de frio menos intensas e de curta duração.

**Posto A-Tejo:** Ilha de frio diurna ( $-1^{\circ}\text{C}$  a  $-1,5^{\circ}\text{C}$ ) entre as 07h00-10h00, exceto em outubro, em qua a ilha de frio é relativa. Ilha de calor entre 10h00-20h00, até  $5^{\circ}\text{C}$  de magnitude; menor durante a noite (20h00-07h00, cerca de  $1^{\circ}\text{C}$  a  $2^{\circ}\text{C}$  de magnitude).

**Posto C-Costa Cabral:** Ilha de frio temporalmente mais duradoura e de maior magnitude (aproximadamente das 08h00-14h00, nos meses de outubro a abril, e de menor intensidade de abril a outubro). Ilha de calor mais intensa de maio a setembro, sobretudo entre as 16h00-20h00.

**Posto E-Arca d'Água:** Ilha de calor mais intensa das 09h00-15h00, sobretudo nos meses de abril a outubro, temporalmente menos demarcada do que nos outros postos. Ilhas de frio intensas, aproximadamente das 08h00-16h00, entre os meses de outubro a março; ilhas de frio incipientes das 06h00-07h00, do mês 5 ao mês 7.

**Posto G-Covelo:** Ilha de calor bem marcada, em termos de magnitude e temporalmente, das 11h00 às 20h00 (podendo prolongar-se ainda mais durante o dia), praticamente todos os meses, embora com maior evidência entre fevereiro e novembro. Ilha de frio mais nítida das 07h00 às 10h00/11h00.

**Posto H-Largo do Padrão:** Ilha de frio temporalmente mais duradoura e de maior magnitude (aproximadamente das 07h00-14h00/15h00, nos meses de outubro a março, e de menor intensidade de abril a agosto (é o único caso em que, em setembro, a ilha de frio se mantém  $\geq -1^{\circ}\text{C}$ ). Ilha de calor mais intensa, aproximadamente de maio a setembro, mas não muito extensa durante o dia (16h00-20h00). Padrão temporal evidencia algumas semelhanças com Costa Cabral e com Padrão.

**Posto I-Faria Guimarães:** Ilha de frio entre as 07h00-13h00/14h00, pouco extensa temporalmente – quer em termos diários, quer mensais – e de baixa magnitude. Ilha de calor mais intensa entre março e setembro, mas com um padrão temporal que se vai deslocando das 10h00 em março para as 15h00/16h00 em setembro. Padrão temporal evidencia algumas semelhanças com Costa Cabral e com Padrão.

**Posto J-S.João de Brito:** Ilha de calor pouco pronunciada quanto à magnitude, mas bastante extensa temporalmente, em termos diários e mensais. Ilha de frio de magnitude razoável nos meses de inverno, mas pouco intensa no resto do ano. O padrão temporal revela algumas semelhanças com Covelo, não no aspeto da magnitude mas no desenvolvimento diário e mensal.

### **Resultados das Frequências Relativas dos desvios térmicos horários/mensais**

Entendemos que a caracterização do perfil térmico da área de estudo não estaria completa sem que se procedesse ao estudo das frequências relativas das anomalias térmicas (encontram-se em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012 todas as tabelas produzidas, subpasta “07 ICU FREQUÊNCIAS”, ficheiro “*UHI(A)-frequencies 2010*” e ficheiro “*UHI(G)-frequencies 2011*”, com 4 tabelas cada).

Correspondendo a dois dos períodos de dados disponíveis, para o ano 2010 as tabelas produzidas iniciam-se em meados de maio e vão até dezembro; no que se refere ao ano de 2011, é apresentada uma tabela para cada mês do ano.

As tabelas C e D de cada folha dos ficheiros de frequências relativas em análise representam a distribuição horária dos desvios térmicos urbano-rurais, para intervalos de 1°C de temperatura, em cada intervalo temporal de 1 hora, durante períodos de 24 horas, e também a amplitude de variação da ICU durante as respetivas horas. As tabelas D evidenciam ainda as frequências relativas dos desvios, na sua distribuição horária, em cada mês (as tabelas A e B correspondem, respetivamente, aos dados de base e a ferramenta auxiliar de contagem).

### **Frequências relativas dos desvios térmicos relativos à Estação de referência Posto G-Covelo:**

As tabelas D contém toda a informação necessária sobre as frequências relativas dos desvios (exemplo da tabela 15), mas não otimizam a visualização das relações entre estes e os intervalos horários/térmicos (chama-se a atenção para o facto de que as frequências relativas, referindo-se aos respetivos intervalos de 1 hora e não à totalidade das 24 horas, implicam que são as somas das linhas horizontais das tabelas D que correspondem a 100%, não as colunas).

A razão pela qual nem sempre as somas das linhas das tabelas D perfazem exatamente 100% tem duas possíveis explicações:

- ou se deve a arredondamentos por defeito;
- ou porque o valor de alguma anomalia térmica excede ligeiramente os limites do intervalo  $+10^{\circ}\text{C}/-5^{\circ}\text{C}$ . Esses casos encontram-se assinalados a vermelho nas respetivas tabelas de Excel.

Tabela 15 - Frequências relativas dos desvios térmicos representadas nas tabelas D (intervalos de  $1^{\circ}\text{C}$ , Janeiro 2011, estação de referência Posto G-Covelo)

Hour	10;9	9;8	8;7	7;6	6;5	5;4	4;3	3;2	2;1	1;0	0;-1	-1;-2	-2;-3	-3;-4	-4;-5	Sum
1	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0,10	0,55	0,26	0	0	0	0	1,00
2	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,19	0,55	0,23	0	0	0	0	1,00
3	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,19	0,55	0,19	0	0	0	0	1,00
4	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,23	0,55	0,19	0	0	0	0	1,00
5	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0,71	0,23	0	0	0	0	1,00
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0,61	0,29	0	0	0	0	1,00
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0,68	0,23	0	0	0	0	1,00
8	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,10	0,68	0,19	0	0	0	0	1,00
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,71	0,26	0	0	0	0	1,00
10	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,16	0,19	0,45	0,16	0	0	0	1,00
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,55	0,23	0,03	0,10	0,03	1,00
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0,32	0,26	0,13	0,03	1,00
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0,32	0,23	0,10	0,03	1,00
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,29	0,19	0,39	0,10	0	1,00
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,39	0,16	0,23	0,19	0	1,00
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,52	0,13	0,06	0,16	0,06	1,00
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0,45	0,16	0,03	0,16	0,10	0	1,00
18	0	0	0	0	0	0	0,03	0,10	0,13	0,55	0,19	0	0	0	0	1,00
19	0	0	0	0	0	0	0,13	0,19	0,16	0,35	0,16	0	0	0	0	1,00
20	0	0	0	0	0	0	0,16	0,13	0,13	0,39	0,19	0	0	0	0	1,00
21	0	0	0	0	0	0	0,06	0,16	0,23	0,42	0,13	0	0	0	0	1,00
22	0	0	0	0	0	0	0,06	0,10	0,23	0,42	0,19	0	0	0	0	1,00
23	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,23	0,55	0,16	0	0	0	0	1,00
24	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,13	0,58	0,16	0	0	0	0	1,00

Os mapas de “isofrequências temporais” produzidos com recurso ao programa Surfer, no âmbito da geoestatística temporal (Figura 75, exemplo dos variogramas experimentais e do ajuste dos modelos teóricos utilizados), permitem-nos uma análise de maior pormenor e são facilitadores da visualização das relações entre as frequências relativas dos desvios, a magnitude média que apresentam e os horários a que ocorrem (exemplos na Figura 76 A, B e C; restantes mapas produzidos, em anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, subpasta “05 ESTATÍSTICAS para SURFER”, ficheiro Word “Mapas de frequencias relativas”). Remetem-se para anexos, a maior parte dos mapas, gráficos e tabelas, dada a grande quantidade de informação produzida.

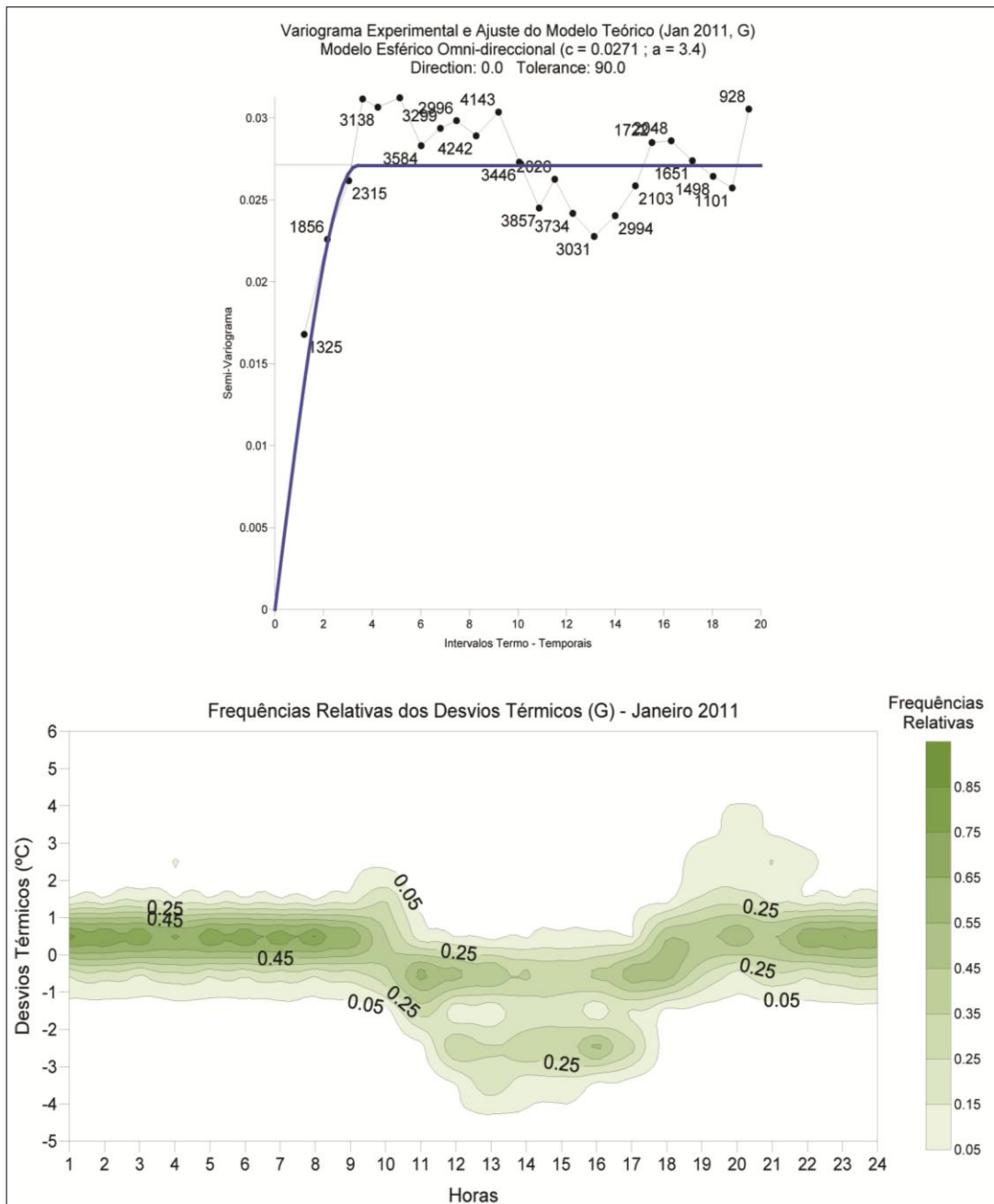


Figura 75 – Frequências relativas dos desvios térmicos, mês de Janeiro de 2011.

No geral, verifica-se que as ilhas médias de calor culminam por volta das 22h00; após esta hora mantêm-se com uma magnitude elevada, com uma ligeira tendência para diminuição lenta de intensidade, até à hora aproximada do nascer do sol. Após o nascer do sol verifica-se uma rápida inversão dos valores no sentido da instalação de “ilhas de frio”, isto é, as temperaturas no seio do espaço urbanizado tendem a tornar-se bastante mais baixas do que na área de ambiente aberto do Posto G-Covelo.



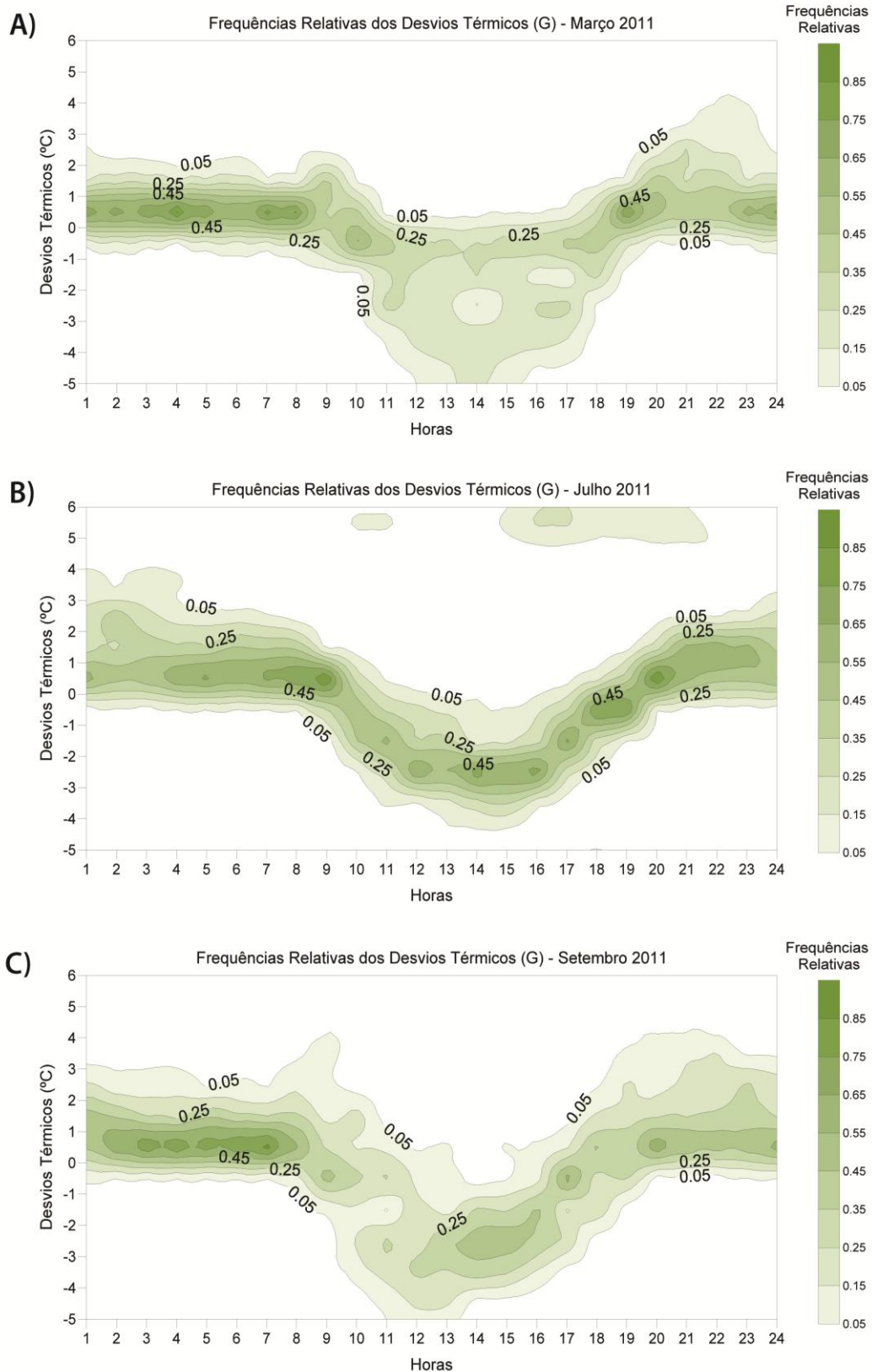


Figura 76 - Frequências relativas dos desvios térmicos diários/mensais de 2011 (em relação ao Posto G-Covelo), ilustrativos de três meses de distintas épocas do ano.

A observação sequencial dos diversos mapas mensais de frequências relativas (em anexo já referido) permite-nos afirmar que o valor máximo da média da ICU noturna se vai deslocando temporalmente, a partir de janeiro pelas 20h00 (Figura 75) e vai surgindo cada vez mais tarde com o avanço dos meses (fevereiro, pelas 21h30; março, pelas 22h00; abril, pelas 22h30). Esse valor máximo mantém-se em maio e junho pelas 22h00/22h30, torna-se bastante difuso em julho e agosto, para a partir de setembro regredir de novo no tempo, para as 21h00/20h00 (exemplos na Figura 76 A, B e C).

Janeiro, fevereiro e março apresentam ilhas de frio noturnas mais frequentemente que os outros meses, mas de magnitude bastante baixa. As ilhas de frio noturnas de valores moderados são cada vez menos frequentes nos meses de abril, maio e junho. Ilhas de frio em julho e agosto, praticamente só as do período diurno; as ilhas de frio do período noturno quase desaparecem, têm baixa magnitude e são muito pouco frequentes.

Os resultados que acabamos de referir são praticamente transversais a todos os meses analisados, com algumas diferenças sazonais, e pode por isso dizer-se que constituem uma das características mais evidentes das propriedades do “clima urbano” dos postos em estudo e, por extrapolação, provavelmente, da cidade do Porto.

Como síntese, pode afirmar-se que, como se vê na tabela/mapa da média anual de 2011 (ficheiro ICU(G), última folha), os valores positivos dos desvios razoavelmente elevados são mais frequentes no período entre o pôr-do-sol e o nascer do sol. Dentre estes, os valores mais elevados ocorrem recorrentemente por volta das 22 horas, enquanto os valores negativos são mais frequentes no período diurno, mas especialmente entre as 12h00 e as 15h00.

### **Frequências relativas dos desvios térmicos relativos à Estação de referência Porto-Aeroporto:**

Dada a nossa preferência pela estação de referência Posto G-Covelo, limitámo-nos a produzir somente dois mapas de épocas contrastantes para os desvios calculados relativamente à estação de Porto-Aeroporto (janeiro e junho/2011, em anexo).

Estes mapas, em comparação com os referentes à estação do Covelo, apresentam um padrão temporal que mais uma vez vem confirmar a dificuldade em explicar as ilhas de calor e de frio com base nas leis da física da atmosfera. Mas é curioso notar que o mês de dezembro revela diferenças menos marcantes do que o mês de junho, na comparação com os resultados do posto do Covelo.

A vantagem dos mapas de frequências relativas, em relação às tabelas e gráficos de linhas já produzidos, reside no facto de permitirem visualizar simultaneamente, de forma muito mais imediata, os três aspetos das variáveis em análise: a magnitude média dos desvios térmicos, a sua frequência relativa e a distribuição temporal dessas frequências ao longo dos dias de cada mês.

### **Resultados da Variabilidade Intra-Urbana (médias mensais)**

Passemos agora à análise do(s) ficheiro(s) que evidencia(m) especificamente como os diferentes postos se comportam uns relativamente aos outros (anexo 4 POSTOS FIXOS 2010\_2012, subpasta “08 VARIABILIDADE INTRA-URBANA”). Para cada mês, foram calculados os valores dos desvios de cada posto relativamente à média urbana do conjunto da totalidade dos postos, isto é, foi calculado aquilo que designámos por “variabilidade intra-urbana” das anomalias térmicas. Como referido em Metodologia, a análise da variabilidade intra-urbana foi feita a partir dos desvios à estação Porto-Aeroporto.

Quando comparamos entre si os diferentes postos urbanos de aquisição de dados, naturalmente que alguns são mais frios do que os outros. O que se torna relevante no estudo aqui efetuado, é que as diferenças são sistemáticas, isto é, os mesmos postos surgem quase sempre como sendo recorrentemente os mais frios, mês a mês.

Quase podemos dizer a mesma coisa relativamente aos postos recorrentemente mais quentes, na generalidade e salvo algumas exceções. Isso torna-se ainda mais evidente quando se efetua a análise dos resultados dos ficheiros sobre a “variabilidade intra-urbana” das anomalias térmicas.

Além das próprias tabelas, os gráficos produzidos destacam claramente quais os postos que são mais quentes, respetivamente mais frios, relativamente à média urbana (exemplo de gráfico 23; em anexo, todas as tabelas e gráficos

produzidos, subpasta “08 VARIABILIDADE INTRA-URBANA” atrás referida, três ficheiros designados por “*Intra Urb ... UHI rel. to Airport weekly(A).xslm*”). As relações intrínsecas encontram-se muito bem definidas, mas podem verificar-se também algumas alterações de mês para mês.

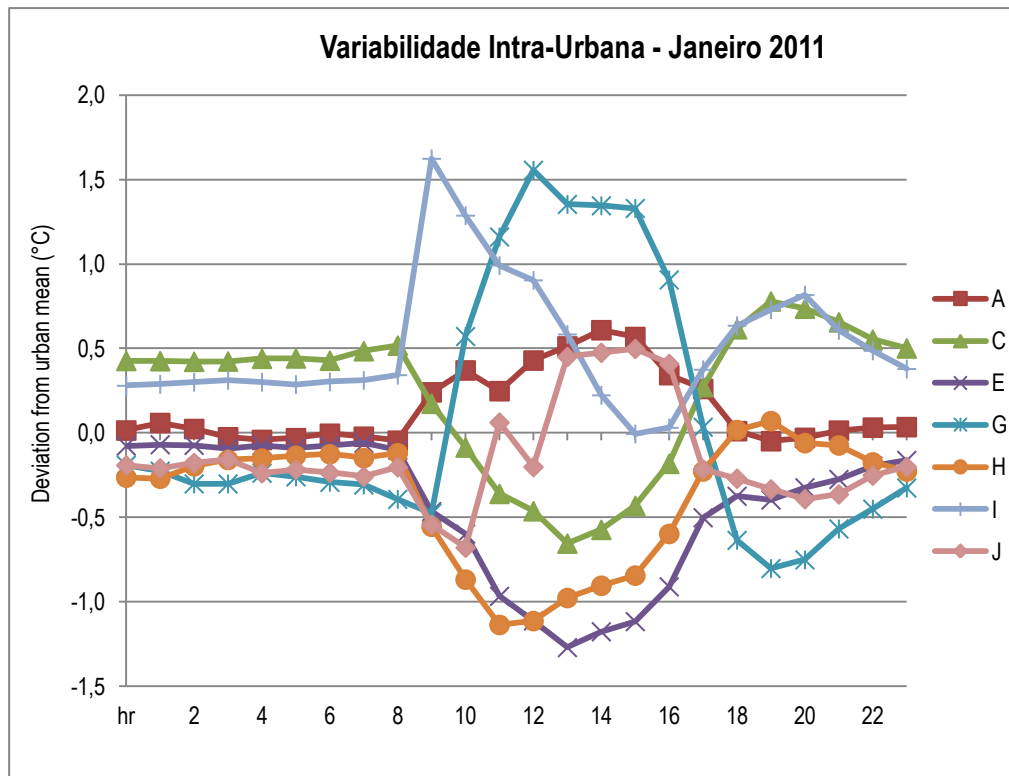


Gráfico 23 – Variabilidade Intra-Urbana, média diária de todos os postos da área de estudo, Janeiro de 2011.

A análise também ressalta a forma como as anomalias térmicas se desenvolvem diferentemente nos diversos postos. Estas diferenças estão obviamente relacionadas com a exposição solar durante o período diurno e com a respetiva irradiação noturna.

A diferença entre a radiação incidente e a radiação reemitida (balanço de radiação ou saldo de radiação) é a força motriz que está na base das mudanças de temperatura ao longo do dia e do ano. Esse saldo de radiação também é influenciado pelo tipo de exposição/ocultação do local de medição. A variação intra-urbana deve-se em grande parte a diferenças no saldo da radiação. Por isso, analisar especificamente as diferenças entre o momento em que o aquecimento respetivamente o arrefecimento começa, nos distintos postos de medição e qual a

magnitude da ICU no respetivo posto, é um exercício que esclarece muitas questões sobre a variabilidade intra-urbana.

As propriedades do solo e dos materiais também podem desempenhar um papel importante na explicação dessas diferenças, assim como eventualmente a situação do tráfego urbano.

As diferenças encontradas entre os vários postos podem e devem ser interpretadas e explicadas à luz do conhecimento que temos sobre a localização dos diversos sítios de medição e das características do edificado circundante, pelo que o sistema das LCZ pode fornecer linhas de orientação, mesmo que não possa ser aplicado na explicação da totalidade das diferenças.

O Posto G-Covelo é aquele em que sobressai, mês a mês, um desenvolvimento diário mais regular das anomalias térmicas, sem grandes variações. Este facto demonstra que o Posto G beneficia de um ambiente bastante homogéneo, sem interferências de maior dos objetos/edifícios circundantes, em qualquer direção (gráfico 24). Um caso com alguma similitude é o do Posto C: este posto patenteia uma curva de variação intra-urbana também sem grandes perturbações, enquanto que os restantes postos são muito mais irregulares, sugerindo uma envolvente urbana bastante menos homogénea.

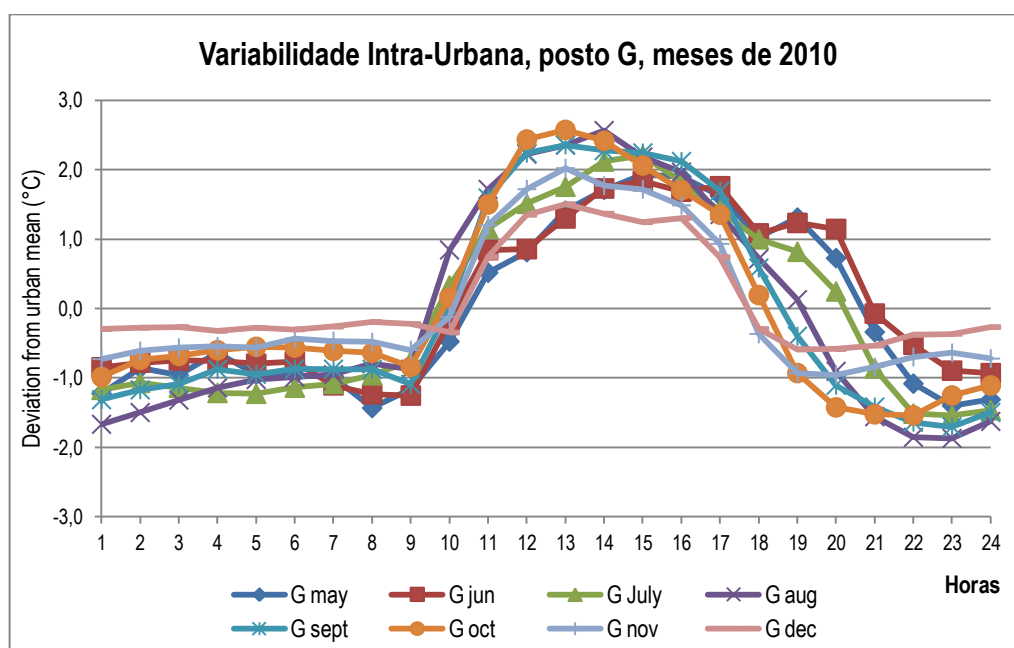


Gráfico 24 – Desenvolvimento diário/mensal das anomalias térmicas no Posto G, nos meses com dados disponíveis em 2010.

Merece especial atenção o decurso diário/mensal contrastante das curvas de postos G, E e H:

estes postos apresentam diferenças muito consideráveis no desenvolvimento diário da variação intra-urbana;

apresentam todos uma grande amplitude de variação térmica;

as diversas fases encontram-se muito desencontradas.

O conceito de "Ilha de Frio" é um termo muito relativo: o Posto E, por exemplo, é relativamente frio durante a tarde, mas, por outro lado, relativamente quente da parte da manhã.

## 1.5. RECURSO À ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

### Análise Fatorial das Correspondências

A análise fatorial das correspondências (AFC), é uma técnica no âmbito da estatística multivariada particularmente utilizada no tratamento de grandes quantidades de informação expressa em múltiplas variáveis; é também um método fatorial da análise de dados cujo objetivo consiste na descrição das estruturas relacionais subjacentes aos dados de partida<sup>452</sup>.

A AFC, enquanto método fatorial de análise de dados, permite-nos visualizar, através de gráficos bidimensionais (planos fatoriais) conseguidos à custa de uma redução na dimensionalidade espacial dos dados de partida, não só o sistema de relações no interior de cada um dos conjuntos formados pelas variáveis (colunas da matriz) ou pelos indivíduos (linhas da matriz), mas também os sistemas de relações conjuntas existentes entre variáveis e indivíduos. Embora uma das vantagens na aplicação da AFC resida na possibilidade de se visualizarem simultaneamente as estruturas entre as variáveis e os indivíduos, o uso que dela faremos neste trabalho resumir-se-á à descrição da estrutura relacional entre variáveis<sup>453</sup>.

A opção pela AFC – como técnica de análise de dados, destinada ao estudo dos desvios térmicos calculados relativamente às estações de referência Porto-Aeroporto e Posto G-Covelo – deveu-se, em parte<sup>454</sup>, à flexibilidade que este método fatorial apresenta no tratamento de matrizes de dados cujas variáveis iniciais podem vir expressas em diferentes escalas de medida.

---

<sup>452</sup> A propósito dos métodos fatoriais, Garcia Pereira e Jorge de Sousa, (1988, pág. 9) comentam «...O objectivo dos métodos descritivos é encontrar, com um mínimo de hipóteses à priori, uma representação aproximada do quadro de partida que garanta o máximo de conformidade geométrica com os dados...»

<sup>453</sup> O objetivo inicial na aplicação da AFC aos dados das estações de medição consistia na possibilidade de se estudar, não só o sistema de relações entre as variáveis e os indivíduos (facto que se revelou impraticável face ao elevado número de indivíduos presentes na matriz de dados e projetados nos planos fatoriais), mas também a eventual construção de arquétipos (por ex: uma situação de referência para um dia típico de verão e uma outra para um dia típico de inverno) definindo novos eixos fatoriais em relação aos quais se projetariam em suplementar as variáveis originais. Pretendia-se com esta última estratégia estabelecer uma espécie de regressão qualitativa das variáveis suplementares sobre as novas variáveis de referência. Concluiu-se no entanto que, face à acentuada variabilidade dos dados em torno das situações de referência, os resultados a extrair da estratégia acima referida não se traduziriam em qualquer tipo de acréscimo significativo no entendimento da fenomenologia em causa.

<sup>454</sup> Para além das potencialidades já assinaladas, outras vantagens da aplicação da AFC podem ser consultadas em Lebart (1975), Bouroche e Saporta (1980), E. Diday (1982), B. Escofier (1988), Garcia Pereira e Jorge de Sousa, (1988) e em X. Bry (1996).

Considerando que as nossas matrizes de dados iniciais (Tabela 16, exemplo de dados originais referenciados à estação do Aeroporto; totalidade de dados originais em anexo 3 POSTOS FIXOS 2004\_2005, ficheiro Tab\_1\_2\_3\_temperatura\_potencial.xls) continham variáveis de natureza muito diferente (tendo em conta as métricas em que se exprimem, por exemplo, as variáveis temperatura ou a direção do vento), foi necessário assegurar a homogeneidade das variáveis através de uma prévia codificação dos dados de partida. Esta codificação, que passou pela transformação de algumas variáveis mensuráveis em variáveis ordinais subdivididas em várias classes (aqui designadas por modalidades da variável), foi feita com base no estudo prévio detalhado do comportamento das variáveis e contou não só com a colaboração de uma especialista no domínio climático e um especialista no domínio estatístico (uma vez mais se agradece os inestimáveis contributos da Sr<sup>a</sup> Prof. Dr<sup>a</sup> Ana Monteiro e do Sr. Prof. Eng. Joaquim Góis), como atendeu também aos resultados obtidos por diversas codificações de ensaio em fases preparatórias e que serviram de teste à aplicação da AFC aos dados em estudo.

### **Justificação da divisão das variáveis em classes**

A divisão das diversas variáveis em classes aqui propostas, subjacente ao estudo da AFC, é discutível como tudo o resto, mas diga-se em abono do nosso trabalho, que foi rigorosa e detalhadamente ponderada.

Ainda que estatisticamente possa não ser a melhor opção de divisão em classes, devido ao eventual desequilíbrio obtido no número de indivíduos que “caiem” em cada classe por nós definida – sobretudo no que se refere aos desvios térmicos, os quais constituem as variáveis que nos interessam mais diretamente – consideramos que, sob o ponto de vista climático, fazem absoluto sentido:

- i) Pretendemos chamar a atenção, por um lado, para as Ilhas de Calor noturnas, as quais, independentemente de apresentarem muitas ou poucas ocorrências, são efetivamente aquelas que, no nosso estudo, correspondem ao critério por nós definido de  $\Delta T_{\max} \geq 2^{\circ}\text{C}$ ; constatámos já através de outras abordagens que esses valores, na verdade, se apresentam relacionados simultaneamente com o período 00h00-06h00, com valores baixos de velocidade do vento, Calmaria e vento Indeterminado e/ou Variável (sendo que Indeterminado/Variável nunca



excede o valor de 5 mph, portanto, correspondendo também a velocidades de vento baixas) e com pressão atmosférica superior a 1020 hPa, situações que, a verificar-se, vêm reforçar a nossa escolha de divisão em classes, mesmo que essas classes estatisticamente estejam pouco representadas em termos de frequências absolutas.

- ii) Por outro lado, não podemos esquecer-nos que este estudo baseado na aquisição de dados em postos fixos, em permanência durante as 24 horas do dia, engloba não só a abordagem das ICU no seu sentido mais tradicional, mas também todas as outras diferenças térmicas, ao longo do dia solar. Ora se este estudo revela que as ICU “negativas” apresentam boa correlação com os períodos das 06h00-12h00 e 12h00-18h00, isso é teoricamente expectável pois a maior parte das ocorrências de “ilhas de frio” devem corresponder a esses horários, considerando as características da física da atmosfera. Se além disso, apresentarem correlação pouco explícita com a pressão atmosférica e com os ventos, não será de admirar, pois as “ilhas de frio” diurnas, mais devidas às diferenças na exposição solar da estação de referência e dos postos de medição do que a outro qualquer fator, possivelmente terão exatamente esse tipo de comportamento.
- iii) Quais são então os casos sobranceiros, isto é, os que não cabem nestes dois grupos que acabámos de enunciar? Restam sobretudo os dias de maior instabilidade, em que as ICU’s noturnas e as “ilhas de frio”, a existirem, não serão tão facilmente correlacionáveis com qualquer variável ou, a serem-no, corresponderão preferencialmente a horas indiscriminadas, relativas às velocidades de vento de valores mais elevados, e valores variáveis de pressão atmosférica, provavelmente com predomínio das duas classes que englobam os valores mais baixos de pressão.
- iv) Apesar de que, estatisticamente, poderíamos ter diluído mais o número das ocorrências por classes de desvios mais ou menos homogêneas, climaticamente essa operação afastar-nos-ia dos objetivos de correlação das variáveis e daquilo que nelas queremos evidenciar. Acresce ainda que, mesmo que as duas classes de desvios com maior número de incidências sejam precisamente as que menos possam interessar-nos para esta pesquisa (classes de valores de desvios compreendidos entre  $]-10, 0]$  e  $]0, +2 ]$  no caso da estação de referência Porto-Aeroporto, e classes de valores de desvios

compreendidos entre ]-15, -1] e ]0, +2] no caso da estação de referência posto G-Covelo), a sua correlação com as outras variáveis denota exatamente isso: os valores negativos em geral e os positivos de valores mais baixos são pouco importantes para as “ilhas de calor” de maior magnitude, mas são os que predominam em número absoluto.

Analisemos, como elemento exemplificativo desta suposta “incompatibilidade” de objetivos estatísticos *vs* climáticos, alguns casos concretos em que a divisão em classes está praticamente feita *a priori*, sem que tenhamos grandes possibilidades de escolha ou até sem que nela possamos interferir:

- a) Na análise que acabámos de efetuar, a divisão das horas do dia em classes é praticamente retórica, embora, em média, devam ser obtidas correlações razoavelmente aceitáveis com a divisão pela qual optámos; é claro que o número de ocorrências em cada classe é verdadeiramente idêntico (salvo ligeiras diferenças, decorrentes do facto de algumas horas, de alguns poucos dias, terem sido excluídas por falta de dados da estação de referência Porto-Aeroporto) e, portanto, se os dias constantes da estatística estivessem completos, o número de ocorrências em cada classe teriam de ser exatamente iguais.
- b) Um outro exemplo é o da direção dos ventos: todos os rumos têm de estar obrigatoriamente representados mas, *in extremis*, qualquer um deles poderia teoricamente apresentar o número de ocorrências zero ou de 18 032. Não é de admirar que possa acontecer – e neste caso concreto acontece – que haja rumos com elevado número de ocorrências (exemplo: ND, NNW, NW, E, N, ESE e S) e rumos com baixo número de ocorrências (exemplo: ENE, NE, WSW, NNE, WSW e SW). Estatisticamente seria desejável que na Análise Fatorial de Correspondências cada rumo tivesse um número elevado de ocorrências e fosse o mais homogéneo possível para que pudesse ser representativo; mas a realidade é esta e nem sequer admira que assim seja, uma vez que esta divisão não depende em absoluto da nossa escolha.

Num estudo de maior pormenor, poderiam também ser feitas análises fatoriais de correspondências parcelares, por mês ou por estação do ano (neste caso provavelmente não no sentido astronómico, mas sim de acordo com equidade de

dias entre as horas do nascer e pôr do sol, com as datas Equinociais e Solsticiais a ocupar o ponto central da divisão das estações em universos estatísticos).

O que acabámos de referir, aplica-se na generalidade quer à análise fatorial de correspondências baseada nos desvios relativos à estação de Porto-Aeroporto, quer relativamente à estação de Covelo (posto G). Devemos ainda salientar que este tipo de análise nos permite, mais uma vez, tirar conclusões sobre a importância da escolha da estação de referência. Os resultados obtidos com os desvios relativos ao posto G, revelaram-se bastante mais credíveis e em consonância muito mais evidente com os resultados geralmente obtidos em trabalhos da literatura específica desta área científica<sup>455</sup>, do que os resultados da estação de Porto-Aeroporto. Por esta razão, não seria de forma alguma possível, dadas as discrepâncias acentuadas entre os desvios relativos às duas estações de referência (quer em termos de magnitudes dos desvios, quer da sua evolução temporal, sobretudo diurna), manter sempre os mesmos intervalos de classes nos dois estudos. A única vantagem dessa eventual manutenção residiria no fato de se poderem comparar os resultados relativos às duas estações de referência em termos absolutos, o que se torna praticamente impossível e nem sequer é aconselhável.

Variável 1, Hora - quanto à divisão das horas em classes, pensámos que as alternativas à nossa seleção só teriam significado em estudos de AFC de maior pormenor temporal, por exemplo, segundo a estação do ano; nesse caso poderia fazer sentido eleger outros intervalos, que levassem em conta os períodos de duração do dia e da noite e/ou as horas de maior ou menor ângulo de incidência dos raios solares.

<b>Classes da variável 1 - Hora</b>			
<b>Classe 1 (H1)</b>	<b>Classe 2 (H2)</b>	<b>Classe 3 (H3)</b>	<b>Classe 4 (H4)</b>
<b>] 00h - 06h]</b>	<b>] 06h - 12h]</b>	<b>] 12h - 18h]</b>	<b>] 18h - 00h]</b>

Variável 2, Desvios Térmicos - quanto às classes dos valores dos desvios, fizemos uma análise baseada nos estatísticos simples e pareceu-nos que, no caso dos desvios à estação Porto-Aeroporto, não seria necessário separar em duas classes

---

<sup>455</sup> Oke, T.R. – Boundary layer climates, 1978/1987, Routledge, London and New York, ISBN 0-415-04319-0, Pág. 290.

os desvios negativos; estes desvios ocorrem, com baixo ou elevado valor, em qualquer situação de velocidade de vento, desde “Calmaria” a velocidades de 24mph, e em presença das mais diversas direções de vento. Tendo anteriormente já concluído que se relacionam fundamentalmente com a hora do dia/exposição solar (geralmente imediatamente após o nascer do sol e/ou durante a manhã), mais do que com as situações sinóticas e os ventos.

Por outro lado, para evidenciar a distinção entre “ilhas de frio” e “ilhas de calor”, não nos pareceu muito acertada uma eventual classe ]-2,+2], onde se agrupariam ilhas de frio e de calor.

Sugestão:	Classes da variável 2 - Desvios Térmicos (T°C)				
Alternativa 1	] -10, 0]	] 0, +2]	] +2, +5]	] +5, +7]	] +7, +13]
Alternativa 2	] -10, -2]	] -2, +2]	] +2, + 6]	] +6, +13]	
Alternativa 3	] -10, 0]	] 0, +2]	] +2, +5]	] +5, +13]	

Acabámos por optar pela alternativa 3 por entendermos que deveria ser evitada a dispersão por classes com poucas ocorrências (tendo em conta que o objetivo era o tratamento através da AFC).

No caso dos desvios à estação Posto G-Covelo, a seleção foi mais simples pois a maior amplitude dos desvios negativos não nos deixava muitas alternativas que nos permitissem evitar classes pouco homogéneas.

Variável 3, Rumos do Vento – por razões de ordem prática de pormenor, decidimos neste caso não agrupar os rumos do vento em classes de direção de vento; desta forma, como já atrás referido, não se verificam alternativas de escolha, à exceção das ocorrências ND=Não Discriminado (vento de direção variável não discriminada), que mesmo assim tem alguma diferenciação com base nas velocidades, uma vez que ND0 corresponde a “Calmaria” e NDx corresponde à respetiva velocidade do vento variável).

Designação da velocidade do Vento	Simplificação da escala de Beaufort			Utilização, na prática, pelo <i>Instituto Português do Mar e da Atmosfera</i>		
	m/s	Km/h	mph	m/s	Km/h	mph
Fraco	≤ 5,4	≤ 19	≤ 11	≤ 4	≤ 15	≤ 9
Moderado	5,5 e 10,7	20 e 39	11 e 24	5 e 10	15 e 35	10 e 22
Forte	≥ 10,8	≥ 39	≥ 24≥	> 10	> 35	> 22

Tentando adaptar as duas escalas – a simplificada de Beaufort e a usada na prática pelo ex-Instituto de Meteorologia, atualmente do Mar e da Atmosfera – sugerimos duas alternativas, com 4 classes cada. Sabendo nós que a partir de ventos de cerca de 4 a 6mph (dependendo também bastante da direção do vento) a ICU noturna se dissipa facilmente, pareceu-nos pouco lógico separar “Calmaria” e ventos muito fracos, como sugerido na alternativa 1.

Variável 4, Velocidade do Vento – quanto à escolha das classes de velocidade de vento, a principal dificuldade residiu sobretudo na variedade e indefinição de nomenclaturas.

Sugestão:	Classes da variável 4 - Velocidade do vento (mph)			
	Calmo e muito fraco	Fraco	Moderado	Forte
Alternativa 1	0	1 a 9	10 a 22	> 22
Alternativa 2	0 a 4	5 a 9	10 a 22	> 22

Optámos pela alternativa 2, sem no entanto atribuir explicitamente qualquer designação às diversas velocidades do vento.

Variável 5, Pressão Atmosférica – embora sabendo que são sobretudo a velocidade e direção do vento que interferem mais nos valores dos desvios térmicos, pretendemos também incluir a variável pressão atmosférica. A partir dos resultados já anteriormente obtidos e com base numa análise puramente empírica, pareceu-nos que os valores mais elevados de pressão deveriam corresponder a desvios térmicos também elevados (até porque as altas pressões correspondem a estabilidade e as baixas, geralmente, a maior instabilidade e, portanto, a ventos de maior velocidade).

Dado que não dispúnhamos de resultados preliminares claros relativos a esta variável, decidimo-nos por experimentar com duas ou três escalas de pressão diferentes, com base na própria Análise Fatorial de Correspondências<sup>456</sup>, na

---

<sup>456</sup> Segundo Hair *et al* (2009), adicionalmente em função de seu caráter de redução de dados, a técnica da AFC também pode ser considerada como exploratória.

esperança de que se “fizesse luz” sobre uma questão que, sob uma perspectiva puramente empírica, é difícil de apreender<sup>457</sup>.

Sugestão:	Classes da variável 5 - Pressão Atmosférica (hPa)			
Alternativa 1	<=1000	]1000 - 1012]	]1012 - 1020]	>1020
Alternativa 2	<=1004	]1004 - 1016]	]1016 - 1020]	>1020
Alternativa 3	<=1008	]1008 - 1016]	]1016 - 1020]	>1020

Dado que a partir deste exercício prático, com as escalas que usámos, não conseguimos, estabelecer uma relação inequívoca entre esta variável e as restantes, optámos por eleger a alternativa 2 por estar mais de acordo com as necessidades da AFC.

### **Matriz de dados originais vs matriz codificada para a AFCB**

No caso dos nossos dados originais (exemplo, excerto tabela 16), as tabelas construídas e codificadas em disjuntivas completas, apresentam-se, respetivamente para os desvios relativos à estação Porto-Aeroporto e estação Posto G-Covelo como:

- uma matriz de 57 colunas cuja soma em linha é sempre igual a 11 (número total de subvariáveis) e cuja soma em coluna dá a frequência absoluta de cada modalidade das diferentes variáveis ( exemplo, excerto tabela 17);
- uma matriz de 53 colunas cuja soma em linha é sempre igual a 10 (número total de subvariáveis) e cuja soma em coluna dá a frequência absoluta de cada modalidade das diferentes variáveis.

Para cada variável, a soma das frequências absolutas das suas modalidades é sempre igual ao número de indivíduos amostrados  $n$ , e portanto o total em linha e em coluna reproduz  $nQ$  (18032). Esta propriedade é importante, visto que, deste modo, a tabela de dados pode ser tomada como justaposição de tabelas de contingência.

---

<sup>457</sup> Sobretudo nos valores “intermédios” da pressão atmosférica, pois os valores muito altos de pressão e os muito baixos, não são problemáticos, mas os valores intermédios de pressão, que por vezes também originam desvios de valor considerável, podem proporcionar resultados inesperados. Reiteramos a nossa convicção de que, para provarmos sem sombra de dúvida o inestimável valor deste tipo de análise estatística para este tipo de variáveis complexas, deveremos efetuar um estudo de maior pormenor temporal.

Tabela 16 - Dados originais: desvios térmicos referenciados à Estação de Porto-Aeroporto

N.º Amostra	Data/Hora	Desvios da Temperatura das Estações em relação ao Aeroporto ( $\Theta_i - \Theta_{\text{airport}}$ )							Vento		Pressão Atmosférica
		Rua do Tejo	Costa Cabral	Arca D' Água	Quinta do Covelo	Rua do Padrão	Faria Guimarães	São João Brito	Velocidade	Direcção	---
		$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	$\Delta\Theta$ °C	mph	----	hPa
1	10-05-2010 12:01	2,9	2,7	3,4	4,3	2,6	3,3	1,9	12	SW	1008
2	10-05-2010 13:01	2,7	2,8	3,1	4,3	3,4	4,0	1,4	13	S	1008
3	10-05-2010 14:01	-0,2	-0,2	0,2	1,2	-0,1	0,5	-1,1	8	SW	1008
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18030	31-05-2012 22:00	3,7	4,6	1,5	-0,1	4,0	3,2	2,4	5	NW	1014
18031	31-05-2012 23:00	5,3	6,8	3,5	1,6	5,7	5,8	3,8	3	NW	1013
18032	01-06-2012 00:00	6,2	7,4	4,2	3,0	5,8	6,1	3,8	0	ND	1013

Tabela 17 - Dados codificados em matriz disjuntiva completa para aplicação da Análise Fatorial das Correspondências binárias: quadro de descrição lógica (presença/ausência) - desvios térmicos referenciados à Estação de Porto-Aeroporto.

Subvariáveis (11) ⇒ Modalidades(57) ⇒ Indivíduos (18032) ↓	Hora				Desvios Temp. Aerop- R. Tejo				...	Direcção do Vento							Pressão (hPa)				
	H1	H2	H3	H4	TeD1	TeD2	TeD3	TeD4	...	N	NNE	NE	ENE	...	NW	NNW	ND	P1	P2	P3	P4
1	0	0	1	0	0	0	1	0	...	0	0	0	0	...	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	0	1	0	...	0	0	0	0	...	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	1	0	1	0	0	0	...	0	0	0	0	...	0	0	0	0	1	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18030	0	0	0	1	0	0	1	0	...	0	0	0	0	...	1	0	0	0	1	0	0
18031	0	0	0	1	0	0	0	1	...	0	0	0	0	...	1	0	0	0	1	0	0
18032	1	0	0	0	0	0	0	1	...	0	0	0	0	...	0	0	1	0	1	0	0

$Q$  variáveis ( $Q = 5$  ou 11 subvariáveis);  $p$  modalidades ( $p = 57$ );  $n$  indivíduos ( $n = 18032$ )

A análise fatorial de correspondências binárias (AFCB)<sup>458</sup> constitui um método que privilegia as formulações dos dados de partida em quadros disjuntivos completos e que considera simultaneamente um conjunto multidimensional de variáveis, tendo em conta o sistema de interdependências entre as diferentes modalidades de todas as variáveis.

A síntese da subdivisão das variáveis nas diferentes modalidades (Figuras 77 e 79, respetivamente, para os desvios ao Aeroporto e desvios ao Posto G-Covelo) bem como os correspondentes histogramas de frequências para a totalidade dos registos obtidos durante o período de funcionamento dos postos fixos de medição e as respetivas variáveis associadas (figuras 78 A a K, cálculos ao Aeroporto; figuras 80 A a F, cálculos ao Posto G-Covelo) podem ser observados nas páginas que se seguem (para consulta de todos os ficheiros produzidos como base de trabalho, ver anexo 5 ESTATISTICA AFCB, com ficheiros Excel completos: ficheiro “*AirP MULTIVARIADA AFC DESVIOS POTENCIAIS*” e ficheiro “*Point G MULTIVARIADA AFC DESVIOS POTENCIAIS*”).

Com a inclusão da variável “HORA”, pretendeu-se averiguar a existência de uma possível relação entre as diferentes modalidades das variáveis climáticas e as modalidades em que foi subdividida esta nova variável (faz-se notar que já foram anteriormente assinaladas variações no comportamento diário de alguns dos elementos climáticos em estudo, por exemplo, o fenómeno das brisas marítimas vs brisas terrestre<sup>459</sup>).

---

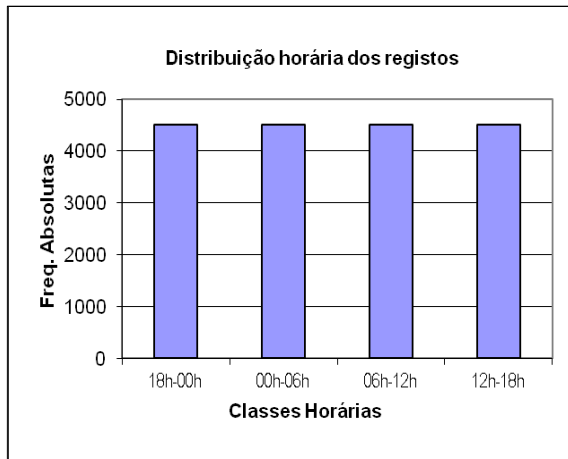
<sup>458</sup> A análise fatorial de correspondências binárias (AFCB) baseada nos trabalhos de C. Burt (1950), desenvolvida por Benzécri (1973) e por Lebart (1975), constitui uma simples extensão da AFC cujos objetivos iniciais se destinavam ao tratamento de questionários.

<sup>459</sup> Segundo J. Góis (2004): “*Estudos recentes em que nos vimos envolvidos (identificação dos níveis de ozono na malha urbana da cidade do Porto) constatam a influência que pode ter o regime de ventos, às primeiras horas da manhã, nas variações da concentração de ozono*”.

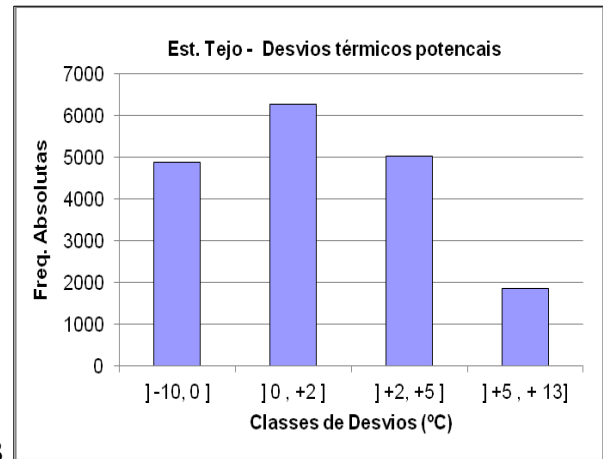


<b>AFC – 1ª Experiencia – desvios em relação à estação de Porto-Aeroporto</b>																			
Período em análise: 10 de Maio de 2010 a 1 de Junho de 2012																			
N.º de linhas – 18 032						N.º de Variáveis – 5						N.º de Modalidades – 57							
<b>Variável 1 HORA – 4 modalidades H1, H2, H3 e H4</b>																			
Hora do Dia																			
				Classe 1 (H1)				Classe 2 (H2)				Classe 3 (H3)				Classe 4 (H4)			
				] 00h - 06h]				] 06h - 12h]				] 12h - 18h]				] 18h - 00h]			
<b>Variável 2 DESVIOS TÉRMICOS – 4 modalidades T1, T2, T3 e T4 x 7 subvariáveis = 28 submodalidades (°C)</b>																			
<b>11 Subvariáveis:</b> Te-Tejo; Cc-Costa Cabral; Aa-Arca d'Água; Qc-Quinta do Covelo; Pa-Padrão; Fg- Faria Guimarães; Jb- S. João de Brito																			
Classe 1 (T1)				Classe 2 (T2)				Classe 3 (T3)				Classe 4 (T4)							
]-10, 0]				]0, +2]				]+2, +5]				]+5, +13]							
TeD1				TeD2				TeD3				TeD4							
CcD1				CcD2				CcD3				CcD4							
AaD1				AaD2				AaD3				AaD4							
QcD1				QcD2				QcD3				QcD4							
PaD1				PaD2				PaD3				PaD4							
FgD1				FgD2				FgD3				FgD4							
JbD1				JbD2				JbD3				JbD4							
<b>Variável 3 RUMOS DO VENTO</b>																			
N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	ND	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
<b>Variável 4 VELOCIDADE DO VENTO – 4 modalidades V1, V2, V3 e V4 (mph)</b>																			
Classe 1 (V1)				Classe 2 (V2)				Classe 3 (V3)				Classe 4 (V4)							
0 a 4				5 a 9				10 a 22				> 22							
<b>Variável 5 PRESSÃO ATMOSFÉRICA – 4 modalidades P1, P2, P3 e P4 (hPa)</b>																			
Classe 1 (P1)				Classe 2 (P2)				Classe 3 (P3)				Classe 4 (P4)							
<=1004				]1004 -1016]				]1016-1020]				>1020							

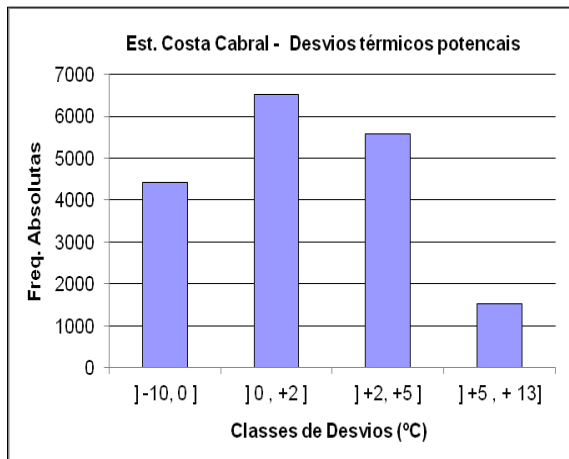
Figura 77 - AFC: divisão das variáveis em classes (modalidades), desvios em relação à estação de Porto-Aeroporto.



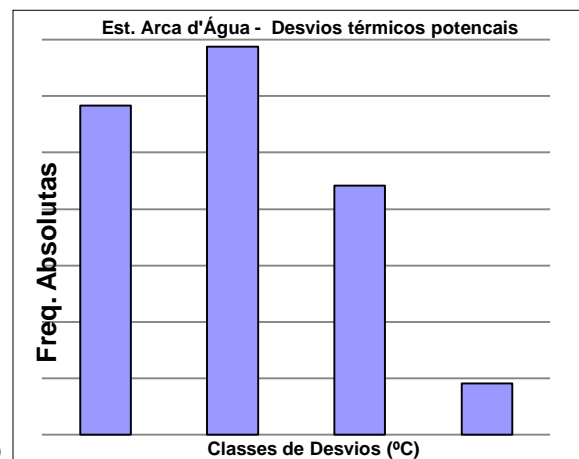
A



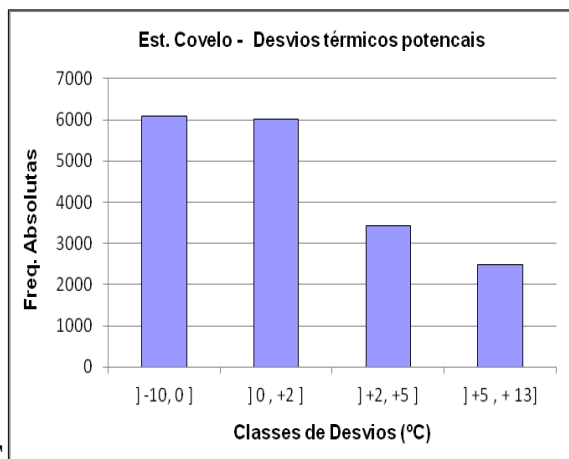
B



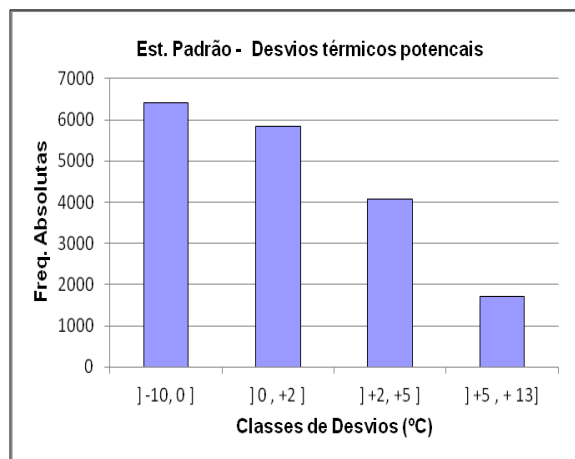
C



D



E



F

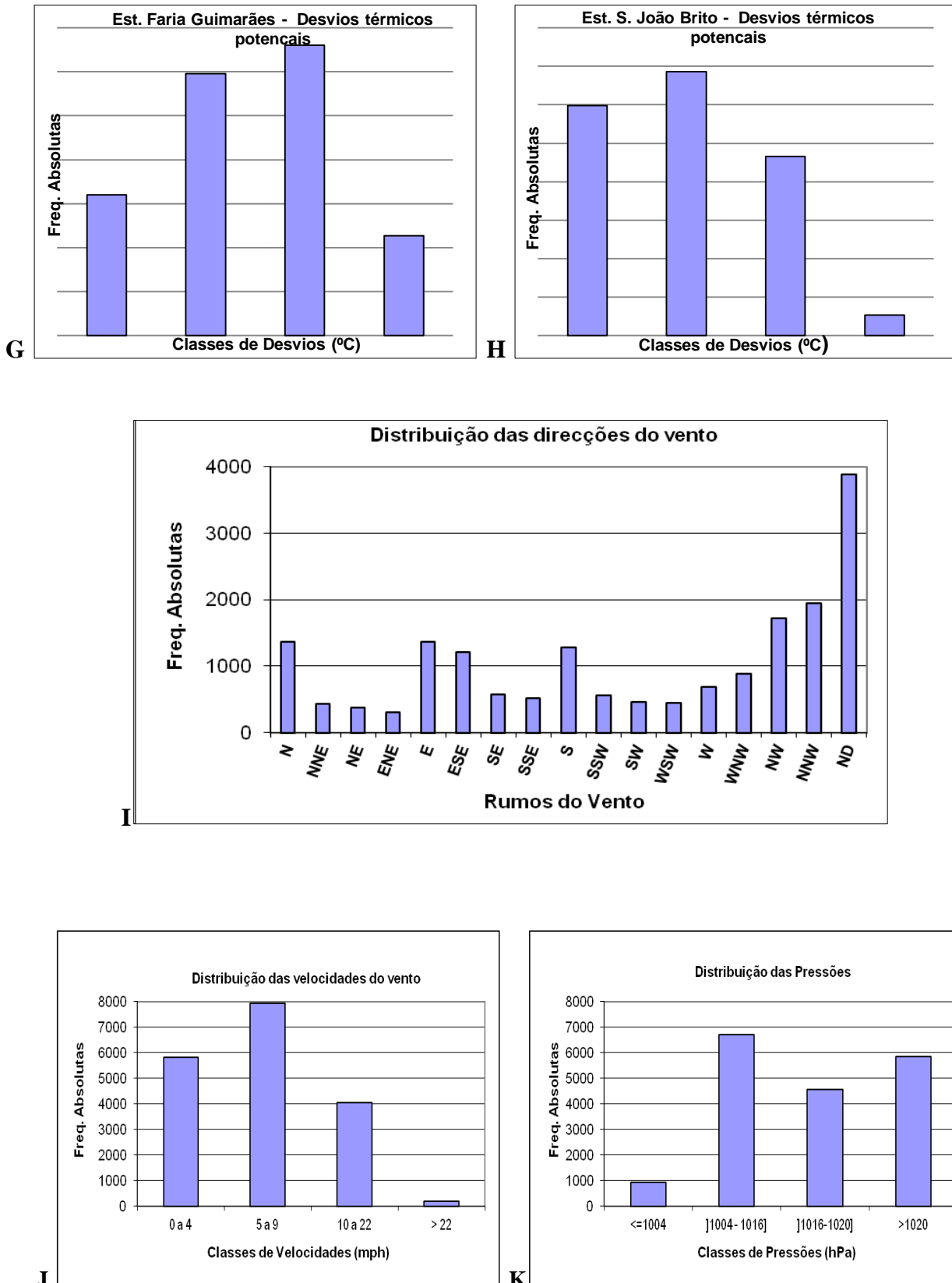


Figura 78 - A a K: Histogramas das modalidades das variáveis utilizadas na AFC (totalidade dos registos): 1ª Experiencia – desvios em relação à estação de Porto-Aeroporto.

<b>AFC – 2ª Experiencia – desvios em relação ao Posto G-Covelo</b>																			
Período em análise: 10 de Maio de 2010 a 1 de Junho de 2012																			
N.º de linhas – 18 032						N.º de Variáveis – 5						N.º de Modalidades – 53							
Variável 1 <b>HORA</b> – 4 modalidades H1, H2, H3 e H4																			
Hora do Dia																			
				<b>Classe 1 (H1)</b>				<b>Classe 2 (H2)</b>				<b>Classe 3 (H3)</b>				<b>Classe 4 (H4)</b>			
				] 00h - 06h]				] 06h - 12h]				] 12h - 18h]				] 18h - 00h]			
Variável 2 <b>DESVIOS TÉRMICOS</b> – 4 modalidades T1, T2, T3 e T4 x 6 subvariáveis = 24 submodalidades (°C)																			
<b>10 Subvariáveis:</b> Te-Tejo; Cc-Costa Cabral; Aa-Arca d'Água; Pa-Padrão; Fg- Faria Guimarães; Jb- S. João de Brito																			
<b>Classe 1 (T1)</b>				<b>Classe 2 (T2)</b>				<b>Classe 3 (T3)</b>				<b>Classe 4 (T4)</b>							
] -15, -1 ]				] -1, 0 ]				] 0, +2 ]				] +2, + 10 ]							
Ted1				Ted2				Ted3				Ted4							
Ccd1				Ccd2				Ccd3				Ccd4							
Aad1				Aad2				Aad3				Aad4							
Pad1				Pad2				Pad3				Pad4							
Fgd1				Fgd2				Fgd3				Fgd4							
Jbd1				Jbd2				Jbd3				Jbd4							
Variável 3 <b>RUMOS DO VENTO</b>																			
<b>N</b>	<b>NNE</b>	<b>NE</b>	<b>ENE</b>	<b>E</b>	<b>ESE</b>	<b>SE</b>	<b>SSE</b>	<b>ND</b>	<b>S</b>	<b>SSW</b>	<b>SW</b>	<b>WSW</b>	<b>W</b>	<b>WNW</b>	<b>NW</b>	<b>NNW</b>			
Variável 4 <b>VELOCIDADE DO VENTO</b> – 4 modalidades V1, V2, V3 e V4 (mph)																			
				<b>Classe 1 (V1)</b>				<b>Classe 2 (V2)</b>				<b>Classe 3 (V3)</b>				<b>Classe 4 (V4)</b>			
				0 a 4				5 a 9				10 a 22				> 22			
Variável 5 <b>PRESSÃO ATMOSFÉRICA</b> – 4 modalidades P1, P2, P3 e P4 (hPa)																			
				<b>Classe 1 (P1)</b>				<b>Classe 2 (P2)</b>				<b>Classe 3 (P3)</b>				<b>Classe 4 (P4)</b>			
				<=1004				]1004 -1016]				]1016-1020]				>1020			

Figura 79 - AFC: divisão das variáveis em classes (modalidades), desvios em relação ao Posto G-Covelo.

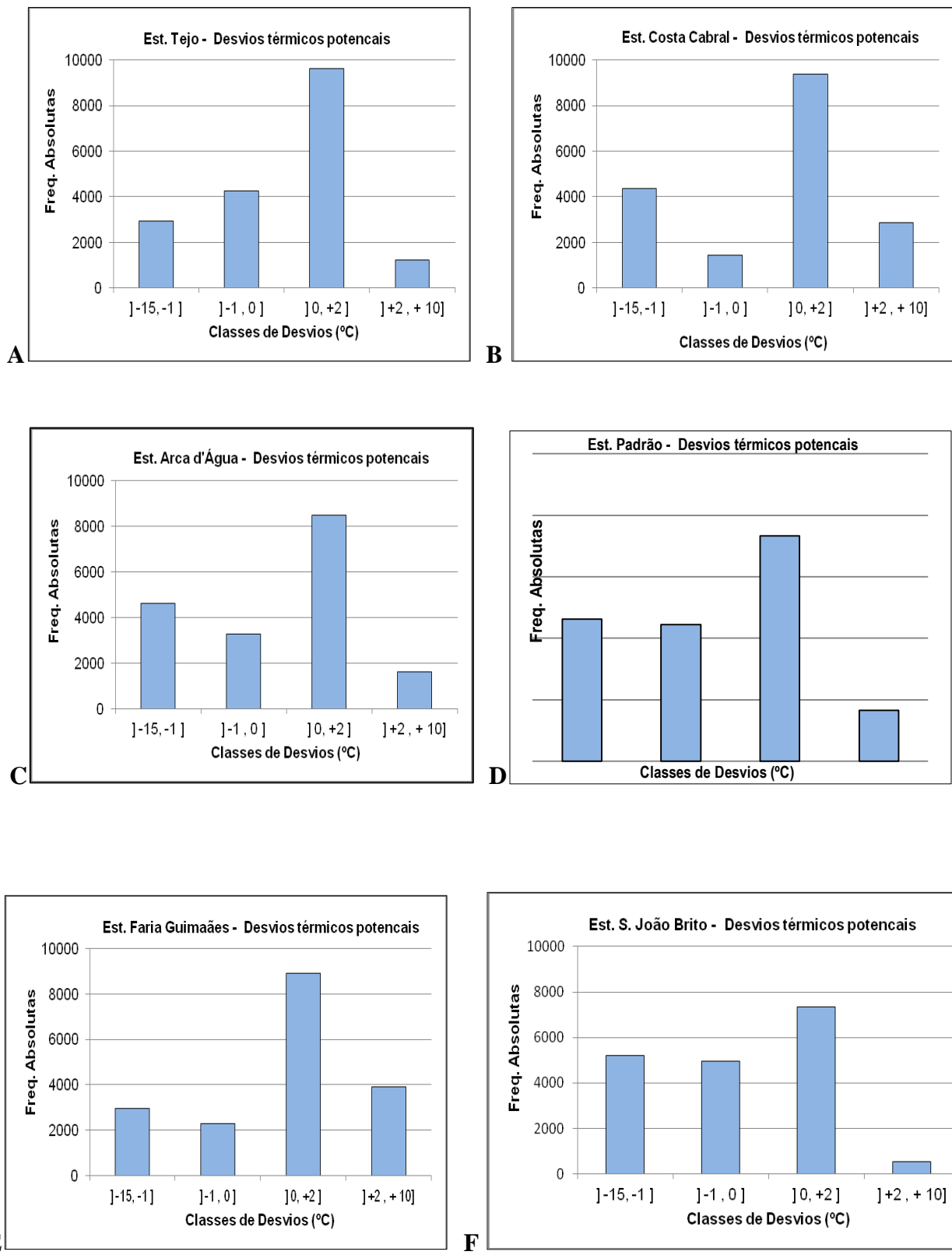


Figura 80 - A a F: Histogramas das modalidades da variável desvios térmicos utilizada na AFC (totalidade dos registos): 2ª Experiencia – desvios em relação à estação Posto G-Covelo.

**AFC – 1ª Experiencia: 18032 indivíduos x 5 variáveis (11 subvariáveis) → 57 modalidades), desvios em relação à estação de Porto-Aeroporto. Colunas - 57 Linhas – 18032**

A tabela que se segue (Tabela 18) indica a percentagem (coluna da % Explicativa) da explicação atribuível a cada eixo fatorial. As baixas percentagens verificadas decorrem do elevado número de modalidades (57) e de indivíduos (18032) em análise e não poderão constituir argumento para uma menor representatividade do sistema de correlação evidenciado.

Tabela 18 - 1ª Experiencia AFCB: valor próprio e percentagem explicativa dos eixos

Eixos	% Explicativa	% Acumulada
1	12.64	12.64
2	8.76	21.40
3	5.76	27.16
4	4.37	31.52
5	3.27	34.80
6	2.93	37.72

Na tabela 19 estão representadas as contribuições absolutas de cada modalidade. Foram consideradas como válidas, as contribuições que excedem o valor  $100/p$  (neste caso o valor de 1,76). Este critério baseia-se na hipótese de uniformidade distribucional.

A análise dos *outputs* gráficos (gráficos bidimensionais, exemplo figura 81) obtidos a partir da aplicação da AFCB para a totalidade dos registos (figuras 82 a 85, e ainda figuras 86 a 91, respetivamente para os desvios calculados relativamente a Porto-Aeroporto e Posto G-Covelo) obedece a algumas regras de interpretação que se relacionam com a escolha do número de eixos de inércia a reter<sup>460</sup>.

---

<sup>460</sup> À semelhança da ACP, procuram-se taxas de inércia explicadas com percentagens aceitáveis: «...A interpretação dos resultados de uma AFC consiste em atribuir um significado aos eixos de inércia em termos de propriedades – (ou indivíduos) que os explicam, num segundo passo; as proximidades e oposições entre indivíduos e modalidades são interpretadas com base no significado conferido aos eixos no primeiro passo...» Garcia Pereira e Jorge de Sousa (1988, pág. 72).

Essas regras são baseadas nas seguintes razões, entre outras:

- a simplicidade da interpretação;
- a forma da nuvem de projeções cuja distribuição espacial pode dar indicações sobre a estrutura subjacente ao quadro de partida;
- a posição e contribuição absoluta das variáveis para a construção do eixo fatorial (a contribuição relativa intervêm na análise de modalidades ou indivíduos particulares).

Optou-se por considerar que uma modalidade está relacionada com um eixo fatorial, sempre que a sua contribuição absoluta excede o valor  $100/p$  modalidades. Esta opção decorre do facto de se considerar que, numa hipótese de uniformidade de distribuição, cada modalidade contribuiria com o valor indicado. Se uma modalidade excede o valor sugerido, então nesse eixo, a modalidade revela um peso maior do que aquele que lhe adviria se todas as modalidades fossem igualmente importantes.

Numa primeira abordagem exemplificativa das regras a que obedece a análise dos *outputs* gráficos, podemos referir que a observação do plano fatorial constituído pelos eixos **F1**, **F2** (Figura 5) permite evidenciar entre outras, as seguintes características: verifica-se uma forte correlação positiva entre as modalidades **H2** (ocorrências registadas entre as 06h00-12h00), **V4** (velocidades de ventos superiores a 22 mph), **P1** (pressões atmosféricas iguais ou inferiores a 1004 hPa), **ESE** (rumos de vento de és-sudeste), **SE** (rumos de vento de Sudeste), **SSE** (rumos de vento de su-sudeste), **S** (rumos de vento de sul), **E** (rumos de vento de este) e as modalidades TcD1, CcD1, FgD1, AaD1, PaD1, JbD1, QcD1 (classes de desvios negativos entre ]-10°C,0°C]), em todas as estações.

Tabela 19 - Contribuições absolutas maiores do que  $100/57 = 1.76$   
(todas as variáveis, todos os indivíduos)

Variável	Código da Modalidade	Significado da Modalidade	Contribuição Absoluta da Modalidade no Eixo (100/57)				
			1	2	3	4	5
Hora	H4	] 18h - 00h]					3.37
	H1	] 00h - 06h]		1.78		3.19	
	H2	] 06h - 12h]	2.22				3.63
	H3	] 12h - 18h]				11.94	
Desvios Térmicos Estação Tejo	TeD1	] -10, 0]	7.90	2.78			
	TeD2	] 0, +2]		8.27	4.00		
	TeD3	] +2, +5]	3.35		8.00	3.48	
	TeD4	] +5, +13]	3.73	6.42	4.93	2.30	
Desvios Térmicos Estação C. Cabral	CcD1	] -10, 0]	6.03	3.22			
	CcD2	] 0, +2]		3.07	6.44		
	CcD3	] +2, +5]	3.46		5.01		
	CcD4	] +5, +13]	3.02	3.79		9.98	
Desvios Térmicos Estação A.d'Água	AaD1	] -10, 0]	5.84	2.04			
	AaD2	] 0, +2]		5.30	2.90		
	AaD3	] +2, +5]	3.70		5.08		
	AaD4	] +5, +13]		2.06	1.93		3.70
Desvios Térmicos Estação Qt Covelo	QcD1	] -10, 0]	6.09				
	QcD2	] 0, +2]		6.11			
	QcD3	] +2, +5]			2.94	4.00	
	QcD4	] +5, +13]	3.81	5.67	4.01		
Desvios Térmicos Estação Padrão	PaD1	] -10, 0]	6.80	2.13			
	PaD2	] 0, +2]		6.75	4.84		
	PaD3	] +2, +5]	3.39		9.63		
	PaD4	] +5, +13]	3.44	5.35	3.11	2.92	
Desvios Térmicos Estação Far. Guim.	FgD1	] -10, 0]	6.34	3.31			
	FgD2	] 0, +2]		3.54	5.33		
	FgD3	] +2, +5]	2.53		4.63	2.27	
	FgD4	] +5, +13]	3.37	4.54		4.18	
Desvios Térmicos Estação S.J.Brito	JbD1	] -10, 0]	7.15				
	JbD2	] 0, +2]		7.08			
	JbD3	] +2, +5]	4.84	1.83			
	JbD4	] +5, +13]		2.82	3.76	1.97	
Rumos do Vento	N	N					
	NNE	NNE					
	NE	NE					
	ENE	ENE					
	E	E					3.39
	ESE	ESE					1.94
	SE	SE					
	SSE	SSE					
	S	S					16.71
	SSW	SSW					
	SW	SW					
	WSW	WSW					
	W	W					1.78
	WNW	WNW					2.87
NW	NW				2.38		
NNW	NNW					2.78	
ND	ND			2.80	15.11		
Velocidade do Vento	V1	0 a 4		1.76	3.17	14.33	
	V2	5 a 9				3.40	9.12
	V3	10 a 22				3.60	8.66
	V4	> 22					14.93
Pressão Atmosférica	P1	<=1004					5.73
	P2	]1004 - 1016]					3.43
	P3	]1016-1020]					
	P4	>1020					5.05



AFC – 1ª Experiencia: *outputs* gráficos obtidos a partir da aplicação da AFCB, desvios em relação à estação de Porto-Aeroporto

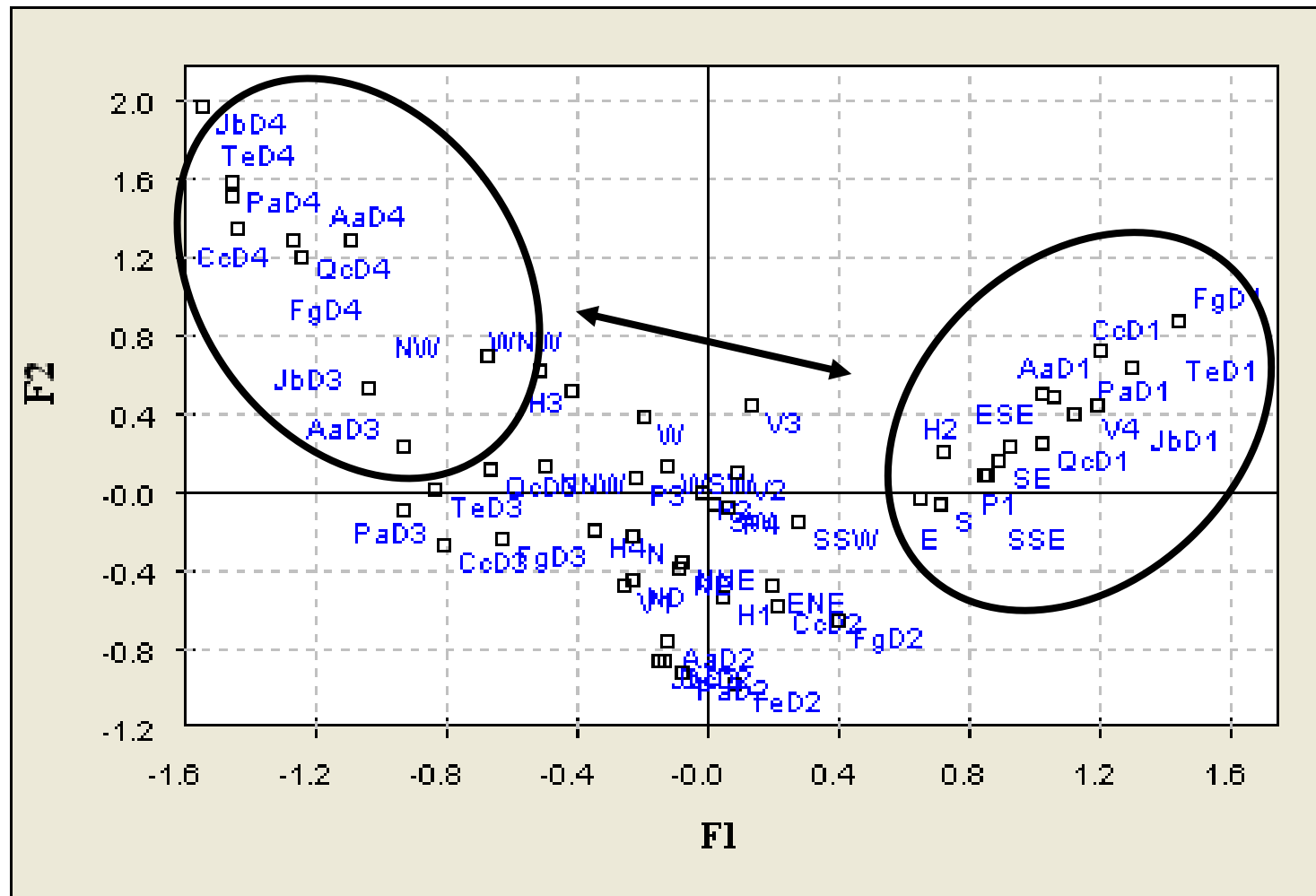


Figura 81 - AFCB, todas as variáveis: projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2), interpretação ao longo do eixo 1 (F1).

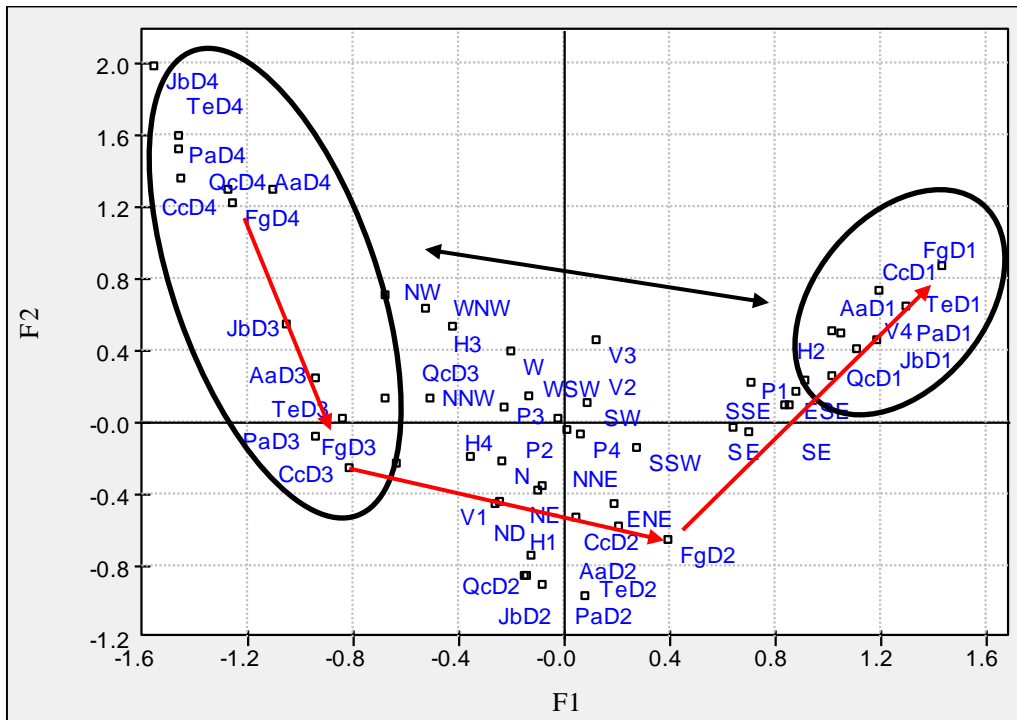


Figura 82 - AFCB (A1-Desvios em relação a Porto-Aeroporto) – Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação ao longo do eixo 1 (F1).

Analisando a Fig.82 com mais pormenor, pode concluir-se que, ao longo do Eixo 1 (F1), distribuem-se as quatro modalidades das variáveis desvios térmicos (por exemplo, ao longo do eixo 1, é possível identificar a distribuição sequencial **FgD4** → **FgD3** → **FgD2** → **FgD1**).

O eixo 1 poderá ser interpretado como aquele que discrimina entre os desvios térmicos positivos (semi-eixo negativo) ligados às modalidades **XxD3** e **XxD4** e os desvios térmicos mais baixos associados às modalidades **XxD2** e **XxD1**, os quais estão projetados no semi-eixo positivo<sup>461</sup>. As observações acima referidas são válidas para a quase totalidade das estações de medição. Em conclusão poder-se-á evidenciar a existência de uma forte correlação positiva entre as modalidades que representam os desvios térmicos mais elevados em todas as estações de medição (vidé proximidade das projeções no plano fatorial), uma forte correlação positiva entre as modalidades que representam os desvios térmicos negativos e uma forte correlação negativa entre estes dois conjuntos de modalidades.

<sup>461</sup> Na modalidade XxD3 e seguintes, a sigla Xx indica os caracteres para as diferentes estações de medição, por exemplo, Te-Tejo, Fg-Faria Guimarães, etc.







Tabela 21 - Contribuições absolutas maiores do que  $100/53 = 1.89$   
(todas as variáveis, todos os indivíduos)

Variável	Código da	Significado da	Contribuição Absoluta da Modalidade no Eixo (100/53)					
	Modalidade	Modalidade	1	2	3	4	5	6
Hora	H4	18h-00h				8.77	11.68	2.26
	H1	00h-06h	2.57				2.66	
	H2	06h-12h				15.14		
	H3	12h-18h	8.27					
Desvios Térmicos Estação Tejo	Ted1	] -15, -1]	6.79	2.00				3.20
	Ted2	] -1, 0]			8.30			3.39
	Ted3	] 0, +2]	3.15		3.94			
	Ted4	] +2, + 10]		9.64	5.46			
Desvios Térmicos Estação C. Cabral	Ccd1	] -15, -1]	8.69	2.05				
	Ccd2	] -1, 0]			5.17			9.63
	Ccd3	] 0, +2]		6.06				
	Ccd4	] +2, + 10]	3.64	9.62				
Desvios Térmicos Estação A. d'Água	Aad1	] -15, -1]	8.12					
	Aad2	] -1, 0]		4.48	9.02			
	Aad3	] 0, +2]	3.29		4.42			
	Aad4	] +2, + 10]		4.67	2.76	5.31		
Desvios Térmicos Estação Padrão	Pad1	] -15, -1]	6.80			3.52		
	Pad2	] -1, 0]		4.99	5.78			
	Pad3	] 0, +2]			5.89	4.94		
	Pad4	] +2, + 10]	2.17	10.62	4.34			
Desvios Térmicos Estação Far. Guim.	Fgd1	] -15, -1]	6.49			2.72		
	Fgd2	] -1, 0]			4.57			2.13
	Fgd3	] 0, +2]		5.13				
	Fgd4	] +2, + 10]	3.10	7.82				
Desvios Térmicos Estação S.J.Brito	Jbd1	] -15,-1]	7.53					
	Jbd2	] -1, 0]		4.02	3.90			
	Jbd3	] 0, +2]	3.84		3.18			
	Jbd4	] +2, +10]		5.69	4.38		2.81	
Rumos do vento	N	N					7.26	
	NNE	NNE						
	NE	NE						
	ENE	ENE						
	E	E				6.22		3.75
	ESE	ESE				6.44		
	SE	SE						
	SSE	SSE						
	S	S		2.03	5.41			9.22
	SSW	SSW						
	SW	SW						8.22
	WSW	WSW						4.76
	W	W						5.44
	WNW	WNW						2.24
NW	NW	1.94					4.72	
NNW	NNW				7.76	12.28		
ND	ND	2.48	2.02		3.08	22.43		
Velocidade do Vento	V1	0 a 4	3.36	2.12		2.47	14.18	
	V2	5 a 9				7.30	6.87	4.43
	V3	10 a 22	1.67		1.03	2.83		14.03
	V4	> 22			3.39		2.35	6.65
Pressão Atmosférica	P1	<=1004			2.31			
	P2	]1004 - 1016]				1.92		
	P3	]1016-1020]						
	P4	>1020				3.81		

Na tabela 21 estão representadas as contribuições absolutas de cada modalidade. Foram consideradas como válidas, as contribuições que excedem o valor  $100/p$  (neste caso o valor de 1,89).

**AFCB – 2ª Experiencia: outputs gráficos obtidos a partir da aplicação da AFCB, desvios em relação à estação Posto G-Covelo**

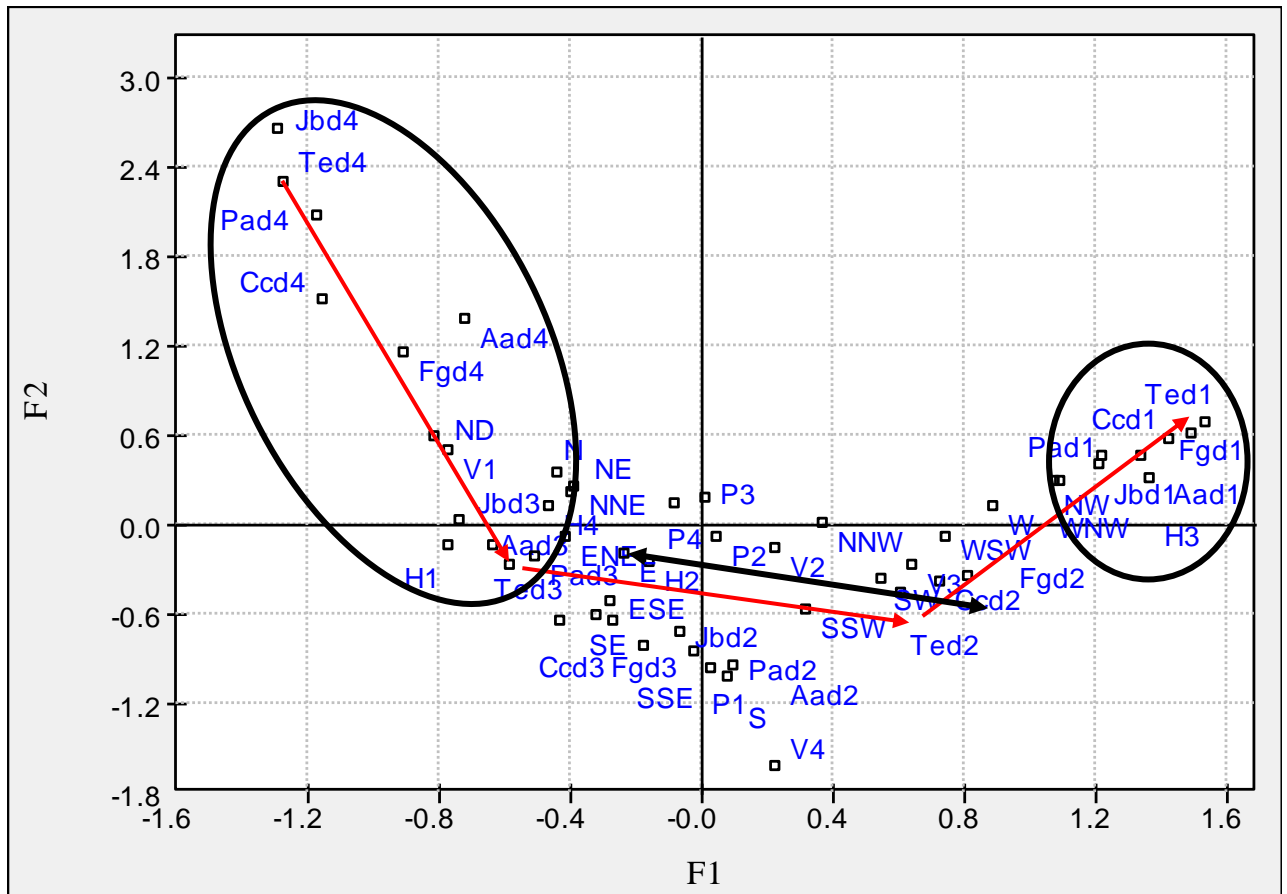


Figura 86 - AFCB (G1-Desvios em relação ao Posto G) – Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação ao longo do eixo 1 (F1).

Analisando a figura 86 pode concluir-se que:

Projetam-se ao longo do eixo 1 (F1) as seguintes modalidades

- Semi-eixo positivo: **H3** (registos entre as 12h e as 18h), **Ted1**, **Ccd1**, **Aad1**, **Pad1**, **Fgd1**, **Jbd1** (desvios térmicos entre  $]-15^{\circ}\text{C}, -1^{\circ}\text{C}]$  registados respetivamente nas estações Te-Tejo, Cc-Costa Cabral, Aa-Arca D'Água, Pa- Padrão, Fg-Faria Guimarães, Jb-São João de Brito), **NW** (registos de ventos

- com direção noroeste). As modalidades atrás referenciadas (**H3, Ted1, Ccd1, Aad1, Pad1, Fgd1, Jbd1 e NW**) estão em forte correlação positiva entre elas;
- Semi-eixo negativo: **H1** (registos entre as 00h00 e as 06h00), **Ted3, Aad3, Jbd3** (desvios térmicos entre ]0°C, +2°C] registados respetivamente nas estações Te-Tejo, Aa-Arca D'Água, Jb-São João de Brito), **Ted4, Ccd4, Pad4, Fgd4** (desvios térmicos entre ]+2°C e +10°C] registados respetivamente nas estações Te-Tejo, Cc-Costa Cabral, Pa-Padrão, Fg-Faria Guimarães), **ND** (registos de calmaria e de ventos sem direção definida), **V1** (registos da velocidade do vento entre 0 mph e 4 mph). As modalidades anteriormente assinaladas (**H1, Ted3, Aad3, Jbd3, Ccd4, Ted4, Pad4, Fgd4, ND e V1**) evidenciam uma elevada correlação positiva entre elas.

Ao longo do eixo 1 (leia-se fator 1) processa-se a separação entre os desvios térmicos positivos e os negativos (vide gráfico fig. 86). A título de exemplo, referencia-se a distribuição sequencial **Ted4 → Ted3 → Ted2 → Ted1**, por forma a ilustrar a discriminação efetuada pelo eixo 1. É igualmente perceptível uma clara correlação negativa entre os dois grupos de modalidades atrás identificados (os grupos circunscritos pelos círculos estão em oposição no eixo 1 no plano fatorial).

Ainda na sequência das projeções estabelecidas na Fig. 86 e focalizando a nossa atenção em relação às contribuições absolutas relativamente ao eixo 2, poder-se-á concluir que:

- Semi-eixo positivo: As modalidades **Ted4, Ccd4, Aad4, Pad4, Fgd4, Jbd4, ND, V1**, projetam-se em correlação positiva neste tramo do eixo reforçando uma associação positiva já identificada no eixo 1;
- Semi-eixo negativo: **Aad2, Pad2, Jbd2** (desvios térmicos entre ]-1°C e 0°C] registados respetivamente nas estações de Aa-Arca D'Água, Pa-Padrão e Jb-São João de Brito), **Ccd3, Fgd3** (desvios térmicos entre ]0°C e +2°C] registados respetivamente nas estações de Costa Cc-Cabral e Fg-Faria Guimarães), **S** (registos de ventos com direção Sul), **V4** (registos da velocidade do vento superiores a 22 mph) e **P1** (registos de pressão iguais ou inferiores a 1004 mb). As modalidades anteriormente assinaladas (**Aad2, Pad2, Jbd2, Ccd3, Fgd3, S, V4 e P1**) estão fortemente associadas positivamente.



O eixo 2 (ver figura 87) opõe os desvios térmicos elevados aos desvios térmicos nulos ou moderados. Estes últimos estão associados positivamente aos registos de vento de direção sul, com velocidade elevadas em situações de baixas pressões.

Os dois grupos estão em correlação negativa, isto é, quando ocorrem desvios térmicos elevados não ocorrem ventos de sul, com velocidades elevadas em situações de baixas pressões.

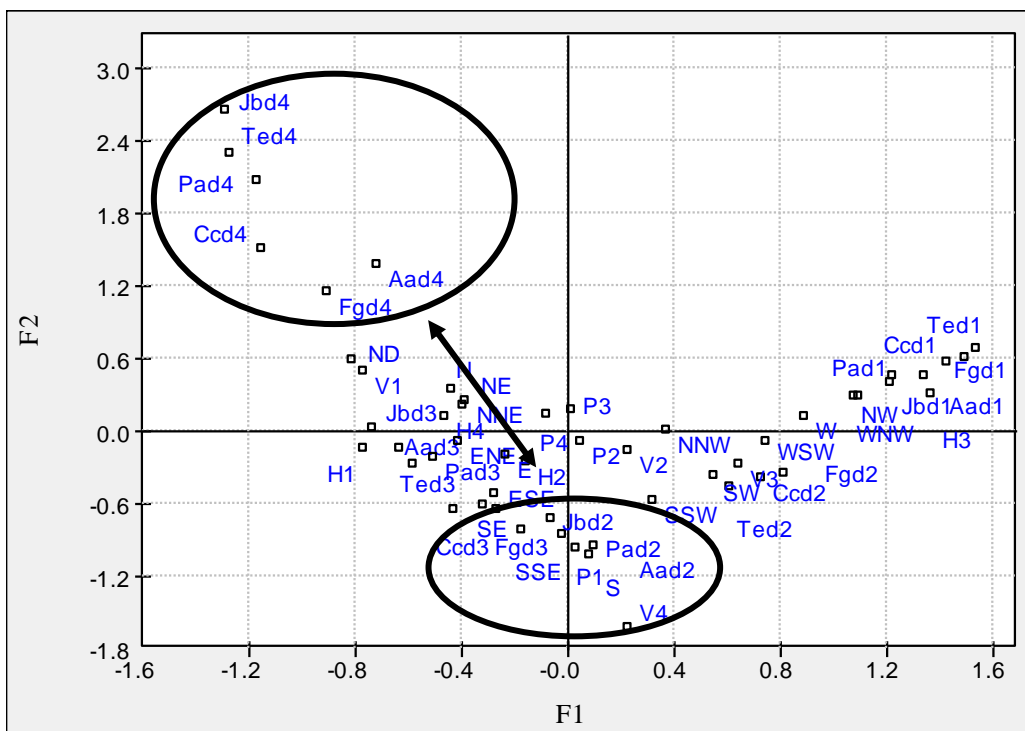


Figura 87 - AFCB (Desvios em relação ao Posto G) – Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação ao longo do eixo 2 (F2).

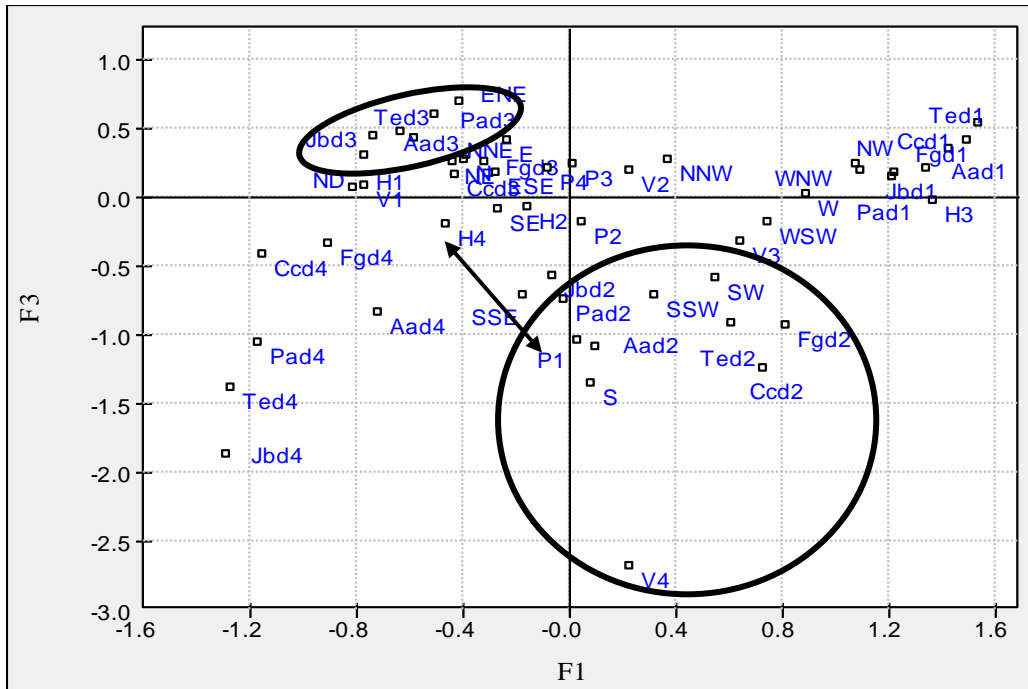


Figura 88 - AFCB (Desvios em relação ao Posto G) – Projeção das modalidades no segundo plano fatorial (F1, F3). Interpretação ao longo do eixo 3 (F3).

Analisando a figura 88 pode concluir-se que:

Projetam-se ao longo do eixo 3 (F3) as seguintes modalidades:

- Semi-eixo positivo: **Ted3, Aad3, Pad3, Jbd3** (desvios térmicos moderados entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $+2^{\circ}\text{C}$ ] registados respetivamente nas estações de Tejo, Arca D'Água, Padrão e São João de Brito). Estas modalidades, fortemente associadas entre si, opõe-se, em correlação negativa, ao grupo de modalidades projetadas no semi-eixo negativo;
- Semi-eixo negativo: **Ted2, Ccd2, Aad2, Pad2, Fgd2, Jbd2** (desvios térmicos nulos ou de valor relativamente baixo entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $0^{\circ}\text{C}$ ], em todas as estações), **S, V4, P1**. Esta proximidade de projeção das modalidades permite-nos associar aos desvios térmicos nulos ou relativamente baixos as modalidades **S** (vento de direção sul), **V4** (registos de velocidade de vento superiores a 22 mph) e situações de baixas pressões **P1**.

O eixo 3 é o fator responsável pela separação entre os desvios térmicos positivos moderados e os desvios térmicos relativamente baixos ou nulos. Com base nestas associações poder-se-á concluir que as ilhas de calor em todas as estações de registo deixam de ter expressão para situações sinópticas que impliquem um quadro de baixas pressões, ventos fortes e de sul.

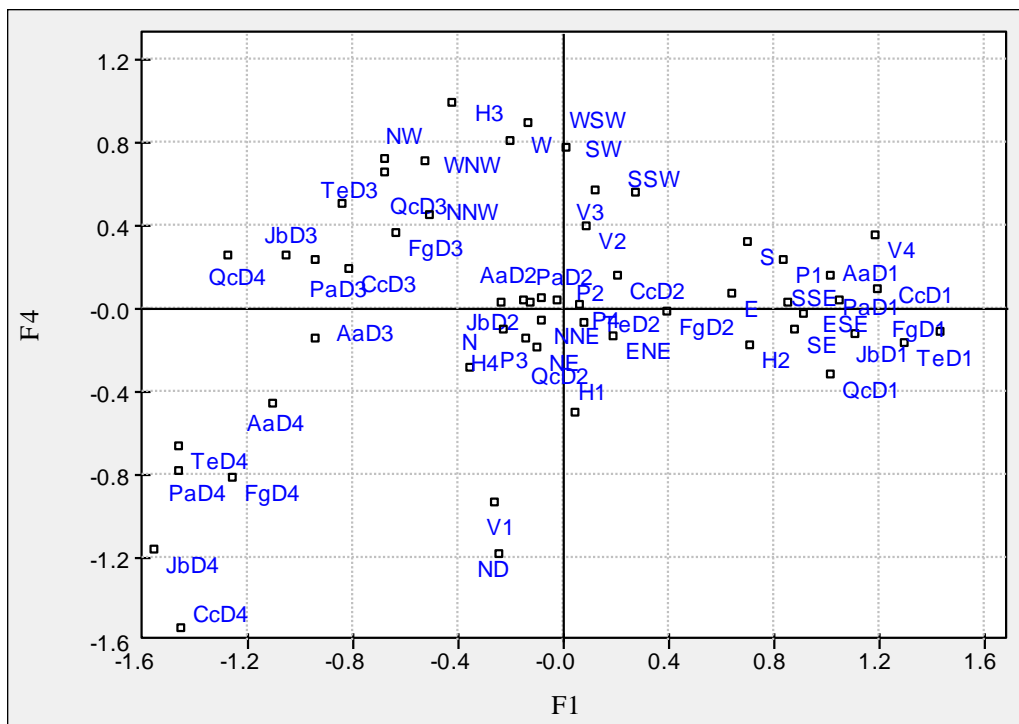


Figura 89 - AFCB (Desvios em relação ao Posto G) – Projeção das modalidades no terceiro plano fatorial (F1, F4). Interpretação ao longo do eixo 4 (F4).

A observação da figura 89, permite-nos individualizar as seguintes projeções das modalidades:

- Semi-eixo positivo: **H2** (registos entre as 06h00 e as 12h00), **Aad4**, **E** (vento de direção Este) **ESE** (vento de direção és-sudeste), **V2** (registos de velocidade de vento entre 5mph e 9mph), **P4** (registos de pressão entre superiores a 1020 mb). Estas modalidades, fortemente associadas entre si, opõe-se, em correlação negativa, ao grupo de modalidades projetadas no semi-eixo negativo;
- Semi-eixo negativo: **H4** (registos entre as 18h00 e as 24h00), **Pad3**, **NNW** (vento de direção nor-noroeste), **ND** (calmaria ou vento varável), **V3** (registos de velocidade de vento entre 10mph e 22mph), **P2** (registos de pressão entre 1004 hPa e 1016 hPa).



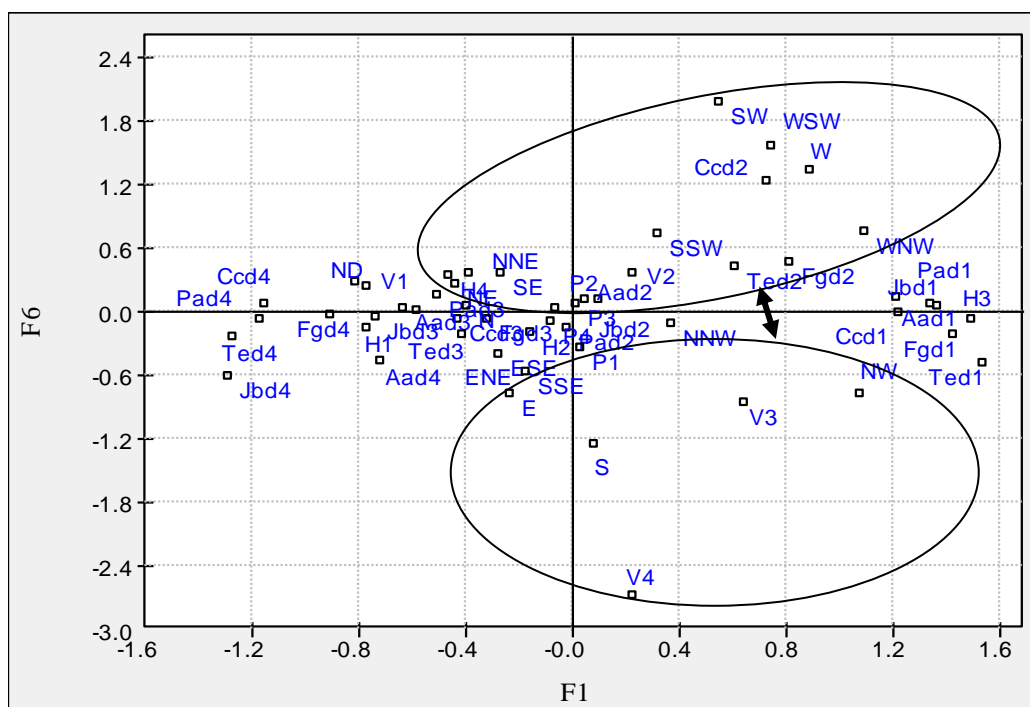


Figura 91 - AFCB (Desvios em relação ao Posto G) – Projeção das modalidades no quinto plano factorial (F1, F6). Interpretação ao longo do eixo 6 (F6).

A observação da figura 91, permite-nos individualizar as seguintes projeções das modalidades:

- Semi-eixo positivo: **H4, Ted2, Ccd2, Fgd2, SW, WSW, W, WNW, V2**. Estas modalidades, fortemente associadas entre si, opõe-se, em correlação negativa, ao grupo de modalidades projetadas no semi-eixo negativo;
- Semi-eixo negativo: **Ted1, E, S, NW, V3, V4**. Não foi possível associar qualquer outra modalidade horária ao eixo 6.

Acresce dizer que a análise estatística com base na AFCB se revelou especialmente interessante sob duas perspetivas: por um lado, configura uma plataforma de relações entre um número elevado de variáveis expressas em diferentes métricas que, de outra forma, se limitariam a sofrer um tratamento estatístico empírico; e, por outro lado, permite uma interpretação/quantificação dos resultados em função de alguns dos elementos que interferem na física da atmosfera e que, pela sua integração em diversos sistemas interdependentes, costumam ser particularmente difíceis de isolar e quantificar.

## 2 RESULTADOS DA EXPOSIÇÃO/OCULTAÇÃO SOLAR dos abrigos das sondas térmicas

As diferenças de exposição ao sol (diferentes ângulos de incidência dos raios solares e duração/horário dos períodos de iluminação), geralmente associadas também às direções de vento, fazem com que, na malha urbana, as diversas orientações das ruas corporizem microclimas distintos.<sup>462</sup>

Tabela 22 – Excerto do registo das temperaturas obtidas a partir de sondas instaladas na sombra (abrigo especial) e ao sol (abrigo comum), exemplo de 14-15 setembro 2012

Hora	Temp. (°C) no abrigo especial (instalado à sombra)		Temp. (°C) no abrigo normal, Posto A-Tejo (exposto ao sol)			
	Sonda nº 513221	Sonda nº 621034	Sonda nº 512397	Sonda nº 512399	Sonda nº 512400	Sonda nº 512401
16:00	30,7	30,6	31,5	31,5	31,2	31,3
17:00	29,8	29,8	30,2	30,2	30,0	30,1
18:00	28,3	28,5	28,1	28,1	27,9	28,0
19:00	26,5	26,5	25,9	25,8	25,8	25,7
20:00	24,5	24,4	24,2	24,1	24,1	23,7
21:00	23,8	23,7	23,4	23,4	23,2	22,9
22:00	23,3	23,2	22,9	22,8	22,7	22,3
23:00	22,7	22,5	22,4	22,3	22,3	21,9
00:00	20,6	20,4	20,4	20,3	20,3	20,0
01:00	20,2	20,0	19,9	19,8	19,9	19,5
02:00	19,9	19,7	19,7	19,6	19,5	19,4
03:00	19,8	19,6	19,6	19,6	19,5	19,4
04:00	19,2	19,1	19,0	18,9	18,9	18,6
05:00	18,9	18,7	18,5	18,4	18,5	18,1
06:00	18,4	18,2	18,2	18,1	18,1	17,8
07:00	18,7	18,6	18,5	18,5	18,4	18,2
08:00	18,2	18,1	18,2	18,1	18,1	17,9
09:00	18,6	18,7	18,4	18,3	18,4	18,2
10:00	19,5	19,7	19,3	19,1	19,2	19,1
11:00	22,5	22,7	22,0	21,8	22,0	21,7
12:00	23,7	23,7	24,1	23,8	24,2	23,5
13:00	24,2	24,1	24,7	24,4	24,8	24,1
14:00	25,2	25,1	26,0	25,8	26,0	25,5
15:00	26,3	26,2	27,6	27,5	27,4	27,3

<sup>462</sup> OKE, T.R., Boundary Layer Climates, 1978, 1987, Routledge, London and New York , pág 285

A análise/comparação entre os dados obtidos pelas sondas temporariamente colocadas no abrigo do posto A-Tejo (expostas ao sol) *versus* pelas sondas do abrigo especialmente construído para o efeito (instalado à sombra), permitiu constatar (Tabela 22):

- a existência de ligeiras diferenças de valores nas temperaturas registadas nos dois casos;
- a existência de diferenças razoáveis nos valores de temperatura, mas de curta duração;
- e ainda de algumas diferenças no ritmo/taxa de aquecimento.

As horas de exposição ao sol dos abrigos não coincidem sistematicamente com os momentos de temperaturas mais elevadas. Por conseguinte, conclui-se que os dados obtidos a partir dos abrigos normais utilizados no estudo, na generalidade não são afetados pela radiação solar direta, isto é, os abrigos desempenham satisfatoriamente o seu papel de proteção das sondas.

Todos os outros resultados obtidos com este estudo pormenorizado sobre a exposição/ocultação solar dos abrigos das sondas térmicas, por constituírem em si mesmos parte importante do processo de pesquisa que serviu de base a outros momentos de pesquisa para obtenção de outros resultados, foram já apresentados na secção Metodologia, como atrás verificado.

### 3 RESULTADOS DA ANÁLISE DO EFEITO DAS BRISAS

#### 3.1. Relação Magnitude média dos desvios térmicos/setores do vento

O diagrama da figura 92 mostra a relação entre a média diurna horária do total das anomalias térmicas e as médias das anomalias térmicas correspondentes a cada classe das direções dos ventos, distribuídas pelos quatro setores considerados (média de 40 dias, exemplo do período desde 21/08 até 30/09 de 2004).

O setor SW-NW é aquele que proporciona anomalias térmicas de maior magnitude média, logo seguido do setor NW-NE, embora ambos apresentem também ocorrências de desvios negativos, sobretudo como é expectável no período do início da manhã. Ambos apresentam grande variabilidade de valores de magnitude dos desvios térmicos, sendo o setor NW-NE aquele cujos correspondentes desvios se encontram mais próximos da evolução da média das anomalias térmicas.

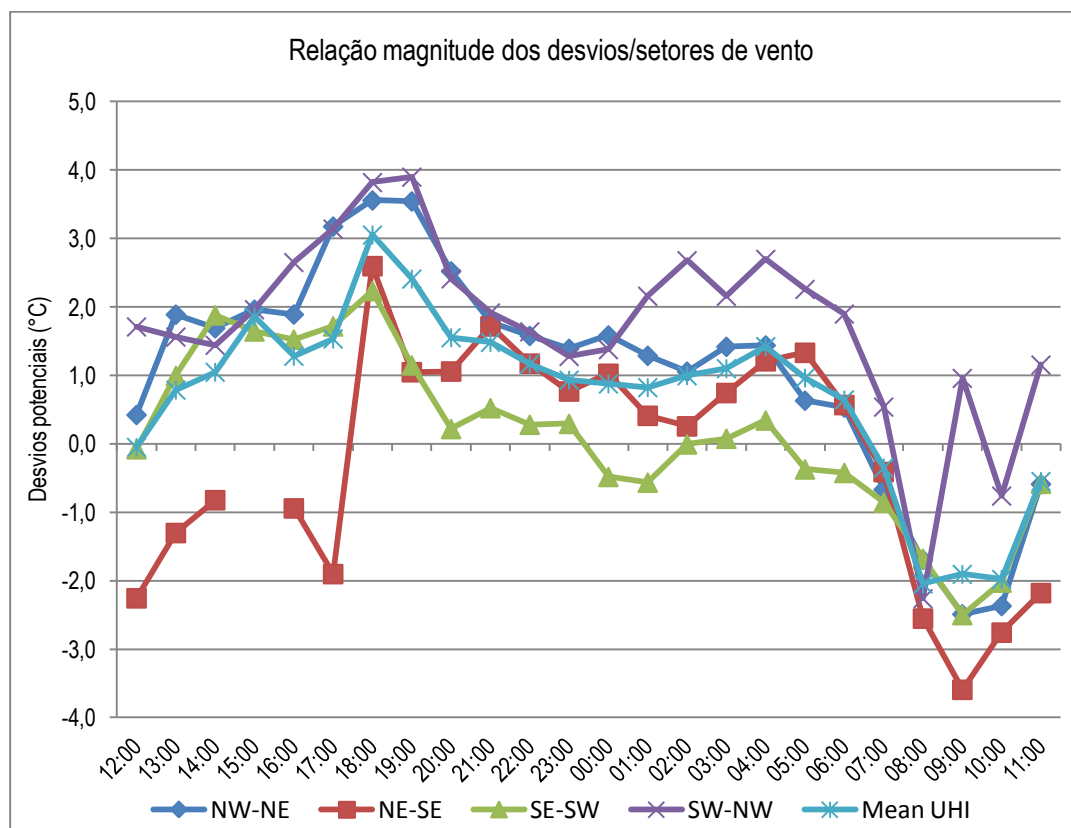


Figura 92 - Relação magnitude média desvios/setores de vento (média de 40 dias, desde 21/08 até 30/09 de 2008).



Para ambos os setores NE-SE e SE-SW, obtiveram-se mais resultados de correspondências de desvios térmicos negativos do que para os dois setores atrás referidos, embora com claras diferenças entre si: as direções do setor NE-SE apresentam em média correspondência com os desvios negativos mais baixos de todos, inclusivamente em períodos do dia em que os outros setores de vento correspondem a anomalias térmicas positivas (12h00-17h00). O setor SE-SW é aquele que corresponde frequentemente a desvios térmicos médios geralmente de magnitude bastante moderada, quer no caso dos desvios positivos quer dos negativos, embora apresente recorrentemente desvios médios negativos em períodos nos quais todos os outros setores correspondem a desvios médios positivos (00h00-02h00 e 05h00-06h00).

### **3.2. Relação evolução horária dos desvios térmicos/direção do vento**

O diagrama da figura 93 mostra a evolução horária diária das temperaturas medidas registadas nos postos de medição, assim como a evolução dos desvios térmicos médios determinados relativamente à estação de Porto-Aeroporto, e a sua relação com a evolução da variação da direção dos ventos (exemplo dos primeiros 10 dias do ficheiro analisado relativo ao período de 21 de Agosto/30 de Setembro de 2004). Os ventos dos setores NW/NE ( $320^{\circ}$ - $040^{\circ}$ ) e SE/SW ( $140^{\circ}$ - $220^{\circ}$ ), ou seja, ventos das direções grosso-modo de Norte e de Sul, sopram praticamente em direções quase paralelas à linha de costa e são comuns durante grande parte do dia, fundamentalmente relacionados com a situação sinóptica.

Durante a noite, o vento sopra com frequência da terra para o mar (no setor NE/SE,  $050^{\circ}$ - $130^{\circ}$ ), enquanto os ventos provenientes do mar (no setor SW/NW,  $230^{\circ}$ - $310^{\circ}$ ) são mais comum durante a tarde e crepúsculo.

Podemos verificar claramente como o vento vai rodando durante a tarde, desde direções de cerca de  $300^{\circ}$ / $330^{\circ}$  (ventos provenientes do oceano) até estabilizar durante algum tempo nas direções de Norte e, mais para a noite, cada vez mais assumindo direções do setor de leste, nomeadamente direções de  $030^{\circ}$ - $060^{\circ}$  graus e até mais, (ventos provenientes do interior do território). Esta mudança de direção do vento, em períodos correspondentes às horas referidas, é típica da presença de brisas marítimas vs terrestres, contrariando frequentemente os ventos dependentes da situação sinóptica.

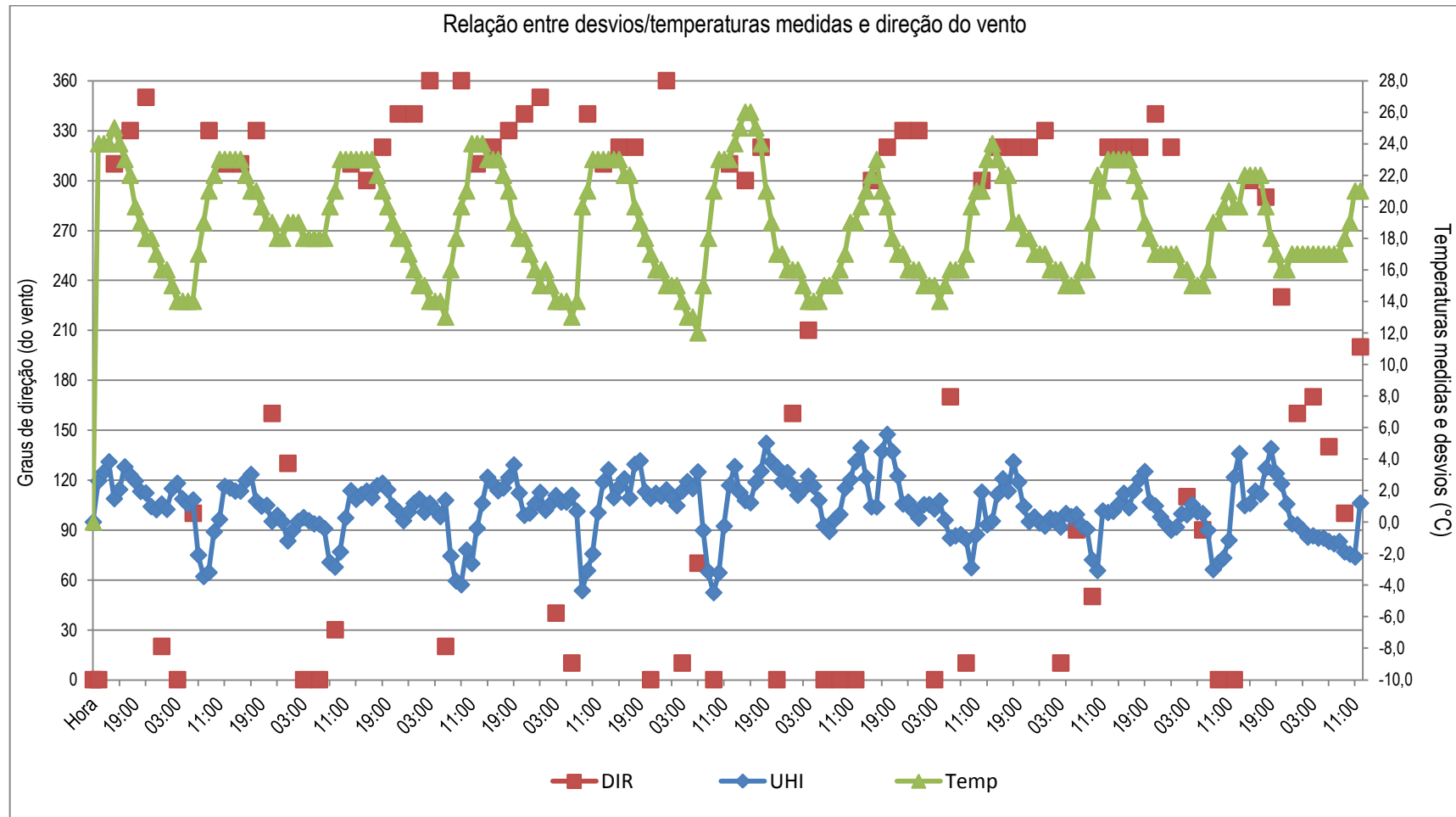


Figura 93 - Relação da evolução horária dos desvios/direções de vento (exemplo de 10 dias).

## 4 JUSTIFICAÇÃO DE RESULTADOS – principais fatores explicativos detetados

T. R. Oke considera que o nível da copa urbana (“*urban canopy layer*”) se caracteriza por grande complexidade devido, em parte, à natureza dinâmica da superfície em permanente convolução, e por outro lado, devido à grande quantidade de variáveis em presença. Com base neste pressuposto, podemos afirmar que o comportamento térmico da atmosfera urbana é condicionado por numerosos fatores que, atuando simultânea e globalmente, acabam por gerar um clima local específico. Devido à dificuldade em efetuar uma abordagem explicativa do subsistema climático urbano em que todos os fatores condicionantes fossem considerados em simultâneo, seleccionámos para tratamento em separado – unicamente por comodidade de estudo – aqueles fatores<sup>463</sup> que, na generalidade, são considerados como tendo um elevado grau de responsabilidade na modificação das características térmicas da copa urbana.

### 4.1 Hipsometria

A hipsometria constitui uma variável que se reveste de grande importância para a compreensão do clima, a qualquer escala, inclusive às escalas micro e topoclimáticas. Embora seja genericamente aceite que as diferenças de temperatura atribuíveis ao gradiente térmico da atmosfera só ocorrem perante desníveis altimétricos de várias centenas de metros, na prática, em meio urbano, verifica-se que podem ocorrer diferenças térmicas bastante significativas mesmo em casos de desníveis altimétricos reduzidos (menos de 100 m)<sup>464</sup>.

Considerando a generalidade dos 126 momentos de medição efetuados, verifica-se que às áreas envolventes aos pontos do percurso de altitude mais baixa (95 m no ponto 7I, Rua Padre Costa, e 105 m no ponto 13, Rua Dr. António Bernardino de Almeida) correspondem as temperaturas mais baixas de todas. Pelo

---

<sup>463</sup> São os fatores considerados na bibliografia temática como sendo na generalidade os mais representativos. Adiante veremos que também tentámos uma abordagem mais globalizante dos fatores condicionantes, através de tratamento estatístico com recurso à Análise Fatorial de Correspondências (AFC).

<sup>464</sup> GÓMEZ, A.López, *El Clima Urbano de Madrid: la isla de calor*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1991, pág. 14.

contrário, na área de maiores altitudes e altitudes intermédias, verifica-se o fenómeno inverso, isto é, é exatamente na parte “alta” que ocorrem as temperaturas mais elevadas, o que leva concluir pela forte influência do factor ocupação do solo sobrepondo-se claramente ao fator altitude. A tabela de correlação revela exatamente este tipo de situações, pois tanto ocorrem forte índices positivos como de correlação negativa. Mas parece ser evidente que os valores mais altos de correlação são positivos e que ocorrem sobretudo em dias bastante frios.

Perante a análise dos estatísticos simples, verifica-se que os mínimos absolutos correspondem ao ponto de menor altitude de todo o percurso (7 I), enquanto o ponto mais quente é um dos pontos da área alta (30 B) pelo que parece que a influência da altitude é relativa e na maior parte dos casos funciona em sinal inverso ao que seria de esperar, de acordo com a regra de que a temperatura diminui à medida que a altitude aumenta. Mas na verdade, está também de acordo com o que atrás se referiu sobre as diferenças de temperatura atribuíveis ao gradiente térmico, em meio urbano, ocorrerem somente perante desníveis elevados.

## **4.2. Ocupação do solo**

### **4.2.1. Densidade de ocupação do solo**

Em última análise, o edificado urbano resulta na remoção e/ou revestimento de uma parte significativa dos materiais naturais, como a vegetação, as linhas de água e o solo, os quais são substituídos por tijolo, betão, asfalto, aço, vidro, etc..

As áreas verdes revelam uma influência paradigmática, sendo geralmente mais frescas do que a área envolvente, no verão; e mais amenas do que a restante área, no inverno (isso é inclusivamente válido para áreas habitualmente frias, como a Rua Roberto Frias, por exemplo, cujos pontos modificam o seu comportamento térmico no sentido da amenização, na primavera, quando as árvores que ladeiam a rua se enchem de folhas).

As correlações estabelecidas entre a densidade de edifícios e os desvios térmicos mostram que a influência da ocupação do solo associada à maior movimentação de pessoas e veículos é claramente um fator potenciador do fenómeno da ilha de calor. Mais até do que a tabela de correlação, onde os valores obtidos são moderadamente altos, o resultado das regressões entre a densidade de

ocupação do solo expressa por nº de edifícios/hm<sup>2</sup> e o *sky view factor* vs geometria urbana, é bastante explícito, como se pôde verificar: a reta de regressão revela uma correlação inversa quase perfeita, podendo ver-se em detalhe que as áreas mais densamente ocupadas e com menor *svf* correspondem à parte onde a ilha de calor foi identificada mais frequentemente (Tabela 23).

#### 4.2.2. *Sky view factor (svf)*

Unicamente para efeitos de estudo, tentámos simplificar a abordagem às variáveis potenciadoras da ICU, direcionando-a para as unidades mais reduzidas que se multiplicam na malha urbana, os chamados “*canyon urbanos*”<sup>465</sup>: cada unidade de “canhão urbano” é geralmente constituída pelo solo entre as construções, que em geral configura as ruas, e pelas paredes adjacentes aos edifícios.

Quando analisada através de regressões lineares, calculadas com os dados individuais de cada episódio de medição itinerante, a relação entre as anomalias térmicas e os parâmetros *vf* e *B<sub>d</sub>* mostra, respetivamente, uma dispersão considerável (valores de R<sup>2</sup> variando tipicamente de 0,10-0,20). As interceções *a<sub>i</sub>* também variam consideravelmente quando se comparam os diferentes episódios de medição entre si, o que pode ser visto como uma indicação de alterações no nível térmico geral de toda a área de medição, relativamente ao nível da estação de referência. Este facto ilustra desde já a dificuldade em encontrar uma estação rural de referência cuja temperatura seja de facto representativa.

O valor médio do intercepto *a<sub>vf</sub>* (1,33) pode ser interpretado como representando aproximadamente o limite superior da anomalia térmica urbana local, ou seja, para um hipotético *vf* = 0, corresponderia a um firmamento completamente obstruído. O valor médio do intercepto *a<sub>B<sub>d</sub></sub>* (0,97) pode ser interpretado como representando aproximadamente o limite inferior da anomalia térmica urbana local, ou seja, uma hipotética *B<sub>d</sub>* = 0 corresponderia à alteração média nos valores de temperatura entre a estação de referência e o entorno rural local da área de estudo (Tabela 23).

---

<sup>465</sup> OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág 285.

Tabela 23 – Resultados das regressões dos desvios térmicos *versus* geometria urbana

<b>Desvios térmicos urbanos vs view factor (vf) e densidade de edifícios (Bd)</b>									
<b>Regressões lineares baseadas nos dados das medições itinerantes</b>									
<b>Data</b>	<b>dT vs vf</b>		<b>dT vs Bd</b>		<b>Data</b>	<b>dT vs vf</b>		<b>dT vs Bd</b>	
	<b>a<sub>vf</sub></b>	<b>b<sub>vf</sub></b>	<b>a<sub>bd</sub></b>	<b>b<sub>bd</sub></b>		<b>a<sub>vf</sub></b>	<b>b<sub>vf</sub></b>	<b>a<sub>bd</sub></b>	<b>b<sub>bd</sub></b>
20031112	-0,06	-0,27	-0,43	0,02	20040204	1,96	-0,55	1,29	0,03
20031116	-0,85	-0,20	-1,09	0,01	20040205	0,26	-0,21	-0,02	0,01
20031117	1,68	-0,40	1,20	0,02	20040207	3,37	-0,87	2,40	0,04
20031118	1,80	0,13	1,98	-0,01	20040208	4,20	-0,22	3,87	0,02
20031119	0,52	-0,35	0,06	0,02	20040209	0,15	-0,12	-0,03	0,01
20031120	-0,51	-0,16	-0,74	0,01	20040210	3,03	-0,53	2,37	0,03
20031122	0,72	-0,11	0,55	0,01	20040211	2,96	-0,43	2,45	0,02
20031123	-1,12	-0,94	0,35	0,01	20040212	2,74	-0,31	2,33	0,02
20031124	1,76	-0,26	1,45	0,01	20040213	2,71	-0,35	2,23	0,02
20031125	-1,76	-0,09	-1,88	0,01	20040214	2,57	-0,82	1,61	0,04
20031203	-0,09	-0,14	-0,22	0,00	20040215	2,46	-0,35	2,01	0,02
20031204	0,86	-0,48	0,31	0,02	20040216	0,69	-0,24	0,37	0,01
20031209	1,01	-0,18	0,75	0,01	20040217	3,11	-0,24	2,75	0,02
20031210	0,93	0,06	0,90	0,01	20040218	5,26	-0,05	5,19	0,00
20031211	-0,06	0,06	-0,03	0,00	20040219	0,81	-0,72	-0,06	0,04
20031214	-1,03	-0,08	-1,15	0,01	20040220	1,23	-1,21	-0,13	0,05
20031215	0,67	-0,10	0,55	0,00	20040226	0,42	-0,31	0,05	0,01
20031216	2,47	-0,57	1,83	0,02	20040301	4,85	-0,59	4,15	0,03
20031217	-1,18	-0,15	-1,36	0,01	20040302	-1,02	0,15	-0,89	0,00
20031220	-1,66	0,04	-1,64	0,00	20040303	-1,01	-0,10	-1,15	0,01
20031221	-1,23	-0,13	-1,38	0,01	20040304	1,01	-0,06	0,96	0,00
20031222	1,89	-0,51	1,32	0,02	20040306	0,76	-0,21	0,51	0,01
20031223	-1,12	-0,94	-2,06	0,03	20040314	2,67	-0,44	2,16	0,02
20031224	2,57	-0,18	2,36	0,01	20040315	5,19	-0,73	4,37	0,03
20031225A	2,60	-0,31	2,24	0,01	20040316	3,15	-0,53	2,56	0,02
20031225B	0,12	0,19	0,29	0,00	20040320	1,68	-0,13	1,51	0,01
20031226	-0,25	-0,13	-0,40	0,01	20040321	0,54	-0,13	0,37	0,01
20040101	-0,10	-0,13	-0,27	0,01	20040322	1,48	-0,28	1,11	0,02
20040102	0,68	-0,36	0,25	0,02	20040325	0,43	-0,27	0,12	0,01
20040103	0,44	-0,64	-0,25	0,02	20040326	-0,41	-0,14	-0,59	0,01
20040104	1,89	-0,32	1,51	0,01	20040327	0,13	-0,07	0,04	0,00
20040105	-1,70	0,06	-1,65	0,00	20040328	1,50	-0,27	1,20	0,01
20040106	-2,05	-0,04	-2,12	0,00	20040403	1,29	-0,30	0,93	0,01
20040107	-0,54	0,04	-0,52	0,00	20040404	2,21	0,01	2,14	0,01
20040118	0,96	-0,30	0,63	0,01	20040405	4,43	-0,93	3,37	0,04
20040119	4,11	-1,28	2,79	0,04	20040406	3,28	-0,53	2,68	0,02
20040120	1,45	-0,38	0,99	0,02	20040408	1,07	-0,15	0,86	0,01
20040121	1,54	-0,45	1,02	0,02	20040412	2,24	-0,18	2,03	0,01
20040122	-0,44	0,02	-0,43	0,00	20040413	4,65	-1,08	3,43	0,05
20040127	0,75	-0,19	0,52	0,01	20040424	4,29	-1,09	3,09	0,04
20040128	0,24	0,00	0,15	0,01	20040425	5,96	-1,01	4,80	0,04
20040202	-0,71	-0,21	-0,98	0,01	20040426	4,47	-0,77	3,55	0,04
20040203	2,44	-0,56	1,80	0,02	20040427	1,52	0,01	1,55	0,00
20040204	1,96	-0,55	1,29	0,03	20040515	4,08	-0,39	3,60	0,02
	<b>Média</b>	<b>1,33</b>	<b>-0,33</b>	<b>0,97</b>		<b>0,97</b>	<b>-0,33</b>	<b>0,97</b>	<b>0,02</b>

Balkeståhl, 2005

A inclinação das retas de regressão está qualitativamente de acordo com o comportamento expectável e aproximadamente consistente em torno de -0,45 para o "view factor" (*vf*) e de +0,02 para a densidade de edifícios ( $B_d$ ). Desta forma, a dependência local das anomalias térmicas relativamente a cada um dos dois parâmetros analisados pode considerar-se razoavelmente comprovada.

Fez-se ainda uma análise de regressão para verificar a relação entre o "view factor" e a densidade dos edifícios, o que pode parecer redundante, uma vez que em meio urbano um baixo *svf* está frequentemente associado a elevada densidade de construções e vice-versa. No entanto, tendo em conta as características particulares de parte da área de estudo<sup>466</sup>, com construções recuadas, e considerando que se trata de uma zona de "uptown", é justificada a verificação dessa relação entre os dois parâmetros. O resultado dessa análise de regressão revelou uma correlação negativa bastante forte entre o *svf* e a densidade de edifícios ( $R^2 \approx 0,94$ , considerando o *svf* como função da densidade de edifícios), o que mais uma vez aponta para o facto de existirem na área de estudo quarteirões em que a ICU está bastante dependente dos dois fatores analisados.

### 4.3. Ventos

Não nos foi possível obter dados de direção/velocidade dos ventos à escala local. Ora como pudemos verificar (resultados da análise das brisas), ocorrem frequentemente situações em que a direção e a velocidade do vento registadas em Porto-Aeroporto não coincidem com as observadas *in loco* nem com as deduzidas a partir da análise das cartas sinópticas. Tendo em conta a relativa proximidade ao mar da estação de referência, isto é, cerca de 4 km, esta situação pode ser particularmente significativa, sobretudo em dias de fraco gradiente barométrico, quando a ação das brisas do mar e terrestre se torna mais evidente.

São poucas as situações em que se verificou vento forte durante as campanhas de medições, mas nesses dias a ilha de calor é inexistente ou, inclusivamente os desvios relativamente ao aeroporto são negativos. É o caso dos

---

<sup>466</sup> Sobretudo na área do pólo universitário da Asprela, edifícios bastante altos não se encontram à face da rua, mas sim recuados, correspondendo assim a espaços de grande abertura de edificado com elevado *svf*.

primeiros episódios de medição, com ventos entre os 5 e os 9 m/s (ou ainda dia 26/12-2003, 26/03-2004, e 24/11-2004).

Já tínhamos concluído anteriormente, através da análise da tabela de correlações, que o vento é um importante fator explicativo do fenómeno da ICU, evidenciando resultados de valores de correlação elevados, tanto positivos como negativos.

A análise fatorial de correspondências binárias veio, por um lado, confirmar esses dados e, por outro lado, veio acrescentar a mais-valia de nos permitir quantificar a importância do fator vento (quer em termos de direção, quer de velocidade).

#### **4.4. Situações Sinópticas**

O ponto de partida deste estudo, com o objetivo de uma sistematização analítica, consistiu na distinção entre condições de estado de tempo dominadas por anticiclone *vs* centro depressionário. As situações de anticiclone foram depois separadas segundo a velocidade/direção do vento (calmo, fraco a moderado, não existindo situações de velocidades superiores a 9m/s). Perante ocorrências de vento fraco ou de calma complementou-se a distinção através da nebulosidade e da humidade relativa, considerando situações:

- com nebulosidade e humidade relativa elevadas;
- sem nebulosidade mas com humidade relativa elevada;
- sem nebulosidade e com humidade relativa baixa.

Tratou-se depois a questão dos fatores explicativos vento, hipsometria, distância ao mar e ao rio e ocupação do solo (sendo este último factor subdividido em densidade de ocupação do solo e *sky view factor*).

Em situação de anticiclone, sobretudo se associada a inversão térmica na “boundary layer”, como é o caso em grande parte com o Anticiclone Atlântico subtropical, os movimentos ascendentes do ar quente são inibidos, o que se torna extremamente favorável à ocorrência do fenómeno da ilha de calor.

Em situações de instabilidade, que favorecem a dispersão de poluentes e em que a velocidade do vento inibe a formação de ilha de calor, verifica-se ausência do fenómeno; no entanto há casos esporádicos, em que mesmo com situação de



instabilidade ou de transição, associados a centros depressionários ou à sua aproximação, se verifica alguma intensidade na ilha de calor (27/01-2004, 03/02-2004, 15/03-2004), quase sempre em conjunto com velocidades de vento muito baixas ou situações de calmaria.

Relativamente às situações sinóticas em concreto, durante os períodos de medição, quanto aos resultados obtidos nas observações noturnas, parece ser importante evidenciar o seguinte:

i) Quando se verifica uma dispersão numérica considerável nos valores medidos, isto é, quando não há uniformidade de valores, em geral associados a dias de situação sinótica de maior estabilidade e sem agitação ou pouca agitação do ar, é maior o número de ocorrências de pontos frios nos locais habituais, que são especialmente o ponto 13 da Rua Bernardino de Almeida e o ponto 7 I da Rua Padre Costa (drenagem do ar frio para pontos a altitude mais baixa?). São frequentes com as situações de anticiclone atlântico, sobretudo com humidade relativa baixa, embora possa existir alguma nebulosidade, com calmaria ou ventos fracos do quadrante norte e este (N, NNE e variável); no entanto, também ocorrem em situações de anticiclone continental, desde que associado a vento fraco; ocorrem também casos esporádicos em situação não propriamente de declarada instabilidade, mas de alguma tendência para instabilidade. Nestes casos, as anomalias térmicas atingem valores mais notórios nos pontos de maior tráfego e metabolismo urbano mais intenso, são francamente visíveis e rondam os 2°C, como no caso dos dias 24 e 25/12-2003, em que a humidade é razoavelmente elevada. No entanto, há casos em que, com idêntica situação sinótica, os desvios térmicos são ligeiramente superior aos 2°C, se a humidade relativa for bastante mais baixa, como em 24 e 25/12-2003 às 00h15, o primeiro dia ligado a anticiclone atlântico, o segundo a anticiclone continental, mas ambos com baixa humidade e vento fraco.

A situação do dia 19/01-2004, com tempo muito seco e relativamente frio, vento fraco e pressão elevada, propicia desvios positivos de valor considerável, que chegam a ultrapassar os 4°C, o que é bastante para esta época do ano. Apresenta ainda uma particularidade curiosa: à exceção da área em volta dos pontos 40 a 45, a temperatura parece variar com a altitude da forma que menos se esperaria, isto é, quando a altitude aumenta, o mesmo acontece à temperatura (esta interdependência inversa com a altitude é também fácil de evidenciar na observação da tabela dos coeficientes de correlação).

ii) Nos pontos localizados na Rua da Alegria (77 e 78) surgem recorrentemente pontos frios, sobretudo em situações sinópticas de anticiclone continental, com elevada humidade relativa e vento fraco de quadrante sul (S e ESE) e que parecem estar relacionados com o metabolismo urbano. Nestas situações não só não existe génese de ilha de calor como inclusivamente, em grande parte das situações acontece os desvios serem negativos ou muito próximos do valor zero.

O dia 25/11-2003 e os dias 5 e 6/01-2004 servem de exemplo desta situação de desvios negativos, levada a um certo exagero, se associada a temperaturas bastante baixas: com ventos médios (3,6 a 4m/s) de ESE, elevada humidade<sup>467</sup> e temperaturas baixas, os desvios negativos chegam a ser superiores a -2° C.

iii) Sempre que se verificam pequenas diferenças entre as temperaturas medidas nos diferentes pontos, isto é, quando há certa uniformidade nos resultados das medições, os “pontos quentes” são quase sempre os mesmos a repetir-se. Geralmente estas situações correspondem a dias em que há grande agitação do ar, a situações de centro depressionário ou a situações de transição sinóptica. Podem citar-se os exemplos da noite do dia de natal, medição realizada às 23:56 do dia 25/12-2003 e do dia 26/12-2003 que, apesar de estarem sujeitos a situação de anticiclone continental, estão já em fase de descida notória da pressão atmosférica e denotando alguma instabilidade (a noite do dia 26 pode já ser considerada como uma situação sinóptica de transição, assim como a do dia 01/01-2004).

Pelo contrário, os pontos frios são muito mais variáveis, isto é, nem sempre é o terceiro ponto da Rua Bernardino de Almeida (ponto número 13) ou o ponto número 7 I da rua Padre Costa a apresentar as temperaturas mais baixas. Além disso, quando a agitação do ar é grande, há sempre muitos ou vários pontos com os mesmos valores mínimos e máximos de temperatura.

iv) Relativamente às poucas observações diurnas efetuadas pode referir-se o seguinte:

No dia 16/11-2003, na medição efetuada pelas 12h00, em situações de anticiclone centrado no atlântico, havia vento forte; a maioria dos desvios térmicos

---

<sup>467</sup> Apesar da falta de dados rigorosos ao nível local, a percepção da elevada humidade decorre do comportamento da sonda do termohigrómetro, que “colava” de imediato e deixava de fornecer dados.

era positiva, embora de valores baixos (média de 0,39°C), notando-se ligeira tendência para um maior aquecimento da área Ameal/Vale Formoso.

No dia 23/11-2003, na medição efetuada também pelas 12h00, em situação sinóptica de instabilidade, o vento era mais fraco, o céu estava nublado e a humidade era elevada; neste caso, os desvios térmicos são declaradamente negativos. Há, no entanto, uma característica comum a estas duas medições levadas a cabo a horas idênticas: em qualquer delas a análise dos fatores de correlação revela valores muito baixos e de sinal idêntico.

As medições executadas pelas 16h00 vêm confirmar a total ausência de ilha de calor no caso do dia 16/11-2003 (vento relativamente forte) e confirmar que no dia 23/11-2003 se mantém os pontos mais “quentes” ao longo do dia. Também aqui se encontra um factor de aproximação entre as duas medições efetuadas em momentos com estados de tempo tão diferentes. As variáveis de correlação apresentam coeficientes muito próximos, mesmo para o fator altitude.

Das restantes medições diurnas realizadas, a de 09/04-2004 (14h50), em situação sinóptica dominada por centro depressionário, apresenta também pouca diferenciação nos valores dos coeficientes de correlação, à semelhança do que acontecia com as outras medições já referidas efetuadas por volta do meio-dia. Mas neste caso, os desvios térmicos são francamente positivos, à volta dos 2°C, mas com alguma dispersão. A medição diurna do dia 15/05-2004 (efetuada pelas 16h00), apesar de apresentar temperaturas medidas muito mais elevadas que as anteriormente referidas, revela anomalias térmicas positivas, na ordem de grandeza ligeiramente inferior aos 2°C (média de 1,6°C).

## VI. CONCLUSÕES

### 1. CONCLUSÕES relativas às medições itinerantes

A ilha de calor está presente na área de estudo, revelando magnitudes variáveis ao longo do ano, perante diferentes situações sinópticas, e é claramente mais intensa na parte antiga da área de estudo, onde se encontram as ruas mais estreitas, onde a densidade de ocupação do solo é maior e o tráfego mais intenso; a ICU é pouco perceptível, salvo algumas exceções, na área do Pólo da Asprela, onde se verificam boas condições de arejamento, em espaço aberto e com grandes distâncias entre os edifícios, não potenciando o desenvolvimento da ilha de calor, (apesar da enorme transformação urbanística sofrida por este espaço nas últimas décadas do século XX e até à atualidade).

Os pontos 5 (Roberto Frias)<sup>468</sup>, 7 I (Padre Costa) e 13 (Dr. António Bernardino de Almeida) configuram quase sistematicamente os locais mais frios: os dois últimos localizam-se, respetivamente, na área de menor altitude absoluta e na de menor altitude do itinerário interior ao perímetro urbano, o que leva a supor que se trate de locais de drenagem de ar frio noturno. As observações do período de outono mostram que a ilha de calor se desenvolve sobretudo entre os pontos 20 a 30 (assim como as “ilhas de frio” menos frias), havendo no entanto lugar a ilhas de calor secundárias e a exceções; os desvios, quando positivos, não ultrapassam muito os +2°C (24/12/2003 e 25/12/2003, exceções a esta regra). Nas observações de inverno, o padrão espacial é similar mas a magnitude é muito variável (a partir de 19/01/2004 e durante fevereiro e março, a magnitude é geralmente superior, mas também surgem intercaladas ICU's de menor magnitude). Nas observações de verão a ICU intensifica-se consideravelmente no sentido da parte mais sudoeste<sup>469</sup> do percurso (R. Antero de Quental/Constituição)<sup>470</sup>.

---

<sup>468</sup> O trabalho de investigação de J. Góis (2002)<sup>468</sup>, assinala como “zona fria” as Ruas de Roberto Frias e Manuel Laranjeira.

<sup>469</sup> O dia 02/06-2004 apresenta um padrão térmico fora do comum, com “ilhas de frio” e de calor em locais pouco habituais: os locais das ICU habitualmente de maior magnitude apresentam-se frescos e a ICU mais acentuada reduz-se à parte oriental, particularmente para SE.

<sup>470</sup> Há casos bastante típicos desta situação, como por exemplo os dias 03/06-2004 e 06/06-2004.

O padrão de distribuição espacial dos desvios é bastante concentrado nos períodos de inverno e primavera e assume um padrão bastante difuso na época de verão. Poderia até dizer-se que no verão o padrão térmico assume um carácter nitidamente disperso.

## **2. CONCLUSÕES RELATIVAS à estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano**

Na área de estudo, a magnitude e a extensão temporal da ICU noturna são muito variáveis: de  $+2,0^{\circ}\text{C}$ <sup>471</sup> a  $+7,1^{\circ}\text{C}$  de magnitude e entre 1 a 8 horas de duração, podendo ir até 10 horas. Na maioria dos casos o início da ICU ocorre entre 3 a 4 horas após o pôr-do-sol, em média com início pelas 22h00, mas verificam-se outras situações, quer mais cedo, quer mais tarde, dependendo da época do ano. Os episódios de ICU de maior extensão territorial coincidem em geral com os de maior extensão temporal; por sua vez, ambos coincidem geralmente com magnitudes elevadas, muitas vezes superiores a  $+4^{\circ}\text{C}$  (exemplos dos episódios de 22/08 e 26/08, 17/09 e 21/09-2004 e 20/01 e 09/02-2005). Quando a ICU noturna é territorialmente muito localizada, por vezes confinada unicamente ao posto I, C e/ou B, apresenta em geral curta duração e baixa magnitude (exemplos dos episódios de 29/08, 07/09, 11/10-2004 e 17/01, 11/02 e 12/02-2005).

O facto de, durante as medições do período experimental, o posto de medição C-Costa Cabral ser aquele que apresenta maior número de situações de máxima intensidade de ilha de calor, está claramente relacionado com a elevada densidade de edifícios e com o baixo *svf*, seja perante situação sinóptica de Anticiclone Atlântico, de Anticiclone Continental ou de situação sinóptica de baixa pressão.

No que se refere aos dois períodos, os postos de medição que apresentam as maiores frequências de magnitude máxima da ICU noturna são os postos I-Faria Guimarães norte e C-Costa Cabral, o que é expectável e está claramente

---

<sup>471</sup> Recorde-se que o limite inferior de  $+2^{\circ}\text{C}$  depende do critério por nós estabelecido.

relacionado com a elevada densidade de edifícios e dos mais baixos *svf* da área em estudo.

Ao posto B-Aval de Baixo correspondem unicamente cinco ocorrências de máxima intensidade de ICU noturna, sendo este o terceiro posto com mais episódios de máxima intensidade de ICU noturna; mesmo assim, esta situação não é expectável, dado que a este posto não correspondem os terceiros valores mais baixos de *svf* e mais elevados de  $D_B$ , pelo que se conclui que deve existir outro fator explicativo que condiciona a magnitude e frequência de máxima intensidade de ICU. No decurso da investigação surgiram circunstâncias que nos levam a crer que os resultados obtidos neste posto pudessem estar a ser influenciados pela radiação solar direta e pela irradiação das paredes do edifício, às horas de maior incidência solar, o que veio a comprovar-se, razão pela qual esta questão acabou por ser objeto de investigação separadamente.

A maior novidade da segunda fase de resultados reside no facto de o posto E-Arca d'Água, geralmente com muito poucas ocorrências de magnitude máxima de ICU noturna, assumir no período de outono um número considerável de episódios. As referidas ocorrências concentram-se no outono, especificamente nos finais de outubro, início de novembro, o que nos levou inicialmente a pensar que pudessem estar relacionados com inércia térmica, acabando depois por se concluir que estão relacionadas com a exposição solar.

As poucas ocorrências de máxima intensidade de ilha de calor no posto de medição A-Tejo, apesar dos valores elevados de densidade de edifícios, estão muito provavelmente relacionadas com o facto de se tratar de um quarteirão caracterizado por pequenas vivendas unifamiliares (bairro do Estado Novo da cidade do Porto), geralmente de baixa altura dos dois lados das ruas e rodeadas por quintais de relativa extensão que, por um lado, favorecem o arejamento e, por outro lado, não são potenciadores da acumulação/retenção de energia, quer pelos materiais constituintes, quer pela distância entre logradouros.

Os postos D, G e J apresentam os maiores valores de *svf* e as menores densidades de edifícios ( $D_B$ ), pelo que logicamente não apresentam ocorrências de máxima intensidade de ilha de calor.

No conjunto dos postos em análise destacam-se nitidamente dois grupos de características distintas:

- um grupo constituído pelos postos A, E, G e J ao qual correspondem anomalias térmicas noturnas de valores habitualmente mais baixos;
- outro grupo constituído pelos postos B, C, H e I ao qual correspondem anomalias térmicas noturnas habitualmente mais elevadas.

De forma geral podemos afirmar que aos valores mais baixos de  $svf$  corresponde o maior número de ocorrências de máxima intensidade de ilha de calor; e vice-versa, um baixo/nulo número de ocorrências de máxima intensidade de ilha de calor. Da mesma forma, o maior número de ocorrências de máxima intensidade de Ilha de Calor Urbano noturna  $((\Delta\Theta)_u)_{max}$  corresponde aos postos localizados em áreas de maior densidade de edificado (altos valores de *building density*).

Sazonalmente, em relação à magnitude da ICU noturna, é nos meses de verão e início de outono que ocorrem as anomalias noturnas de valor mais elevado (8% de desvios superiores a  $+5^{\circ}\text{C}$  entre agosto e outubro, *inclusive*), enquanto os meses mais frios apresentam menor número de ocorrências (somente 5% de desvios superiores a  $+5^{\circ}\text{C}$  entre novembro e fevereiro, *inclusive*).

Durante ambos os períodos de medições, concluímos que a Ilha de Calor Urbano, de magnitude considerável e variável, ocorre com frequência, sobretudo nas áreas com maior densidade de edifícios, menor  $svf$  e de mais trânsito rodoviário. Esta questão chave de que o valor de máxima intensidade da ICU pode manifestar-se em diferentes postos, em diferentes ocasiões, está claramente relacionada com as duas principais variáveis cujo contributo para o balanço energético local, pretendemos aqui esclarecer: o desenho da própria cidade e a situação sinóptica.

Foi importante verificarmos como se desenvolve a ICU perante distintas situações sinópticas e diferentes velocidades de vento: como referido, é expectável que a magnitude da ICU diminua com o aumento da velocidade do vento e seja mais ou menos erodida com ventos de cerca de 3 m/s. Portanto, foram por nós analisados os ficheiros com as observações sinópticas de Porto-Aeroporto e dedicada

especial atenção aos dias/períodos de maior intensidade de vento (um ou mais dias seguidos, com velocidades do vento superiores a cerca de 5 nós, isto é, com mais de 2-3 m/s). Foi também por nós analisada a magnitude dos desvios que ocorreram nos diferentes postos de medição, em períodos do ano distintos.

Na generalidade as situações sinópticas de estabilidade potenciam e as de instabilidade atenuam/inibem a existência e a magnitude da Ilha de Calor. Mas esta relação não é absolutamente linear pois algumas das situações de relativa instabilidade, desde que associadas a baixas velocidades e direções específicas do vento, não só potenciam como até podem originar algumas das situações de ICU de magnitude mais elevada (exemplos dias 22 e 23 de Setembro de 2004, com vento de quadrante norte, desde que com velocidades não muito elevadas, potencia; vento de quadrante leste, normalmente inibe, mesmo com velocidades baixas).

Em situação de estabilidade, com Anticiclone centrado no Atlântico geralmente a N ou a NW da Península Ibérica, é potenciada a ilha de calor, com valores de desvios muito variáveis. Em situação de estabilidade, com Anticiclone centrado no Continente, ocorre a formação de ilha de calor em dias de calma ou vento fraco (cerca de <7mph ou 3m/s), com valores de desvios geralmente elevados.

No que se refere à frequência das situações sinópticas, para o período de primavera/verão, verificou-se o predomínio de episódios de máxima intensidade de ICU perante Anticiclone Atlântico (63%), logo seguidas das situações de Depressão centrada na Península Ibérica e de Anticiclone Continental (respetivamente 15% e 13%), como se explicita mais pormenorizadamente de seguida. Para o período de verão/outono, a dispersão é bastante maior, quer em termos espaciais (há mais postos com casos de ICU<sub>max</sub>), quer em termos de variedade de situações sinópticas. Não se verificou um predomínio excessivo e/ou isolado de nenhum tipo de situação sinóptica, sendo que os episódios de máxima intensidade de ICU ocorrem assim distribuídos: 25,5% de casos perante Depressão centrada na Península; 24,5% perante curvatura ciclónica; 19,4% associado a curvatura neutral; 16,3% perante curvatura anticiclónica; as ocorrências de ICU máxima com Anticiclone Atlântico, claramente predominantes no período anteriormente considerado, não têm aqui



grande expressão, limitando-se a cerca de 9,2%; acresce ainda 5% de situações de ICU máxima perante Anticiclone Continental.

Estes resultados vieram confirmar a pesquisa anterior por nós efetuada, a qual já nos tinha permitido constatar que há casos de situação sinóptica de instabilidade/transição que apresentam ilhas de calor de maior magnitude do que situações sinópticas de estabilidade; por outro lado, há casos de situações sinópticas de estabilidade, praticamente sem ilha de calor, ou ilha de calor não significativa, dependendo sobretudo da direção e velocidade do vento; uma terceira alternativa refere-se a situações de instabilidade/transição, as quais só favorecem a ilha de calor se o vento for fraco (e preferencialmente de quadrante N a NNE). Estes factos vieram a ser constatados pela análise de AFCB, a qual evidenciou também a dificuldade de estabelecer relações inequívocas entre as anomalias térmicas e os valores da pressão atmosférica.

Em resumo, o padrão de distribuição espacial das temperaturas e dos desvios é muito compacto e concentrado nos períodos de inverno e primavera e torna-se num padrão bastante difuso na época do verão, podendo afirmar-se que no verão o padrão térmico assume um carácter nitidamente disperso.

No que se refere à ICU noturna, os resultados obtidos no período experimental estão em conformidade com o expectável e foram posteriormente confirmados com recurso a mais postos de medição na segunda fase de aquisição de informação, no sentido de abrangerem mais exemplos de  $svf$  e de  $D_B$  e também maior número de observações (período de dois anos). Mas, no que se refere às anomalias térmicas diurnas, os resultados obtidos relativamente à estação de Porto-Aeroporto, não se coadunavam com a temática da literatura da especialidade.

Os resultados obtidos para os desvios térmicos calculados relativamente ao Posto G-Covelo, vieram validar a nossa opção de mudança de estação de referência dado que estão em consonância com o esquema teórico proposto por T.R.Oke, quer temporalmente, quer na magnitude das anomalias térmicas calculadas.

### 3. CONCLUSÕES RELATIVAS à ilha diurna de calor

Face aos resultados relativamente surpreendentes sobre a intensidade da ICU diurna<sup>472</sup>, se comparados com a literatura clássica sobre o tema, em áreas urbanas de latitudes médias<sup>473</sup>, decidimos tomar algumas providências: por um lado, efetuar um estudo sobre a exposição solar dos abrigos e outro sobre a eventual interferência das brisas e, por outro lado, proceder a uma reanálise de alguns dados.

No que diz respeito à experiência comparativa feita com várias sondas colocadas no abrigo do Posto A-Tejo, exposto diretamente ao sol, vs as sondas instaladas num abrigo colocado à sombra, concluiu-se que não se registaram diferenças substanciais entre os resultados das sondas do abrigo do posto A-Tejo, nem entre estas e as sondas colocadas no abrigo especial, instalado à sombra.

No entanto, os valores bastante elevados das anomalias térmicas diurnas (e em particular, as do posto B-Aval de Baixo) indiciam que:<sup>474</sup>

- i) Na maioria dos casos, os abrigos cumprem a sua função de proteção das sondas relativamente à radiação solar direta incidente nos abrigos. Mas no caso do posto B-Aval de Baixo – e reforçado pelas conclusões do estudo posteriormente efetuado através de termogramas obtidos com recurso a câmara térmica – os resultados de valor excessivo das anomalias térmicas diurnas, apontam para a pouca fiabilidade dos dados na ICU diurna particularmente nas horas do final da tarde.
- ii) Dado que prevaleciam as características inesperadas no desenvolvimento diurno das anomalias térmicas urbano-rurais, especialmente durante períodos do dia não-convencionais, decidiu-se prosseguir na busca das suas causas, e deu-se continuidade ao despiste sistemático de outros possíveis

---

<sup>472</sup> Balkestâhl, L., “Características Dominantes da Ilha de Calor Diurna (Paranhos-Porto)”, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 2, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Julho 2010, pág. 11-21, ISSN 1647-6506.

<sup>473</sup> Oke, T.R., *Boundary layer climates*, Routledge, London and New York, 1987, pág. 291 :”Urban heat islands have also been observed in low and high latitude settlements but there are insufficient data to establish relationships similar ...”

<sup>474</sup> Balkestâhl, L., Monteiro, A., Taesler, R., “*Unexpected features in the diurnal course of the urban-rural temperature difference (study-case of the possible influence of exposure to solar radiation, Porto, Portugal)*”, 8<sup>th</sup> International Conference on Urban Climates, ICUC8, UCD, Dublin, Ireland, 2012.

fatores de influência<sup>475</sup>, como os eventuais efeitos da alternância das brisas marítimas e terrestres.

- iii) O posto B-Aval de Baixo não aparece afetado no que diz respeito ao comportamento da ICU noturna, uma vez que as características do edificado da área favorecem o arejamento e dissipam rapidamente a acumulação de energia diurna.

Quanto à reanálise dos dados, foram confrontados os registos/resultados relativos às médias das anomalias térmicas, com e sem o posto B-Aval de Baixo, os quais nos permitiram concluir que:

- o contributo do posto B para a elevação das médias de  $(\Delta\theta)_U$  é inferior a 10% no verão e cerca de 36% na época mais fria e, portanto, relativamente pouco significativo globalmente, mas digno de observação atenta no aspeto das temperaturas diurnas;
- apesar de, ao final do dia, estar mais exposto ao efeito da radiação solar direta do que os outros postos, o posto B-Aval Baixo não apresenta um comportamento térmico intrinsecamente diferente dos outros postos que não estão sujeitos à mesma exposição geográfica e condições de edificado, mas revela alterações significativas nas temperaturas diurnas, sendo de evitar a futura instalação de sondas nestas condições;
- o padrão temporal noturno e diurno da ICU é idêntico em todos os postos, mas o posto B-Aval de Baixo apresenta muitas vezes valores substancialmente mais elevados que os outros postos, ao final do dia;
- os valores dos desvios térmicos médios da ICU diurna são mais elevados que os valores dos desvios da ICU noturna, em todos os postos.

Em resumo, no sentido de tentar entender as razões dos resultados inesperados para a ICU diurna, sobretudo ao final da tarde, levamos a cabo dois tipos de pesquisa não planeados inicialmente: estudo da exposição/ocultação solar dos abrigos das sondas e análise do possível efeito das brisas marítimas vs terrestres.

---

<sup>475</sup> Como já anteriormente referido, fomos obrigados a desistir de analisar os possíveis erros por diferenças sistemáticas nos tempos de resposta dos diversos instrumentos porque não tivemos acesso aos dados técnicos dos equipamentos da estação Porto-Aeroporto.

No primeiro caso, constatou-se que não se registaram diferenças assinaláveis entre os resultados das sondas do abrigo do posto A entre si, nem entre estas e as sondas colocadas no abrigo adjacente especialmente produzido para o efeito, colocado à sombra. Isto significa que os abrigos, na generalidade, cumprem com eficácia a sua função de proteção das sondas relativamente à radiação solar direta incidente nos abrigos e, portanto, não contribuem ou contribuem muito pouco para a génese/desenvolvimento das anomalias térmicas diurnas. No entanto, os valores bastante elevados das anomalias térmicas em certos postos (particularmente, posto B-Aval de Baixo) indiciam que se deve prosseguir na busca das suas causas, pelo que prevemos dar continuidade ao despiste sistemático de outros possíveis factores de influência, nomeadamente do tempo de resposta dos diversos instrumentos, se viermos a ter-lhes acesso.

No segundo caso, verificou-se que à tarde/início da noite, a brisa do mar transporta ar frio para a estação meteorológica do Aeroporto, localizado apenas a cerca de 4 km da costa. Grande parte da área que estudamos encontra-se mais afastada da linha de costa e deve estar por isso menos exposta aos ventos provenientes do mar, resultando isso num ritmo mais lento de arrefecimento relativamente à estação do Aeroporto.

A consequência desta situação pode traduzir-se numa ICU aparentemente reforçada/amplificada durante a tarde e noite, que proporciona uma explicação plausível para os resultados inesperadamente elevados das anomalias térmicas diurnas urbano-rurais. Podemos concluir que o efeito das brisas deve contribuir, pelo menos em certa medida, para o comportamento térmico da ICU diurna da área de estudo.

Relativamente aos resultados obtidos através da modesta experiência feita com a aquisição de termogramas, cumpre-nos concluir:

Quanto aos resultados obtidos pelas 09h00, considerando as acentuadas diferenças no edificado – sendo que o posto C-Costa Cabral corresponde a um *canyon* urbano de baixo *svf* e o posto B-Aval Baixo corresponde a uma área aberta de elevado *svf* e de grande arejamento – seria expectável que as temperaturas no posto C fossem comparativamente mais elevadas; não é de excluir que, embora pequena, a diferença de temperatura encontrada nos materiais (mais quentes em B-Aval de Baixo) possa estar a refletir a permanente exposição solar do posto B, nas

horas da tarde e fim de tarde; e, por acréscimo, que as temperaturas registadas pela respetiva sonda térmica no posto B possam estar a ser influenciadas.

Quanto aos resultados obtidos pelas 19h00, partindo do princípio que o ar atmosférico envolvente às estruturas que albergam as sondas pode ser – e provavelmente é – afetado pela irradiação de grande comprimento de onda proveniente dos materiais dessas estruturas, entendemos que os resultados do posto B-Aval de Baixo não têm a mesma fiabilidade dos restantes dados; mais entendemos que os resultados obtidos com os termogramas vieram reforçar a base da nossa decisão anterior de termos deixado de considerar os registos térmicos do posto B-Aval de Baixo no tratamento e análise dos dados registados em postos fixos, na segunda fase de aquisição de informação.

As médias dos desvios urbanos potenciais horários revelaram o seguinte padrão médio diário: geralmente as anomalias térmicas diurnas médias apresentam, entre as 13h00 e as 20h00, valores elevados e relativamente regulares ( $> +2^{\circ}\text{C}$  no mês de Verão e de cerca de  $+1^{\circ}\text{C}$  no mês de Inverno, mas neste caso com menor regularidade); a ICU média noturna apresenta geralmente valores bastante mais baixos mas que se mantém regulares durante a noite e a madrugada, até próximo do nascer do sol, especialmente nos meses de Verão; após o nascer do sol, os valores dos desvios potenciais médios baixam consideravelmente, ocorrendo recorrentemente “ilhas de frio” até aproximadamente ao meio/fim da manhã (até às 11h00/12h00).

Quanto aos ciclos de 24 horas (12 às 12 horas) correspondentes a cada “dia completo” de ilha de calor, os períodos em análise (dias de verão e dias de inverno), permitiram concluir que as médias dos desvios urbanos potenciais diários, nos meses de verão apresentam geralmente maior amplitude térmica ( $-4^{\circ}\text{C}$  a  $+6^{\circ}\text{C}$ ) do que no inverno ( $-3^{\circ}\text{C}$  a  $+3^{\circ}\text{C}$ ), isto é, os desvios negativos e positivos são muito mais contrastantes no verão. Os valores médios da ICU assim obtidos revelam que a ilha de calor diurna apresenta elevada magnitude por volta das 16h00-18h00, até antes do pôr-do-sol; esta baixa durante a noite até valores que estão próximos de  $+1^{\circ}\text{C}$  no verão, havendo raramente lugar a desvios médios negativos, e mantém-se nesses níveis de forma mais ou menos constante durante a madrugada, para descer abruptamente para valores negativos bastante baixos, após o nascer do sol. No inverno são mais comuns os desvios noturnos negativos.

## 4. CONCLUSÕES FINAIS

Os processos de urbanização/expansão urbana resultam na remoção e/ou cobertura de uma parte significativa dos materiais naturais, como a vegetação, os rios e o solo, os quais são substituídos por materiais artificiais, como tijolo, asfalto, aço, vidro, e outros que em muito contribuem para alterar o balanço energético citadino. A compreensão das dinâmicas complexas daí resultantes e que caracterizam a atmosfera urbana, pode ser simplificada tentando delimitar a análise a unidades circunscritas do meio urbano mais reduzidas, nomeadamente, os "*canyons urbanos*". Nesse sentido, estabelecemos correlações entre as propriedades do edificado dos sítios dos nossos postos e as anomalias térmicas urbano-rurais, que demonstraram que a elevada densidade de construção contribui substancialmente para a intensificação do fenómeno da ilha de calor urbano: as zonas mais densamente construídas e com menor *sky view factor* correspondem às áreas onde a ilha de calor urbana foi identificada mais frequentemente e com maior magnitude.

Tornou-se evidente que, durante todos os períodos de medições, os dois fatores – *sky view factor* e *building densities* – contribuem para explicar uma parte significativa da influência do espaço citadino nas condições térmicas da copa urbana, isto é, ambos os parâmetros condicionam em maior ou menor grau o fenómeno da ilha de calor urbano, geralmente também associado às áreas de mais trânsito rodoviário.

Mas foi também importante deixar claro que, embora o número mais elevado de ocorrências de máxima intensidade da ICU se verifique recorrentemente nos locais dos postos de características/propriedades mais tipicamente urbanas (nomeadamente o posto C-Costa Cabral no período experimental e o posto I-Faria Guimarães na segunda fase de medições), as restantes ocorrências de máxima intensidade da ICU em postos de espaços menos caracteristicamente urbanos ou de espaços mais abertos, estão inequivocamente relacionados com a diversidade das situações sinópticas. Estas, e todos os fatores que lhes estão associados, como direção e velocidade do vento sobretudo, mas também pressão atmosférica e outras (outras que supomos terem uma influência considerável, mas sobre as quais não podemos pronunciar-nos por não termos feito estudos específicos acerca delas,

como humidade e nebulosidade) estão na base de muitos dos episódios de máxima intensidade de ICU que detetámos.

Se os episódios de máxima magnitude da ICU que abordámos, se verificassem todos e sempre nos mesmos locais de maior probabilidade de ocorrência – as áreas de menor *svf* e maior *densidade de edifícios* – até talvez tivéssemos dificuldade em isolar os casos sob a alçada das situações sinópticas. Mas o que comprovamos foi um número considerável de ocorrências em postos que não correspondem a essas características de edificado: partindo do pressuposto da anulação do efeito da altitude, a qual como é sabido, influencia em elevado grau o comportamento das temperaturas, tivemos de procurar outros prováveis fatores, as situações sinópticas e as variáveis delas dependentes.

Quer os resultados da primeira fase de aquisição de informação, quer os da segunda fase, vieram demonstrar que a Ilha de Calor Urbano mais preocupante, em termos de magnitude, é a da estação quente. No que diz respeito à eventual aplicação prática dos resultados deste estudo, podemos chamar a atenção para o facto de as elevadas anomalias térmicas durante um dia de verão poderem ter impactes diretos importantes na saúde humana (por exemplo, potenciam o aumento do *stress* térmico), assim como impactos na procura de energia para arrefecimento de edifícios. Chamemos-lhe ou não "Aquecimento Global", certo é que as previsões apontam para temperaturas significativamente mais elevadas durante o verão, no sul da Europa, e/ou aumento da ilha de calor urbano. A ser verdade, esta poderá ter consequências muito graves, quer ao nível da saúde dos cidadãos, quer a nível económico.

Os resultados obtidos na primeira fase da investigação estão de acordo com o expectável, no que diz respeito à ICU nocturna, às anomalias térmicas da madrugada e à “ilha de frio” após o nascer do sol<sup>476</sup>. No entanto, os elevados valores obtidos para os desvios térmicos diurnos levaram-nos, durante o prosseguimento da investigação, a um aprofundamento desta questão, uma vez que não se coadunavam com o expectável. Estas conclusões deram-nos pois, novas

---

<sup>476</sup> Cf. OKE, T.R., *Boundary Layer Climates*, 1978, 1987, Routledge, London and New York, pág. 291, “...a área urbana leva mais tempo a aquecer depois do nascer-do-sol ... podendo verificar-se a ocorrência de “ilhas de frescura”, ... isto é, a relação  $\Delta T_{u-r}$  pode até ser negativa”.

pistas para a condução da restante investigação: decidiu-se alargar a pesquisa para o exterior do perímetro da freguesia de Paranhos, no sentido de que abrangesse também outras áreas mais densamente ocupadas da cidade do Porto, aplicando a mesma metodologia; e concluiu-se também que era premente encontrar uma outra estação de referência alternativa (opção pelo Posto G-Covelo)<sup>477</sup>.

A discussão da escolha da estação de referência constituiu um resultado particularmente interessante do nosso projeto e muito relevante na pesquisa atual de Clima Urbano, tendo em conta as novas propostas de definição do conceito de ICU.

Mesmo considerando que o processamento inicial dos dados, feito a partir da comparação com a estação de referência Porto-Aeroporto, não é relevante para a definição da ICU portuense diurna – por fornecer uma imagem “amplificada” das características da ICU e evidenciar um padrão temporal pouco aceitável sob o ponto de vista da própria física da atmosfera – concluímos que alguns desses resultados são interessantes como termo de comparação e para mostrar a importância da escolha da estação de referência, pelo que muitas das formas de tratamento de dados continuaram a ser feitas relativamente às duas estações de referência.

Para podermos continuar a considerar a estação de Porto-Aeroporto como a melhor estação de referência possível, teríamos de explicar por que razão os processos do desenvolvimento diário de ICU(A) apresentam um comportamento tão diferente do expectável, com valores mínimos durante toda a manhã e máximos durante grande parte da tarde – este último facto precisamente o oposto do que se costuma encontrar, na generalidade, na literatura sobre o tema e de difícil explicação sob o ponto de vista das propriedades físicas da atmosfera urbana.

Quanto à questão das propriedades que são características da Ilha de Calor Urbano, em diferentes épocas/estações do ano, a resposta está patente no ficheiro de síntese dos resultados e nos mapas de isoanomalias térmicas, pela grande semelhança encontrada no decurso diário da ICU média, ao longo de meses diferentes. Portanto, a ICU parece ter o mesmo desenvolvimento diário, exceto no que diz respeito ao efeito provocado pelos diferentes horários do nascer do sol. Pelo

---

<sup>477</sup> Naturalmente que se poderia argumentar que o Posto G-Covelo é parcialmente influenciado pelo edifício envolvente e que, por essa razão, a ICU(G) poderia estar a subestimar ligeiramente a magnitude dos desvios térmicos.



contrário, não se evidencia nenhum efeito explícito relacionado com o horário do pôr-do-sol, a não ser a ligeira deslocação temporal da máxima intensidade da ICU noturna no sentido de horas mais tardias, nas épocas de verão. A diferença mais explícita consiste na considerável variação da amplitude, a qual pode ser analisada nas tabelas mensais.

Estamos convencidos de que a escolha da ICU(G) foi a melhor opção que poderíamos ter feito, de entre as estações que se encontram disponíveis no Porto, indo assim ao encontro das opiniões mais recentes de especialistas<sup>478</sup> na temática.

Apesar de termos concluído pela inconveniência da utilização da estação Porto-Aeroporto como estação de referência para o cálculo dos valores da ilha diurna de calor da cidade do Porto, e termos optado pela sua substituição pelo Posto G-Covelo, resolvemos mesmo assim efetuar a análise da AFCB para os dois casos.

Os resultados obtidos com a AFCB revelaram-se muito conclusivos para a quase totalidade das variáveis em presença, vindo confirmar de forma objetiva e quantificável os resultados que já havíamos obtido empiricamente, e validando assim esta ferramenta como sendo de grande utilidade para estudos climáticos com longas séries de dados e com tratamento de elevado número de variáveis.

A única exceção, isto é, o único caso em que a análise AFCB não se revelou conclusiva, relaciona-se com a pressão atmosférica; mas estamos convictos de que este facto se prende mais com a forma de abordagem do que com o método em si, por duas razões: em primeiro lugar, a relação dos fenómenos “Pressão Atmosférica/Magnitude da ICU” não é tão linear como se poderia pensar, pois conforme concluímos, foram detetados frequentes episódios de ilha de calor de elevada magnitude, mesmo perante situações de instabilidade e, portanto, de valores de pressão atmosférica relativamente baixos; em segundo lugar, não é certo que as várias alternativas de classes de pressão atmosférica que utilizámos – e que então nos pareceram razoavelmente assertivas – sejam de facto as melhores opções.

---

<sup>478</sup> Acerca da redefinição da ICU *c.f.*: Klysiak, K., Fortuniak K., Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 September Lodz, Poland, 2003; Stewart, I. D., Oke, T.R.- Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.

Creemos que uma solução para este problema, no que se refere à pressão atmosférica, seja levar a cabo um estudo de forma mais pormenorizada, com outras classes de pressão (maior número de classes e de menor amplitude), para se poderem estabelecer relações mais diretas entre as referidas variáveis.

Os resultados das metodologias utilizadas apontam para que se possam combinar as técnicas estatísticas e geoestatísticas, com a construção de representações da distribuição espacial de fenómenos climáticos, nomeadamente mapas de “isoanomalias térmicas” e de frequências relativas.

## Reflexão pessoal

No início desta investigação, a pergunta “Quais os efeitos, na atmosfera, da construção do Pólo Universitário da Asprela?” pareceu-nos razoavelmente clara, mas acabámos por verificar que as pessoas a quem a apresentávamos, a interpretavam de maneiras distintas entre si e diversas da interpretação que nós próprios pretendíamos dar-lhe. Passámos então por dar várias formas à questão de partida durante o decurso da investigação, até chegar à forma final, relacionando também a temática com o estudo das situações sinópticas.

Após a consulta bibliográfica e diversos momentos de reflexão sobre a(s) pergunta(s) de partida, apercebemo-nos que o âmbito desta investigação não está diretamente ligada à meteorologia e sim à climatologia, cuja tónica foi posta nos fenómenos ao nível da baixa atmosfera – alterações não intencionais ao nível do clima local. Mas não podendo ser esquecidos os fenómenos marginais que acabam por ter grande influência na modificação de comportamento das variáveis (por exemplo, reflexos da impermeabilização, da alteração das volumetrias do edificado, do aumento do número de veículos em trânsito e outros), a investigação teve de orientar-se também para esses temas.

Não foi totalmente pacífico formular perguntas **claras** (precisão, univocação e concisão), **exequíveis** e **pertinentes**, até ao momento de termos obtido resultados de novas leituras e de períodos de reflexão; mas por fim pareceu-nos que a questão “Em que medida os impactes na baixa atmosfera e no clima local, provocados pela intensificação da urbanização em áreas da cidade do Porto, se relacionam com os estados de tempo?” estaria razoavelmente adaptada ao que pretendíamos investigar.

A representação cartográfica dos resultados com recurso à geoestatística permitiu evidenciar, visualmente, com maior acuidade e rigor, a distribuição espacial não só da magnitude, mas sobretudo da forma e até da extensão temporal da ilha de calor (inicialmente, no caso das medições itinerantes sequenciais/consecutivas, depois ainda com maior rigor no caso dos registos em postos fixos). Além disso, quando comparados o padrão da distribuição das temperaturas reais medidas com o padrão de distribuição dos desvios térmicos, verifica-se que não há lugar a diferenças significativas, pelo que está implícito que

as correções feitas afetam marginalmente os resultados, ficando assim validada esta metodologia que tem a vantagem de introduzir maior rigor no processo.

Finalmente, gostaríamos de salientar que o emprego dos diferentes métodos de Análise de Dados, utilizados neste trabalho, tendem a negligenciar uma característica que julgamos fundamental no estudo de algumas das variáveis climáticas em apreço, a sua estrutura espacial intrínseca. No entanto, no trabalho que serviu de base a esta investigação (Balkeståhl, 2005) e em particular no que respeita às temperaturas/desvios térmicos, a questão espacial já tinha sido abordada de forma privilegiada.

No nosso entendimento há ainda um longo caminho a percorrer e a investigar sobre esta temática, sobretudo nas diversas possíveis vertentes relacionadas com a aplicabilidade prática dos resultados obtidos, a situações reais de gestão do território, nomeadamente na sua relação com questões concretas de saúde pública. Este tipo específico de conhecimento que envolve diversas escalas espaciais de grande pormenor, pode e deve ser rentabilizado através da sua integração em estratégias dirigidas a outros níveis de escalas mais amplas, uma vez que, como muitos bem disseram antes de nós, em clima não há factos isolados pois estamos perante um sistema climático que permanentemente interage com todos os outros sistemas.

Pretendemos, pois, prosseguir a nossa investigação no sentido da Climatologia Urbana Aplicada, quer no que diz respeito às questões específicas das suas diversas escalas espaciais (sobretudo no que se refere às questões específicas das escalas espaciais mais finas, topoclimáticas e microclimáticas), quer na exploração das potencialidades de aplicação a situações concretas de planeamento e gestão do território.

## BIBLIOGRAFIA

- Ahlonsou E., Ding, Y., Schimel, D. in *The Climate System: an Overview*, 2001
- Alcoforado, M. J. *et al* - Domínios Bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gaussen e de Emberger, Linha de Acção de Geografia Física, Relatório n.º 14, Centro de Estudos Geográficos, I.N.I.C., Lisboa, 1982.
- Alcoforado, M. J. - *O Clima da Região de Lisboa - contrastes e ritmos térmicos*, Memórias do C.E.G., n.º 15, Lisboa, 1992
- Alcoforado, M. J. et al – “Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa”, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. Área de Investigação de Geo-Ecologia, Lisboa, 2006
- Andersson, K., C., Ekeblad, Högsommardagar i Sverige 1917-2003. Department of Physical Geography, Earth Sciences Centre Göteborg University, Göteborg, 2004
- Andrade, H. - “O Clima Urbano-Natureza, Escalas de Análise e Aplicabilidade”, in *Finisterra*, XL, pp.67-91
- Araújo, M. A. – “Depósitos continentais e marinhos na plataforma litoral da região do Porto. Importância da tectónica na sua organização espacial”, *Ciências da Terra (UNL)*, N.º 14, pp 111-122, Lisboa 2000
- Araújo, M. A. – *Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto*. FLUP, 534 pp. Tese de Doutoramento, 1991
- Araújo, M.A *et al.* – Geomorfologia e geologia regional do sector do Porto-Espinho (W dw Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozóica. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruña, 28: 79-105, 2003
- Arnfield, A. J.; Grimmond, C. S. B.: “An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling”. *Energy and Buildings*, v.27, p.61–68, 1998.
- Atkinson, B. W., Gadd, A. – *O Tempo, um guia actual da previsão*, 1990 - ISBN 972-42-0127-9
- Bagnouls, F., Gaussen, H., *Saison sèche et indice xérothermique, Volume 8 de Cartographie des limites écologiques*, Faculté des Sciences, Université de Toulouse, France, 1953
- Balchin, W., Pye, N., - “A micro-climatological investigation of Bath and the surrounding district”. *QJRMet Soc.* 73, 297-319, 1947
- Balkesthahl, L., Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: Estudo de caso no pólo da Asprela, tese de mestrado, FLUP, Porto, 2005.
- Balkesthahl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesle, R., Quenol, H., *The Influence of weather types on the urban heat island's magnitud and patterns at Paranhos, Oporto – a case study from November 2003 to January 2005*”, “6<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, ICUC6”, Gotemburgo, Suécia, 2006.
- Balkesthahl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesle, R., “*Os efeitos da intensificação dos processos de urbanização no balanço energético local: estudo de caso no pólo da Asprela*”, 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia/2º Congresso de Engenharia de Moçambique (CLME' 2008), Edições INEGI, Maputo, Moçambique, Agosto 2008
- Balkesthahl, L., Monteiro, A., Góis, J., Taesle, R., “*Urban geometry parameters as indicators for urbanization effects: a case study in Paranhos, Portugal*”, “Climate Change and Urban Design - The Third Congress of the Council for European Urbanism”, Actas do Congresso, Oslo, Noruega, Setembro 2008
- Balkesthahl, L., “*Estrutura espaço-temporal da Ilha de Calor Urbano (Porto)*,” Ciclo de Colóquios Geografia aos Sábados, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 1, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Outubro 2009, pág. 11-31, ISSN 978-972-8932-44-2
- Balkesthahl, L., “*Características Dominantes da Ilha de Calor Diurna (Paranhos-Porto)*”, Departamento de Geografia, Cadernos do Curso de Doutoramento em Geografia 2, FLUP, Universidade do Porto, Portugal, Julho 2010, pág. 11-21, ISSN 1647-6506
- Balkesthahl, L., Monteiro, A., Góis, J., “*Estudo preliminar sobre a frequência de ocorrências da ICU em Paranhos, Porto – sua relação com distintas tipologias de situações sinópticas*”, Actas do XII Colóquio Ibérico de Geografia, FLUP, Porto, 2010

- Balkesthål, L., “*Extensão temporal e magnitude máxima da ilha de calor urbano - estudo de caso em Paranhos, Porto*”, in “Trunfos de uma Geografia Activa, Imprensa da Universidade de Coimbra, págs.835-844, Coimbra, 2011, ISBN 978-989-26-0111-3
- Balkesthål, L., Monteiro, A., Taesle, R., “*Unexpected features in the diurnal course of the urban-rural temperature difference (study-case of the possible influence of exposure to solar radiation, Porto, Portugal)*”, 8<sup>th</sup> International Conference on Urban Climates, 6-10 de agosto, ICUC8, UCD, Dublin, Ireland, 2012
- Balkesthål, L., Monteiro, A., Taesler, R., “*Desenvolvimento diurno das anomalias térmicas urbano-rurais – caso de estudo da possível interferência das Brisas (Porto, Portugal)*”, XIII Coloquio Ibérico de Geografía, 24-27 de outubro, Departamento de Xeografía de la Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Espana, 2012
- Bechtel, B. – “Classification of Local Climate Zones from multitemporal remote sensing data”, Boletim Nº 46, DECEMBER 2012, IAUC
- Bengtsson, Klas - Vattenkroppars påverkan på stadsklimatet i centrala Göteborg, 2003
- Berezuk, A.G.,- Análise das adversidades climáticas no oeste paulista e norte do Paraná, PresidentePrudente, Brasil, 2007
- Bergström, H., Vindpotentialen i Sverige på 1 Km-skala. Institutionen för geovetenskaper, luft och vattenlära. Uppsala Universitet, 2007
- Bermudez, F. López; Recio, J.M. Rubio; Cuadrat, J.M., - *Geografía Física*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1992, ISBN: 9788437608938
- Bernhardt, Karl-Heinz, “*Heinrich Wilhelm Dove's position in the history of meteorology of the 19th century*”, Leibniz-Sozietät e.V.
- Bertalanffy, L. V. - Teoria geral dos sistemas, (*General System Theory*, 1968), G. Braziller, New York, 1975
- Bjerknes, J., Solberg, H., “*Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation*”, 1922
- Bjerknes, J., “*On the Structure of Moving Cyclones*”, Bergen, 1918
- Bjerknes, V., “*Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vo Standpunkte der Mechanik und der Physik*”, Meteorologische Zeitschrift, 1904, pp. 1-7, Tradução em inglês por Y. Mintz, “*Weather forecasting as a problema in mechanics and physics*”, Los Angeles, 1954
- Bornstein, R.D., Observation of the urban heat island effect in New York City, *J. Appl. Meteorol.*, 7, 575-582, 1968
- Chandler, T. J., - “The Climate of London”, Hutchinson & Co., Ltd: London, 1965.
- Coelho, J. G. G. (pseudónimo, Júlio Diniz), “Da Importância dos Estudos Meteorológicos para a Medicina e especialmente de suas aplicações ao ramo operatório”, Porto, 1861, 1<sup>o</sup> edição Fac-Simile, Editora UP, Porto, 2005
- Correia, L. Grosso, - *A evolução demográfica da Freguesia do Bonfim da cidade do Porto na Época Contemporânea*, *Revista da Faculdade de Letras HISTÓRIA Porto*, III Série, vol. 10, pp. 181-196, 2009
- Daveau, Suzanne, - *La Géographie, ça peut survivre à la guerre. Correspondance entre Jean Gottmann et Orlando Ribeiro*, Finisterra: Revista portuguesa de geografia, ISSN 0430-5027, Vol. 42, Nº 83, 2007, págs. 5-20
- Davenport e al., “*New Revision of Davenport Roughness Classification*”, 3rd European and African Conference on Wind Engineering, Eindhoven, Netherlands, 2001
- Fanger P.O., (1970), “*Thermal Comfort*”, Copenhagen: Danish Technical Press
- Faria, R. - Paroxismos climáticos na região do porto - estudo comparativo entre os períodos de 1900-1919 e 1988-2007. Contributo para o estudo das alterações climáticas à escala regional, Porto, FLUP, 2010
- Fernandes, J.A.R.. - Urbanismo sustentável: pela redução, reciclagem e reutilização da cidade. *Revista da FLUP*, II Série, Volume I, 2007-pp. 161-176
- Ferreira, A.B., - Erosão diferencial e modelado das regiões graníticas do Norte de Portugal. *Linha de Acção de Geografia Física*, Relat nº 7, CEG, Lisboa, 1978
- Fujibe, Fumiaki, “*Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring*”, Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan, The 7<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate, 29 June- 3 July 2009, Yokohama, Japan
- Ganho, N., “A ilha de calor de Coimbra sob diferentes condições de tempo de verão”. *Territorium*, Coimbra, 1995, 2, p.33-50
- Geiger, R., “Manual de microclimatologia – O Clima da Camada do Ar Junto ao Solo”, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980, ISBN 972-31-0522-5

- Gillispie, Charles Coulston, " *Pierre Simon Laplace, A Life in Exact Science* ", Princeton University Press, New Jersey, USA, 1997, ISBN 0-691-05027-9
- Góis, J., Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, tese de doutoramento, FEUP, Porto, 2004.
- Góis *et al* – "Multifactorial correspondence analysis of risk factors for sheep and goat brucellosis seroprevalence", Small Ruminant Research,, Pages 181-185, August 2008
- Gottmann, J. - *Megalopolis. The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States*. Twentieth Century Fund, New York, 1961
- Grigg, D.,: "The logic of regional systems." *Ann. Assoc. Amer. Geogr.*, Vol.55, nº 3, 465–491, 1965
- Grimes, Doria B., "BJERKNES – LIKE FATHER – LIKE SON", U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Central Library, USA
- Grimmond, S. – "London's urban climate: historical and contemporary perspectives", Manchester Architecture Research Centre (MARC), Centre for the History of Science Technology and Medicine (CHSTM) 23-24 June, The University of Manchester, 2011
- Grimmond, S. et al., "An objective urban heat storage model and its comparison with other schemes". *Atmospheric Environment, Urban Atmosphere*, v.25, n.3, p.311-326, 1991.
- Grimmond, S. et al., "A. Flux and turbulence measurements at a densely built-up site in Marseille: Heat, mass (water and carbon dioxide), and momentum", *Journal Geophysics Res.*, 109, 2004.
- Grimmond, C.S.B., "The suburban energy balance: methodological considerations and the results for a mid-latitude west coast city under winter and spring conditions", *International Journal of Climatology*, vol.12, 1992, p.481-497
- Holmer, B., Postgård, U. & Eriksson, M. – "Sky view factors in forest canopies Calculated with IDRISI. Theor". *Appl. Climatol.* 68, s 33-40, 2001
- Horstmeier, Steven L., *An Outline of the History of Meteorology*, V1.5 20AUG2005, Cincinnati, OH, USA
- Jorge, Ricardo – " *A Peste bubonica no Porto – 1899. Seu Descobrimento – Primeiros Trabalhos.* " *Repartição de Saúde e Hygiene da Camara do Porto*, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge – Delegação no Porto, 1899.
- Jorge, Ricardo - *Demografia e Hygiene da Cdade do Porto*, vol I., Porto: Câmara do Porto/Repartição de Saúde e Hygiene. Porto, 1899
- Kant, I., *Handschriftlichen Nachlass, Band I*, (Berlin und Leipzig).
- Kant, I., *Physische Geographie*, in Kant's Werke Band IX, (Berlin und Leipzig 1923): 289-94, § 67-71, comments 510-13, 517, 536-38, Königsberg, 1802
- Klysik, K., Fortuniak K., Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland. *Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Atmos. Env.*, 33, 3885–3895, 1999
- Klysik, K., Fortuniak K., Observed UHI Intensity in Lodz - Definition and Typical Values. *Faculty of Geographical Sciences, University of Lodz. Fifth International Conference on Urban Climate*, 1-5 September Lodz, Poland, 2003
- Kratzer, A., "THE CLIMATE OF CITIES" tradução pela American Meteorological Society, republicação 1956, Boston, Massachusetts
- Lakatos, E. M., Marconi, M.A., - *Metodologia do Trabalho Científico*, Editora Atlas, S. Paulo, 1992, ISBN 85-224-0859-9
- Laplace, Pierre Simon, "Exposition du Système du Monde", ed. Chez P.-M. de Vroom, H. Tarlier, collections of: Ghent University, Bruxelas, 1827 (digitalização Google)
- Lima, N. R. de, et al, *Clima Urbano no Brasil: Análise e Contribuição da Metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro*, Revista Geonorte, Edição Especial 2, V.2, N.5, p.626 – 638, Brasil, 2012.
- Lima, A. P., e Amorim, Margarete C., *O Clima Urbano em Rosana/SP: Comparações entre a Cidade e o Campo*, Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.33, v.2, p.66-84, ago./dez. 2011, Brasil
- Loridan, T., Grimmond, C.: "Characterization of energy flux partitioning in urban environments: Links with surface seasonal properties". *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **51**, 219–241, 2011
- Lowry, W.P., - "Empirical estimation of the urban effects on climate: A problem analysis". *J. Appl. Meteorol.*, 16, 129–135, 1977.
- Madureira, J. P. – "Ciências e progresso: convicções de um sociólogo". X Encontro de Filosofia da Associação de Professores de Filosofia, Coimbra, 1995
- Manley, G – "On the frequency of snowfall in metropolitan England". *QJRMS*, 84,359, 70-72, 1958
- Marçal, Horácio - S. Veríssimo de Paranhos-Subsídios para a sua Monografia, Publicações da Câmara Municipal do Porto, Porto, 1955

- Matos, F. L. de, “*Os bairros sociais no espaço urbano do Porto: 1901-1956*”. *Análise Social*, vol. xxix (127 - 3.0), pág. 677-695, 1994
- Miller, Eric R., The evolution of meteorological institutions in the united states, in *MONTHLY WEATHER REVIEW*, VOL. 59, Nº 1, JANUARY, 1931, Editor, Alfred J. Henry
- Miranda, Luiz Bruner de. et al, *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. Editora da Universidade de S. Paulo, S. Paulo, Brasil, 2002, ISBN:85-314-0675-7
- Monteiro, A., “A Climatologia como componente essencial no diagnóstico e na avaliação dos impactes ambientais em espaços urbanizados. O caso da cidade do Porto”. *Territorium*, Coimbra, 1994, 1, p.17-22
- Monteiro, A., “Perceptibilidade, risco e vulnerabilidade em Climatologia- um estudo de caso no Porto”. *Territorium*, Coimbra, 1995, 2, p.51-63
- Monteiro, A., Fernandes, A., “A Geoestatística-uma incursão exploratória a considerar no domínio da Climatologia Urbana?” *Cadernos de Geografia*, nº15, FLUC, Coimbra, 1996.
- Monteiro, A., O Clima Urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território. Fundação Calouste Gulbenkian, Dinalivro, 1997.
- Monteiro A et al (2011) *Greater Metropolitan Area of Porto - indicators characterizing the urban form*. Projecto Científico *Os riscos para a saúde humana causados pelas ondas de calor e vagas de frio* PTDC/SAU-ESA/73016/2006, Portugal
- Monteiro, Carlos Augusto Figueiredo de, *Teoria e clima urbano*, IGEOG, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976
- Monteiro, C.A.F. & Mendonça, F. (Org.) *Clima Urbano*, São Paulo, Editora Contexto, 2003.
- Oke, T.R., 2004: Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Rep. 81, WMO/TD-No. 1250, 47 pp. Ed. 2006. [Available online at [www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf).]
- Oke, T.R., - “An algorithmic scheme to estimate hourly heat island magnitude”, *Proc. of The Second Symposium on Urban Environment*, Nov. 1998, Albuquerque, New Mexico, USA, 80-83
- Oke, T.R.: *Urban observations. Guide to meteorological instruments and methods of observation*, Part II of *Observing Systems*, 7th ed., WMO-No. 8, II- 11-1–II-11-25. 2008
- Oke, T.R. – *Boundary layer climates*, 1978/1987, Routledge, London and New York, ISBN 0-415-04319-0
- Oke, T.R., - “Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations”, *Journal of Climatology*, Vol. 1, pp 237-254, 1981
- Oke, T.R. – “The Climate of Urban Areas,” em “*Boundary-Layer Meteorology*, vol.1, Pags. 411-437, 1971
- Oke, T.R. – “The Distinction Between Canopy and Boundary-Layer Urban Heat Island”, em “*Atmosphere*”, vol.14, nº4, Pags. 268-277, Vancouver, 1976
- Oke, T.R. – “Towards better scientific communication in urban climate”, *Theoretical and Applied Climatology*, 84, pág.179–190, 2006
- Oliveira, J.M. Pereira de, *O Espaço Urbano do Porto-Condições Naturais e Desenvolvimento*. Centro de Estudos Geográficos, Coimbra, 1973
- Oliveira Ramos, L.A. de, *História do Porto*, Porto Editora-3ª Edição, 2000, ISBN: 978-972-0-06276-5
- Oliver, John E. (Ed.), *The Encyclopedia of World Climatology*, 2005
- Pagny, Pierre - *Les Climats de la Terre*, Ed. Elsevier Masson, 1976, 2ème édition 1994 - ISBN : 2-225-84368-6
- Pagny, Pierre - *La climatologie, Que sais-je?* Vol.171, Presses universitaires de France, 1973
- Paim, A., *Dicionário das Obras Básicas da Cultura Ocidental*, pág 181, Brasília, Brasil, 2008
- Palmén, E., C. W. Newton, - *Atmospheric Circulation Systems - Their Structure and Physical Interpretation*, Academic Press, Londres 1969, pág. 603.
- Pedelaborde, P., *Introduction à l'Étude Scientifique du Climat*, Tome I-Notions élémentaires de climatologie dynamique, “Les cours de Sorbonne”, CDU, Paris V
- Peixoto, J. P., “A Água no Ambiente”, Ed. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território, 1989
- Peixoto, J. P., “A Circulação Geral da Atmosfera: A Máquina Gigantesca dos Climas da Terra”. In: *Colóquio/Ciências*, Revista de Cultura Científica, ISSN 0870-7650. - Nº 9 (1991), pp. 3-21
- Peixoto, J. P., “O Sistema Climático e as Bases Físicas do Clima”, Ed. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território, 1987
- Peixoto, J. P., O que é o Clima: Quid est Clima? *Revista Colóquio/Ciências*, Nº 6, pp. 17-30



- Persson, Anders O., *Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds*, History of Meteorology 3, Department for research and development, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Suécia, 2006
- Peterson, T. C. - Assessment of urban *versus* rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: no difference found, *J. Clim.*, 16, 2941–2959, 2003
- Peterson, T. C., Owen, T. W., Urban heat island assessment: Metadata are important, *J. Clim.*, 18, 2637–2646, 2005
- Quenol, H., *Modifications Climatiques aux Echelles Fines Générées par un Ouvrage Linéaire en Remblai*, USTL, Lille, France, 2002
- Quivy, R., Campenhoudt, van L., *Manual de Investigação em Ciências Sociais*. Gradiva, Lisboa, 1998, ISBN 972-662-275-1
- Ramos, Catarina, - *Tipos de Anticiclones e Ritmo Climático de Portugal*, Centro de Estudos Geográficos, INIC Lisboa 1986
- Santos, Evaristo Pontes dos, *Meteorologia*, Lisboa, 1965 (Edição “A Minerva” Fev. 1966)
- Scherer, D., et al.- “Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes”, *Atmospheric Environment* n°33, pág 4185-4193, 1999
- Seibert, Petra, “Hann’s Thermodynamic Föhn Theory and its Presentation in Meteorological Textbooks in the Course of Time”, Institute of Meteorology, University of Natural Resources Vienna, Vienna, Austria
- Silva, A. S. – “O Conhecimento e a Investigação Científica – Texto de apoio à disciplina de Metodologia da Investigação Científica, do Mestrado em Ciências Empresariais”. Faculdade de Economia, Porto 1999
- Sousa, G. V., - *Metodologia da Investigação, Redacção e Apresentação de Trabalhos Científicos*. Livraria Civilização Editora, Porto, 1998, ISBN 972-26-1559-9
- Stewart, I. D., 2011a: Redefining the urban heat island. Ph.D. dissertation, Department of Geography, University of British Columbia, 352 pp. [Available online at <https://circle.ubc.ca/handle/2429/38069>.]
- Stewart, I. D., 2011b: A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *Int. J. Climatol.*, 31, 200–217.
- Stewart, I., Oke, T. R. -. “Methodological concerns surrounding the classification of urban and rural climate stations to define urban heat island magnitude.” Paper presented at the *6th International Conference on Urban Climate*, June 12–16, Goteborg, Sweden, 2006.
- Stewart, I. D. – Measuring the Urban Heat Island Intensity: Challenges with “Urban-Rural” Differentiation and the East Asian City, (with Timothy Oke). Invited paper, 2nd Workshop on Earth Observation for Urban Planning and Management: Sub-theme Urban Heat Island/Urban Climatology, Hong Kong Polytechnic University. May 20–21, 2008.
- Stewart, I. D., Oke, T. R. - Newly developed “Thermal Climate Zones” for defining and Measuring urban heat island magnitude in the canopy layer”, Paper presented at the *T.R. Oke Symposium & 8th Symposium on Urban Environment*, January 11–15, Phoenix, AZ, USA, 2009.
- Stewart I. D, Oke T. R. - ‘Classifying urban climate field sites by “local climate zones”’: The case of Nagano, Japan.’ Paper presented at the *7th International Conference on Urban Climate*, June 29–July 3, Yokohama, Japan, 2009.
- Stewart, I. D., Oke, T. R. - Thermal differentiation of Local Climate Zones using temperature - observations from urban and rural field sites. Paper presented at the *9th Symposium on Urban Environment*, August 2–6, Keystone, CO, USA, 2010.
- Stewart, I. D., Oke, T. R. - ‘Local climate zones: Origins, development, and application to urban heat island studies.’ Paper presented at the *Annual Meeting of the American Association of Geographers*, April 12–16, Seattle, WA, USA, 2011.
- Stewart, I. D., - *Local Climate Zones: Application to heat island studies in tropical regions* (with Timothy Oke). Invited paper, Workshop on Urban Climatology in Tropical and Sub-Tropical Regions (Croucher Advanced Study Institute), The Chinese University of Hong Kong. December 5–10, 2011.
- Stewart, I.D., Oke T.R., - ‘Local climate zones: Towards a protocol for assessing heat island magnitude in the canopy layer.’ Paper presented at the *8th International Conference on Urban Climate*, August 6–10, Dublin, Ireland, 2012.
- Stewart, I. D., Oke, T. R. - Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, Pag.1879–1900, 2012.
- Strahler, A. N. - *Introduction to physical geography*. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, 1967
- Sundborg, Å., - *Climatological studies in Uppsala with special regard to the temperature conditions in the urban area*. *Geographica* n° 22, Dept. of Geography, Univ. of Uppsala, 111 pp. Suécia, 1951

- Svensson, M.K., Eliasson, I. – “Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning”, *Landscape and Urban Planning* 61, Pag 37-54, Elsevier, 2002
- Taesler, R., Karlsson, S., Power-law Estimates of the Urban-Windprofile, Report N° 59, Department of Meteorology, University of Uppsala, 1980
- Taesler, R. - “Studies of the development and thermal structure of the urban boundary layer in Uppsala”, Part I, Experimental Program-Relatório N° 61, Uppsala, 1980
- Taesler, R. - “Studies of the development and thermal structure of the urban boundary layer in Uppsala”, Part II, Data Analysis and Results- Relatório N° 61, Uppsala, 1980
- Taesler, R. Lokalmeteorologiska förhållanden i Västra Ängby, Knivsta, Rapport R 110:1978, Bygghforskningen, Stockholm, 1978
- Taesler, R.- Observational Studies of Three-Dimensional Temperature-and Windfields in Uppsala, WMO-Symposium on Boundary-Layer Physics Applied to Specific Problems of Air Pollution, Norrköping, Sweden, 1978
- Taesler, R., Klimatdata för Sverige. Bygghforskningen, Estocolmo, Suécia, 1972
- Ventura, J. E. – “Influência das gotas de ar frio no ritmo e na repartição espacial das chuvas em Portugal”, Relatório n° 24, Centro de Estudos geográficos, INIC, Lisboa, 1986
- Viegas, Valentino et al, A Direcção Geral de Saúde, Notas históricas, Lisboa, 2006
- Viers, G., Elements de Climatologie. Nathan, 1968
- Wilmers, F. - “Effects of Vegetation on Urban Climate and Buildings”, *Energy and Buildings*, Volume 15, Issues 3–4, 1990–1991, Pages 507-514

*Sites consultados:*

[http://ams.confex.com/ams/19Ag19BLT9Urban/techprogram/paper\\_173127.htm](http://ams.confex.com/ams/19Ag19BLT9Urban/techprogram/paper_173127.htm)  
[http://ams.confex.com/ams/89annual/techprogram/paper\\_150476.htm](http://ams.confex.com/ams/89annual/techprogram/paper_150476.htm)  
<http://archive.org/details/dynamicmeteorol00hessgoog>  
<http://archive.org/details/traitdemcani01lapl>  
<http://archive.org/stream/dynamicmeteorol00hessgoog#page/n8/mode/2up>  
<http://archive.org/stream/expositiondusys05laplgoog#page/n7/mode/2up>  
<http://geoconceicao.blogspot.pt/2012/04/circulacao-da-atmosfera.html>  
<http://koepfen-geiger.vu-wien.ac.at/>  
<http://meridian.aag.org/callforpapers/program/AbstractDetail.cfm?AbstractID=40348>  
[http://papodemeteoro.blogspot.pt/2009/09/escola-de-bergen-teoria-de-frente-polar\\_29.html](http://papodemeteoro.blogspot.pt/2009/09/escola-de-bergen-teoria-de-frente-polar_29.html)  
<http://pvcfdrom.pveducation.org/SUNLIGHT/SUNCALC.HTM>  
<http://scienceworld.wolfram.com/biography/dAlembert.html>  
<http://search.worldbank.org/data?qterm=world%20population%202012&language=EN>  
<http://sio.ucsd.edu/>  
<http://solardat.uoregon.edu/SoftwareTools.html>  
<http://staffweb.hkbu.edu.hk/ppp/fne/bibl.html>  
<http://severe.worldweather.org/rain/>  
[http://urban-climate.com/wp3/wp-content/uploads/2011/04/ICUC6\\_Preprints.pdf](http://urban-climate.com/wp3/wp-content/uploads/2011/04/ICUC6_Preprints.pdf)  
<http://wpp.greenwichmeantime.com/>  
<http://www.arch.cuhk.edu.hk/asi2011/en/programme/lecture%20materials.htm>  
<http://www.berfrois.com/tag/kant/>  
[http://www.dn.pt/inicio/interior.aspx?content\\_id=636729&page=-1](http://www.dn.pt/inicio/interior.aspx?content_id=636729&page=-1)  
<http://www.gforum.tv/board/1428/140915/meteorologia.html>  
<http://www.globalhealthfacts.org/data/topic/map.aspx?ind=98>  
<http://www.goodreads.com/book/show/15847608-exposition-du-syst-me-du-monde>  
[http://www.indexmundi.com/world/demographics\\_profile.html](http://www.indexmundi.com/world/demographics_profile.html)  
<http://www.institutodehumanidades.com.br/arquivos/dicionario.pdf>  
<http://www.islandnet.com/~see/weather/almanac/arc2008/alm08aug.htm>  
[http://www.lsgi.polyu.edu.hk/rsrg/resources/News/2nd\\_ws/present/stewart\\_p.pdf](http://www.lsgi.polyu.edu.hk/rsrg/resources/News/2nd_ws/present/stewart_p.pdf)  
<http://www.nndb.com/>  
<http://www.nndb.com/people/214/000206593/>  
[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo\\_0003-4010\\_1998\\_num\\_107\\_604\\_20882](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1998_num_107_604_20882)  
<http://www.proclira.uevora.pt/modulos/modulo6.pdf>  
<http://www.sat.dundee.ac.uk/>  
<http://www.sat.dundee.ac.uk/geobrowse/geobrowse.php>  
[http://www.sbpcnet.org.br/livro/61ra/minicursos/MC\\_VictoriaAndrade.pdf](http://www.sbpcnet.org.br/livro/61ra/minicursos/MC_VictoriaAndrade.pdf)  
<http://www.schweizerbart.de/journals/metz/classic>  
[http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php)  
<http://www.sunearthtools.com/pt/index.php>  
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>  
[http://www.worldtimeserver.com/current\\_time\\_in.UTC.aspx](http://www.worldtimeserver.com/current_time_in.UTC.aspx)  
<http://www.wunderground.com/history/airport/LPPR>  
<http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Halley.html>  
<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Maclaurin.html>  
<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Societies/Paris.html>  
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html>  
[www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended\\_abstracts/pdf/385055-1-090515165722-002.pdf](http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1-090515165722-002.pdf)  
<http://weather.cnn.com/weather/forecast.jsp?locCode=LPPR>  
<http://weather.noaa.gov/weather/current/LPPR.html>  
[http://weather.yahoo.com/forecast/POXX0022\\_c.html?force\\_units=1](http://weather.yahoo.com/forecast/POXX0022_c.html?force_units=1)  
<http://www.eumetsat.int/>  
<http://www.infomet.fcr.es/>

---