

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ARREFECIMENTO DE EDIFÍCIOS ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO NATURAL

Sara Isabel Carvalho Verdelho, Licenciada em Engenharia Civil
pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do
Porto como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em
Construção de Edifícios sob a supervisão da Professora Doutora Maria
Helena Póvoas Corvacho, do Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FEUP – MAIO 2008

RESUMO

As tendências arquitectónicas correntes baseadas na adopção de extensas áreas de envidraçados e de construções com inércia térmica média a fraca resultam num risco acrescido de sobreaquecimento do ambiente interior dos edifícios e no consequente aumento do consumo de energia para arrefecimento dos mesmos, tornando mais premente a necessidade de estudar as melhores estratégias para contrariar esse aumento.

Para avaliar o potencial de arrefecimento da ventilação natural em edifícios do tipo residencial, para as condições climáticas portuguesas e tipologias de edifícios mais correntes no nosso país, realizou-se um estudo paramétrico, para vários cenários climáticos e arquitectónicos. Numa primeira fase, identificaram-se os diferentes parâmetros que influenciam o desempenho dos sistemas de ventilação natural, como a área das aberturas, configuração da fracção autónoma e posicionamento das aberturas, área de aberturas interiores, orientação de fachadas e aberturas com relação aos ventos dominantes e inércia térmica. Numa segunda fase, e recorrendo a *software* de cálculo específico (AIOLOS e LESOCOOL), fizeram-se simulações com variação destes parâmetros para diferentes localizações do país, que permitiram caracterizar o potencial de arrefecimento por ventilação natural, de forma a minimizar a carga de arrefecimento e melhorando as condições de conforto no interior.

Com base nos resultados encontrados extraíram-se conclusões e elaboraram-se recomendações de projecto que permitem potenciar o desempenho dos sistemas de ventilação natural e contribuir para facilitar a sua integração nos edifícios a construir.

ABSTRACT

Recent trends in architecture towards the use of large areas of glass in building envelope and the adoption of lighter constructions have lead to a higher risk of overheating of the interior atmosphere in Portuguese buildings, with a consequent increase in cooling energy consumption, and increasing the need to develop studies on the best strategies to counteract the ongoing trend.

In order to evaluate the cooling potential of natural ventilation in residential buildings, in Portuguese climatic conditions and for the most current architectural typologies, a parametric study has been carried out considering different climatic and architectural scenarios. First, the parameters influencing the efficiency of natural ventilation based systems were identified, such as opening's area, space layout and opening positioning, areas of the interior openings, exterior walls and opening's orientation facing dominant wind direction and thermal mass. Afterwards, using specific software (AIOLOS and LESOCOOL), several simulations were carried out with variation of the parameters for different locations in the country, allowing us to characterize the best strategies for the promotion of natural ventilation, minimizing the cooling load and improving interior thermal comfort.

Based on the results, several conclusions were drawn that allowed us to establish design recommendations to improve the efficiency of natural ventilation based systems and contribute to their integration in buildings.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE QUADROS	VI
--------------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
--------------------------------	-------------

1. - Introdução	1
------------------------------	----------

1.1 - Motivação	1
1.2 - Objectivos do Trabalho	2
1.3 - Estrutura do Trabalho	4

2. - Ventilação Natural.....	5
-------------------------------------	----------

2.1- Objectivos da Ventilação Natural	5
2.2 – Mecanismos da Ventilação Natural	6
2.3 – Ventilação Natural nos Edifícios.....	10
2.4 – Modelos de Previsão.....	12
2.5 - Arrefecimento através da Ventilação Natural: Princípios Base.....	14
2.6 – A Ventilação e o Conforto Térmico.....	15
2.7 - Concepção de Sistemas de Arrefecimento através da Ventilação Natural	22
2.7.1 – Potencial do Arrefecimento através da Ventilação Natural	22
2.7.2 - A Arquitectura na Promoção da Ventilação Natural.....	23
2.7.2.1 - Átrios e Jardins	24
2.7.2.2 - Chaminés Solares	24
2.7.2.3 - Torres de Vento.....	25
2.7.2.4 – Arrefecimento do Ar através de Conduas Enterradas	25
2.7.3 - Ventilação Nocturna.....	26
2.7.3.1 – Potencial dos Sistemas de Ventilação Nocturna.....	27
2.7.3.2 – Concepção de Sistemas de Ventilação Nocturna	28
2.8 – Controlo de Edifícios com Sistemas de Ventilação Natural	30
2.9 – Limitações do Arrefecimento por Ventilação Natural	32
2.10 - Investigação e Desenvolvimento no Âmbito da Ventilação Natural	33
2.10.1 - IEA – International Energy Agency.....	33

2.10.1.1 - ECBCS – Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme	34
2.10.1.2 - Anexo 28 da IEA: Low-Energy Cooling (1993-1997)	34
2.10.1.3 - Anexo 35 da IEA: HybVent (1998-2002).....	36
2.10.1.4 - AIVC – Air Infiltration and Ventilation Center (desde 1979)	36
2.10.2 - EPD – Energy Performance of Building Group	36
2.10.3 - BRE - Building Research Establishment Limited	37
2.10.4 - Projecto Passive-On (2005-2006)	37
2.10.5 – SAVE	38
2.10.6 - PASCOOL (1992 – 1995).....	39
2.10.7 - AIOLOS (1995 – 1997).....	40
2.10.8 - NATVENT (1994-1998)	40
2.10.9 - URBVENT: Natural Ventilation in Urban Areas – Potential Assessment and Optimal Façade Design (1998-2002).....	41
3. - Factores que Condicionam a Ventilação Natural	42
3.1 – Clima e microclima.....	42
3.2 – Clima Urbano	43
3.3 - O Vento no Ambiente Urbano	44
3.4 – Distribuição das aberturas.....	44
3.5 – Inércia Térmica	48
4. - Efeito da Ventilação Natural no Comportamento dos Edifícios no Verão	51
4.1 – Carga de Arrefecimento	51
4.2 – Factores que Influenciam a Carga de Arrefecimento.....	52
4.2.1 - Introdução	52
4.2.2. – Fontes Externas	52
4.2.2.1 - Radiação Solar Conduzida Através dos Elementos Opacos do Edifício	52
4.2.2.2 - Radiação Solar através dos Elementos Transparentes da Envolvente.....	53
4.2.3 – Fontes Internas	54
4.2.4 – Ventilação Natural	55

5. - Estudo paramétrico	56
5.1 – Âmbito.....	56
5.2 – Software de cálculo AIOLOS.....	56
5.3 – Software de cálculo LESOCOOL	59
5.4 – Grupo de Análise 1 (Área de abertura de janelas e diferentes horários de ventilação)	59
5.4.1 – Fracção Tipo	60
5.4.2 – Dados Climáticos	61
5.4.3 – Período de Análise	62
5.4.4 – Critério de Limitação	65
5.4.5 – Exemplo de Cálculo	67
5.4.6. – Resultados	78
5.5 – Grupo de Análise 2 (Localização das aberturas e configuração da fracção autónoma)	88
5.6 – Grupo de Análise 3 (Orientação de fachadas e aberturas em relação ao vento dominante)	99
5.6.1 - Fracção Tipo 1	99
5.6.2 - Cenários Propostos.....	99
5.6.3 - Resultados	100
5.6.4 - Fracção Tipo 2.....	105
5.6.5 - Cenários Propostos.....	105
5.6.6 – Resultados	106
5.7 – Grupo de Análise 4 (Inércia Térmica)	112
5.7.1 – Resultados	115
6. – Conclusões.....	120
6.1 – Resumo de Resultados e Conclusões.....	120
6.2 - Recomendações de Projecto	127
6.2.1 - Implantação	127
6.2.2 - Distribuição dos Espaços	128
6.2.3 - Posicionamento e Dimensionamento das Aberturas	129
6.2.4 – Características da Envolvente	129
6.3 – Sugestões para Trabalhos Futuros	130
REFERÊNCIAS.....	131
BIBLIOGRAFIA.....	140
ANEXO.....	141

ÍNDICE DE QUADROS

5. - Estudo paramétrico	56
Quadro 5.1 - Grupos de Análise propostos no âmbito do estudo paramétrico	56
Quadro 5.2 - Cenários propostos no Grupo de Análise 1	60
Quadro 5.3 - Período de análise para as diferentes localizações.....	62
Quadro 5.4 - Valores médios diários da temperatura e velocidade do vento para as diferentes localizações para cada dia do período de simulação	62
Quadro 5.5 -Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Porto.....	79
Quadro 5.6 - Renovações horárias máximas admissíveis para cada zona para os diferentes cenários propostos de acordo com critério definido	80
Quadro 5.7 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 2 a 6 do GA1 para a localização Porto.....	81
Quadro 5.8 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Bragança.....	81
Quadro 5.9 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 2 a 6 do GA1 para a localização Bragança	83
Quadro 5.10 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Évora.....	83
Quadro 5.11 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 2 a 6 do GA1 para a localização Évora.....	85
Quadro 5.12 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 3 a 8 do GA1 para a localização Porto.....	86
Quadro 5.13 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 3 a 8 do GA1 para a localização Bragança	88
Quadro 5.14 - Cenários propostos no Grupo de Análise 2	90
Quadro 5.15 – Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA2 para a localização Porto.....	91
Quadro 5.16 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA2 para a localização Bragança.....	94
Quadro 5.17 - Cenários propostos no Grupo de Análise 3	100
Quadro 5.18 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 5 a 8 do GA3 para a localização Porto.....	101
Quadro 5.19 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 5 a 8 do GA3 para a localização Bragança.....	103
Quadro 5.20 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 5 a 8 do GA3 para a localização Évora.....	104

Quadro 5.21 - Cenários complementares propostos no Grupo de Análise 3	106
Quadro 5.22 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 9 a 12 do GA3 para a localização Porto.....	107
Quadro 5.23 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 9 a 12 do GA3 para a localização Bragança.....	108
Quadro 5.24 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 9 a 12 do GA3 para a localização Évora.....	110
Quadro 5.25 - Período de análise para as diferentes localizações a simular no Grupo de Análise 4	114
Quadro 5.26 - Cenários propostos no Grupo de Análise 4	115

ÍNDICE DE FIGURAS

2. - Ventilação Natural.....5

Figura 2.1 - Fluxo de ar por acção do vento (Adaptado de [1])	7
Figura 2.2 - Fluxo de ar por acção da temperatura (Adaptado de [1]).....	8
Figura 2.3 - Temperatura resultante óptima de conforto (Adaptado de [15]).....	18
Figura 2.4 - Temperatura interior de conforto observada (OBS) e prevista pela base de dados da ASHRAE RP-884 RP edifícios com ventilação natural (Adaptado de [35]).....	20
Figura 2.5 - Proposta de Norma de Conforto Adaptativa para a ASHRAE Standard 55, aplicável a edifícios com ventilação natural (Adaptado de [35])	21
Figura 2.6 - Média do número de horas de sobreaquecimento e sua redução decorrente do uso de ventilação nocturna no edifício Meletitiki, Atenas, Grécia (Adaptado de [70]).....	27

3. - Factores que Condicionam a Ventilação Natural 42

Figura 3.1 – Fluxo de ar em torno do edifício (Planta) (Adaptado de [80]).....	45
Figura 3.2 – Ventilação através de aberturas a barlavento e sotavento (Planta) (Adaptado de [80]) .	45
Figura 3.3 – Ventilação através de aberturas a barlavento e laterais (Planta) (Adaptado de [80])	45
Figura 3.4 – Esteira de uma habitação típica (Adaptado de [80]).....	46
Figura 3.5 – Ventilação Unilateral (Adaptado de [80])	46
Figura 3.6 - Impacto das palas verticais na ventilação unilateral (esq.) e ventilação cruzada (dir.) (Adaptado de [80]).....	47
Figura 3.7 - Ventilação cruzada com recurso a palas laterais – fluxo de ar elevado (esq.) e ventilação cruzada com recuso a palas laterais – fluxo de ar reduzido (dir.) (Adaptado de [80])	47
Figura 3.8 - Ventilação cruzada com recurso a palas laterais – janelas a curta distância (Adaptado de [80])	48
Figura 3.9 – Árvores ou arbustos que actuam como palas verticais (Adaptado de [80])	48
Figura 3.10 – Carga diária de aquecimento e arrefecimento para um edifício com inércia Fraca ou Forte (Adaptado de [80])	50

4. - Efeito da Ventilação Natural no Comportamento dos Edifícios no Verão 51

Figura 4.1 – Mecanismo de transferência de calor entre espaço exterior e interior através de um elemento de envolvente opaco (Adaptado de [80])	53
--	----

5. - Estudo paramétrico	56
Figura 5.1 – Cálculo de PAD	58
Figura 5.2 – Posicionamento do elemento na fachada	58
Figura 5.3 – Representação esquemática da fracção tipo em estudo no Grupo de Análise 1	61
Figura 5.4 – Temperatura média diária (°C) para as diferentes localizações para cada dia do período de simulação	63
Figura 5.5 – Velocidade média diária do vento (m/s) para as diferentes localizações para cada dia do período de simulação	63
Figura 5.6 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Porto, durante o período de análise	64
Figura 5.7 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Bragança, durante o período de análise	64
Figura 5.8 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Évora, durante o período de análise	65
Figura 5.9 – Velocidade média do ar admissível no interior do edifício em função da temperatura do ar e da intensidade de turbulência [102]	66
Figura 5.10 - Dados climáticos correspondentes ao dia 217 para a localização Porto	67
Figura 5.11 – Caracterização das diferentes zonas com definição da temperatura interior, número de aberturas para o exterior e altura de referência	68
Figura 5.12 – Caracterização das diferentes aberturas exteriores com definição da sua geometria, coeficiente de descarga, orientação e inclinação e do seu horário de abertura	69
Figura 5.13 – Horário de abertura do tipo 1 a aplicar às aberturas exteriores que deverão permanecer fechadas durante todo o dia	69
Figura 5.14 – Horário de abertura do tipo 4 a aplicar às aberturas exteriores que deverão permanecer fechadas entre as 11 e as 13 horas do dia 217	70
Figura 5.15 – Caracterização das diferentes aberturas interiores com definição da sua geometria e coeficiente de descarga	70
Figura 5.16 – Definição do dia para o qual é feita a simulação	71
Figura 5.17 – Resultados da simulação disponíveis no menu Results	71
Figura 5.18 – Caudal que entra e que sai das diferentes zonas na hora 1 (quadro cima) e caudal que entra e que sai da zona 1 para a hora 1 a 13 (quadro baixo)	72
Figura 5.19 – Representação gráfica do número de renovações horárias para as diferentes horas do dia 217 para a zona 1	72
Figura 5.20 – Caudal que entra e sai através das aberturas exteriores na hora 1 e fluxo que entra e sai através da abertura 1 da zona 1 entre as horas 1 a 11	73
Figura 5.21 – Representação esquemática dos caudais (m³/h) admitidos e extraídos através das aberturas exteriores e interiores e do caudal global que entra e sai de cada zona, para o cenário 3, dia 217 e localização Porto	73

Figura 5.22 – Caracterização dos elementos da envolvente opaca	74
Figura 5.23 – Pormenor tipo da parede exterior - ParedeExt	75
Figura 5.24 – Definição do elemento exterior tipo ParedeExt.....	75
Figura 5.25 – Base de dados do programa com características de diferentes tipos de envidraçados	76
Figura 5.26 – Caracterização dos elementos envidraçados	76
Figura 5.27 – Caracterização das partições internas.....	77
Figura 5.28 – Pormenor tipo da parede interior – ParedeInt.....	77
Figura 5.29 – Definição dos dados operativos e do pavimento	77
Figura 5.30 – Definição dos ganhos internos.....	78
Figura 5.31 – Resultados de cálculo do modelo térmico	78
Figura 5.32 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 a 6 do GA1e temperatura média diária exterior (°C) para a localização Porto	79
Figura 5.33 – Horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Porto	79
Figura 5.34 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 a 6 do GA1 e temperatura média diária exterior (°C) para a localização Bragança.....	82
Figura 5.35 – Horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Bragança	82
Figura 5.36 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 a 6 do GA1 e temperatura média diária exterior (°C) para a localização Évora.....	84
Figura 5.37 – Horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Évora	84
Figura 5.38 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 3, 7 e 8 do GA1 para a localização Porto	86
Figura 5.39 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 3, 7 e 8 do GA1 para a localização Bragança	87
Figura 5.40 - Configuração da fracção tipo para os cenários propostos no Grupo de Análise 2	89
Figura 5.41 – Fracção tipo para os cenários 1, 2 e 3 em estudo no Grupo de Análise 2.....	89
Figura 5.42 – Fracção tipo para os cenários 4, 5 e 6 em estudo no Grupo de Análise 2.....	90
Figura 5.43 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 4, 5 e 6 do GA2 para a localização Porto	92
Figura 5.44 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 4, 5 e 6 (zonas a cota diferente) do GA2 para a localização Porto.....	92
Figura 5.45 - Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 e 4 (janelas em fachadas opostas) do GA2 para a localização Porto.....	93
Figura 5.46 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2 e 5 (janelas na mesma fachada) do GA2 para a localização Porto.....	93
Figura 5.47 - Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 3 e 6 (janelas em fachadas adjacentes) do GA2 para a localização Porto.....	94
Figura 5.48 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2 e 3 (zonas à mesma cota) do GA2 para a localização Bragança	95

Figura 5.49 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 4, 5 e 6 (zonas a cota diferente) do GA2 para a localização Bragança.....	95
Figura 5.50 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 e 4 (janelas em fachadas opostas) do GA2 para a localização Bragança.....	96
Figura 5.51 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2 e 5 (janelas na mesma fachada) do GA2 para a localização Bragança.....	96
Figura 5.52 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 3 e 6 (janelas em fachadas adjacentes) do GA2 para a localização Bragança.....	96
Figura 5.53 – Carga de arrefecimento para os cenários 1, 7 e 8 (zonas à mesma cota e janelas em fachadas opostas) do GA2 para a localização Porto.....	97
Figura 5.54 – Carga de arrefecimento para os cenários 2, 9 e 10 (zonas à mesma cota e janelas na mesma fachada) do GA2 para a localização Porto.....	98
Figura 5.55 – Carga de arrefecimento para os cenários 3, 11 e 12 (zonas à mesma cota e janelas em fachadas adjacentes) do GA2 para a localização Porto.....	98
Figura 5.56 – Fracção Tipo 1 a simular nos cenários propostos no Grupo de Análise 3.....	99
Figura 5.57 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2, 3 e 4 do GA3 para a localização Porto.....	100
Figura 5.58 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2, 4, 5, 6, 7 e 8 do GA3 para a localização Porto.....	102
Figura 5.59 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2, 3 e 4 do GA3 para a localização Bragança.....	102
Figura 5.60 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2, 5, 6, 7 e 8 do GA3 para a localização Bragança.....	103
Figura 5.61 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2, 3 e 4 do GA3 para a localização Évora.....	104
Figura 5.62 – Carga de arrefecimento para os cenários 4, 5, 6, 7 e 8 do GA3 para a localização Évora.....	104
Figura 5.63 – Fracção Tipo 2 a simular nos cenários propostos no Grupo de Análise 3.....	105
Figura 5.64 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 9, 10, 11 e 12 do GA3 para a localização Porto.....	107
Figura 5.65 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 10, 13, 14, 15 e 16 do GA3 para a localização Porto.....	108
Figura 5.66 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 9, 10, 11 e 12 do GA3 para a localização Bragança.....	109
Figura 5.67 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 10, 13, 14, 15 e 16 do GA3 para a localização Bragança.....	109
Figura 5.68 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 9, 10, 11 e 12 do GA3 para a localização Évora.....	110

Figura 5.69 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 10, 13, 14, 15 e 16 do GA3 para a localização Évora	110
Figura 5.70 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Porto, durante a estação de Verão	111
Figura 5.71 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Bragança, durante a estação de Verão	112
Figura 5.72 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Évora, durante a estação de Verão	112
Figura 5.73 - Representação esquemática da fracção tipo em estudo no Grupo de Análise 4	114
Figura 5.74 – Temperatura interior (°C) para os cenários 1 a 4 do GA4 e temperatura média horária exterior (°C) para a localização Porto	116
Figura 5.75 – Temperatura interior (°C) para os cenários 1 a 4 do GA4 e temperatura média horária exterior (°C) para a localização Évora.....	116
Figura 5.76 – Temperatura interior (°C) para os cenários 4 e 5 do GA4 para a localização Porto ...	117
Figura 5.77 – Temperatura interior (°C) para os cenários 3 e 6 do GA4 para a localização Porto ...	117
Figura 5.78 - Temperatura interior (°C) para os cenários 2 e 7 do GA4 para a localização Porto	117
Figura 5.79 - Temperatura interior (°C) para os cenários 1 e 8 do GA4 para a localização Porto	117
Figura 5.80 - Temperatura interior (°C) para os cenários 4 e 5 do GA4 a para a localização Évora	119

1. - Introdução

1.1 - Motivação

Apesar da preocupação global crescente com a poupança energética, os edifícios continuam a ser grandes consumidores de energia. Em particular, o consumo de energia para arrefecimento tem vindo a aumentar significativamente nos últimos anos.

Tradicionalmente os requisitos mínimos de ventilação eram conseguidos através de meios naturais uma vez que nos edifícios antigos os níveis de infiltração eram tais que permitiam que consideráveis quantidades de ar entrassem no edifício. As preocupações energéticas levaram a uma evolução nas opções arquitectónicas no sentido de reduzir ao mínimo a infiltração de ar exterior no edifício, na tentativa de assim reduzir o seu impacto nas cargas de aquecimento e de arrefecimento. A concorrente melhoria dos métodos construtivos levou ao aparecimento de edifícios cada vez mais estanques. A quase ausência de ventilação aliada às recentes tendências arquitectónicas de dotar os edifícios de extensas áreas de envidraçados, com protecção solares muitas vezes interiores, a adopção de soluções de paredes leves e de tectos falsos também leves, bem como um gradual aumento de exigência em termos do conforto térmico fazem com que a parcela de energia para arrefecimento destes edifícios seja significativa.

A contínua melhoria dos padrões de vida, associada ao aumento dos rendimentos de muitas famílias e uma arquitectura sem consciência climática contribuíram para um aumento na instalação de sistemas de ar-condicionado. Estima-se que o consumo dos sistemas de refrigeração e ar-condicionado no presente é aproximadamente 15% da electricidade utilizada em todo o mundo [1]. Existem diversos problemas associados ao uso destes sistemas, sendo de salientar o aumento das necessidades de electricidade nos picos de consumo e os problemas ambientais, decorrentes das emissões dos gases de refrigeração usados nas instalações de ar condicionado, que afectam de forma significativa a camada de ozono e contribuem para o aquecimento global.

A ventilação dos espaços interiores é necessária independentemente do sistema de climatização adoptado, de forma a introduzir os níveis necessários de ar fresco e para controlar odores, poluentes e excesso de vapor de água que existam no interior.

Para efeitos de arrefecimento, o ar que entra no edifício deveria estar a uma temperatura inferior à do ar interior. No entanto, mesmo a temperaturas superiores, o fluxo de ar resultante no interior dos espaços pode causar um efeito positivo nas condições de conforto térmico dos ocupantes, uma vez que aumenta a dissipação de calor do corpo humano e aumenta as perdas de calor evaporativas e convectivas.

Resultados de diferentes projectos que vêm sendo desenvolvidos melhoraram o nível de conhecimento neste assunto específico bem como desenvolveram ferramentas, entre as quais o software de cálculo AIOLOS, que foi utilizado neste trabalho e será descrito adiante, e técnicas avançadas para permitir implantar mais facilmente sistemas de arrefecimento baseados na ventilação.

O dimensionamento dos sistemas de ventilação para arrefecimento, bem como a selecção das estratégias de ventilação mais apropriadas dependem das condições do ambiente exterior relativas ao microclima (velocidade do vento, temperatura e relevo) e do próprio edifício (orientação, número e localização das janelas).

As ferramentas actualmente existentes permitem uma avaliação precisa do desempenho das diferentes técnicas, enquanto os métodos multi-critério permitem otimizar a escolha do sistema de ventilação.

A ventilação nocturna, as torres de vento e as chaminés solares constituem-se como algumas das principais técnicas de ventilação natural.

O uso da ventilação natural, especialmente durante a noite, pode contribuir significativamente para diminuir a temperatura interior dos elementos opacos uma vez que, durante a noite, o diferencial entre a temperatura interior e a temperatura exterior é substancialmente maior que durante o dia. Como resultado a carga de arrefecimento é reduzida e também o máximo valor da temperatura interior, redução que varia como função das condições do clima local.

O arrefecimento por intermédio da ventilação natural apresenta, no entanto, limitações importantes, nomeadamente devidas às características climáticas específicas das cidades. As características do espaço urbano fazem com que haja um aumento de temperatura como consequência do efeito de ilha de calor, bem como uma substancial redução da velocidade do vento, que assim diminuem o potencial de arrefecimento da ventilação natural. Como outros factores a ter em conta estão a poluição que empobrece as características do ar insuflado, questões relativas à segurança e ao ruído e também a humidade.

1.2 - Objectivos do Trabalho

Nos edifícios residenciais existentes em Portugal utilizam-se maioritariamente sistemas de ventilação base do tipo extracção mecânica, fazendo-se a entrada de ar pelas frinchas da envolvente. Durante o Verão o conforto térmico é procurado através da abertura de janelas, com resultados aceitáveis.

Já nos edifícios a construir tem-se verificado que a adopção deste tipo de sistemas produz resultados pouco eficazes, com graves situações de desconforto no interior durante o Verão.

Tal fica a dever-se às características arquitectónicas das habitações a construir, caracterizadas por área de habitação reduzida, aumento da área de janelas, e consequente aumento dos ganhos pelos elementos transparentes, mas cuja localização na generalidade dos casos apenas permite ventilação unilateral, parcela relativa aos ganhos internos com peso cada vez mais significativo, adopção de soluções leves para a envolvente conduzindo a edifícios com inércia fraca a média, adopção de protecções interiores ao invés de exteriores, entre outras.

Assim, a aplicação eficaz de sistemas de ventilação natural nas habitações a construir está condicionada pela sua consideração à partida no processo de concepção do edifício. É necessário por um lado consciencializar os intervenientes no processo das potencialidades destes sistemas, ao mesmo tempo fornecendo a informação e ferramentas necessárias à sua correcta concepção e aplicação face às exigências e condicionantes do presente.

Mais ainda, é necessário que haja um reconhecimento global de todos os intervenientes, deste construtor ao projectista e acima de tudo ao utilizador final, de que a adopção de um sistema de ventilação natural implicará sempre o sacrifício de um conforto total, que facilmente seria conseguido usando um sistema mecânico, que poderá por vezes necessitar de intervenção e que terá limitações uma vez que tem por base forças naturais, mas que esse sacrifício é cada vez mais essencial na medida em que cabe a todos contribuir na tarefa de conseguir um desenvolvimento sustentável.

Um grande número de estudos tem vindo a ser desenvolvido nesta matéria num alargado número de países e deles resultaram ferramentas e manuais que permitem avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação natural, bem como determinar a poupança energética ou melhoria no conforto que deles resulta.

O principal objectivo do trabalho que agora se apresenta é, recorrendo às ferramentas que estão agora disponíveis, avaliar qual o potencial de aplicação da ventilação natural para as condições específicas do nosso país, quantificando a redução das necessidades de arrefecimento, e apontando diferentes estratégias e linhas de orientação que permitam maximizar o seu potencial. No estudo apresentado optou-se por testar a eficácia da ventilação natural através da abertura de janelas, que será a forma mais básica de promover a troca do ar interior e que são elementos presentes em todos os edifícios, não abordando soluções específicas para o mesmo efeito como as chaminés solares ou outras.

Pretende-se identificar os principais parâmetros que influenciam o desempenho da ventilação natural no arrefecimento dos edifícios no Verão e através de um estudo paramétrico determinar de que forma actuam cada um dos parâmetros. Com base nas conclusões do estudo paramétrico pretende-se estabelecer recomendações de projecto com

vista a auxiliar o processo de concepção dos edifícios promovendo a integração e eficácia da ventilação natural.

1.3 - Estrutura do Trabalho

A dissertação desenvolve-se ao longo de seis capítulos, incidindo sobre diferentes aspectos do estudo.

No Capítulo 2, faz-se uma abordagem à ventilação natural, sendo descritos os mecanismos que a originam, os objectivos da sua utilização em edifícios de habitação, os principais sistemas usados para a incorporar nos edifícios e os modelos de previsão do seu comportamento. São igualmente focados aspectos relativos ao seu desempenho com vista ao arrefecimento e ao conforto térmico, bem como identificadas algumas das limitações no seu uso. Na parte final do capítulo listam-se alguns dos projectos de investigação que têm vindo a ser desenvolvidos nesta área, seus principais objectivos e resultados.

No Capítulo 3, os principais factores que influenciam o desempenho da ventilação natural são identificados e caracterizados.

No Capítulo 4, discute-se a influência da ventilação no comportamento dos edifícios no Verão, sendo feita a caracterização do seu comportamento em condições de Verão. Introduce-se o conceito de Carga de Arrefecimento, caracterizando-se os processos físicos por trás dela bem como caracterizando as parcelas que a compõem.

O Capítulo 5 é dedicado ao estudo paramétrico, sendo caracterizadas as ferramentas de cálculo que irão ser utilizadas, o AIOLOS e o LESOCOOL e identificados os diferentes cenários a simular. Nele se apresentam os resultados obtidos sob a forma de quadros e gráficos e faz-se uma análise comparativa de diferentes configurações de forma a quantificar a redução das necessidades de arrefecimento decorrente das diferentes opções. Este estudo foi realizado para diferentes localizações.

Finalmente no Capítulo 6, com base nos resultados obtidos extraem-se conclusões, quantificando-se a redução das necessidades de arrefecimento de diferentes opções, de forma a determinar o potencial da aplicação dos diferentes sistemas de ventilação natural. Com base nas conclusões encontradas elaboraram-se recomendações de projecto. Este capítulo é encerrado com a sugestão de trabalhos futuros que poderão ser realizados no seguimento desta dissertação.

2. - Ventilação Natural

2.1- Objectivos da Ventilação Natural

A ventilação consiste na troca de ar que se encontra no interior de determinado espaço por ar fresco, relativamente mais limpo, geralmente proveniente do exterior. Esta troca pode ocorrer acidentalmente através de caminhos de ar existentes no edifício (denominando-se por fluxo de infiltração) ou intencionalmente através de caminhos para o ar definidos para o efeito (usualmente designado por fluxo de ventilação). [2]

A necessidade de ventilação é justificada por um conjunto de razões tais como fornecer oxigénio para o metabolismo dos ocupantes, diluir os poluentes que resultam desse mesmo metabolismo tais como o monóxido de carbono e os odores, evitar a ocorrência de condensações e um teor de humidade interior demasiado elevado ou ainda fornecer oxigénio para os aparelhos de combustão. A ventilação representa apenas um aspecto na equação total da qualidade do ar no edifício, não devendo por isso ser utilizada em vez do controlo dos poluentes na fonte.

As necessidades de ventilação dependem do padrão de ocupação e do uso a que o edifício se destina. Não existe uma solução económica única para o sistema de ventilação, sendo necessário realizar uma análise custo benefício para depois poder escolher a estratégia óptima de ventilação. É também importante compreender a complexidade dos sistemas de ventilação e como o seu desempenho é influenciado pela própria estrutura do edifício.

O fluxo de ar infiltrado num edifício depende da porosidade da sua envolvente e da magnitude das forças naturais do vento e da temperatura. Apesar de o fluxo de ar infiltrado poder ser elevado, este é frequentemente ignorado pelo projectista. Como consequências resultam um menor desempenho, um maior gasto de energia e por vezes a incapacidade de garantir condições interiores adequadas.

As exigências de ventilação no presente são elevadas, devendo os sistemas modernos de ventilação fornecer suficiente fiabilidade e possibilidade de controlo. Os sistemas de ventilação natural são mais adequados para edifícios situados em zonas de clima moderado, embora apresentem potencial mais reduzido que no caso de climas extremos, uma vez que o seu controlo é limitado.

A qualidade do ambiente interior em edifícios localizados em zonas urbanas é afectada de forma determinante pela concentração de poluentes nocivos no ambiente interior. As fontes de poluição no ar interior são a actividade humana, a poluição proveniente do exterior e também a presença de produtos e materiais que emitem para o ar uma grande quantidade de compostos. [1]

De acordo com o *Center for Human Settlements* das Nações Unidas [3], a qualidade do ar interior é inadequada em 30% dos edifícios em todo o mundo. Três estratégias básicas são apontadas, a aplicar separadamente ou combinadas, para reduzir a exposição dos ocupantes aos contaminantes existentes no interior e passam pela estanquidade dos edifícios e gestão das pressões no interior dos mesmos, ventilação e infiltração e finalmente remoção de contaminantes.

Devido ao grau de poluição do ar exterior e à natureza das actividades humanas, a falta de qualidade do ar interior em edifícios situados em zonas urbanas de países desenvolvidos é muito mais significativa que a verificada em edifícios localizados nas áreas rurais.

A ventilação natural é uma técnica simples que, quando usada de forma apropriada permite:

- contribuir para diminuir os problemas de qualidade do ar interior através da diminuição da concentração de poluentes no interior;
- melhorar as condições de conforto térmico no interior dos edifícios;
- diminuir o consumo de energia em edifícios com ar condicionado.

Para que seja possível alcançar os benefícios acima mencionados é necessário que:

- a concentração de poluentes no ar exterior seja inferior à do ar interior e esteja dentro de valores admissíveis;
- a temperatura no exterior esteja dentro dos limites de conforto ou, na pior hipótese, não provoque desconforto térmico nos ocupantes;
- não surjam outros problemas ambientais e sociais, tais como os associados ao ruído e privacidade, entre outros.

O potencial de contribuição da ventilação natural é função dos padrões de vida dos ocupantes dos edifícios. A qualidade do edifício, bem como o tipo de energia usada e os serviços e sistemas que usam definem o que a ventilação natural tem para oferecer em cada caso.

2.2 – Mecanismos da Ventilação Natural

A ventilação natural é causada por diferenças de pressão que ficam a dever-se ao vento, às diferenças de temperatura ou a ambos. Estas duas forças motrizes são variáveis com o tempo e com a localização o que faz do controlo do fluxo de ventilação uma tarefa difícil. A ventilação consiste assim na troca de ar que se encontra no interior de determinado espaço por ar fresco, relativamente mais limpo, geralmente proveniente do exterior.

O vento que atinge um edifício provoca pressões positivas nas fachadas em que incide, e pressões negativas nas fachadas opostas o que faz com que haja uma deslocação de ar, no sentido da pressão positiva para a pressão negativa.

O gradiente de pressões é traduzido pela expressão (2.1) em que C_p é o coeficiente de pressão, que depende essencialmente da forma do edifício, da direcção do vento e das características da envolvente, ρ é a massa volúmica do ar (kg/m^3) e v é a velocidade do vento (m/s), medida a uma altura de referência, que na generalidade dos casos corresponde à altura do edifício.

$$\Delta p_v = \frac{1}{2} C_p \rho v^2 \text{ [Pa]} \quad (2.1)$$

Na fachada do edifício orientada a barlavento geram-se assim pressões positivas (sobrepessão), enquanto na fachada a sotavento e fachadas laterais se geram pressões negativas (depressão).

Este movimento do ar pode ocorrer acidentalmente através de caminhos de ar existentes no edifício (fluxo de infiltração) ou intencionalmente através de caminhos para o ar definidos para o efeito (fluxo de ventilação).

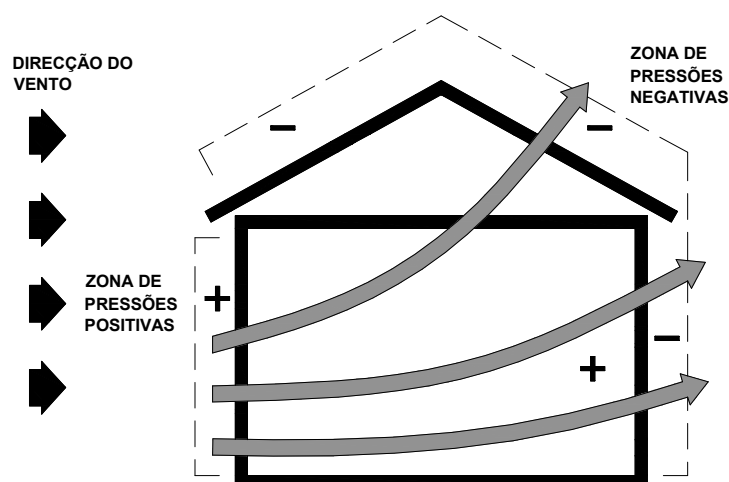


Figura 2.1 - Fluxo de ar por acção do vento (Adaptado de [1])

O fluxo de ar que ocorre devido à diferença de temperatura entre o ar no interior e no exterior fica a dever-se ao facto de que o ar quente e húmido ser mais leve que o ar frio e seco e assim, quando o ar interior está a uma temperatura superior à do ar exterior, o ar interior tem a tendência a abandonar o edifício pelas aberturas localizadas a cota superior, sendo substituído por ar mais frio, que entra pelas aberturas situadas a um nível inferior. Existirá um ponto em que a diferença de pressão é nula, que é conhecido como o nível de pressão neutra, e cuja posição é determinada pela diferença de temperatura e pela resistência ao fluxo ao longo do caminho. O fluxo de ar gerado é proporcional à diferença de temperatura entre interior e exterior e à distância vertical até ao nível de pressão neutra.

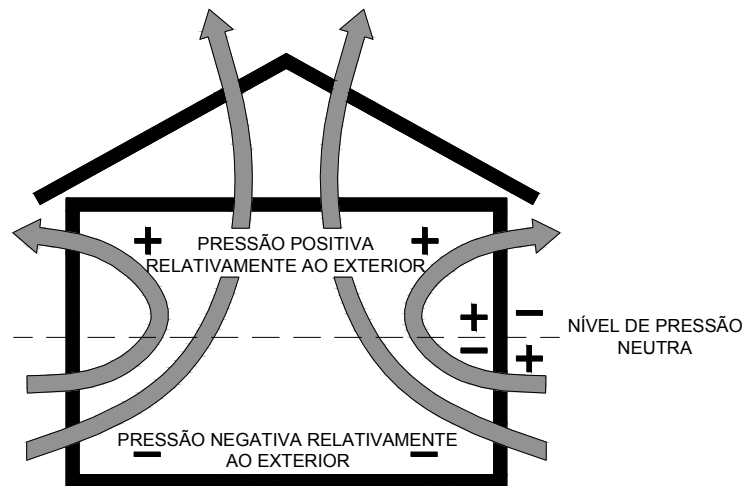


Figura 2.2 - Fluxo de ar por acção da temperatura (Adaptado de [1])

Considerando a pressão estática ao nível do pavimento de determinada zona, p_0 , a pressão que se verifica a determinada altura z , p_z , em consequência da diferença de temperatura, será dada pela equação de Bernoulli [4].

$$p_z = p_0 - \frac{1}{2} \rho v^2 - \rho g z \text{ [Pa]} \quad (2.2)$$

em que:

p_z – pressão à altura z [Pa]

p_0 – pressão da zona ao nível do pavimento [Pa]

ρ - massa volúmica do ar à temperatura interior [kg/m^3]

v – velocidade do escoamento [m/s]

g – aceleração gravítica [m/s^2]

Considerando apenas a acção do gradiente de temperatura, o termo em que entra a velocidade pode ser desprezado uma vez que esta tomará um valor muito reduzido. Admitindo para o ar um comportamento de gás perfeito, a massa volúmica à temperatura T pode ser calculada através da expressão (2.3), em que ρ_0 e T_0 representam a massa volúmica e temperatura de referência do ar, $1,29 \text{ kg/m}^3$ e $273,15^\circ \text{ K}$, respectivamente.

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (2.3)$$

Quando existem duas zonas adjacentes ligadas por uma abertura, a diferença de pressão entre as duas, à altura z será:

$$\Delta p_z = p_{1,0} - p_{2,0} + (\rho_1 - \rho_2)gz \text{ [Pa]} \quad (2.4)$$

Onde $p_{1,0}$ e $p_{2,0}$ representam a pressão ao nível do pavimento de cada uma das zonas e ρ_1 e ρ_2 a massa volúmica à temperatura das mesmas.

Esta teoria parte do pressuposto que a temperatura no interior das zonas não varia com a altura. Modelos mais complexos permitem representar com maior detalhe este comportamento nos casos de aberturas de grandes dimensões (menor dimensão superior a 10mm), admitindo para o efeito escoamento em regime permanente de um fluido invíscido e incompressível, estratificação linear da massa volúmica em ambas as faces da abertura e efeitos da turbulência representados por um perfil de diferença de pressão equivalente.

A equação de Bernoulli simplificada (2.2), combinada com a equação dos gases perfeitos dá origem à expressão (2.5), que representa a diferença de pressão entre duas aberturas separadas por uma distância vertical h , e em que T_e e T_i são as temperaturas no exterior e no interior, respectivamente.

$$\Delta p_z = \rho_i g h \frac{T_i - T_e}{T_i + T_e} \quad (2.5)$$

Na ausência de vento e quando $T_i > T_e$ o ar entra no edifício pelas aberturas inferiores saindo pelas superiores, ou o contrário caso $T_i < T_e$. No caso de aberturas com a mesma área, o caudal mássico do ar, $\dot{m}$, será:

$$\dot{m} = \rho_i A C_d \sqrt{2 g h \frac{T_i - T_e}{T_i + T_e}} \quad (2.6)$$

em que C_d é o coeficiente de descarga associado a cada abertura. O coeficiente de descarga pretende ter em conta o efeito da viscosidade quando o fluido atravessa a abertura. O efeito de contracção que ocorre no contorno desta leva a que a área de abertura efectiva seja na prática menor que a área total da abertura. Este coeficiente é função da diferença de temperatura, da velocidade do vento e da geometria da abertura. Através da

análise de resultados experimentais foi possível definir o coeficiente de descarga das aberturas interiores como função da diferença de temperatura, velocidade do ar e altura da abertura. Ficou igualmente demonstrada a forte influência das dimensões da abertura no coeficiente de descarga. Para aberturas interiores de pequena dimensão, 0,65 é apontado como um valor representativo para o coeficiente de descarga. Para aberturas de grande dimensão o seu valor andarà mais próximo da unidade, podendo ser adoptado como representativo o valor de $C_d = 0,78$. Como ficará evidente mais à frente este foi o valor adoptado para as aberturas exteriores e interiores nos cenários simulados no âmbito do presente estudo.

Estas duas forças, vento e temperatura, podem actuar em conjunto, aumentando assim o fluxo de infiltração, ou em oposição, reduzindo o fluxo de ventilação. Deste modo a distribuição de fluxos de ventilação pode variar de acordo com a força relativa de cada uma das forças motrizes. A eficácia dos sistemas de ventilação natural depende da velocidade do vento, da diferença de temperatura, do tamanho e características das aberturas e da sua orientação relativamente à direcção predominante do vento.

Partindo das expressões (2.1) e (2.4) obtemos a expressão (2.7) que contabiliza a ocorrência destas duas forças em simultâneo.

$$\Delta p_z = p_{1,0} - p_{2,0} + (\rho_1 - \rho_2)gz + \frac{\rho_1 C_p U_1^2}{2} - \frac{\rho_2 C_p U_2^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (2.7)$$

Onde U_1 e U_2 representam a velocidade do vento em cada um dos lados da abertura.

2.3 – Ventilação Natural nos Edifícios

A forma mais básica de ventilação natural dos edifícios consiste na infiltração do ar através da permeabilidade da sua envolvente que garante um fluxo de ventilação de base, e pela existência de janelas que podem ser abertas para aumentar o fluxo de ventilação quando for necessário. Esta solução oferece simplicidade e baixo custo mas apresenta problemas uma vez que não permite controlo sobre o sistema. Era muito utilizada no passado, sendo a mais comum na generalidade dos edifícios construídos em Portugal.

As melhorias nos processos construtivos levaram a que a envolvente dos edifícios seja cada vez mais estanque e como tal seja necessário tomar disposições particulares para garantir o fluxo de ventilação base. Uma solução possível é a de dotar os edifícios de aberturas específicas para promover a ventilação base, continuando a ser usada a abertura de janelas para garantir fluxos superiores de ventilação quando necessário.

As aberturas específicas a colocar na envolvente do edifício são usualmente grelhas, que podem ser de dois tipos: reguláveis e auto-reguláveis.

- Grelhas Reguláveis – dispositivos com área de passagem de ar regulável, permitindo o controlo manual do caudal de ventilação através do controlo da área útil. Este controlo é apenas parcial uma vez que não permite qualquer acção sobre o gradiente de pressão ou temperatura que origina o fluxo de ar.
- Grelhas Auto-Reguláveis – dispositivos de admissão de ar que permitem a obtenção de caudal de ar aproximadamente constante, dentro de uma determinada gama de gradientes de pressão, e que impedem a saída de ar. Estas aberturas funcionam com base na diferença de pressão entre o interior e o exterior do edifício, fechando automaticamente quando detectam diferencial de pressão negativo. Perante um diferencial positivo a grelha ajusta automaticamente a área útil de passagem do ar de forma a garantir que o caudal que atravessa a grelha é aproximadamente constante.

A exaustão do ar é, na generalidade dos sistemas, feita através de condutas, localizadas geralmente nas zonas húmidas, como casas de banho e cozinhas. Estas condutas prolongam-se até à região de pressões negativas ao nível da cobertura, para usar a pressão do vento. Assim, o fluxo de ar é forçado a percorrer o edifício através da combinação dos efeitos da diferença de temperatura entre interior e exterior e do efeito do vento. A incorporação destes elementos não permite obter fluxos de ventilação uniformes, permitindo no entanto responder às necessidades médias de ventilação. Por vezes as forças envolvidas são de pequena intensidade sendo por isso necessário garantir que os elementos de admissão e o espaço interior ofereçam pouca resistência à passagem do ar.

A localização das aberturas na fachada deve ser convenientemente equacionada, de forma a favorecer os mecanismos que estão na base dos sistemas de ventilação natural e evitar eventuais problemas de contaminação do ar, especialmente no caso de edifícios localizados perto de grandes estruturas viárias, com elevados níveis de poluição. Atendendo à forma e envolvente do edifício estas aberturas podem localizar-se apenas em uma fachada ou em fachadas opostas e adjacentes, ocorrendo assim ventilação unilateral ou ventilação cruzada. A ventilação unilateral é uma estratégia localizada, que traduz a situação corrente de se pretender ventilar apenas um compartimento ou os casos de habitações em que existe apenas um fachada disponível para a colocação das aberturas. Quando a temperatura interior é superior à temperatura exterior, a diferença de pressão faz com que o ar fresco entre pela zona inferior da abertura e o ar quente saia pela zona superior da mesma. Quando a diferença entre a temperatura interior e a temperatura exterior é pequena ou quando a velocidade do vento é baixa, o fluxo de ar é pequeno e como tal, a ventilação

unilateral é uma solução pouco eficaz para arrefecimento, especialmente em climas moderados. A recomendação para zonas com ventilação unilateral é de uma área de janela com 1/20 da área de pavimento, com 1,5m de altura e profundidade máxima do compartimento de 2,5 vezes o pé direito [6].

Já a ventilação cruzada, depende da forma do edifício e das características do ambiente em que este se insere. Ela ocorre quando o ar entra no edifício numa fachada, atravessa o espaço interior e abandona o edifício por uma fachada diferente. É uma solução mais eficaz uma vez que a configuração das aberturas faz com que o fluxo de ar atravesse o espaço interior.

Um outro tipo de ventilação pode ocorrer quando dispomos de grelhas em fachadas opostas localizadas a alturas diferentes. Este tipo de ventilação ocorre quando o ar fresco entra no edifício a um nível próximo do pavimento. O calor libertado pelos equipamentos e pelos ocupantes do edifício proporciona a convecção natural, fazendo com que o ar novo e fresco circule subindo junto a estas fontes de calor como resultado das diferenças na densidade do ar. O ar quente acumula-se a um nível mais elevado, sendo depois extraído pelas aberturas localizadas a cota superior.

2.4 – Modelos de Previsão

Os processos físicos envolvidos na ventilação natural são complexos e a sua interpretação e determinação do papel que desempenham na eficácia dos sistemas de ventilação é uma difícil tarefa. A dinâmica de fluidos clássica descreve o fenómeno do fluxo de ar sob condições fronteira conhecidas de forma satisfatória no entanto, quando falamos do vento, e tendo em conta a imprevisibilidade do seu comportamento, a definição de condições fronteira torna-se muito difícil.

De acordo com o tipo de informação desejada, existem alguns modelos e ferramentas que podem ser usados, com diferentes graus de complexidade e precisão dos resultados. Em geral existem quatro tipos de modelos, a saber: empíricos, de rede, de zona ou *computational fluid dynamic* (CFD), e que podem ser usados para calcular fluxos de ar em edifícios com sistemas de ventilação natural.

Os **modelos empíricos** têm por base dados experimentais ou de simulação numérica e, na generalidade dos casos, propõe fórmulas simples ou gráficos para auxiliar na concepção da envolvente dos edifícios com recurso à ventilação natural. Estas ferramentas são úteis pois permitem uma primeira estimativa do fluxo de ar ou da velocidade média do ar, de forma relativamente rápida, devendo sempre ser usadas dentro dos limites da sua validade.

Já nos **modelos de rede** o edifício é representado por intermédio de uma grelha formada por um conjunto de nós que representam as zonas simuladas e o ambiente exterior. A interacção entre as várias zonas é representada por vectores de fluxo que ligam os respectivos nós. Assim os compartimentos são representados por nós enquanto as aberturas são representadas pelas ligações entre os diferentes nós. A interacção com o exterior é representada por vectores de fluxo que ligam os nós interiores com os nós exteriores, sendo atribuídos a todos os nós valores de pressão. A pressão dos nós exteriores é conhecida, sendo necessário determinar a pressão dos nós interiores para a partir desta deduzir os respectivos fluxos de ar, o que é feito com recurso à equação de conservação da massa que é aplicada a cada nó, o que origina um conjunto de equações não lineares, cuja resolução conduz aos valores das pressões dos nós interiores.

Os modelos de rede são as ferramentas mais usadas, no caso específico da ventilação natural os mais conhecidos são o AIOLOS [7], o COMIS [8], o CONTAM [9] e o BREEZE [10], entre outros.

Os modelos empíricos e de rede baseiam-se no pressuposto de homogeneidade de condições no interior de cada zona, no entanto tal nem sempre se verifica. Devido à crescente importância de determinadas características do ambiente interior, como a distribuição de temperatura ou a concentração de poluentes, novos conceitos e estratégias impuseram a necessidade de novos métodos para prever fluxos de ar e temperatura. Foram assim desenvolvidas duas abordagens complementares, os modelos de zona e os CFD's.

Os **modelos de zona** baseiam-se nas equações de conservação de massa e de energia. Cada zona é dividida em diversas células homogéneas macroscópicas dentro das quais devem observar-se as equações de conservação de massa e de energia. Estes modelos permitem prever com precisão a distribuição de temperaturas num determinado compartimento sendo a sua principal limitação o facto de que necessitam de um pré-conhecimento da distribuição do fluxo de ar.

Os modelos de zona constituem-se como uma abordagem intermédia, entre os modelos de rede e os modelos CFD. Apresentam como principal vantagem o facto de fornecerem resultados detalhados relativos à temperatura e velocidade do ar sem terem a complexidade dos modelos CFD.

Finalmente os **modelos CFD** baseiam-se na resolução das equações de Navier-Stokes, e consistem na discretização de um edifício em pequenos sub-volumes, aos quais se aplicam as equações de conservação da massa, energia e quantidade de movimento, com o objectivo de obter os campos de velocidade do ar e temperatura no interior do edifício e do campo de pressão no exterior do edifício. As expressões discretizadas dão origem a um

sistema de equações que são normalmente resolvidas recorrendo a métodos numéricos. Tendo em conta o tempo de cálculo necessário para a obtenção de resultados precisos, a utilização destes modelos para o estudo de casos práticos não é adequada.

2.5 - Arrefecimento através da Ventilação Natural: Princípios Base

A adopção de sistemas de ventilação contribui para reduzir ou até mesmo eliminar os gastos de energia para arrefecimento, permitindo ao mesmo tempo melhorar as condições de conforto térmico dos ocupantes através de dois mecanismos:

- remoção de ar interior que se encontra a uma temperatura superior e substituição desse ar por ar novo, vindo do exterior, que se encontra a uma temperatura inferior;
- diminuição de temperatura corporal dos ocupantes através dos mecanismos de convecção, radiação e transpiração.

O ar proveniente do exterior pode ser introduzido no interior por intermédio de aberturas na envolvente do edifício (ventilação natural), pelo uso de ventiladores (ventilação mecânica) ou pela combinação de aberturas e ventiladores (ventilação híbrida).

Podemos definir o potencial da ventilação natural como a capacidade de garantir condições aceitáveis para a qualidade do ar interior com recurso apenas à ventilação natural e o potencial de arrefecimento passivo como a possibilidade de garantir condições aceitáveis de conforto térmico no interior no Verão com recurso exclusivamente à ventilação natural.

A diminuição de temperatura corporal dos ocupantes através do mecanismo de convecção ocorre quando a temperatura a que se encontra o ar interior é inferior à temperatura superficial da pele, e assim o calor é retirado do corpo. Quanto maior for a velocidade do ar maior é o efeito de arrefecimento. De acordo com a normalização existente (ASHRAE, 1992 [11]; ISO, 1994 [12]) a máxima velocidade do ar permitida não deve exceder os 0,2 m/s. Estudos recentes sobre os mecanismos de conforto térmico em edifício com sistemas de ventilação natural [13] demonstraram que os ocupantes destes edifícios podem preferir velocidades do ar interior bastante superior ao valor apontado pela norma.

Quando a temperatura superficial da envolvente opaca é inferior à temperatura superficial da pele dos ocupantes, estes perdem calor para esses elementos por radiação sendo que o uso de ventilação, especialmente durante a noite, pode contribuir de forma significativa para a redução da temperatura superficial interior da envolvente opaca, e assim favorecer estas trocas.

Durante a estação quente, ou durante o exercício físico, o organismo dissipa o excesso de calor através do mecanismo da transpiração, que é potenciado pelo movimento do ar em torno da pele.

2.6 – A Ventilação e o Conforto Térmico

Os edifícios modernos deverão ser concebidos de forma a oferecerem características óptimas de ambiente interior dependendo do uso a que se destinam. Desta forma os ocupantes podem maximizar a sua produtividade e utilizar na totalidade os recursos. As exigências aplicáveis ao espaço interior são a garantia de conforto térmico (temperatura, humidade e velocidade do ar), conforto visual (níveis de iluminação), conforto acústico (nível de ruído baixo e sem distúrbios), qualidade do ar (renovação do ar interior, controlo de odores e de concentração de poluentes), entre outros. A percepção, por parte dos ocupantes, das condições do espaço interior é sentida ao nível da pele (temperatura, humidade, velocidade do ar), pelos olhos (níveis de iluminação), pelos ouvidos (pressão atmosférica e distúrbios) e pelo nariz (temperatura e humidade relativa do ar e qualidade do ar).

O conforto térmico é assim um conceito complexo, uma vez que é influenciado por um vasto conjunto de parâmetros, mas que pode ser entendido como o conjunto de condições para as quais uma pessoa não preferiria um ambiente nem mais quente nem mais frio.

Os sistemas de climatização dos espaços de que dispomos, actualmente, oferecem um conjunto de possibilidades de forma que não é difícil garantir as condições óptimas de conforto dos espaços. A questão chave que se põe é a de obter, manter e controlar as condições de conforto fazendo um uso racional da energia e optimizando os parâmetros que a influenciam. Os parâmetros que influenciam o conforto podem ser agrupados em três principais categorias:

- Parâmetros físicos – incluem a temperatura do ar, a temperatura média radiante das paredes interiores, a humidade relativa do ar, a velocidade relativa do ar interior, a pressão atmosférica, a cor da envolvente, os odores, a intensidade da luz e o nível de ruído;
- Parâmetros orgânicos – incluem a idade, o sexo ou outras características específicas dos indivíduos;
- Parâmetros externos – incluem os níveis de actividade (por sua vez relacionados com o metabolismo), o tipo de vestuário e as condições sociais.

De entre estes, os que mais influenciam o conforto térmico são a temperatura, a humidade relativa, a velocidade do ar, a pressão atmosférica, o vestuário e a actividade. O conforto pode ser atingido por muitas diferentes combinações destas variáveis, uma vez que a influência positiva ou negativa de determinada variável pode ser contrabalançada com a variação de outra variável.

O equilíbrio térmico do organismo é um equilíbrio dinâmico entre a produção de calor e a transferência de calor. A energia produzida no interior do corpo é a chamada Actividade Metabólica e depende do tipo de actividade efectuada pelo indivíduo. A unidade utilizada para caracterizar a actividade metabólica é o met, que corresponde ao calor libertado por uma pessoa em descanso.

A taxa de produção de energia do corpo humano (actividade metabólica) é a soma das taxas de produção de calor (Q) e de trabalho (W) de acordo com a seguinte equação:

$$Q + W = M \times A_c \quad (2.8)$$

Em que M representa a actividade metabólica (met) e A_c a área superficial do corpo humano (m^2).

A produção de calor é igual ao fluxo de calor instantâneo com o exterior, cujos modos de transferência se evidenciam na seguinte equação:

$$Q = Q_{Con} + Q_{Rad} + Q_{Evap} + Q_{Res,Sens} + Q_{Res,Lat} \quad (2.9)$$

em que:

Q_{Con} – perda de calor por condução pela pele;

Q_{Rad} – perda de calor por radiação pela pele;

Q_{Evap} – perda de calor por evaporação pela pele;

$Q_{Res,Sens}$ – perda de calor sensível devido à respiração;

$Q_{Res,Lat}$ – perda de calor latente devido à respiração;

A transpiração, e consequente sensação de arrefecimento, é o principal mecanismo de ajuste térmico do corpo humano sob condições ambientais quentes ou com um nível de actividade elevado. O nível de vestuário influencia directamente a quantidade de calor trocado entre o organismo e o ambiente e, dependendo do tipo de material, influencia também a quantidade de radiação solar absorvida.

A sensação de conforto de um ser humano não é, no entanto, apenas uma equação de balanço térmico, uma vez que nela entram outros factores, tais como factores psicológicos complexos. A sensação térmica do organismo atravessa diferentes processos mentais até originar uma expressão de julgamento ou preferência. Logicamente os principais parâmetros são físicos, as condições ambientais, actividade, vestuário, no entanto outros parâmetros influenciam essa sensação, tais como o hábito do ocupante em relação aos sistemas de

climatização, as expectativas pessoais de cada ocupante ou as suas atitudes e padrões de comportamento, entre outros.

Existem diferentes métodos para expressar de forma quantitativa o conforto térmico e a sensação térmica, sendo uma das mais populares a teoria do Predicted Mean Vote (PMV), que está relacionado com o índice Predicted Percent of Dissatisfied people (PPD). O PMV e PPD foram introduzidos e determinados através de observações empíricas por Fanger [14] durante a década de 70.

O PMV é baseado num modelo de regime permanente de transferência de calor, calibrado a partir da opinião de um grande número de pessoas numa câmara climática. Desde 1984 este método serviu de base à norma internacional ISO-7730, para determinação do conforto térmico em espaços com temperaturas médias.

O PMV relaciona o fluxo de calor que parte do organismo para um dado ambiente e o fluxo de calor que seria necessário para garantir condições óptimas de conforto. Assim, este índice permite estimar o grau de desconforto, conhecida a previsão do voto médio de um grupo alargado de sujeitos de acordo com uma escala psicológica que varia entre -3 e 3, em que os valores negativos indicam desconforto devido a sensação de frio, enquanto os valores positivos representam sensação de desconforto devido a sensação de calor. O zero é assim o ponto neutro que representa o conforto. Permite também estimar a percentagem de pessoas dentro da amostra que se encontram insatisfeitas com as condições térmicas do ambiente, para diferentes condições de temperatura. Resultados de diversos estudos conduzidos por Fanger levaram a uma relação entre o PMV e o PPD. Uma vez que é muito difícil atingir o conforto térmico para todos os ocupantes de um mesmo espaço, dado que as pessoas tem diferentes hábitos de vestuário, níveis de actividade e metabolismo, o objectivo é atingir o conforto térmico para a maioria dos ocupantes, e assim consideram-se aceitáveis as condições que conduzam a $-0,5 < \text{PMV} < 0,5$ e $\text{PPD} < 10\%$.

A determinação da temperatura óptima segundo a ISO-7730 pode ser feita através do seguinte gráfico tendo em conta características específicas de actividade metabólica e Isolamento do vestuário.

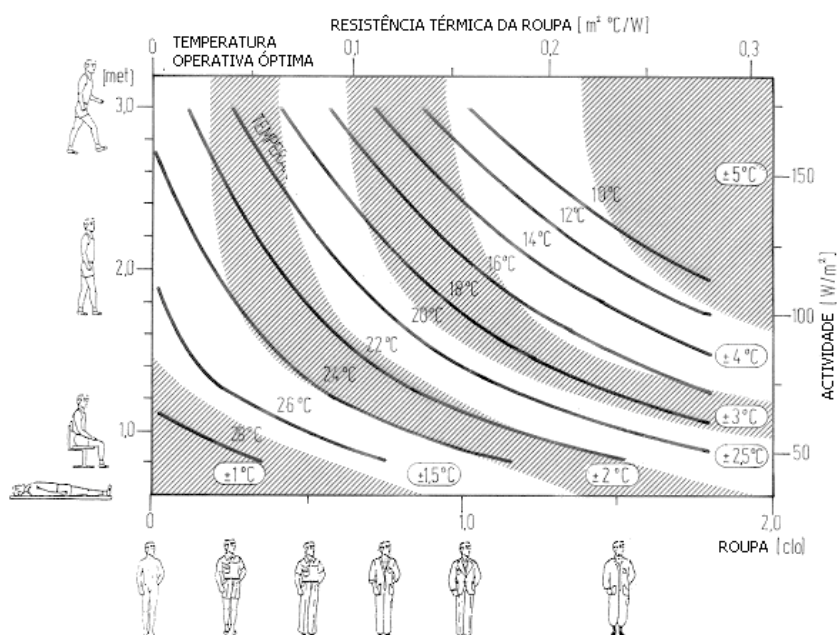


Figura 2.3 - Temperatura resultante ótima de conforto (Adaptado de [15])

O potencial de poupança energética decorrente do uso de técnicas de arrefecimento por ventilação está assim dependente dos limites de conforto térmico dos ocupantes.

Esta metodologia de avaliação, tal como outras, faz a abordagem às condições de conforto térmico sob condições de regime permanente. Para além deste, um dos métodos mais conhecidos e amplamente aceite é o modelo de dois nós de termo-regulação humana de J. B. Pierce [16], [17] e com base neles estabeleceram-se diversas normas de conforto térmico em condições de regime permanente [11], [12], [18].

Devido à interacção térmica entre a envolvente do edifício, os seus ocupantes e os sistemas auxiliares de condicionamento térmico, as condições de regime permanente, na prática, raramente se verificam nos edifícios. Particularmente, a temperatura interior em edifícios que não dispõem de sistemas de controlo da mesma está muito longe do que se espera para condições de regime permanente. A monitorização de edifícios com sistemas solares passivos com temperatura de referência constante mostrou que existem flutuações importantes dos valores da temperatura no interior que podem ir de 0,5 e 3,9° C como resultado do sistema de controlo [19]. Assim se verifica que o conhecimento das condições de conforto térmico sob condições transitórias é necessário.

Casos de estudo e a pesquisa sobre as condições de conforto térmico [20] demonstraram que existe uma discrepância significativa nos modelos de regime permanente, especialmente para zonas onde não se encontra aplicado qualquer sistema mecânico de condicionamento do ambiente interior. Tal fica a dever-se à variação temporal e espacial dos parâmetros físicos que caracterizam o ambiente no interior de edifício [21]. De facto, os

ocupantes que habitam espaços com sistemas de ar-condicionado desenvolvem expectativas de temperaturas baixas e homogêneas e são críticos quando as condições interiores apresentam desvios fora da zona de conforto a que estão habituados. Pelo contrário, os ocupantes que habitam espaços com sistemas de ventilação natural desenvolvem a capacidade de controlar o seu ambiente e habituação à variabilidade do clima e diversidade térmica. Deste modo, as suas preferências em termos de conforto térmico situam-se numa gama mais alargada de temperaturas ou velocidades do ar. Esta adaptação foi extensivamente estudada e documentada [22], [23], [24], [25], [26], [27].

Surgem assim os modelos adaptativos, que explicam as discrepâncias existentes entre os índices de conforto térmico racionais e os valores obtido “in situ”. Estes modelos de conforto são aplicáveis às situações em que os ocupantes têm a possibilidade de se adaptar ao ambiente (ajustar vestuários, abrir janelas ou outros) e assim, prevêem zonas de conforto térmico substancialmente maiores que as previstas nas normas racionais, possibilitando o dimensionamento de equipamentos de aquecimento/arrefecimento com menor potência, originando menores consumos energéticos. As preocupações do presente trabalho inserem-se nesta perspectiva.

O princípio adaptativo foi também verificado ao longo do projecto PASCOOL. Baseado no trabalho que havia sido desenvolvido, o grupo do projecto Europeu de pesquisa PASCOOL levou a cabo medições de campo para compreender o mecanismo pelo qual os ocupantes passam a considerar-se confortáveis a temperaturas superiores. Concluiu-se que as pessoas se sentem confortáveis a temperaturas muito superiores aos valores que eram esperados, enquanto se verificou também que as pessoas desenvolvem um conjunto de acções para sentirem conforto, acções que incluem, por exemplo, localizarem-se nas zonas mais frescas dos compartimentos.

Muitos outros estudos de pesquisa verificaram este comportamento adaptativo. Klitsikas et al [28] levaram a cabo estudos de conforto em edifícios de escritórios em Atenas, Grécia, durante o período de Verão. Verificaram então que o valor teórico do Predicted Mean Vote (PMV) é, na generalidade dos casos, igual ou superior ao voto medido de sensação térmica, e que os sujeitos se sentiam na realidade mais confortáveis do que seria previsível pela teoria do PMV.

Estudos desenvolvidos em edifícios com sistemas de ventilação natural localizados na China [29] permitiram concluir que a sensação de conforto térmico dos ocupantes se situa num intervalo mais alargado do que se situaria caso estes habitassem um ambiente com condições estáveis. Foram realizadas comparações com a escala definida pelo método PMV tendo-se verificado que este modelo, quando aplicado na determinação da sensação de

conforto térmico dos ocupantes de edifícios com condições térmicas variáveis, necessita de correcções. Resultados semelhantes foram encontrados em pesquisas para determinação de conforto sob condições quentes e áridas em Israel [30], em Singapura [31], na Indonésia [32], na Argélia [33] e no Bangladesh [34].

Importantes pesquisas foram levadas a cabo de forma a desenvolver uma norma de conforto adaptativo. A análise dos dados incluídos na base de dados ASHRAE RP-884 relativos a análises de conforto por todo o mundo [35] demonstram que, enquanto as previsões através do PMV estão muito próxima das preferências dos ocupantes de edifícios com sistemas de aquecimento, arrefecimento e ar-condicionado, os ocupantes de edifícios com sistemas de ventilação natural tem preferências numa gama de condições mais alargada que reflectam de forma mais aproximada as condições do clima exterior.

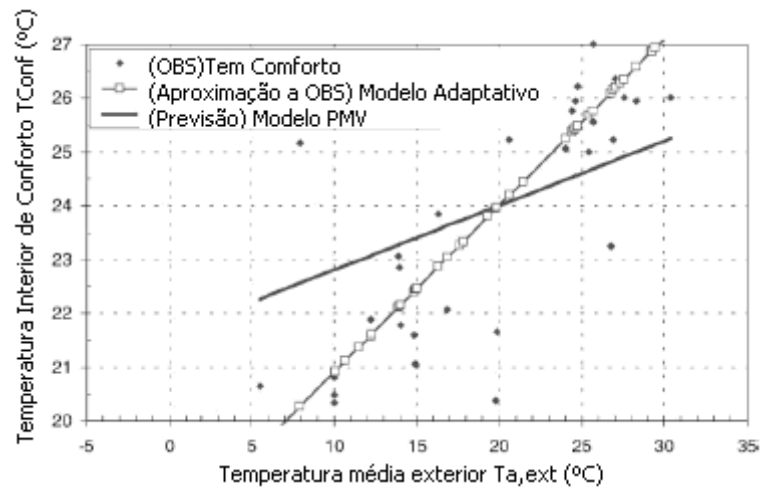


Figura 2.4 - Temperatura interior de conforto observada (OBS) e prevista pela base de dados da ASHRAE RP-884 RP edifícios com ventilação natural (Adaptado de [35])

Os resultados destes estudos sugerem que a temperatura óptima de conforto é função da temperatura exterior e pode ser determinada através das seguintes equações ([36], [37]):

$$T_{\text{Conf}} = aT_{a,\text{ext}} + b \quad (2.10)$$

em que T_{Conf} é a temperatura interior de conforto (°C) e $T_{a,\text{ext}}$ é a temperatura média exterior (°C).

Dentro deste conceito a expressão proposta por [35] foi:

$$T_{\text{Conf}} = 0,31T_{a,\text{ext}} + 17,8 \quad (2.11)$$

Enquanto que [13], [36] e [38] propuseram uma expressão quase semelhante:

$$T_{Conf} = 0,534T_{a,ext} + 11,9 \quad (2.12)$$

Com base nestes resultados foi proposto um novo modelo adaptativo para edifícios com sistemas de ventilação natural para ser integrado na norma ASHRAE 55.

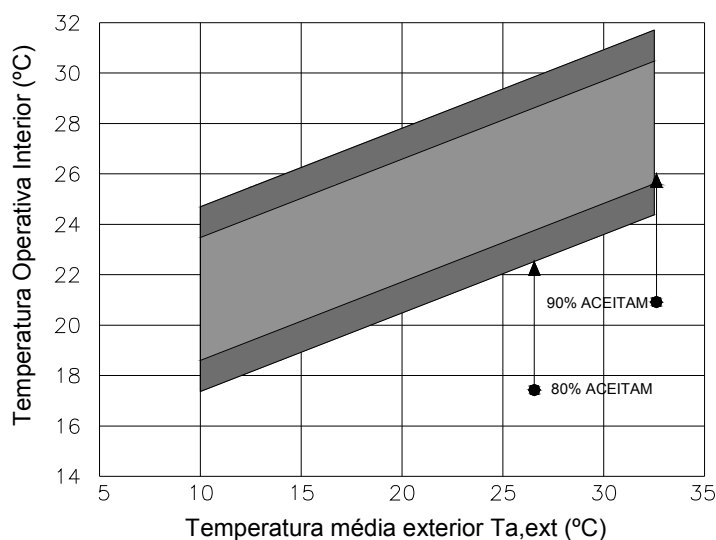


Figura 2.5 - Proposta de Norma de Conforto Adaptativa para a ASHRAE Standard 55, aplicável a edifícios com ventilação natural (Adaptado de [35])

Ainda de acordo com Humphreys, a garantia de conforto térmico é tanto maior, quanto maior for o controlo efectivo por parte dos ocupantes. Desta forma as pessoas podem ajustar o ambiente de forma a satisfazer os seus requisitos específicos, ao invés de fixar uma temperatura com base num valor óptimo determinado teoricamente na tentativa de satisfazer todos os ocupantes. Da mesma forma os ocupantes tendem a ser mais tolerantes face a más condições do ambiente interior se sentirem que têm o controlo, ou porque têm a possibilidade de obter um ambiente mais de acordo com as suas necessidades. Nos edifícios com ventilação natural isto pode ser conseguido através do acesso e controlo dos dispositivos de sombreamento e pela possibilidade de abrir e fechar as janelas.

A concepção de sistemas de arrefecimento através da ventilação natural pressupõe o conhecimento da velocidade do ar admissível no interior dos edifícios, no entanto, o conhecimento do impacto do movimento do ar no conforto térmico é uma área em que a pesquisa tem ainda muitos passos a dar ([39], [40] e [41]). A velocidade do ar afecta as pedras convectivas e evaporativas. Estudos recentes realizados em climas tropicais ([31], [42], [43]) confirmam que o aumento da velocidade do ar, especialmente a temperaturas mais elevadas, aumenta as condições de conforto térmico. Segundo Kukreja [44], a velocidade do ar interior em climas quentes deve estar compreendida entre 1,0 e 1,5 m/s.

Hardiman [45] propõe uma velocidade do ar entre 0,2 e 1,5 m/s em locais cujos ocupantes desempenhem actividade ligeira. Por sua vez, Hien e Tanamas [31] relatam os efeitos indesejáveis observados para velocidade do ar interior acima dos 3m/s. Um projecto recente levado a cabo numa câmara climática na Dinamarca [46] concluiu que os sujeitos preferiam uma temperatura interior de 28°C desde que lhes permitissem seleccionar a velocidade do ar que desejassem, ao invés de uma temperatura interior de 26°C com velocidade do ar fixa de 0,2 m/s.

A adopção de normalização adaptativa e com temperatura interior de conforto variável pode resultar numa grande poupança de energia para arrefecimento ([48], [49], [50]).

2.7 - Concepção de Sistemas de Arrefecimento através da Ventilação Natural

2.7.1 – Potencial do Arrefecimento através da Ventilação Natural

A ventilação natural pode ser usada directamente para promover arrefecimento desde que a temperatura ambiente e a humidade estejam dentro dos limites de conforto. Esta técnica é prática comum em países com clima moderado onde as temperaturas permitem o seu uso durante alguns períodos do dia e durante a noite. Já em zonas de clima quente, durante o dia a temperatura exterior não permite o seu uso, estando a sua utilização restringida à ventilação nocturna. Os valores limite para a temperatura exterior e humidade para os quais a ventilação natural durante o dia permite obter conforto no interior foram propostos por Givoni [51]. Para uma velocidade do ar no interior de 2m/s, a mais elevada temperatura exterior admissível para países desenvolvidos com clima quente é perto dos 32°C.

O potencial das técnicas de arrefecimento por ventilação foi comprovado por todo o mundo por diferentes estudos teóricos e experimentais. A redução das necessidades de arrefecimento varia em função das condições do clima local sendo que em média, a máxima redução das necessidades é de perto de 50%. Em particular, Chandra et al [52] calcularam o potencial das técnicas de ventilação natural na diminuição da carga de arrefecimento em edifícios localizados nos Estados Unidos, tendo concluído que é possível uma redução da carga entre 10 a 15% como função das características do clima. Carrol et al [53] simularam o impacto da ventilação natural em edifícios de escritórios nos estados unidos tendo verificado poupança energética da ordem dos 25% em climas húmidos até cerca de 50%, em climas quentes.

Estudos realizados na Europa comprovaram que o uso da ventilação natural no Reino Unido pode promover poupança de energia para arrefecimento da ordem dos 10% e poupança em consumo anual de energia para funcionamento de ventoinhas da ordem dos 15% [54].

Cardinale et al [55] estudaram o potencial de arrefecimento da ventilação durante o dia nas maiores cidades Italianas tendo verificado que a poupança de energia por chegar até 53% por comparação com o gasto energético para edifícios com ar-condicionado. Santamouris et al [56] estudaram o potencial de arrefecimento da ventilação natural durante o dia na Grécia tendo concluído que o recurso a estes sistemas permitia uma redução de cerca de 30% dos gastos em energia para edifícios com sistemas de ar condicionado. Aynsley [57] estudou também a possibilidade de garantir conforto através da ventilação natural para um edifício localizado na Austrália. Ele concluiu que uma concepção cuidada do edifício permite garantir o conforto térmico no interior para grande parte do período quente.

Importantes ferramentas para determinar o potencial das técnicas de arrefecimento pela ventilação foram desenvolvidas no âmbito do programa de pesquisa URBVENT, promovido pela comunidade europeia. Germano et al [58] desenvolveram uma ferramenta que permite estimar o potencial da ventilação natural, bem como o potencial de arrefecimento passivo, em edifícios localizados em zonas urbanas. Este método usa informações do Sistema de Informação Geográfica (SIG), bem como uma avaliação multi-critério, e pode auxiliar no processo de concepção a integração de técnicas de ventilação natural nos edifícios. No âmbito do mesmo projecto Ghiaus e Allard [59] desenvolveram um método para determinar o potencial do arrefecimento por ventilação natural directa com base em dados de graus-hora.

2.7.2 - A Arquitectura na Promoção da Ventilação Natural

As opções arquitectónicas tomadas na concepção de um edifício determinam o seu potencial em termos de aplicação dos diferentes sistemas de ventilação natural e arrefecimento passivo.

As técnicas para promover a ventilação natural nos edifícios foram alvo de um alargado conjunto de estudos que apontaram como principais estratégias a maximização da permeabilidade da envolvente através das aberturas, minimização de obstruções internas, orientação concordante com a predominante direcção do vento e o aproveitamento do efeito de chaminé, entre outros ([60],[61]). O *CIBSE Applications Manual* [62] e [63] descrevem diferentes configurações de sistemas de ventilação natural incorporando sistemas inovadores de janelas, chaminés térmicas, chaminés de vento, átrios, entre outros.

A arquitectura do edifício, em particular o posicionamento e forma das aberturas, as aberturas interiores, e a forma do edifício têm um papel importante na determinação da velocidade do ar no interior e das condições de conforto em edifícios com ventilação natural. Diversos estudos foram efectuados na tentativa de otimizar os principais parâmetros

arquitectónicos na definição do posicionamento das aberturas em edifícios com ventilação natural o que permitiu uma melhor compreensão acerca da contribuição específica das janelas com diferentes condições fronteira.

Rosenbaum [64] resumiu algumas das principais conclusões da pesquisa sobre o posicionamento de paredes e técnicas para aumentar o fluxo de ar pela envolvente do edifício. Como principais sugestões apontam-se:

- conceber edifícios com formas irregulares de forma a potenciar a ventilação cruzada;
- implantar os edifícios com um ângulo oblíquo relativamente à direcção predominante do vento, ao invés de implantá-los perpendicularmente à direcção predominante do vento;
- procurar que as áreas de entrada e saída de ar sejam aproximadamente iguais;
- procurar que a maior dimensão das janelas seja na direcção horizontal, uma vez que estas têm melhor desempenho em termos de potenciar a ventilação natural que as janelas com maior dimensão segundo a vertical.

A procura de conforto térmico no Verão foi uma das preocupações na concepção dos edifícios ao longo do tempo, o que pode ser constatada através de inúmeros exemplos retirados da denominada arquitectura tradicional, especialmente em climas quentes, em que através de soluções arquitectónicas simples se promovia a ventilação do espaço interior por um lado, e se reduziam os ganhos solares, por outro. Em seguida descrevem-se alguns dos elementos e opções arquitectónicas muito usados no passado, e por último um dos sistemas desenvolvido no presente.

2.7.2.1 - Átrios e Jardins

A existência de átrios ou jardins adjacentes aos edifícios permite aumentar a ventilação natural e promover o arrefecimento através de trocas por convexão. Estes elementos estão associados a edifícios dotados de ventilação natural especialmente quando localizados em climas quentes. Apesar de durante o dia atingirem temperaturas elevadas apresentam uma temperatura muito menor durante a noite [65]. São assim zonas de transição que melhoram as condições do conforto no edifício adjacente uma vez que modificam o microclima e permitem aumentar o fluxo de ar no edifício.

2.7.2.2 - Chaminés Solares

Estes elementos foram alvo de grande número de estudos com o objectivo de potenciar a implementação da ventilação natural em edifícios com ganhos solares significativos. As

chaminés solares são elementos de tiragem vertical que utilizam a energia solar para criar uma diferença de pressão no ar situado no interior do edifício e assim criar um fluxo de ar ao longo da chaminé. A configuração das chaminés solares é semelhante à das restantes chaminés sendo que a face voltada a sul é composta por um envidraçado, permitindo assim captar a radiação solar. Podemos verificar o uso desta técnica em edifícios cuja arquitectura remonta ao século XVI, tendo sido este tipo de elemento alvo de estudos recentes, experimentais, teóricos e numéricos, que contribuíram para um melhor conhecimento do seu funcionamento, tendo-se concluído que representam uma melhoria nos sistemas de ventilação natural especialmente para velocidades do vento baixas.

2.7.2.3 - Torres de Vento

Denominadas Torres de Vento ou Torres de Arrefecimento, possuem uma configuração tal que o ar entra pela face a barlavento, na sua zona superior, e sai pela zona inferior, que se encontra em comunicação com o edifício. O arrefecimento do ar ao longo da torre ocorre por evaporação ou convexão. O ar arrefecido varre depois o edifício e é extraído por outra torre. Este sistemas funcionam com base no facto de a torre de entrada do ar ser mantida a uma temperatura aproximada da exterior, enquanto a torre de saída se encontra convenientemente isolada e a temperatura no seu interior é próxima da temperatura interior do edifício, existindo uma diferença entre o nível das aberturas de entrada e saída de ar, sendo a saída a cota superior. Estudos demonstraram que as aberturas de entrada e saída para torres de vento devem ser entre 3 a 5% da área do pavimento do compartimento que servem [66].

2.7.2.4 – Arrefecimento do Ar através de Conduitas Enterradas

Trata-se de um sistema recente que tem vindo a ser alvo de alguns estudos que o apontam como uma solução com bom desempenho. Consiste em colocar uma rede de conduitas enterradas sob as fundações dos edifícios (a uma profundidade a que a temperatura do solo é praticamente uniforme ao longo do ano). Esta rede está ligada a aberturas de admissão de ar proveniente do exterior numa extremidade e ao sistema de ventilação do edifício na outra extremidade. O ar a admitir ao edifício é assim conduzido através desta matriz de conduitas ocorrendo o seu pré-arrefecimento no Verão, e pré-aquecimento no Inverno.

Apresenta algumas desvantagens como a dificuldade na sua implantação em solos rochosos e a necessidade de garantir o acesso para manutenção, e como vantagens o facto de o solo a partir de determinada profundidade se encontrar à temperatura de 12°C ou

menos, permitindo assim diminuir substancialmente a temperatura do ar insuflado em condições de Verão.

2.7.3 - Ventilação Nocturna

A ventilação nocturna está associada à circulação, no interior dos edifícios durante a noite, de ar que se encontra a uma temperatura baixa, reduzindo assim a temperatura do ar no seu interior e também a temperatura dos elementos da envolvente com capacidade de armazenamento de calor de forma a que no dia seguinte as condições de conforto térmico nesse edifício sejam mais adequadas. Assim, este tipo de ventilação é adequado para zonas com um grande diferencial entre a temperatura durante o dia e durante a noite, em que a temperatura durante o dia é elevada e não permite o recurso à ventilação natural mas em que durante a noite esta não atinge valores tão baixos que sejam susceptíveis de causar desconforto no interior dos edifícios.

A ventilação nocturna ocorre quando o ar fresco é circulado dentro dos edifícios removendo o calor armazenado pelos elementos com capacidade de armazenamento que se encontram expostos. A remoção do calor armazenado por estes elementos durante a noite contribui para reduzir a temperatura no interior do edifício no dia seguinte através de processos radiativos e convectivos. A referida circulação do ar pode ser obtida através de sistemas de ventilação mecânica ou natural. Para garantir um adequado desempenho da ventilação nocturna é essencial que os elementos de grande massa estejam expostos devendo evitar-se o recurso a tectos falso ou outros elementos de obstrução [67].

A ventilação nocturna irá ter os seguintes efeitos na temperatura interior no dia seguinte:

- reduzir a temperatura máxima sentida durante o dia;
- reduzir a temperatura do ar interior ao longo de todo o dia, com especial incidência durante as horas da manhã;
- reduzir a temperatura dos elementos com capacidade de armazenamento térmico;
- criar uma diferença temporal entre a ocorrência dos valores máximos diários da temperatura interior e exterior;

Torna-se também evidente que o desempenho destes sistemas depende de factores como:

- temperatura e fluxo de ar que circula no interior do edifício durante a noite;
- capacidade de troca de calor dos elementos da envolvente com o ar interior;
- capacidade de armazenamento da envolvente.

2.7.3.1 – Potencial dos Sistemas de Ventilação Nocturna

Diversos estudos foram realizados com o objectivo de determinar a eficácia dos sistemas de ventilação nocturna aplicados a edifícios sem sistemas de controlo da temperatura no interior. A maior parte desses estudos demonstram que a redução da temperatura máxima no interior no dia seguinte ao uso de ventilação nocturna está compreendida entre 0,5 e 3°C em função do fluxo de ar que circulou no edifício, da capacidade de armazenamento dos elementos que compõem a envolvente do mesmo e da evolução da temperatura exterior durante o dia e a noite. Resultados de análises de sensibilidade demonstraram que a redução nas horas de sobreaquecimento varia entre 39 e 96% em função do fluxo de ar, correspondendo a 10 ou 30 renovações horárias respectivamente.

Solaini et al [68] estudaram o desempenho das técnicas de ventilação natural num edifício experimental em Itália tendo concluído que estas técnicas desempenham um papel determinante nas necessidades de arrefecimento do edifício. Silvestrini e Alessandro [69] relatam que para condições climáticas características de Itália, a circulação de ar na razão de três renovações por hora durante a noite permite manter a sensação de conforto ao longo de todo o dia, sendo que aumentando o número de renovações horárias para 10 a 15 permitiria reduzir ao máximo os gastos de energia para arrefecimento.

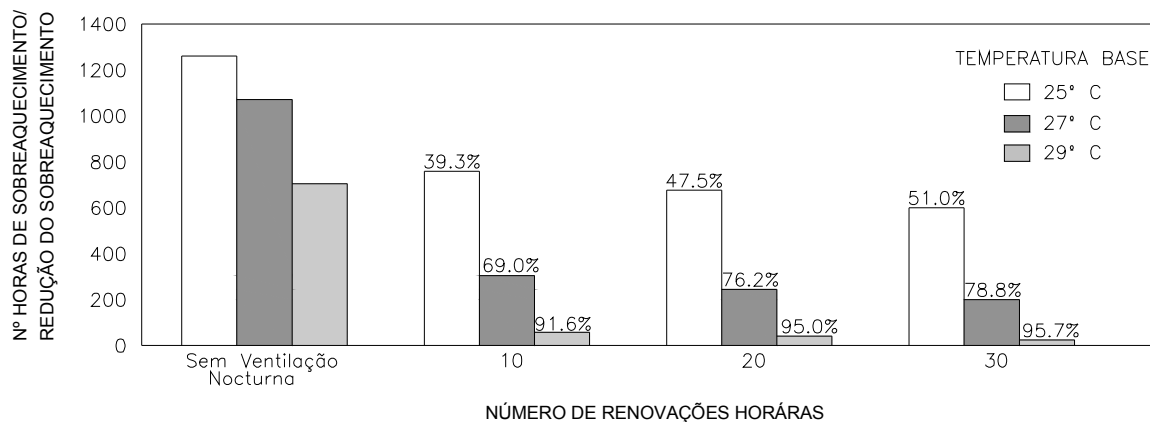


Figura 2.6 - Média do número de horas de sobreaquecimento e sua redução decorrente do uso de ventilação nocturna no edifício Meletitiki, Atenas, Grécia (Adaptado de [70])

Na Califórnia, Givoni [71] determinou o potencial de arrefecimento por ventilação nocturna de forma a reduzir o valor máximo da temperatura interior para diferentes classes de inércia térmica do edifício tendo concluído que, nos casos de inércia leve a ventilação nocturna praticamente não tem influência nas temperaturas sentidas no interior no dia seguinte. Pelo contrário, no caso de edifícios com inércia forte verificou que mesmo com a temperatura exterior perto dos 38°C, a temperatura no interior não ultrapassava os 24,5°C.

Rainaweera e Hestnes [72] calcularam o impacto das técnicas de ventilação noturna quando aplicadas a um edifício típico do Sri Lanka tendo concluído que um acréscimo do fluxo que circula no interior do edifício de 8 para 14 renovações horárias permite reduzir o valor máximo atingido pela temperatura no interior no dia seguinte em 0,5°C.

Golneshan e Yaghoubi ([73], [74]) simularam a contribuição das técnicas de arrefecimento noturno em edifícios residenciais no Irão tendo concluído que permitindo um fluxo de 12 renovações por hora durante a noite e 1 renovação por hora durante o dia é possível garantir condições de conforto no interior do edifício ao longo de todo o dia.

Quando aplicada em zonas de clima moderado a ventilação noturna permite reduzir a temperatura interior entre 1 a 2 °C, sendo que esta pequena redução pode ser suficiente para cobrir grande parte das necessidades de conforto. Birtles et al [75], bem como Kolokotroni et al (1998) [76], levaram a cabo simulações para estudar o potencial da ventilação noturna e da inércia térmica para cobrir as necessidades de arrefecimento de edifícios de escritórios no Reino Unido. A conclusão do estudo foi de que estas técnicas permitem obter o necessário arrefecimento na maioria dos casos, enquanto para os restantes, uma grande percentagem dos requisitos de arrefecimento conseguem igualmente ser satisfeitos.

Blondeau et al [77] determinaram o potencial de arrefecimento da ventilação noturna em edifícios de escritórios em França verificando que é possível reduzir a máxima temperatura interior no dia seguinte entre 1,5 a 2 °C.

No caso de edifícios com sistemas de ar-condicionado a utilização de sistemas de ventilação noturna pode também contribuir para reduzir os gastos de energia para arrefecimento, bem como diminuir o valor de pico de procura de energia. Experiências, estudos teóricos e aplicações reais demonstraram que existe um grande potencial de poupança energética que pode exceder os 50% da carga de arrefecimento em edifícios com inércia forte para uma temperatura interior de cerca de 26°C e um fluxo de ar elevado. Ao mesmo tempo o decréscimo de necessidade de energia de pico pode ir até 40%. Diferentes resultados foram encontrados como função do clima, das características do edifício, bem como do fluxo de ar e das características operativas do edifício.

2.7.3.2 – Conceção de Sistemas de Ventilação Nocturna

A adequada concepção de edifícios para permitir o uso eficaz de arrefecimento por ventilação noturna depende da consideração de todos os parâmetros que definem o desempenho energético e ambiental do edifício. A utilização de programas de simulação

detalhados que utilizam algoritmos amplamente validados permite obter a maior eficiência possível a par do melhor desempenho global.

Nos casos em que não seja necessário proceder a uma análise exaustiva existem métodos de determinação simplificados que devem ser usados. Nos últimos anos desenvolveram-se diversas ferramentas, ao dispor de arquitectos e engenheiros, que permitem de uma forma simplificada e ao mesmo tempo com alguma exactidão dimensionar sistemas de ventilação nocturna.

O NiteCool [78] foi desenvolvido essencialmente para avaliar diferentes estratégias de arrefecimento por ventilação nocturna, no âmbito do programa *Energy Related Environmental Issues in Buildings* (EnREI), levado a cabo pelo *Department of the Environment* (DOE) dos Estados Unidos. Esta ferramenta é baseada num modelo de ventilação de uma única zona.

O programa de cálculo LESOCOOL é outra ferramenta simples que permite avaliar o potencial de arrefecimento pela ventilação nocturna [79], bem como calcular o potencial de arrefecimento e o risco de sobreaquecimento em edifícios com sistemas de ventilação natural ou mecânica. O programa fornece resultados para a temperatura interior, o fluxo de ar e a taxa de transferência de calor. Permite também entrar em conta com ganhos de calor radiativos e convectivos.

Santamouris et al [80] propuseram um método detalhado para calcular o desempenho de edifícios com ou sem sistemas de controlo de temperatura utilizando ventilação nocturna. O método tem por base o princípio dos graus dia de arrefecimento modificados sendo comparado com modelos teóricos e dados experimentais. O método está integrado na ferramenta de simulação SUMMER [81] e calcula a variação da temperatura de equilíbrio do edifício, bem como as horas de sobreaquecimento e a carga de arrefecimento. Paralelamente estabelece comparações com edifício convencionais com ar condicionado ou sem sistemas de controlo de temperatura.

Givoni ([82], [83]) propôs uma fórmula para prever a máxima temperatura interior expectável para diferentes valores de inércia térmica e diferentes espessuras de isolamento num edifício com ventilação nocturna. Shaviv et al [84] propuseram um método que permite estimar o decréscimo da temperatura máxima no interior partindo da variação diária da temperatura exterior, como função da inércia térmica e do fluxo de ventilação nocturna.

2.8 – Controlo de Edifícios com Sistemas de Ventilação Natural

Os edifícios com recurso à ventilação natural devem ser controlados de forma a modificar as condições do ambiente interior. Os meios de controlo podem ser automáticos ou manuais e accionáveis pelos ocupantes. O controlo adequado da ventilação natural, através da abertura de janelas ou do accionamento de dispositivos de protecção solar, pode reduzir a necessidade do uso de meios mecânicos para o arrefecimento. A importância do controlo foi demonstrada por um grande número de estudos efectuados até à data, em particular um estudo levado a cabo por Liem et al [85] concluiu que através do controlo do sistema de ventilação natural é possível melhorar o conforto térmico no seu interior.

A selecção da estratégia de controlo do sistema de ventilação natural mais adequada a cada edifício não é uma tarefa simples e a escolha da solução final depende de vários parâmetros independentes tais como o tipo de edifício (habitação, escritório, serviços ou outros), a existência ou não de outros sistemas de condicionamento do ambiente interior (aquecimento ou arrefecimento), a capacidade e motivação dos ocupantes para empreenderem acções adequadas na altura certa e, finalmente, o custo.

Um sistema automático de controlo é composto por um ou mais sensores que medem o conjunto de parâmetros que determinam as estratégias de controlo a implementar, como a temperatura interior e exterior, a concentração de CO₂, a velocidade e direcção do vento ou a ocorrência de pluviosidade, um ou mais actuadores para operar as aberturas (sejam as janelas sejam grelhas específicas para o efeito) e um controlador. Este último comanda os actuadores com base num algoritmo para o qual foi programado, como resposta às medições dos diferentes parâmetros pelos sensores. Um sistema deste tipo é de difícil concepção e implementação e tem custos elevados.

O controlo manual depende apenas da intervenção dos ocupantes do edifício, devendo estes actuar sobre janelas, grelhas específicas ou outros elementos na altura que entendam. Esta estratégia será puramente baseada em critérios subjectivos, tais como a percepção da qualidade do ar interior e sensação de conforto térmico por parte dos ocupantes.

Estudos experimentais com o objectivo de identificar acções de controlo levadas a cabo por indivíduos em edifícios com sistemas de ventilação natural ([86], [87]) demonstraram que essas acções de controlo são usadas como resposta ao desconforto e, em geral, os ocupantes que têm maior acesso aos controlos (como os que estão perto de determinada janela) manifestam menos desconforto que aqueles que têm menor acesso. Assim comprova-se que os ocupantes aceitam uma gama mais alargada de condições como sendo de conforto se lhes for permitido controlar o seu ambiente [88]. Como exemplo analisemos o

caso da gestão combinada de dispositivos de sombreamento e de sistemas de ventilação natural. Os ocupantes do edifício estabelecem prioridades e decidem se a abertura de janelas é ou não mais importante que a actuação dos dispositivos de sombreamento, de acordo com a sua sensibilidade. Do ponto de vista psicológico, o controlo totalmente manual pode ser considerado como o mais adequado, tendo como vantagens o baixo custo e facilidade de implementação, contudo, tal não significa que o controlo manual seja a solução mais eficiente. Confiar no comportamento dos ocupantes não assegura que os níveis de conforto sejam melhorados, nem que dele resulte poupança energética. Um exemplo deste facto foi verificado por Bruant [89] tendo demonstrado que o controlo manual dos dispositivos de protecção solar e ventilação de determinado espaço pode resultar em grande desconforto, com temperatura no interior até 5°C mais elevada, e no aumento do consumo energético, quando comparando com o mesmo espaço com aplicação de um sistema de controlo automático.

Generalizando, o controlo manual não pode ser considerado uma estratégia eficaz de controlo global, mesmo quando os ocupantes tenham conhecimentos e capacidade de optar pela mais correcta linha de acção na hora apropriada. Se no caso de pequenos edifícios de habitação o inadequado controlo não produz problemas de maior, já no caso de edifícios de grande altura, tais como edifícios de escritórios, este problema torna-se mais complexo e os sistemas de comando automático apresentam-se como mais adequados.

Estudos realizados no Reino Unido [90] propuseram a selecção do tipo de controlo a ser usado de acordo com o valor máximo dos ganhos de calor no compartimento tendo concluído que para ganhos de calor abaixo de 25 W/m² os sistemas de controlo manual são satisfatórios, devendo recorrer-se a sistemas de controlo automático para ganhos de calor até 40 W/m². Apontaram ainda como solução mais adequada para edifícios públicos o controlo automático.

Diversas estratégias de controlo automático podem ser utilizadas para se obter conforto no interior de edifícios com sistemas de ventilação natural. Pitts e Abro [91] desenvolveram um controlador inteligente para otimizar a ventilação nocturna num edifício através de chaminés solares activas. O controlador calculava as necessidades de arrefecimento, as condições de conforto no edifício e a capacidade de arrefecimento da chaminé solar.

Particularmente as técnicas que incorporam inteligência artificial oferecem numerosas vantagens quando comparadas com sistemas de controlo tradicionais. Eftekhari e Marjanovic [92] propuseram um controlador de lógica difusa para otimizar a posição de abertura das janelas num edifício com sistema de ventilação natural tendo concluído que o referido controlador permite obter maior conforto térmico dentro do edifício do que o

conseguido através de controlo manual ou de abertura sazonal. Kolokotsa [93] concebeu e testou um protótipo de um controlador difuso para edifícios com ventilação natural usando tecnologias de redes locais e de cartões de memória do tipo SmartCard. Esta pesquisa esteve integrada no projecto BUILTECH, e teve como resultado um protótipo de controlador que melhora significativamente a qualidade do ambiente interior em edifícios com ventilação natural.

2.9 – Limitações do Arrefecimento por Ventilação Natural

O arrefecimento com recurso à ventilação é uma técnica poderosa mas que apresenta importantes limitações. Desde logo a capacidade de arrefecimento da ventilação natural está condicionada pelas condições do ambiente exterior, sendo necessário que a temperatura exterior seja inferior à temperatura interior.

Os principais problemas estão relacionados com o ruído e a poluição, com a redução da velocidade do vento em ambiente urbano e com o controlo da humidade. O controlo do teor de humidade e da ocorrência de condensações é necessário, particularmente em climas húmidos. A poluição e os problemas acústicos, bem como problemas de perda de privacidade e segurança são os mais associados aos sistemas de ventilação natural.

A poluição representa uma séria limitação para sistemas de ventilação natural de edifícios, especialmente se localizados em grandes zonas urbanas. Stanners e Bourdeau [94] estimaram que me cerca de 70 a 80% das cidades Europeias com mais de 500000 habitantes, os níveis de poluição do ar, tendo em conta um ou mais poluentes, excedem os valores impostos pela normalização da Organização Mundial de Saúde (OMS) pelo menos uma vez por ano. A purificação do ar através de filtragem pode ser utilizada em sistemas de ventilação mecânica ou em sistemas de ventilação natural que incorporam dispositivos de controlo de fluxo.

O ruído pode ser uma outra grande limitação à implementação de ventilação natural nos edifícios. Stanners e Bourdeau [94] verificaram que níveis de ruído inaceitáveis de mais de 65 dB afectam entre 10 a 20% dos habitantes de zonas urbanas das cidades Europeias. Paralelamente, de acordo com estimativas da Organização para a Cooperação Económica e Desenvolvimento (OCDE) [47] cerca de 130 milhões de pessoas nos países da OCDE estão expostas a níveis de ruído inaceitáveis.

Uma pesquisa recente demonstrou que a limitação mais significativa à aplicação de sistemas de ventilação natural se fica a dever às características climáticas específicas das cidades. Devido às características específicas do ambiente urbano verifica-se um aumento significativo da temperatura exterior devido ao efeito da ilha de calor acompanhado por uma

diminuição acentuada da velocidade do vento nos canyons urbanos. Consequentemente o potencial de arrefecimento através de ventilação natural e ventilação nocturna diminui consideravelmente.

Geros et al [95] levaram a cabo estudos específicos em 10 ruas de Atenas com o objectivo de analisar a redução do fluxo de ar em edifícios com ventilação natural, com uma só fachada ou ventilação cruzada. Como conclusão deste estudo verificou-se que devido à diminuição da velocidade do vento, o fluxo ao longo do edifício diminuiu em cerca de 90% demonstrando assim que a eficiente integração dos sistemas de ventilação natural e nocturna em área urbanas densas requer um grande conhecimento das características locais do vento, bem como adaptação do sistema às condicionantes do local.

Geros et al [70] compararam a carga de arrefecimento em edifícios com ventilação nocturna localizados em dez arruamentos específicos com a carga de arrefecimento dos mesmos edifícios se estivessem localizados num local sem obstruções. As conclusões deste estudo revelam que o decréscimo na velocidade do vento faz com que a carga de arrefecimento em edifícios em espaço urbano aumente entre 6 a 89% para edifícios com aberturas numa só fachada e entre 18 a 72% em edifícios com ventilação cruzada, quando comparada com o mesmo edifício mas localizado numa zona sem obstruções.

Paralelamente efectuou-se uma comparação semelhante para um edifício sem sistemas de controlo de temperatura com recurso a ventilação nocturna tendo-se determinado que a máxima temperatura no interior do edifício localizado em zona urbana aumenta entre 0 a 2,6°C para edifícios com aberturas numa só fachada e entre 0,2 a 3,5 °C em edifícios com ventilação cruzada, quando comparada com o mesmo edifício mas localizado numa zona sem obstruções.

2.10 - Investigação e Desenvolvimento no Âmbito da Ventilação Natural

A actualidade do tema em estudo é atestada pelo grande número de estudos e projectos de investigação no domínio da ventilação natural em edifícios que vêm sendo desenvolvidos, com apoio de diferentes instituições governamentais e em diferentes países. No que se segue faz-se uma listagem dos principais organismos que dedicam a sua actividade à investigação nesta área, bem como os principais projectos levados a cabo ou em curso, apontando-se os seus principais objectivos e resultados.

2.10.1 - IEA – International Energy Agency

Organismo que apoia mais de 40 acordos internacionais de cooperação e colaboração sobre tecnologia energética e informação, nos quais podem participar países membros ou

não da OCDE e organizações internacionais. De entre os programas na área da ventilação destacam-se o ECBCS (Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme) e o seu Anexo 28: Low-Energy Cooling.

2.10.1.1 - ECBCS – Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme

Projecto que foca o seu trabalho na melhoria da eficiência energética dos edifícios. O seu programa inclui o desenvolvimento de técnicas de análise de impacto do uso da energia a nível do ambiente global, regional, local e interior, o trabalho na optimização da envolvente dos edifícios, em técnicas avançadas de planeamento energético ao nível local, detecção de falhas e diagnóstico, a utilização da radiação solar (em colaboração com a *Implementing Agreement on Solar Heating and Cooling*) e na melhoria da disponibilidade e utilização das ferramentas de concepção existentes. O ECBCS administra o *Future Buildings Fórum*, que em colaboração com outros acordos na área dos edifícios organiza workshops com o objectivo de identificar aspectos energéticos, ambientais, económicos e técnicos de longo prazo relacionados com os edifícios e as necessidades de investigação e desenvolvimento a eles associadas. O ECBCS administra também o AIVC (Air Infiltration and Ventilation Center), que distribui resultados de investigação e desenvolvimento e que leva a cabo estudos seleccionados em determinados temas. O trabalho levado a cabo pelo ECBCS já resultou em numerosas conquistas que incluem, entre outros, o desenvolvimento de técnicas para evitar de forma energeticamente eficiente a condensação nos edifícios, a avaliação da performance de modelos computadorizados de determinação das perdas de calor, da ventilação e transporte de poluentes, e desenvolvimento de técnicas para monitorização de falhas e optimização dos sistemas dos edifícios e o uso de novas tecnologias de informação para ligar sistemas de gestão de energia em edifícios a centros de monitorização e controlo remotos via Internet. A maior parte do trabalho desenvolvido pela ECBCS é conduzido através da partilha de tarefas nas quais cada país fornece e ao mesmo tempo utiliza recursos do programa.

2.10.1.2 - Anexo 28 da IEA: Low-Energy Cooling (1993-1997)

O objectivo deste projecto era o de analisar o potencial e desenvolver ferramentas e orientação para a aplicação de estratégias alternativas de arrefecimento dos edifícios. O projecto desenvolveu-se em torno de três actividades principais: descrição de estratégias de ventilação *low-energy* (*baixo consumo energético*), desenvolvimento de ferramentas para apoiar estudos deste tipo de sistemas quer em fase de pré-dimensionamento quer em

estudos detalhados e finalmente demonstração dos diferentes sistemas em casos concretos. As técnicas de ventilação passivas estudadas foram: arrefecimento nocturno através de ventilação natural e mecânica, arrefecimento do pavimento através de ar e água usando aquíferos, *disseccant cooling* (arrefecimento por redução da humidade do ar), arrefecimento evaporativo, *chilled ceiling* (arrefecimento através dos elementos de tecto) e displacement ventilation (deslocação do ar interior aumentando as trocas de calor por convecção).

Os resultados deste projecto incluem uma descrição das diferentes estratégias de ventilação low-energy passíveis de utilização, orientações de pré-dimensionamento, ferramentas detalhadas de concepção e descrição de casos de estudo.

A ferramenta de pré-dimensionamento *Nitecool* foi concebida pelo Anexo 28 da IEA e pelo projecto *NatVent*. O programa baseia-se num modelo de ventilação de uma única zona para um típico escritório com dimensões de 10m de largura, 6m de profundidade e 3m de pé direito. O escritório em estudo está localizado no centro de um conjunto de escritórios em banda, localizados no piso intermédio de um edifício com três pisos. O número de Inputs está restringido a 8 variáveis características do edifício (ganhos internos, caudal de infiltração, orientação, factor solar dos envidraçados, inércia térmica, padrão de ocupação, protecção solar e coeficiente de sombreamento), dados climáticos, ventilação diurna, ventilação nocturna e estratégias de controlo. O sistema de arrefecimento para o dia e para a noite pode ser escolhido de forma independente a partir de uma lista de 9 sistemas diferentes entre os quais encontramos a ventilação mecânica, ventilação natural e sistemas de arrefecimento activo. Os resultados fornecidos pelo *Nitecool* são o perfil semanal da temperatura interior, os valores máximo e mínimo da temperatura interior durante a ocupação, a poupança de energia e a poupança decorrente da máxima capacidade de arrefecimento para determinado sistema.

O *Nitecool* inclui também o método Inverso do CIBSE [62] para a concepção das aberturas de ventilação natural, que é composto por um conjunto de tabelas de dimensionamento que permitem determinar a área das aberturas de ventilação para sistemas de ventilação por diferença de pressão, por acção do vento, ou para sistemas que combinem os dois, sendo conhecido o caudal de ar pretendido. Os Inputs são a velocidade do vento no local, o coeficiente de diferença de pressão ao longo do caminho de ventilação, a definição da diferença de temperatura entre interior e exterior e a altura entre a abertura e o nível de pressão neutra, que não é mais que o ponto onde a pressão externa e a pressão interna são iguais.

2.10.1.3 - Anexo 35 da IEA: HybVent (1998-2002)

Projecto cujo nome resulta da abreviação de sistemas de ventilação híbridos que foram definidos como sendo sistemas de ventilação que permitem obter ambiente interior confortável pela combinação de sistemas de ventilação mecânica e natural. Pretendia-se desenvolver estratégias de controlo para sistemas de ventilação híbridos, bem como métodos de previsão de desempenho de sistemas deste tipo.

Os objectivos do projecto traduziram-se em três actividades principais sendo a primeira decorrente do facto de a integração dos sistemas de ventilação natural e mecânica requerer o desenvolvimento de estratégias de controlo para sistemas híbridos. A segunda actividade passou pelo desenvolvimento de métodos de análise para sistemas de ventilação híbridos e finalmente a terceira actividade que consistiu na realização de estudos piloto onde estes sistemas foram monitorizados e as estratégias de controlo e performances foram avaliadas.

2.10.1.4 - AIVC – Air Infiltration and Ventilation Center (desde 1979)

Estabelecido há mais de 20 anos o AIVC fornece suporte técnico na aplicação e investigação sobre infiltração do ar e ventilação. Reconhecendo o impacto significativo da ventilação no consumo de energia, em conjunto com preocupações acerca da qualidade do ar no interior dos edifícios, a IEA, inaugurou o AIVC em 1979 com o objectivo de fornecer à indústria e às organizações de investigação suporte técnico vocacionado para otimizar a tecnologia de ventilação, com um leque de serviços e funcionalidades que inclui bases de dados e publicações. Anualmente a AIVC organiza conferências e workshops, produz uma série de guias e notas técnicas e publica de 4 em 4 meses uma newsletter, que permite manter os leitores actualizados sobre um conjunto de assuntos vasto relacionado com a ventilação. Entre os países fundadores deste organismo contam-se a Bélgica, a República Checa, a França, a Grécia, a Holanda; a Noruega e os Estados Unidos da América.

2.10.2 - EPD – Energy Performance of Building Group

Trata-se de um grupo de investigação pertencente ao *Lawrence Berkley Nacional Laboratory* que vem desenvolvendo, desde o final dos anos 70, técnicas e protocolos de medição bem como procedimentos para descrever dados sobre os edifícios da forma mais adequada. Outra das áreas de estudo tem sido a medição das trocas de ar, nomeadamente pelo uso de gases traçadores. O *Lawrence Berkley Nacional Laboratory* tem igualmente trabalhado em conjunto com a ASTM para desenvolver técnicas de medição da permeabilidade ao ar, fluxos de ar e outras relacionadas com os edifícios. Mais

recentemente os esforços foram concentrados em utilizar dados referentes à permeabilidade ar dos edifícios e combina-los com outros como dados dos censos, dados meteorológicos e de RECS, tendo dado origem a uma base de dados colectiva que contém toda esta informação e que é denominada ResVent. Os dados desta base têm permitido estimar a distribuição dos fluxos de ventilação no interior das habitações, examinar os impactos energéticos associados, analisar custos versus eficácia de medidas de reabilitação, entre outros. Este grupo representa os Estados Unidos da América junto do AIVC (Air Infiltration and Ventilation Center).

2.10.3 - BRE - Building Research Establishment Limited

O BRE pertence à BRE Trust, que é uma organização inglesa de beneficência registada cuja missão é promover a excelência e a inovação no ambiente construído. Esta organização está a desenvolver um projecto de investigação denominado *NatVent* cujo objectivo é a redução do consumo de energia e consequentemente das emissões de CO₂ em edifícios. Para isso pretendem, por um lado, encontrar soluções para as barreiras que dificultam a utilização da ventilação natural e do arrefecimento com baixo consumo de energia em países com climas moderados e por outro lado, encorajar e acelerar o uso da ventilação natural em edifícios novos e a reabilitar;

Este projecto está vocacionado para países com um Inverno pouco rigoroso e com um Verão com temperaturas não muito elevadas e em que o sobreaquecimento devido aos ganhos solares e ganhos internos pode ser significativamente reduzido através de uma concepção adequada de sistemas de ventilação natural. O desenvolvimento de soluções de ventilação para áreas urbanas em que as fontes externas de poluição e barulho são elevadas é também uma prioridade. O projecto pretende contribuir para um melhor conhecimento das barreiras e das possibilidades subjacentes à aplicação dos sistemas de ventilação natural em edifícios de escritórios.

2.10.4 - Projecto Passive-On (2005-2006)

Projecto coordenado pelo grupo de investigação *Efficiency Research Group* do Instituto Politécnico de Milão. O projecto pretendia expandir o conceito da Casa Passiva, especialmente para o Sul da Europa, regiões em que o consumo energético doméstico não resulta somente dos gastos com aquecimento no Inverno, mas também, e em alguns dos casos mais significativamente, na promoção do arrefecimento no Verão. No âmbito do projecto desenvolveu-se um modelo que foi denominado “Casa Passiva” devido aos ganhos de calor passivos – provenientes do exterior devidos à radiação solar através dos vãos

envidraçados e originados no interior pelos equipamentos e ocupantes – que são suficientes para manter o edifício com temperaturas interiores confortáveis durante a estação de aquecimento. Pretende-se que o modelo da Casa Passiva seja definido de modo a que os custos extra da construção decorrentes do seu uso sejam recuperados num período de tempo razoável através da redução da factura energética para o aquecimento num clima típico do norte da Europa. As soluções adoptadas são integradas na fase de projecto não diferindo significativamente das práticas construtivas usuais em termos estéticos, de disposição em planta ou de processos construtivos. Estas soluções podem assim ser bem aceites pelos moradores e atractivas para os promotores. O projecto tem três objectivos principais, que são fornecer orientações de projecto para arquitectos e designers para o desenvolvimento de Casas Passivas economicamente viáveis, com baixo investimento inicial, energeticamente eficientes em todas as estações, em climas com necessidades de aquecimento e arrefecimento. As directrizes serão dirigidas aos gabinetes de arquitectura pequenos e com baixos recursos para o desenvolvimento de projectos inovadores e que tendem a manter soluções tradicionais. Uma parte integral das directrizes de projecto é o programa Pacote de Planeamento da Casa Passiva (PHPP) desenvolvido pelo Instituto Passivhaus da Alemanha. O Projecto Passive-On tentará alargar o programa PHPP ao cálculo das cargas de arrefecimento e analisar soluções passivas de arrefecimento. Ao estender o conceito da Casa Passiva à região Mediterrânica, o projecto avaliará a presente definição do modelo de Casa Passiva, e como este poderá ser modificado para ter em consideração as cargas de arrefecimento e outras necessidades energéticas das habitações. Um outro objectivo é o de fornecer à Comissão Europeia um relatório do alcance e estratégia onde pretende examinar o potencial tal como os meios de atingir uma difusão maior de casas passivas.

Finalmente o projecto tem como objectivo disseminar o conceito de Casas Passivas nos países parceiros de projecto a profissionais da área (arquitectos, projectistas e governo local). O projecto prevê a realização em cada país parceiro de um seminário técnico e de um seminário final abrangendo todos os grupos alvo.

2.10.5 – SAVE

O programa SAVE é o principal foco de atenção da Comunidade Europeia em termos de acção não tecnológica na eficiência energética. É o único programa em toda a união dedicado exclusivamente a promover a eficiência energética e a encorajar o comportamento economizador de energia nos sectores da indústria, comércio e no sector doméstico bem como nos transportes e nas medidas políticas, informação, estudos e acções piloto e a

apoiar a criação de agências de gestão de energia a nível local e regional. O primeiro programa SAVE desenvolveu-se entre 1991 e 1995, tendo sido seguido pelo programa SAVEII e que foi desenvolvido entre 1996 e 2000. Em Fevereiro de 2000 o programa SAVE foi integrado no Programa Quadro da Energia, que delineia a estratégia comunitária para o período de cinco anos entre 1998 e 2002. Em Abril de 2002 a comissão aprovou a proposta para o sucessor do programa SAVE, o "Intelligent Energy for Europe", a desenvolver entre 2003 e 2006. Este programa cobre 4 principais áreas a saber:

- Novas fontes de energia e energias renováveis – ALTENER;
- Eficiência energética, com especial destaque para os sectores dos edifícios e indústria – SAVE;
- Aspectos energéticos relacionados com os transportes – STEER;
- Cooperação com países em vias de desenvolvimento – COOPENER.

Com um orçamento global de 250 milhões de euros, o Intelligent Energy Europe co-financia diversas actividades que apoiam os objectivos do programa e consequentemente a política da união para o sector energético. No âmbito do programa SAVE destaca-se o projecto URBACOOOL – Energy Efficient Cooling Systems and Techniques for Urban Buildings, cujo objectivo geral é estudar e propor soluções para ar condicionado com baixo consumo de energia no denso ambiente urbano europeu.

2.10.6 - PASCOOL (1992 – 1995)

Este programa teve como principal objectivo desenvolver técnicas, ferramentas e orientações de projecto de forma a promover a aplicação das técnicas de arrefecimento passivo nos edifícios. Como resultados deste projecto contam-se uma ferramenta de pré - dimensionamento, *Lesocool*, uma ferramenta de análise, *Passport-air*, e ainda uma rotina para cálculo do coeficiente de pressão, *Cp-Calcul*.

O software *Lesocool* foi desenvolvido pelo LESO-PB, *Solar Energy and Physics Laboratory of the Swiss Federal Institute of Technology* e permite avaliar o risco de sobreaquecimento e o potencial de arrefecimento através da ventilação. Trata-se de uma ferramenta de simulação multi-zona de pré-dimensionamento e permite prever a evolução de temperatura interior e do potencial de arrefecimento da ventilação nocturna. Este modelo simplificado inclui três componentes: o modelo de ventilação, o modelo de armazenamento de calor e ainda o modelo de transferência de calor. Tratando-se de um modelo simplificado apresenta duas principais limitações. Por um lado o facto de permitir apenas um único caminho para a deslocação de ar ao longo do edifício e por outro lado o facto de o modelo térmico considerar que o comportamento em regime dinâmico é determinado pela camada limite do

elemento de armazenamento de calor e assim não sendo por isso necessário definir a espessura das paredes.

O software *Passport-air* foi desenvolvido para calcular os caudais de ar em edifícios com sistemas de ventilação natural. Funciona com base num modelo de rede.

Finalmente o *Cp-Calc* tem como função fornecer dados realistas do coeficiente de pressão (C_p) ao software *Passport-air* e foi desenvolvido com base em curvas de regressão do coeficiente de pressão obtidas através da experimentação em túnel de vento.

2.10.7 - AIOLOS (1995 – 1997)

Projecto destinado à criação de material educacional específico para assegurar o uso de sistemas de ventilação natural nos edifícios.

Os resultados deste projecto incluem um manual sobre ventilação onde se discutem os princípios básicos da ventilação natural bem como se dá uma perspectiva sobre os métodos de previsão e técnicas de diagnóstico existentes. Nele se discutem ainda as principais barreiras, orientações de projecto, soluções técnicas e casos de estudo de aplicações práticas. A ferramenta de cálculo AIOLOS permite calcular os caudais de ar em edifícios com sistemas de ventilação natural e tem por base o programa de cálculo *Passport-air*. Os países alvo deste projecto têm um Verão moderado, em que o sobreaquecimento provocado pelos ganhos solares e internos pode ser reduzido pela implementação dos sistemas acima referidos.

2.10.8 - NATVENT (1994-1998)

Projecto destinado a ultrapassar as principais barreiras que se colocam à implementação de sistemas de ventilação natural e de *low-energy cooling* em países com clima moderado. O projecto foi dividido em três actividades principais, sendo a primeira a identificação das principais barreiras à implementação de sistemas de ventilação natural. A segunda actividade consistiu em avaliar o desempenho de sistemas de ventilação natural para arrefecimento já implantados e finalmente a terceira actividade consistiu em desenvolver sistemas inteligentes de ventilação natural e outros componentes de modo a ultrapassar as barreiras identificadas.

Como resultado do projecto identificaram-se algumas das principais barreiras à implementação de sistemas de ventilação natural. Para isso realizaram-se entrevistas junto de arquitectos, engenheiros, construtores, entidades governamentais, proprietários e promotores, que revelaram falta de conhecimento e de experiência na utilização dos sistemas de ventilação natural em edifícios de escritórios quando comparado com o

conhecimento e experiência na utilização de sistemas de ventilação mecânica. Adicionalmente verificou-se a dificuldade de obter informação acerca de normas, métodos de concepção e casos de estudo que incidam sobre os sistemas de ventilação natural.

2.10.9 - URBVENT: Natural Ventilation in Urban Areas – Potential Assessment and Optimal Façade Design (1998-2002)

O projecto de pesquisa URBVENT teve como objectivo avaliar o potencial de poupança de energia decorrente do uso de sistemas de ventilação em alternativa a sistemas de ar-condicionado e das alterações deste potencial decorrentes da localização dos edifícios em ambiente urbano. O projecto URBVENT introduziu um método baseado na temperatura interior de um edifício sem sistemas de condicionamento térmico que, em combinação com os critérios climáticos e de conforto permite determinar as necessidades de energia para arrefecimento e o potencial de arrefecimento através da ventilação. A filosofia do projecto é a de usar capacidades e conhecimentos distribuídos de forma a obter soluções energeticamente eficientes e de baixo custo, em alternativa ao uso de soluções dispendiosas e com grande consumo energético.

A base do plano de trabalho do projecto é a cooperação entre laboratórios de investigação das universidades e centros de pesquisa, que representem utilizadores finais industriais, para produzir conhecimento acessível aos especialistas europeus.

3. - Factores que Condicionam a Ventilação Natural

Como vimos a ventilação natural, e a eficácia dos sistemas que a têm por base, são condicionados por diferentes factores, que podemos incluir em dois grupos:

- clima exterior - temperatura, radiação solar e vento;
- parâmetros arquitectónicos - características do local de implantação, exposição ao vento das fachadas, forma do edifício, tipologia, dimensões das aberturas exteriores e interiores, inércia térmica e a organização interna de espaços;

3.1 – Clima e microclima

As condições atmosféricas num determinado instante podem ser definidas como *tempo*. Designa-se usualmente por *clima* as condições médias do *tempo* ao longo de um período alargado, para uma determinada região. Os principais elementos que caracterizam o *clima* e o *tempo* são a temperatura do ar, a radiação solar, a percentagem de vapor de água (humidade e precipitação) e o vento. Variações na quantidade, intensidade e distribuição espacial no planeta dos elementos caracterizadores do *tempo* levaram à definição de diferentes tipos de *clima*, como por exemplo o clima tropical, temperado ou outros.

Dentro de uma região particular verificam-se desvios relativos ao clima de uma determinada localização para outra, a poucos quilómetros de distância, formando um padrão climático de pequena escala, designado de microclima. O microclima é afectado pelos seguintes parâmetros: topografia, estrutura do solo, grau de impermeabilização do solo e formas urbanas.

As formas urbanas modificam o clima da cidade, criando o que designamos por clima urbano, com características que o diferenciam das zonas rurais que o rodeiam. O espaço criado pelos edifícios nas zonas urbanas desde a base até à sua cobertura é designado de canyon urbano, sendo o volume de ar em torno da cidade, que é afectado por esta, a camada limite urbana. A variação na altura dos edifícios e na velocidade do vento altera o limite superior dos canyons urbanos de uma zona para outra. As necessidades de energia dos edifícios para garantir o conforto são assim afectadas pelas condições climáticas dominantes no desfiladeiro urbano em que se inserem, podendo ser diversas das da zona urbana.

Do ponto de vista da concepção deve ser tido em conta que o clima em determinado local deriva do microclima e do clima urbano. Assim, uma análise sistemática do clima deve ser o primeiro passo na concepção, de forma a garantir a resposta adequada do edifício à

solicitação climática devendo em seguida ser efectuados os ajustes adequados para adaptar o edifício às condições microclimáticas.

3.2 – Clima Urbano

O clima em ambiente urbano é consideravelmente diferente do clima das zonas rurais que o rodeiam, uma vez que as zonas urbanas são mais quentes. Este efeito é designado de ilha de calor urbano estando o aumento da temperatura nas cidades durante o Verão compreendido entre 1 e 4,5° C. As formas urbanas, a estrutura das cidades e o calor libertado pelos veículos são as principais causas deste fenómeno.

A diferença do clima entre zonas urbanas e rurais resulta da forma como a radiação solar recebida é tratada em cada um dos casos. As zonas rurais caracterizam-se pela existência de grandes áreas de vegetação e cultivo, que possuem grande capacidade de absorção da radiação solar, que é usada para evapotranspiração, diminuindo a temperatura das imediações e libertando vapor de água. Adicionalmente, a radiação solar absorvida pela terra é parcialmente usada para o processo de evaporação da água que esta contém, processo que mantém a superfície e o ar em contacto com ela a temperatura moderada. Já no caso das cidades existem áreas reduzidas de vegetação existindo uma grande concentração de materiais artificiais, que possuem grande absorção. A radiação solar absorvida e armazenada na estrutura dos edifícios é radiada de volta para o ambiente no final do dia. Nos casos em que a altura dos edifícios é semelhante, as perdas por radiação através da cobertura dos edifícios são aproximadamente da mesma magnitude das perdas que ocorrem através das aberturas na envolvente. Já no caso de edifícios com alturas diferentes, os de altura superior bloqueiam o céu e reduzem a quantidade de reflexão solar e a radiação de grande comprimento de onda desde os edifícios de menor altura, e assim mesmo durante a noite as superfícies verticais perdem menos calor por radiação para o céu, devido ao efeito de bloqueio dos edifícios mais altos. Adicionalmente, a configuração dos canyons urbanos funciona como bloqueio aos ventos dominantes, impedindo a remoção do calor gerado no interior dos mesmos, sendo a velocidade do vento na cidade, em termos gerais, 25% inferior à verificada em espaço aberto.

Adicionalmente, a poluição do ar nas cidades cria uma camada que bloqueia a radiação nocturna desde a cidade para a atmosfera, e contribui assim para aumento do efeito da ilha de calor.

3.3 - O Vento no Ambiente Urbano

A existência de numerosos obstáculos no ambiente urbano faz aumentar a rugosidade do solo quando comparado com o ambiente rural e em consequência, faz aumentar significativamente o efeito de fricção no fluxo de ar. A variação vertical da velocidade do vento como função da natureza do solo aplica-se à cidade a partir de alturas aproximadamente iguais ao dobro da altura média dos telhados. Abaixo desta altitude situam-se a sub camada viscosa e a camada de transição, onde o fenómeno de viscosidade e as características locais prevalecem. É por esta razão que a previsão de fluxos locais urbanos é praticamente impossível.

A própria cidade irá introduzir modificações na camada atmosférica limite. Para ventos fortes a moderados, e para uma mesma altura acima do solo (20m) observa-se uma redução de 20 a 30% na velocidade média do vento observada quando nos deslocamos do campo para a cidade. Concorrentemente, a intensidade de turbulência aumenta entre 50 a 100%. Devido ao vento forte a fricção do ambiente urbano cria uma rotação ciclónica do fluxo [1].

Um outro efeito do ambiente urbano na camada limite, no caso de ventos moderados, é o de provocar um movimento ascendente do ar, podendo esta velocidade vertical chegar a 1m/s.

Os ventos fracos são 5 a 20% mais frequentes na cidade que no campo. No entanto, para velocidades do vento inferiores a um limite de 4 m/s, a velocidade do vento é mais elevada no centro que na periferia da cidade. Este facto pode atribuir-se por um lado à turbulência gerada por numerosos obstáculos e, por outro lado, ao estado relativamente instável que caracteriza a camada do ambiente urbano quando comparada com a atmosfera rural.

Verifica-se um aumento da temperatura do centro da cidade relativamente às zonas rurais e como consequência o ar converge para o centro da cidade induzido pelo gradiente de pressões induzido pela diferença de temperatura horizontal. A continuidade do fluxo gera um movimento ascendente do ar, que termina a determinada altura. A brisa do campo, que sopra geralmente no final da tarde e início da manhã pode chegar aos 2 a 3 m/s.

3.4 – Distribuição das aberturas

A eficácia dos sistemas de ventilação natural dos edifícios depende do adequado conhecimento do fluxo de ar em torno do edifício e dos obstáculos existentes na envolvente, bem como das estratégias de concepção adoptadas de forma a potenciar a ventilação. O objectivo principal de um sistema de ventilação natural é o de ventilar a maior parte possível do espaço interior, objectivo que está condicionado pela localização das aberturas, organização interior dos espaços e características do vento no local.

A figura 3.1 ilustra o fluxo de ar em torno de um edifício sem aberturas. À medida que o fluxo de ar passa pelo edifício cria-se uma pressão positiva na fachada barlavento. O vento é desviado e uma pressão negativa é criada ao longo das fachadas laterais devido à velocidade elevada do fluxo ao longo das mesmas.

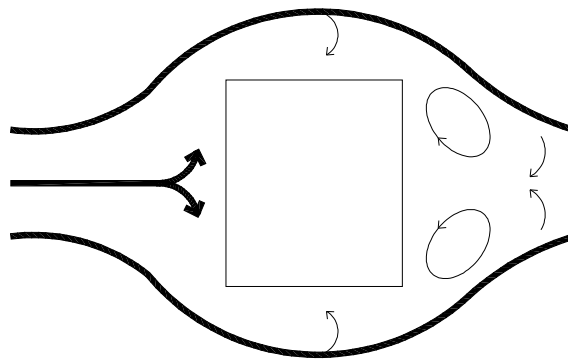


Figura 3.1 – Fluxo de ar em torno do edifício (Planta) (Adaptado de [80])

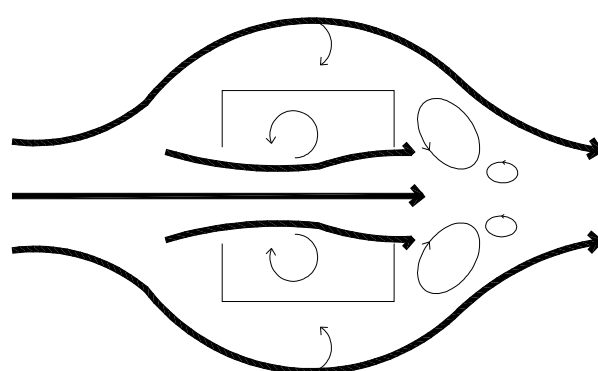


Figura 3.2 – Ventilação através de aberturas a barlavento e sotavento (Planta) (Adaptado de [80])

A figura 3.2 evidencia o caso de um edifício com uma zona única onde ocorre ventilação cruzada devido à existência de duas janelas, uma a barlavento e outra a sotavento. Este sistema de ventilação cruzada pode ser melhorado se a janela a sotavento for substituída por duas janelas a colocar em ambas as fachadas laterais, com áreas iguais e cuja soma das áreas é igual à da abertura de entrada. Neste caso consegue-se uma maior recirculação do ar no compartimento. Este sistema permite tirar melhor partido da ventilação natural para uma gama mais alargada de possíveis direcções do vento.

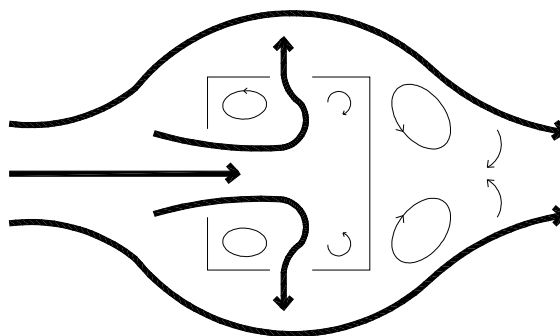


Figura 3.3 – Ventilação através de aberturas a barlavento e laterais (Planta) (Adaptado de [80])

O fluxo de ar num sistema de ventilação natural é significativamente influenciado pelas características do terreno nas imediações do edifício. A distância da esteira na fachada a barlavento de um edifício depende da forma do edifício e da direcção do vento. Para uma habitação típica o seu comprimento médio é aproximadamente quatro vezes a sua altura.

Tendo em conta que a distância entre edifícios na generalidade dos casos em zona urbana é inferior a este valor, um edifício que ficar localizado na esteira de outro será fracamente ventilado.

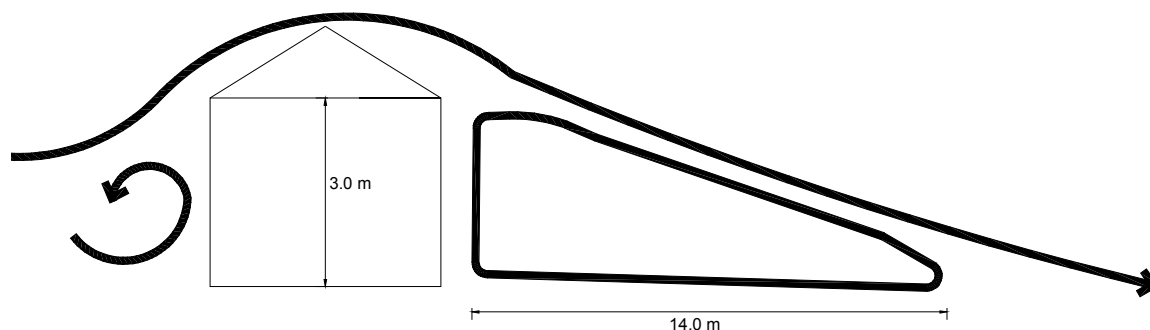


Figura 3.4 – Esteira de uma habitação típica (Adaptado de [80])

Muitas das habitações construídas actualmente possuem apenas uma fachada exterior. A ventilação destes espaços será muito reduzida caso estes tenham apenas uma abertura, podendo ser melhorada pela colocação de duas aberturas suficientemente afastadas na fachada exterior.

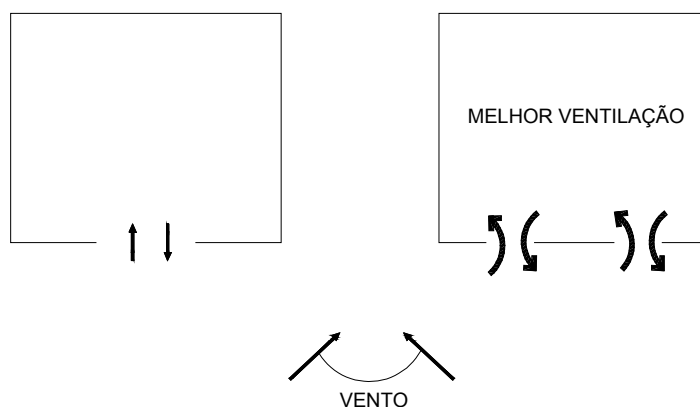


Figura 3.5 – Ventilação Unilateral (Adaptado de [80])

A melhoria na ventilação deste espaço será ainda mais otimizada se colocarem palas verticais. O papel destas palas em termos de ventilação é o de criar uma pressão positiva numa das aberturas e uma pressão negativa na outra, de forma a induzir a ventilação cruzada. As janelas de batente com abertura para fora comportam-se de forma semelhante. Esta técnica é eficaz quando a direcção do vento está entre os 20 e os 160°.

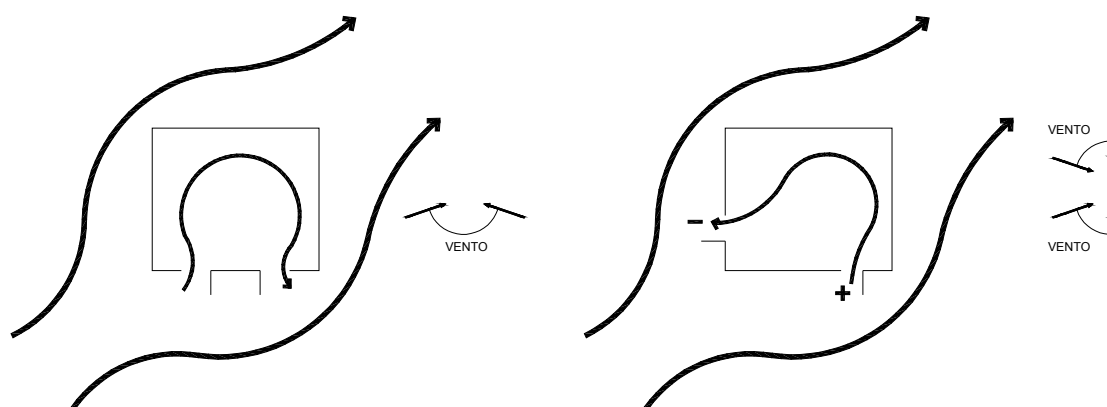


Figura 3.6 - Impacto das palas verticais na ventilação unilateral (esq.) e ventilação cruzada (dir.) (Adaptado de [80])

O posicionamento destas palas é crítico para o sucesso destes sistemas. Cada configuração conduz a velocidades do vento optimizadas para uma banda específica da direcção do vento. Assim, a direcção predominante do vento é uma importante característica do microclima em torno do edifício, e deve ser tida em conta na definição do posicionamento das palas. A seguinte figura evidencia o fluxo de ar para duas configurações diferentes. No segundo caso a ventilação é menos eficiente, pelo facto de se criarem pressões positivas em ambas as aberturas, impedindo assim a circulação do ar e confinando o fluxo às áreas junto das janelas.

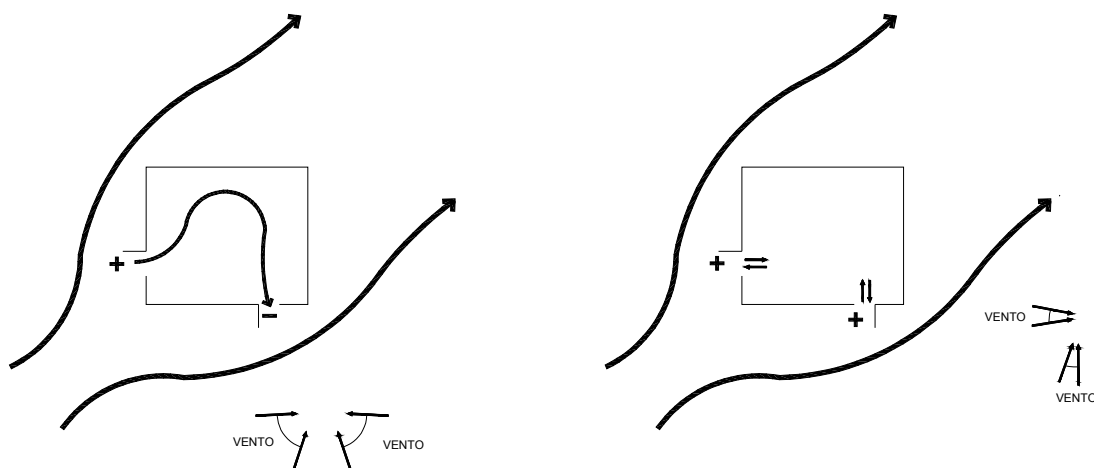


Figura 3.7 - Ventilação cruzada com recurso a palas laterais – fluxo de ar elevado (esq.) e ventilação cruzada com recurso a palas laterais – fluxo de ar reduzido (dir.) (Adaptado de [80])

Comparando as configurações das figuras 3.7 esquerda e figura 3.8, verifica-se que a circulação de ar abrange uma maior área de espaço interior no caso de as janelas se encontrarem mais espaçadas.

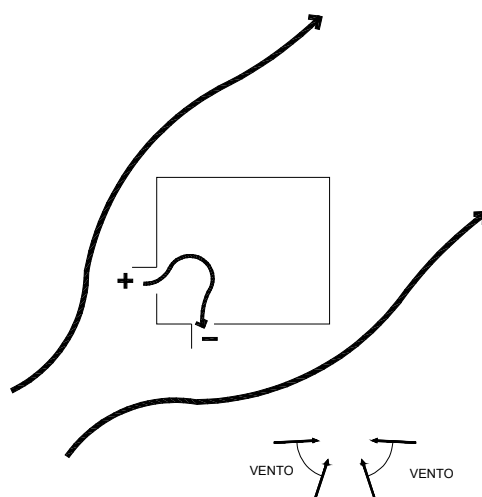


Figura 3.8 - Ventilação cruzada com recurso a palas laterais – janelas a curta distância (Adaptado de [80])

As dimensões das palas verticais variam de acordo com a largura das aberturas, sendo a situação óptima a de desenvolvimento da pala igual à largura da janela, e sendo a mínima recomendada igual a metade da largura da mesma. Elementos como árvores ou arbustos podem funcionar como barreira e desviar a direcção do vento, produzindo um efeito semelhante ao destas palas.

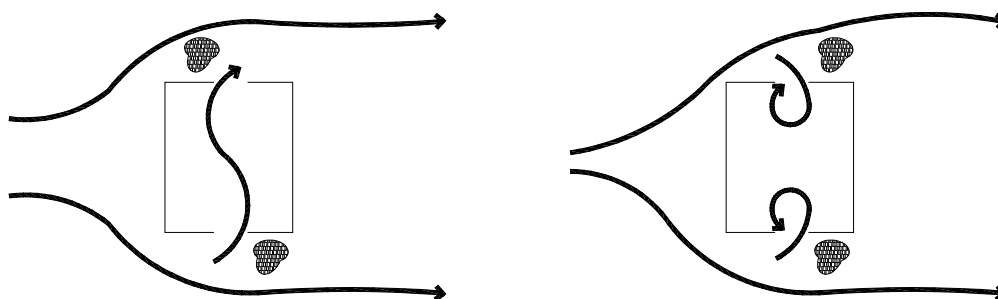


Figura 3.9 – Árvores ou arbustos que actuam como palas verticais (Adaptado de [80])

3.5 – Inércia Térmica

A temperatura interior é influenciada pelos parâmetros climáticos exteriores (radiação solar, temperatura exterior e vento) e por cargas internas muito variáveis (actividade dos ocupantes, iluminação artificial, equipamentos). Sob condições de livre flutuação, o edifício funciona sem o auxílio de qualquer sistema mecânico para extrair o ar dos espaços interiores. As condições no interior são determinadas por um conjunto de fenómenos físicos complexos, ainda que naturais, que se desenrolam entre o ambiente interior e exterior na envolvente do edifício e também no seu interior. As perdas e ganhos de calor entre o

ambiente interior e exterior ocorrem por condução, convecção e radiação. Fenómenos semelhantes ocorrem no espaço interior, como resultado da carga interior e das trocas de calor para e entre os elementos do edifício. Estes fenómenos resultam numa rede de balanço térmico que determina as condições do ar interior.

As condições no interior estão directamente relacionadas com as condições predominantes no exterior, verificando-se assim variações na temperatura, com ocorrência de picos na altura mais desfavorável do dia, ao meio-dia e no início da tarde. Durante este período, as elevadas temperaturas no exterior impedem o recurso a sistemas passivos de arrefecimento, como a ventilação natural. Em consequência, de forma a manter o conforto térmico durante este período, poderá ser necessário remover o excesso de calor no espaço imediatamente após a sua entrada, através de um sistema mecânico com consequente gasto de energia. Este sistema necessitará possuir grande capacidade que lhe permita fazer face aos curtos períodos em que a carga de arrefecimento atinge valores de pico. Este problema torna-se ainda mais relevante em edifícios com grandes aberturas. Os ganhos solares através das janelas do edifício, o calor conduzido através dos elementos opacos e os ganhos internos são úteis para o aquecimento passivo no Inverno mas são indesejados nos meses de Verão. O papel da radiação solar para garantir iluminação natural para os ocupantes dos edifícios deve ser, apesar tudo, sempre tido em consideração.

De forma a reduzir a temperatura do ar interior e a carga de arrefecimento de pico e para transferir a carga para uma hora mais avançada do dia, é possível armazenar calor nos materiais com maior massa que compõem a envolvente e os elementos de compartimentação, que podem ser referidos como massa térmica. Na generalidade dos casos esta é composta pelas paredes, coberturas, pavimento e partições internas dos edifícios, habitualmente construídas com materiais com grande capacidade de reter calor, como o betão ou os tijolos cerâmicos.

A massa térmica do edifício tem um papel positivo nas condições do ambiente interior quer durante o Inverno quer durante o Verão. A energia proveniente dos ganhos solares durante o dia é armazenada sendo posteriormente restituída de forma progressiva ao ambiente interior. No Inverno, o calor armazenado é enviado para o ambiente interior no final da tarde e primeiras horas da noite, altura em que ele é mais necessário, satisfazendo assim uma parte da carga de aquecimento necessário e evitando também o sobreaquecimento e desconforto dos períodos de elevada radiação solar, mesmo no Inverno. No Verão o calor é armazenado ao longo do dia na massa térmica, reduzindo assim os picos de carga de arrefecimento. Uma pequena parte da carga será eventualmente removida do espaço pelo sistema de climatização enquanto a maior parte dos ganhos provenientes do exterior e do

interior ficarão contidos na massa térmica da envolvente. O calor será posteriormente e de forma progressiva restituído ao interior. O balanço total entre ganhos e perdas no final do dia será o mesmo, no entanto, ocorrerá um deslocamento temporal na altura do dia em que se regista a carga de pico, uma redução da carga de pico e o adiamento do período do dia em que se dá a transferência do calor armazenado nos materiais para o interior.

Um outro efeito positivo da inércia térmica elevada é o atraso temporal no fluxo de calor. O calor transferido pelo material que compõe a envolvente exterior de um edifício, cuja face exterior se encontra a uma temperatura mais elevada que a temperatura do ar interior irá numa primeira fase elevar a temperatura do elemento da envolvente e só depois será transferido para o ambiente interior. O intervalo de tempo até que o fluxo de calor se dê através do elemento depende da sua resistência térmica, parâmetro que descreve a oposição dos materiais e espaços de ar à transferência de calor.

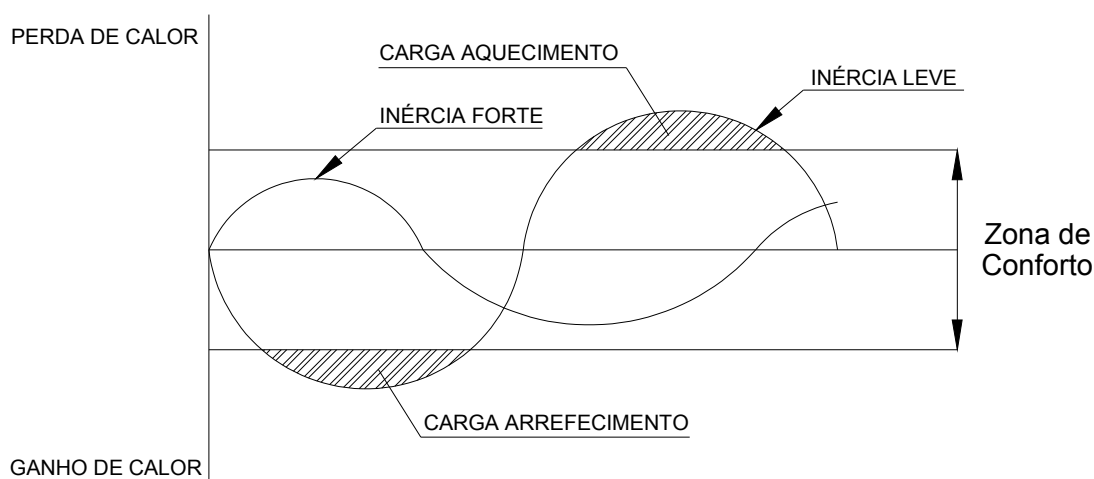


Figura 3.10 – Carga diária de aquecimento e arrefecimento para um edifício com inércia Fraca ou Forte (Adaptado de [80])

4. - Efeito da Ventilação Natural no Comportamento dos Edifícios no Verão

4.1 – Carga de Arrefecimento

Carga de arrefecimento é a quantidade de energia que é necessário remover do edifício de forma a manter as condições de temperatura e humidade no interior dentro de um intervalo desejável. O período de arrefecimento depende da localização e assim varia muito de local para local. Na generalidade das localizações no hemisfério Norte, esse período vai desde Maio a Setembro.

As condições do ambiente interior são influenciadas pelas características do clima exterior e pelas fontes de calor internas. A carga de arrefecimento depende das características térmicas da envolvente do edifício e da diferença entre as condições no interior e no exterior. Um adequado conhecimento das características dos diferentes elementos da envolvente é assim um requisito essencial para determinar com exactidão a carga de arrefecimento.

As características topográficas e arquitectónicas do edifício, como a sua orientação e localização geográfica, a existência e características de edifícios da envolvente ou outras obstruções e as condições climáticas do local permitem avaliar a relação do edifício com a radiação solar incidente. Os pormenores arquitectónicos podem igualmente fornecer informações importantes. O tipo, número e dimensão das aberturas determinam a quantidade de radiação solar que entra no edifício. A descrição dos elementos do edifício é necessária para calcular a quantidade dos ganhos de calor conduzidos do exterior para o interior durante o dia e das perdas de calor, ocorridas em sentido contrário durante a noite. O tipo de construção permite ainda determinar o volume de infiltração de ar no edifício e o conhecimento dos dispositivos de admissão/extracção de ar permite conhecer o volume de ar de ventilação.

É também necessário conhecer as características operacionais e o tipo de edifício para proceder ao cálculo dos ganhos internos no mesmo. Dados relativos ao número de ocupantes, nível de actividade e horas de ocupação permitem determinar os ganhos internos devidos aos ocupantes bem como as necessidades de renovação de ar. O tipo, potência e número de equipamentos em funcionamento no período de ocupação permitem determinar os ganhos internos dos equipamentos e finalmente o tipo, potência e sistemas de iluminação artificial, e o período em que eles permanecem ligados permite determinar os ganhos internos devidos à iluminação.

A carga de arrefecimento do edifício varia constantemente, de acordo com a variação temporal dos diferentes parâmetros que a influenciam. Em termos práticos a determinação

do valor máximo da carga de arrefecimento é usada para dimensionar o sistema de arrefecimento, enquanto a carga de arrefecimento média mensal é usualmente determinada para avaliar requisitos de arrefecimento e o impacto de diferentes medidas para a sua redução.

4.2 – Factores que Influenciam a Carga de Arrefecimento

4.2.1 - Introdução

A carga de arrefecimento do edifício resulta dos ganhos de calor instantâneos transmitidos por convexão para o ar interior. O calor deve ser removido do espaço interior de forma a manter a temperatura no interior constante, o que constitui a chamada *carga de arrefecimento sensível*. As condições de conforto no interior são também influenciadas pelo teor de humidade do ar, devendo o seu valor ser mantido dentro de limites apropriados. Assim, o excesso de vapor de água deve ser removido do ar interior o que constitui a chamada *carga de arrefecimento latente*.

Quanto aos ganhos, entende-se por ganhos de calor sensíveis o aumento de temperatura do ar interior, enquanto os ganhos de calor latentes ocorrem quando vapor de água é acrescentado ao ar. O calor que entra no edifício provém de três tipos de fontes: internas, externas e ventilação. A carga de arrefecimento proveniente de fontes externas ocorre devido à radiação solar conduzida através dos elementos do edifício e da radiação solar que entra através das aberturas na envolvente.

Para determinadas condições do clima exterior o edifício deixa de ter ganhos passando a ter perdas de calor para o exterior, que tal como os ganhos, se dão através da envolvente opaca, dos elementos transparentes e da ventilação.

4.2.2. – Fontes Externas

4.2.2.1 - Radiação Solar Conduzida Através dos Elementos Opacos do Edifício

A radiação solar que incide na envolvente exterior do edifício (paredes, cobertura), em conjunto com as elevadas temperaturas do ar exterior, provocam um fluxo de ar para o interior do edifício. As superfícies expostas ao ambiente exterior registam variações na sua temperatura de acordo com as variações na temperatura do ar. Dependendo da sua orientação, do tipo de sistemas de sombreamento, da hora do dia e da estação do ano, os elementos expostos do edifício recebem também grandes quantidades de radiação solar. Uma porção da radiação solar incidente é reflectida ou absorvida pelo material, dependendo das características da sua camada exterior. A radiação solar absorvida aumenta a

temperatura da camada exterior do material e como consequência verificam-se diferenças de temperatura entre a superfície exterior, a superfície interior e o ambiente. As condições fronteira interiores e exteriores influenciam a quantidade e intensidade do calor transferido.

O calor é conduzido através do material, ou transmitido ao ar exterior por convexão ou radiação. O fluxo de calor transmitido ao ar exterior por convexão depende da velocidade do vento, e o calor conduzido ao exterior por radiação depende da temperatura da superfície e das superfícies e temperaturas exteriores nas imediações.

A temperatura da face exterior depende da quantidade de radiação solar incidente que é absorvida pela superfície e do balanço de entre condução, convexão e radiação de calor. A temperatura da face interior das paredes depende da quantidade de calor conduzido desde a face exterior, transmitido por convexão desde a superfície interior para o ar interior e radiado da superfície interior. O mobiliário interior e as fontes de calor no interior podem igualmente contribuir. Assim, a temperatura superficial dos elementos e o fluxo de calor através dos componentes do edifício não permanece constante.

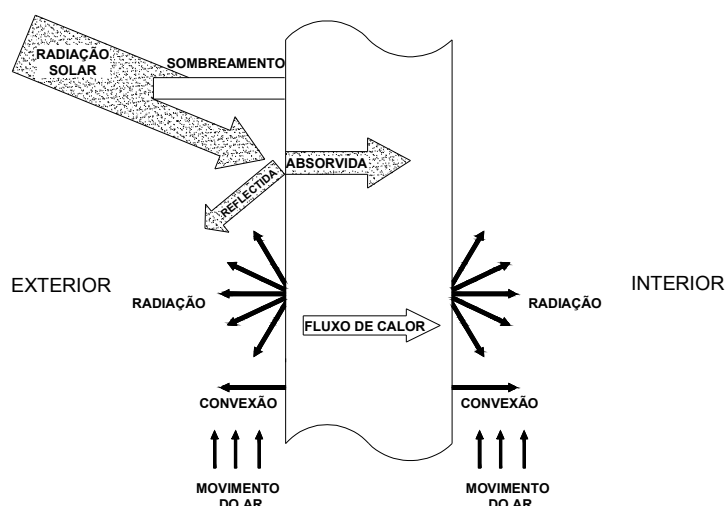


Figura 4.1 – Mecanismo de transferência de calor entre espaço exterior e interior através de um elemento de envolvente opaco (Adaptado de [80])

4.2.2.2 - Radiação Solar através dos Elementos Transparentes da Envolvente

A radiação solar de pequeno comprimento de onda entra no espaço interior através das superfícies transparentes como portas ou janelas envidraçadas. O calor transferido através dos elementos transparentes é função das características de radiação térmica do material. No caso destes materiais não está relacionada com a sua capacidade de armazenamento térmico uma vez que a sua massa e absorção são baixas. A radiação solar que entra no espaço é absorvida pelas superfícies e elementos presentes no interior, não tendo efeito na temperatura interior até algum tempo depois. A energia radiante é primeiro absorvida pelas

superfícies do espaço interior, como paredes, tectos e partições internas, e pelo mobiliário e outros objectos interiores. Em consequência a sua temperatura aumenta até que em determinado instante eles atingem uma temperatura superior à do ar interior, momento a partir do qual o calor é transmitido por radiação e convecção das superfícies para o ar interior.

A quantidade de radiação solar é reduzida pelo uso de dispositivos de sombreamento exteriores ou interiores, por edifícios na vizinhança ou outros obstáculos, pela adequada distribuição das aberturas e pela selecção cuidada de materiais com características de desempenho óptico e térmico adequadas.

4.2.3 – Fontes Internas

Os ganhos internos provêm de qualquer fonte que gere calor no interior do edifício. Eles dependem do tipo e do uso a que se destina o edifício. Na generalidade dos casos, os ganhos internos são originados pelos ocupantes, pela iluminação artificial, ou por qualquer outro equipamento mecânico ou eléctrico em funcionamento.

- Ocupantes – o corpo humano, através do metabolismo gera calor que é libertado para o ambiente por radiação, convecção e evaporação a partir da pele, e por evaporação e convecção através da respiração. A quantidade de calor gerado e libertado depende das condições do ambiente interior e do nível de actividade dos ocupantes;
- Iluminação artificial – Os aparelhos de iluminação convertem a energia eléctrica em luz e calor. Parte do calor gerado é radiante e é inicialmente armazenado na envolvente interior. É de notar que no período de ocupação do edifício durante o dia, o uso da totalidade dos equipamentos é pouco provável, no entanto, na generalidade dos casos, os níveis de iluminação natural durante o dia podem não ser suficientes para determinadas tarefas, e assim mesmo durante o dia alguns equipamentos de iluminação estarão ligados.
- Equipamentos eléctricos e mecânicos – O funcionamento de aparelhos mecânicos ou eléctricos produz calor que é libertado para o espaço. Para atender ao facto de a probabilidade de funcionamento de todos os aparelhos em simultâneo ser baixa é comum adoptar um coeficiente de simultaneidade na sua consideração para o cálculo dos ganhos de calor que deles resultam.

Dependendo do uso a que se destina o edifício a parcela dos ganhos internos pode ser significativa. Grandes edifícios de escritórios, com grande número de ocupantes e forte recurso a iluminação artificial, dotados de grande número de equipamentos terão elevados ganhos internos, enquanto nos edifícios habitacionais de pequena dimensão essa parcela será pouco significativa.

4.2.4 – Ventilação Natural

O tipo de construção de cada edifício determina a quantidade de ar que se infiltra nos espaços interiores através de frinchas, ou através de aberturas como portas ou janelas. O ar entra no edifício, como resultado das diferenças de pressão induzidas nas superfícies exteriores do edifício e da velocidade do vento. A infiltração de ar quando a temperatura exterior é superior à temperatura interior contribui para um aumento da carga de arrefecimento.

Pelo contrário, quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior, a entrada de ar de ventilação, através de aberturas para o efeito permite remover ar interior que se encontra a uma temperatura superior, contribuindo assim para a redução da carga de arrefecimento.

5. - Estudo paramétrico

5.1 – Âmbito

Realizou-se um estudo paramétrico com o objectivo de quantificar a influência de diferentes estratégias de ventilação natural na carga de arrefecimento e número de horas de sobreaquecimento no interior do edifício ou na temperatura no seu interior, determinando de que forma eles são afectados pelas características da envolvente exterior e do clima local acima descritas. Assim, estabeleceram-se diferentes Grupos de Análise para cada um dos factores a avaliar, dentro dos quais se estabeleceram diferentes cenários que foram simulados com o auxílio de programas de cálculo.

Quadro 5.1 - Grupos de Análise propostos no âmbito do estudo paramétrico

Grupo de Análise	Descrição
Grupo de Análise 1 (GA1)	Avaliar influência de diferentes áreas de abertura de janelas e diferentes horários de ventilação na redução da carga de arrefecimento;
Grupo de Análise 2 (GA2)	Avaliar influência da localização das aberturas na redução da carga de arrefecimento para diferentes configurações da fracção autónoma;
Grupo de Análise 3 (GA3)	Avaliar influência da orientação das fachadas exteriores e das aberturas relativamente à direcção dos ventos dominantes e o seu impacto na carga de arrefecimento;
Grupo de Análise 4 (GA4)	Avaliar influência da inércia térmica do edifício na máxima temperatura no interior do mesmo.

5.2 – Software de cálculo AIOLOS

Este software permite calcular os caudais de ar globais em cada zona simulada bem como calcular os caudais de ar através de cada uma das aberturas interiores e exteriores. Permite ainda realizar análises de sensibilidade para investigar o impacto de parâmetros específicos na ventilação natural e também desenvolver processos de optimização para definição das dimensões apropriadas para as aberturas de forma a conseguir caudais de ar óptimos.

O software dispõe de um modelo térmico associado que permite analisar o impacto das várias estratégias de ventilação no desempenho térmico do edifício, nomeadamente pelo cálculo do número de horas de sobreaquecimento e da carga de arrefecimento.

Os modelos que combinam o cálculo da energia com o cálculo de movimento de fluidos podem ser distinguidos pelos diferentes tipos de relação estabelecida entre eles: agrupamento sequencial, ping-pong ou anel. No caso do software AIOLOS a ligação entre os dois modelos é do tipo agrupamento sequencial. Neste método os fluxos de ar são

calculados numa primeira fase, com temperatura interior fornecida, sendo os resultados posteriormente fornecidos ao modelo térmico [96]. Esta é a forma de ligação mais básica, uma vez que não existe retorno de informação do modelo térmico para o modelo de fluxo de ar.

O modelo térmico associado ao AIOLOS é um modelo de uma única zona, simula o edifício como uma zona única, independentemente do número de zonas que foram descritas no módulo da ventilação. A transferência de dados é feita através de comunicação interna entre os dois módulos do programa, sendo transferidos dados relativos às características geométricas e ao fluxo de ar do edifício.

O modelo térmico calcula a carga de arrefecimento do edifício no período considerado e com base na temperatura de conforto definida, determina qual o número de horas de sobreaquecimento, que corresponde ao número de horas em que a temperatura estará acima deste valor

Como foi referido no Ponto 2.2, o coeficiente de pressão C_p , é um coeficiente adimensional que tem em conta as alterações na pressão induzida pelo vento que ocorre por influência das obstruções da envolvente nas características do vento dominante no local. Toma valores diferentes dependendo da orientação do vento, orientação das fachadas do edifício, topografia e rugosidade do terreno. A determinação deste coeficiente é um dos mais difíceis aspectos dos modelos de infiltração do ar. O programa de cálculo utilizado, AIOLOS, possui uma rotina, $C_p\text{Calc}$ associada, a qual recorre ao modelo desenvolvido por Grosso [97] que tem por base uma análise paramétrica a partir de resultados de testes realizados em túneis de vento, levados a cabo por Hussein e Lee [98] e Akins e Cermak [99]. O modelo consiste em relacionar o coeficiente de pressão num modelo, à escala, de um edifício de forma rectangular com vários parâmetros que o influenciam, e que se agrupam em três categorias:

- **Parâmetros climáticos** que incluem o expoente da lei de potência do perfil do vento (α) e o ângulo de incidência do vento (α_{nw});
- **Parâmetros relativos à envolvente do edifício** que incluem a densidade de área plana envolvente (ρ_{ad}) e a altura relativa do edifício (ρ_{bh}). A densidade de área plana envolvente define-se como a razão entre a área do edifício e a área total de construção. A altura relativa do edifício é a razão entre a altura do edifício e a altura dos edifícios circundantes, admitindo que estes são todos rectangulares e com a mesma altura.

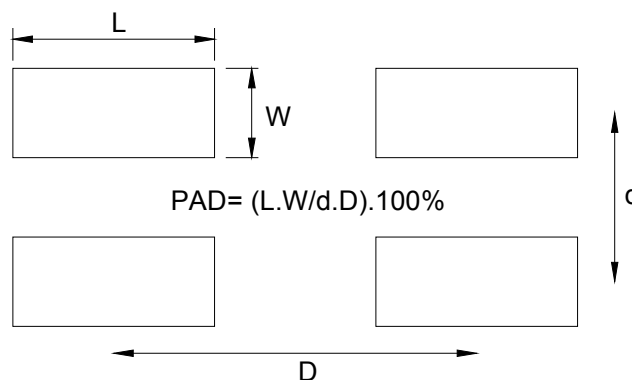


Figura 5.1 – Cálculo de PAD

-Parâmetros relativos ao edifício que incluem o rácio de aspecto frontal (far) e lateral (sar) do edifício, a posição relativa vertical (zh) e horizontal (xl). O rácio de aspecto frontal e lateral define-se como a razão entre a largura da fachada frontal e lateral, respectivamente, e a altura das mesmas. A posição relativa vertical e horizontal de determinado elemento de fachada é definida com relação a um determinado ponto de referência na fachada como se evidencia na figura 5.2.

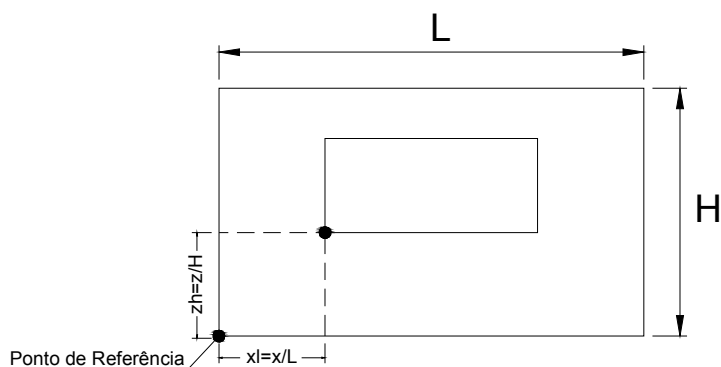


Figura 5.2 – Posicionamento do elemento na fachada

Neste método foram usadas como referência as gamas de parâmetros comuns a ambos os testes em túnel de vento atrás referidos. Os testes correspondem ao perfil de C_p na vertical que passa no centro das fachadas barlavento e sotavento de um modelo com vento perpendicular às fachadas, com uma envolvente tipicamente suburbana.

Este método apresenta algumas limitações, não podendo ser aplicado em situações de:

- elevada rugosidade do terreno ($\alpha=0,33$) e/ou elevada densidade do terreno na envolvente ($PAD > 50$);
- edifícios da envolvente com configuração irregular;
- edifícios da envolvente com $PAD > 12,5$, sempre que o edifício tem altura diferente dos que o rodeiam ou uma forma que não cúbica;

- edifícios com altura superior a quatro vezes a altura dos edifícios circundantes ou inferior a metade da altura dos edifícios circundantes.
- edifícios com forma irregular ou corpos salientes.
- edifícios com configuração regular com rácio de aspecto inferior a 0,5 ou superior a 4.

5.3 – Software de cálculo LESOCOOL

O Lesocool é uma ferramenta que permite calcular o efeito de arrefecimento provocado pela ventilação natural, particularmente durante a noite, ao longo de um único caminho dentro de um edifício. O caminho do fluxo de ventilação pode ser dividido em diferentes zonas ligadas em série. Para um valor de ganhos internos fornecido o programa calcula a variação da temperatura interior, permitindo fazer a comparação dos valores da temperatura interior ao longo de um intervalo de 24 horas, para diferentes estratégias de ventilação, diferentes áreas de aberturas e diferentes materiais que compõem a envolvente. [100]

Apesar de não utilizar um modelo global permite realizar estudos paramétricos para avaliar o potencial de arrefecimento passivo através da ventilação natural. Assim, contempla apenas os parâmetros que afectam de forma significativa o potencial de arrefecimento.

O programa tem em conta o facto de o comportamento térmico dinâmico ser determinado pela primeira camada do elemento com capacidade térmica de armazenamento e assim, por simplificação, a espessura da parede não é um dos dados necessários. Esta aproximação faz com que o programa não seja adequado para simulações de períodos de tempo muito superiores a 24 horas.

5.4 – Grupo de Análise 1 (Área de abertura de janelas e diferentes horários de ventilação)

No primeiro grupo de análise pretende-se avaliar as diferenças em termos de conforto e de carga de arrefecimento que resultam da abertura das janelas em percentagem variável, para diferentes períodos de abertura possíveis. As simulações foram realizadas supondo diferentes localizações, mais concretamente adoptaram-se localizações correspondentes às diferentes zonas climáticas que dividem o país segundo o RCCTE [101]: Porto (V1), Bragança (V2) e (Évora V3).

Neste âmbito propuseram-se os seguintes cenários:

Quadro 5.2 - Cenários propostos no Grupo de Análise 1

GRUPO DE ANÁLISE 1 (GA1)	
Cenário	Descrição
Cenário 1	Todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia;
Cenário 2	Abertura de 20% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 3	Abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 4	Abertura de 5% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 5	Abertura de 3% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 6	Abertura de 2% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 7	Abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$ entre as 9 e as 19 horas.
Cenário 8	Abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$ e excepto no período entre as 9 e as 19 horas.

5.4.1 – Fracção Tipo

As simulações foram realizadas com base numa fracção tipo com características representativas do tipo de construção corrente no nosso país e de tipologia T3.

A fracção em causa tem um pé direito de 3,0m estando a base das janelas de 1,0 m de altura situada 1,0m acima do nível do pavimento e a base das janelas de 2,0m de altura situada ao nível do pavimento.

A fracção encontra-se dividida em sete zonas, conforme se evidencia na Figura 5.3.

Tal como foi referido na introdução, não consideraremos, nos exemplos apresentados, a existência de grelhas de admissão de ar nem de condutas de extracção, a fim de avaliarmos, individualmente, o potencial de arrefecimento conseguido pela simples abertura de janelas. Como foi já referido para os espaços interiores do edifício deverá estar sempre garantido o caudal mínimo de ventilação, garantindo assim um número de renovações horárias que assegurem as adequadas condições de qualidade do ar. Assim, o presente estudo, se aplicado a uma situação real, deverá ser entendido como um acréscimo de ventilação relativamente a esse valor de ventilação base que, por simplificação, não foi considerado.

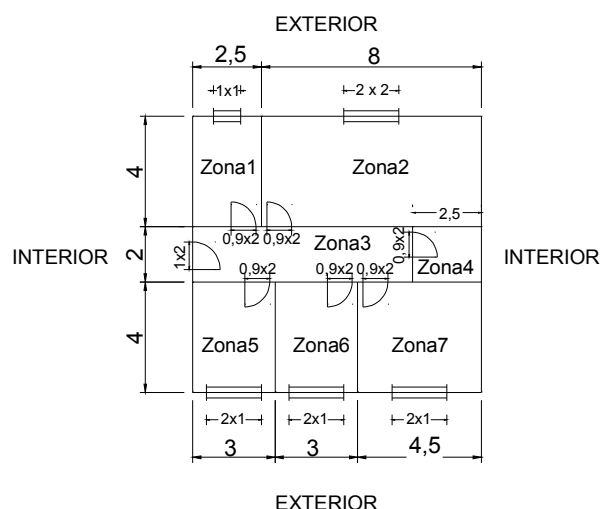


Figura 5.3 – Representação esquemática da fracção tipo em estudo no Grupo de Análise 1

5.4.2 – Dados Climáticos

Para realizar as simulações é necessário fornecer aos programas de cálculo dados climáticos relativos às diferentes localizações a estudar que se pretende sejam o mais correctos possível. Os dados climáticos podem assumir diferentes formatos e fontes, podendo resultar de medições efectuadas no local ou na sua proximidade ou até ser dados gerados através de software específico para o efeito, com base em cálculos estatísticos.

Os ficheiros utilizados foram os disponibilizados pelo programa ENERGYPLUS (http://www.eren.doe.gov/buildings/energy_tools/energyplus/cfm/weatherdata_int.cfm)

Este programa possui ficheiros climáticos para localizações nos Estados Unidos da América e também para algumas outras localizações, entra as quais Portugal. Estes ficheiros fornecem a informações em formato EPW e provêm do IWECC (International Weather for Energy Calculations), sendo resultado de um projecto desenvolvido pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) baseado nas informações climáticas existentes no Centro Nacional de Dados Climáticos dos Estados Unidos da América. Estes ficheiros possuem dados adequados à simulação energética de edifícios, tendo por base medições horárias efectuadas durante dezoito anos.

Estes ficheiros dispõem de um vasto conjunto de dados para as diferentes localizações os quais foram tratados de forma a poderem ser processados pelo software de cálculo a usar, sendo que os dados fornecidos ao programa AIOLOS foram os valores médios horários característicos da temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$), velocidade do vento (m/s), direcção do vento (0 a 360°) e radiação total (W/m^2), para um período de um ano.

5.4.3 – Período de Análise

Para a fracção acima definida foram então simulados os cenários propostos explicitados. Tendo em conta que estamos a realizar um estudo de tendência, essencialmente comparativo, procurou-se realizar a simulação para um conjunto de dias que fizessem parte da estação de arrefecimento, que não fosse demasiado extenso, uma vez os cenários de avaliação propostos são variados, tendo-se optado por escolher um conjunto de dez dias consecutivos. O critério adoptado foi, para cada uma das localizações, escolher o conjunto de dez dias consecutivos com temperatura média diária mais elevada.

Quadro 5.3 - Período de análise para as diferentes localizações

Localização	Período de Análise
Porto	Dia 215 (2 de Agosto) até dia 224 (11 de Agosto);
Bragança	Dia 197 (15 de Julho) até dia 206 (24 de Julho);
Évora	Dia 215 (2 de Agosto) até dia 224 (11 de Agosto);

Para podermos compreender os resultados das simulações importa primeiro caracterizar o período que estamos a analisar para cada uma das localizações.

Quadro 5.4 - Valores médios diários da temperatura e velocidade do vento para as diferentes localizações para cada dia do período de simulação

PORTO			BRAGANÇA			ÉVORA		
Dia	Temperatura média diária (°C)	Velocidade média do vento diária (m/s)	Dia	Temperatura média diária (°C)	Velocidade média do vento diária (m/s)	Dia	Temperatura média diária (°C)	Velocidade média do vento diária (m/s)
215	17,13	2,79	197	22,29	1,83	215	21,95	5,38
216	18,78	2,65	198	23,69	2,58	216	23,90	6,25
217	21,24	0,84	199	22,72	4,03	217	20,32	6,76
218	20,50	1,97	200	21,71	3,88	218	22,22	6,78
219	17,57	2,08	201	21,93	2,55	219	25,48	6,20
220	19,48	2,94	202	23,50	2,04	220	27,41	5,83
221	23,45	2,28	203	26,83	2,18	221	28,66	5,30
222	25,45	1,65	204	27,44	2,31	222	29,44	3,70
223	21,30	1,11	205	26,31	2,65	223	28,24	2,81
224	17,75	2,73	206	23,73	3,41	224	25,38	3,99

Traduzindo estes dados de forma gráfica verificamos que, como seria de esperar a localização com menor valor da temperatura exterior é o Porto, sendo Évora a localização a

que corresponde na maior parte dos dias a temperatura mais elevada, e assim sendo Bragança a localização com valor intermédio de temperatura exterior.

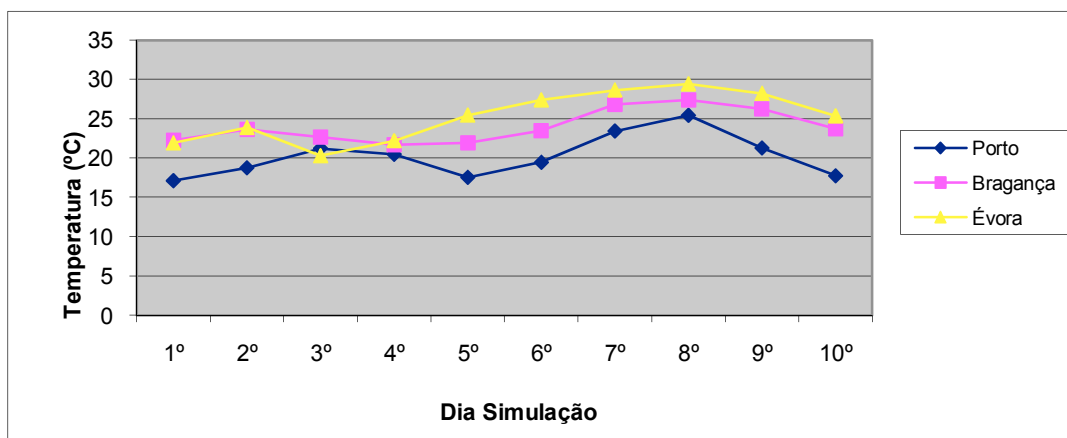


Figura 5.4 – Temperatura média diária (°C) para as diferentes localizações para cada dia do período de simulação

Relativamente à velocidade do vento verificamos, uma vez mais, que o menor valor médio corresponde ao caso do Porto. Verifica-se que no caso de Évora o valor da velocidade do vento é muito superior ao das restantes localidades, exceptuando nos dias finais no período de análise.

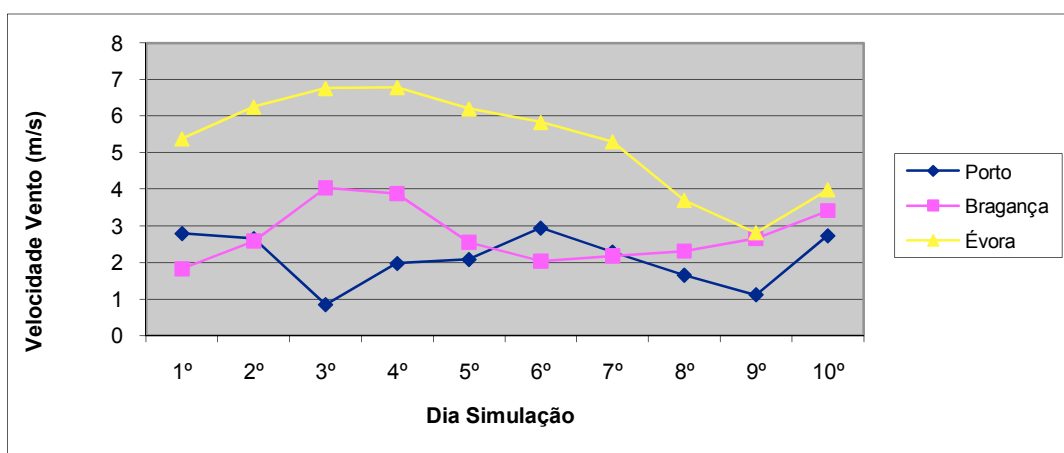


Figura 5.5 – Velocidade média diária do vento (m/s) para as diferentes localizações para cada dia do período de simulação

Para além da velocidade do vento é igualmente importante conhecer a sua direcção. Nesse sentido representou-se graficamente o número de horas de ocorrência de cada direcção do vento para as diferentes localizações e para o período de análise correspondente a cada uma delas.

Assim, verificamos que para a localização Porto a direcção dominante do vento é Norte/Noroeste.

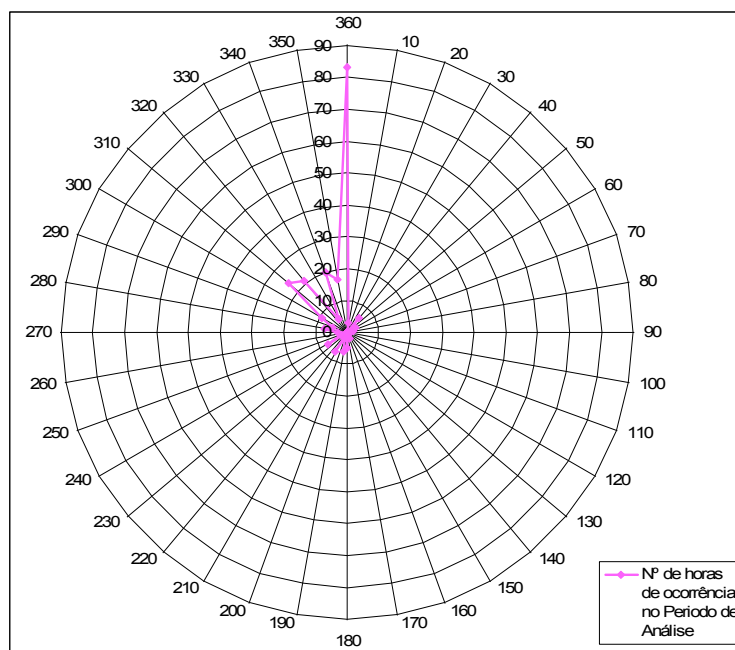


Figura 5.6 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Porto, durante o período de análise

Considerando agora a localização Bragança, verificamos que o Norte e o Oeste são as direcções predominantes do vento.

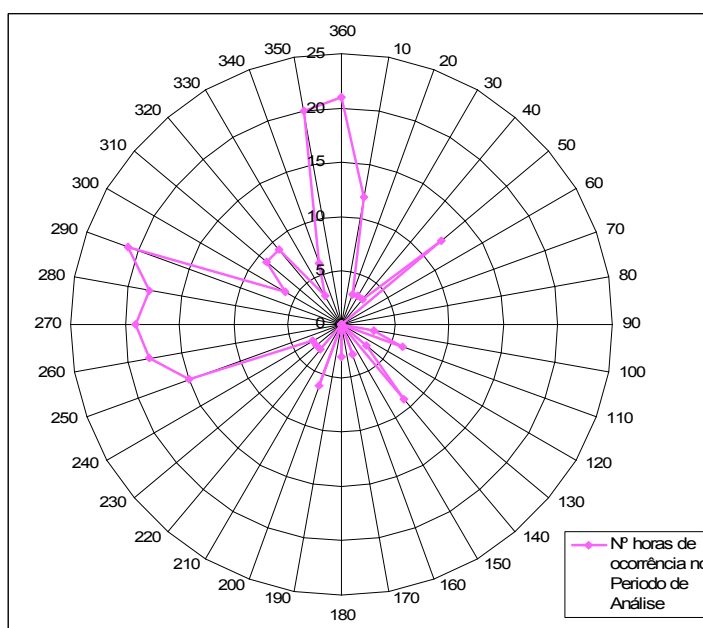


Figura 5.7– Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Bragança, durante o período de análise

Finalmente no caso de Évora a representação gráfica da direcção do vento aponta Noroeste como a direcção predominante do vento.

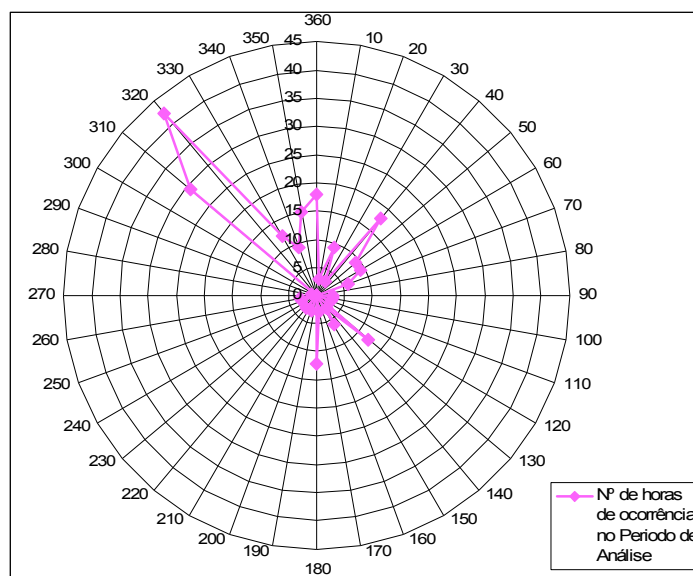


Figura 5.8 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Évora, durante o período de análise

5.4.4 – Critério de Limitação

A abertura das janelas permite reduzir a carga de arrefecimento através da redução da temperatura interior, que ocorre pela entrada de ar vindo do exterior a uma temperatura mais baixa. No entanto a abertura das janelas provoca movimento do ar no interior e, caso a velocidade do ar seja muito elevada vai também provocar desconforto. O potencial de arrefecimento da ventilação natural terá assim que ser enquadrado dentro de limites razoáveis da velocidade do ar no interior do edifício.

Segundo a norma de conforto ISSO-7730 a velocidade do ar no interior dos edifícios no Verão, para temperaturas entre 23 e 26° C, deverá ser inferior a 0,25m/s. Estudos recentes têm vindo a demonstrar que valores superiores a este conduzem a intervalos de conforto mais alargados. Os procedimentos para determinação da velocidade do ar e variações de temperatura no interior dos edifícios são fornecidos na norma 113 da ASHRAE [102], da qual foi extraída a Figura 5.9.

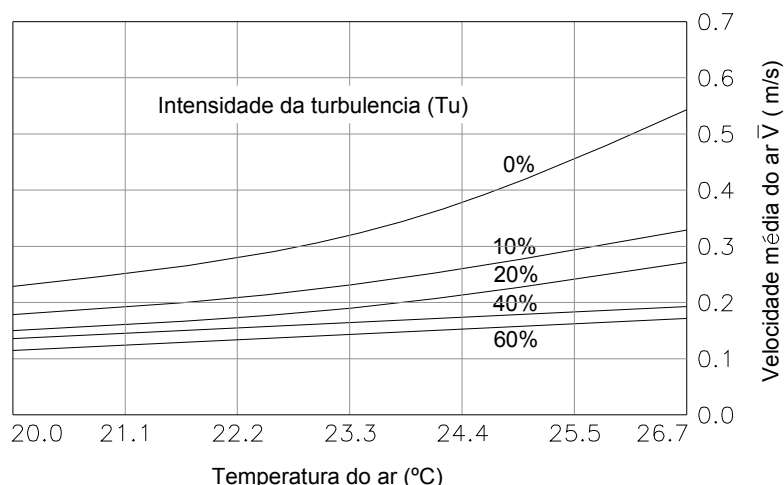


Figura 5.9 – Velocidade média do ar admissível no interior do edifício em função da temperatura do ar e da intensidade de turbulência [102]

Definiu-se assim a velocidade de 0,5m/s como o máximo valor admissível para a velocidade do ar no interior do edifício.

Tendo em conta os resultados que nos são fornecidos pelo AIOLOS teremos assim que relacionar a velocidade do ar com o caudal de ar fornecido pelo programa, ou com o número de renovações horárias.

Se partirmos da equação do caudal $Q \text{ (m}^3/\text{s)} = U \text{ (m/s)} \times S \text{ (m}^2)$ e a aplicarmos à abertura através da qual se faz a passagem do ar vem:

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = \text{N}^\circ \text{ renovações hora (1/h)} \times \text{Volume compartimento (m}^3) \quad (5.1)$$

ou ainda

$$Q \text{ (m}^3/\text{s)} = \text{Velocidade do ar (m/s)} \times \text{Área da secção de passagem do ar (m}^2) \quad (5.2)$$

Atendendo a que estamos a estabelecer um limite máximo para a velocidade do ar junto da secção de passagem, que esta está situada a uma altura acima da zona onde se prevê a permanência de pessoas e que este valor da velocidade diminui à medida que o ar progride na direcção da saída do compartimento, iremos considerar o limite atrás referido como o valor máximo na zona central do compartimento, onde se prevê maior probabilidade de permanência de pessoas. Considerou-se que o valor máximo da velocidade junto da secção de passagem será igual ao dobro deste valor e assim iremos limitar o número de renovações horárias admissíveis em cada compartimento com base numa velocidade máxima na secção de entrada do ar de 1,0m/s.

$U = \text{velocidade do ar} < 1,00 \text{ m/s} = 1,00 \times 3600 \text{ m/h} = 3600 \text{ m/h}$

$$N^\circ \text{ renovações hora (1/h)} < \frac{3600 \text{ m/h} \times \text{Área da secção de passagem do ar (m}^2\text{)}}{\text{Volume do compartimento (m}^3\text{)}} \quad (5.3)$$

Caso exista mais que uma abertura em cada zona deverá ser tomado o menor valor da área da secção de passagem uma vez que será o mais condicionante.

Para cada um dos cenários propostos e para cada zona teremos um valor do número máximo de renovações horárias admissível de acordo com o critério estabelecido. Se considerássemos, por exemplo, um determinado compartimento com um volume de 30 m^3 com uma janela para o exterior, parcialmente aberta numa área de 2m de largura por 0,1m de altura e uma porta de comunicação para o interior com 1m de largura por 2m de altura, o número de renovações horárias máximo admissível seria:

$$N^\circ \text{ renovações} < \frac{3600 \times (2 \times 0,1)}{30} = 24$$

Nesse caso deveríamos considerar a janela como sendo a abertura mais condicionante uma vez que possui menor área que a porta.

5.4.5 – Exemplo de Cálculo

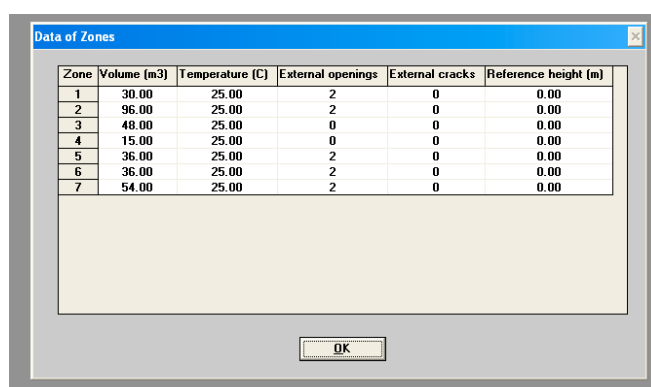
Apresenta-se em seguida um exemplo das simulações realizadas, que pretende ilustrar o processo adoptado. A simulação em questão corresponde ao cenário de abertura de 10% da área das janelas (cenário 3) para o dia 217 (4 de Agosto) para a localização Porto.

Time	Air Temperature (degC)	Wind Velocity (m/s)	Wind Direction (0-360)	Total Radiation (W/m^2)
1	14.1	0	0	0
2	12	0	0	0
3	16.2	0	0	0
4	16.1	0	0	0
5	16.1	0	0	0
6	16	0	0	10.8
7	18.2	0.5	0	234
8	20.4	1	0	846
9	22.6	1.5	330	1573.2
10	24	2.1	240	2242.8
11	25.3	2.3	240	2786.4
12	26.6	2.6	270	3146.4
13	25.7	2.4	270	3297.6
14	24.9	2.3	270	3186
15	24	2.1	290	2620.8
16	23.5	1.8	290	2077.2
17	23	1.5	350	1429.2
18	24.8	0	0	774

Figura 5.10 - Dados climáticos correspondentes ao dia 217 para a localização Porto

Definiram-se no programa as diferentes zonas que compõem a fracção tipo tendo-se considerado para a temperatura interior o valor de 25°C.

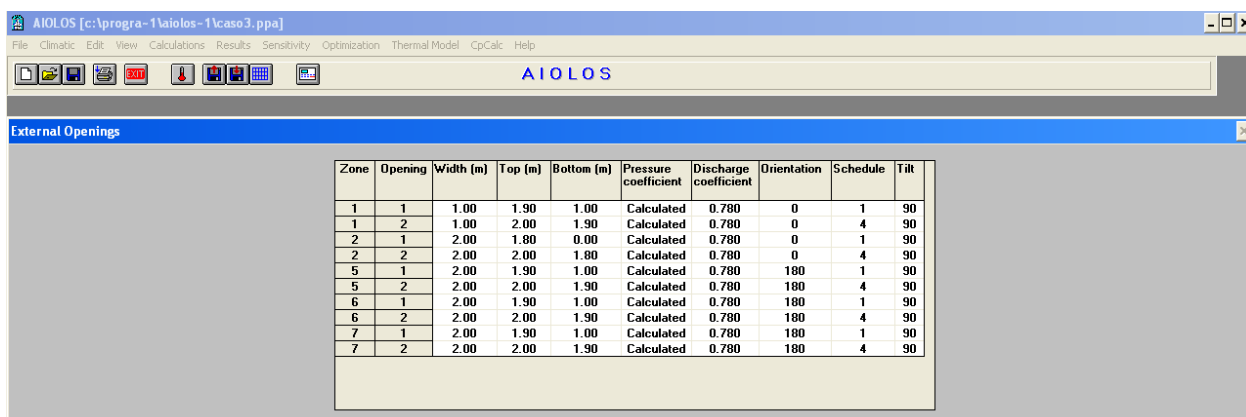
Para cada uma das zonas o programa permite definir qual o número de aberturas exteriores e qual o número de orifícios exteriores, que são aberturas de pequena dimensão e cuja largura máxima deverá ser de 10cm. No presente estudo não se considerou a existência de qualquer orifício. Relativamente às diferentes zonas que compõe a fracção em estudo é ainda necessário definir a altura de referência, que indica se as zonas se situam todas à mesma cota ou a cotas diferentes. Esta altura de referência não está relacionada com a altura da fracção em estudo relativamente ao solo mas sim pretende estabelecer a relação entre as cotas das diferentes zonas.



Zone	Volume [m3]	Temperature [C]	External openings	External cracks	Reference height [m]
1	30.00	25.00	2	0	0.00
2	96.00	25.00	2	0	0.00
3	48.00	25.00	0	0	0.00
4	15.00	25.00	0	0	0.00
5	36.00	25.00	2	0	0.00
6	36.00	25.00	2	0	0.00
7	54.00	25.00	2	0	0.00

Figura 5.11– Caracterização das diferentes zonas com definição da temperatura interior, número de aberturas para o exterior e altura de referência

Em seguida definiram-se as características das aberturas exteriores. No cenário em estudo pretendemos que em determinadas horas 10% da área das janelas esteja aberta e assim definiu-se cada abertura exterior como duas aberturas diferentes, em que uma corresponde a 90% da área e a outra a 10%, de forma a simularmos a percentagem de abertura pretendida. Este critério foi adoptado em virtude de o programa funcionar com base num horário de abertura definido pelo utilizador que está associado a cada abertura exterior. Na definição das aberturas exteriores, para além das suas características geométricas e da sua orientação define-se ainda qual será o coeficiente de pressão, que no presente caso será calculado através da rotina associada ao programa, CpCalc, que já foi descrita. Define-se ainda o coeficiente de descarga das aberturas, cujo significado já foi igualmente abordado, e que se considerou igual a 0,78. Como se evidencia na figura seguinte, nas simulações que se apresentam no Grupo de Análise 1, a fachada que possui duas janelas está voltada a Norte (que corresponde a considerar orientação 0 para as aberturas das zonas 1 e 2).

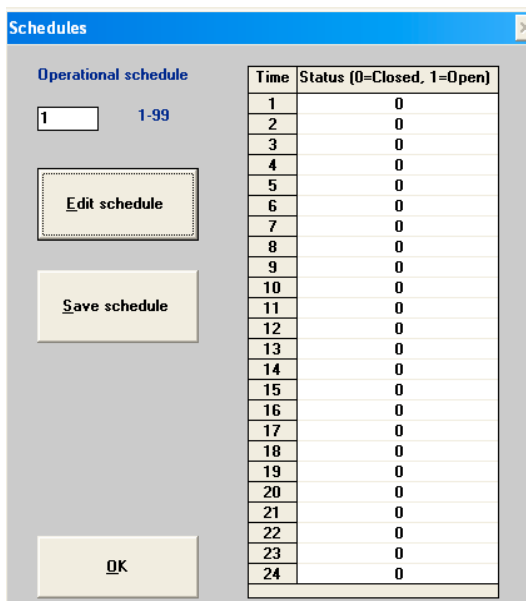


Zone	Opening	Width (m)	Top (m)	Bottom (m)	Pressure coefficient	Discharge coefficient	Orientation	Schedule	Tilt
1	1	1.00	1.90	1.00	Calculated	0.780	0	1	90
1	2	1.00	2.00	1.90	Calculated	0.780	0	4	90
2	1	2.00	1.80	0.00	Calculated	0.780	0	1	90
2	2	2.00	2.00	1.80	Calculated	0.780	0	4	90
5	1	2.00	1.90	1.00	Calculated	0.780	180	1	90
5	2	2.00	2.00	1.90	Calculated	0.780	180	4	90
6	1	2.00	1.90	1.00	Calculated	0.780	180	1	90
6	2	2.00	2.00	1.90	Calculated	0.780	180	4	90
7	1	2.00	1.90	1.00	Calculated	0.780	180	1	90
7	2	2.00	2.00	1.90	Calculated	0.780	180	4	90

Figura 5.12 – Caracterização das diferentes aberturas exteriores com definição da sua geometria, coeficiente de descarga, orientação e inclinação e do seu horário de abertura

Vemos assim que a zona a abrir nas diferentes aberturas correspondente a 10% da área é uma faixa no topo, com largura igual à da janela, às quais corresponde o horário de abertura (*Schedule* na designação do programa) 4. O horário de abertura correspondente às restantes aberturas exteriores é o 1.

Assim o horário de abertura 1 foi definido como:



Time	Status (0=Closed, 1=Open)
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0

Figura 5.13 – Horário de abertura do tipo 1 a aplicar às aberturas exteriores que deverão permanecer fechadas durante todo o dia

Como vimos o cenário em estudo consiste em abrir 10% da área das aberturas exteriores, quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior. Tendo em conta que estamos a fazer uma análise para uma temperatura interior constante ao longo do dia de 25°C e conhecidos os dados da temperatura exterior para o Porto para o dia em análise

conclui-se que o período de fecho das janelas deverá ser entre as 11 e as 13 horas, e assim o horário de abertura do tipo 4 deverá ser:

Time	Status (0=Closed, 1=Open)
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	0
12	0
13	0
14	1
15	1
16	1
17	1
18	1
19	1
20	1
21	1
22	1
23	1
24	1

Figura 5.14 – Horário de abertura do tipo 4 a aplicar às aberturas exteriores que deverão permanecer fechadas entre as 11 e as 13 horas do dia 217

É ainda necessário definir as aberturas interiores entre as diferentes zonas a simular. Considerou-se um coeficiente de descarga de 0,78 para as aberturas interiores, à semelhança do que havia sido considerado para as aberturas exteriores, e ainda que estas permanecem abertas durante todo o dia.

First zone	Second zone	Width (m)	Top (m)	Bottom (m)	Discharge coefficient
1	3	0.90	2.00	0.00	0.780
2	3	0.90	2.00	0.00	0.780
3	4	0.90	2.00	0.00	0.780
3	5	0.90	2.00	0.00	0.780
3	6	0.90	2.00	0.00	0.780
3	7	0.90	2.00	0.00	0.780

Figura 5.15 – Caracterização das diferentes aberturas interiores com definição da sua geometria e coeficiente de descarga

Com base nestes dados realiza-se então a simulação para o dia pretendido. Nestas simulações considerou-se que os dados climáticos fornecidos foram medidos à altura do edifício.

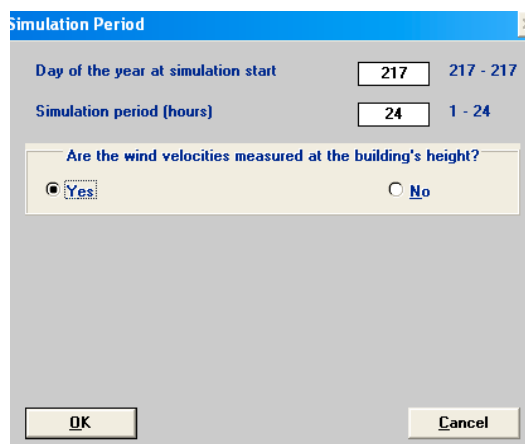


Figura 5.16 – Definição do dia para o qual é feita a simulação

Uma vez realizada a simulação o menu *Results* permite aceder aos resultados que estão divididos em *Flow of zones*, *Flow of external elements* e *Flow of internal Elements* e permite ainda realizar uma análise estatística através de *Statistical Analysis*.

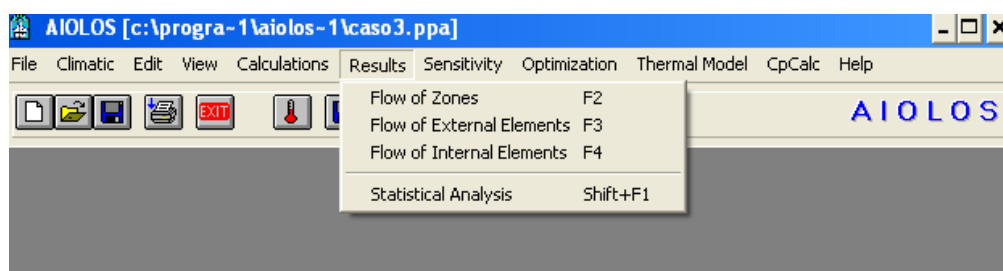


Figura 5.17 – Resultados da simulação disponíveis no menu Results

Na opção *Flow of Zones* podemos ver o caudal de ar (m^3/h) em cada uma das zonas, organizado por hora do dia e por zona, a temperatura interior considerada e ainda, para cada zona, o número de renovações horárias a que o caudal de ar registado corresponde.

Flow of Zones - Specific Hour [c:\progra-1\aiolos-1\ce1\ce1_cen3.ppa]						
Hour	1	Zone	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	ACH per hour	Temp. (C)
Total hours 24		1	24.54	24.90	1	25.00
		2	151.07	156.80	2	25.00
		3	106.23	107.66	2	25.00
		4	0.10	0.00	0	25.00
		5	48.70	49.75	1	25.00
		6	48.94	49.74	1	25.00
		7	50.79	49.74	1	25.00

Flow of Zones - Specific Zone [c:\progra-1\aiolos-1\ce1\ce1_cen3.ppa]						
Zone	1	Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	ACH per hour	Temp. (C)
Total zones 7		1	24.54	24.90	1	25
		2	25.53	27.45	1	25
		3	21.04	22.26	1	25
		4	22.95	22.39	1	25
		5	22.36	22.39	1	25
		6	22.25	22.52	1	25
		7	103.01	105.42	4	25
		8	210.65	213.95	7	25
		9	286.97	289.30	10	25
		10	233.15	233.16	8	25
		11	0.00	0.40	0	25
		12	0.00	0.02	0	25
		13	0.00	0.00	0	25

Figura 5.18 – Caudal que entra e que sai das diferentes zonas na hora 1 (quadro cima) e caudal que entra e que sai da zona 1 para a hora 1 a 13 (quadro baixo)

Verifica-se que o caudal que entra e sai na zona 4 é sempre praticamente nulo, em virtude de esta zona possuir abertura interior para uma única zona, não possuir qualquer abertura para o exterior e em virtude de, conforme foi explicitado, estarmos a avaliar apenas o caudal de ar adicional resultante da ventilação natural por abertura de janelas, não considerando o caudal de ar mínimo que, não obstante, deverá estar sempre garantido.

O programa faz ainda a representação gráfica do caudal e das renovações horárias para cada zona, como a seguir se exemplifica.

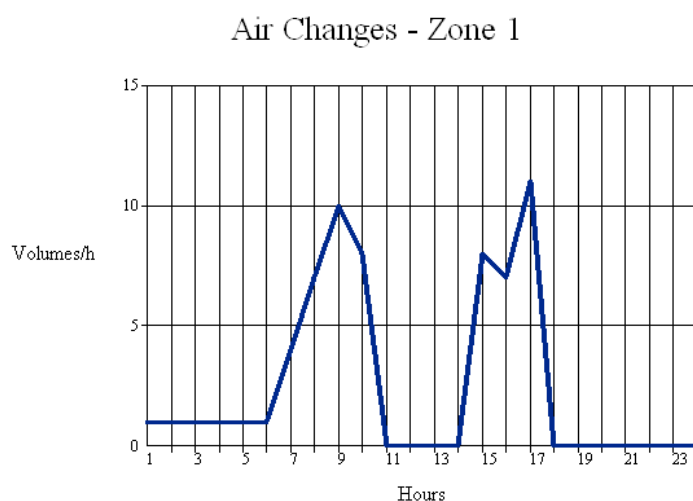


Figura 5.19 – Representação gráfica do número de renovações horárias para as diferentes horas do dia 217 para a zona 1

Para além do caudal global que entra e sai em cada zona o programa fornece ainda o caudal que entra e sai através de cada uma das aberturas, para cada hora do dia. Quando se verifica para uma mesma abertura caudal que entra e que sai, fornece ainda a posição do eixo neutro.

Flow of External Elements - Specific Hour [c:\progra-1\aiolos-1\ce1\ce1_cen3.ppa]

Hour

1

Zone	Opening	Crack	NL (m)	Lower	Upper	Balance	CP	Status
1	1					15.58	0.900	1
1	2					0.00	0.900	0
2	1		1.93	-151.07	50.57	-100.50	0.900	1
2	2					0.00	0.900	0
5	1		1.93	-18.66	49.75	31.09	-0.200	1
5	2					0.00	-0.200	0
6	1		1.93	-18.72	49.74	31.03	-0.200	1

Show

Print

Export

Positive flow is outgoing and negative flow is incoming - All flows in m³/h

Flow of External Elements - Specific Zone [c:\progra-1\aiolos-1\ce1\ce1_cen3.ppa]

Zone

1

Time	NL (m)	Lower	Upper	Balance	CP	Status
1				15.58	0.900	1
2				17.11	0.900	1
3				13.85	0.900	1
4				13.92	0.900	1
5				13.93	0.900	1
6				14.01	0.900	1
7				-103.01	0.900	1
8				-210.65	0.900	1
9				-286.97	0.700	1
10				233.16	-0.100	1
11				0.00	-0.100	0

Show

Element type

☒ Opening

☐ Crack

Opening

1

Total openings 2

Show

Graph

Print

Export

OK

Figura 5.20 – Caudal que entra e sai através das aberturas exteriores na hora 1 e fluxo que entra e sai através da abertura 1 da zona 1 entre as horas 1 a 11

O programa permite imprimir uma listagem dos resultados da simulação. Apresenta-se um exemplo dessa listagem em anexo que se refere ao dia e simulação aqui apresentado. Analisemos então os resultados obtidos para a simulação em estudo para a hora 10, por exemplo.

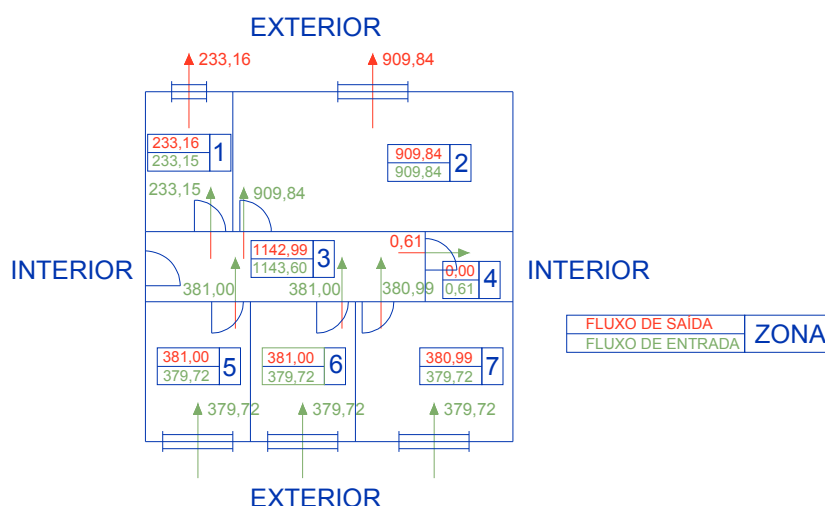


Figura 5.21 – Representação esquemática dos caudais (m³/h) admitidos e extraídos através das aberturas exteriores e interiores e do caudal global que entra e sai de cada zona, para o cenário 3, dia 217 e localização Porto

O número de renovações horárias para cada zona é igualmente fornecido pelo programa sendo calculado como a razão entre o valor máximo do caudal global que entra e sai em cada zona pelo volume dessa zona. É de salientar que os resultados relativos ao número de renovações horárias apresentados pelo programa são sempre números inteiros e assim nos resultados que em seguida se apresentam um número de renovações horárias nulo não corresponde necessariamente a caudal de ventilação nulo mas sim inferior à unidade.

Conforme referido o programa possui um modelo térmico associado que permite o cálculo da carga de arrefecimento e do número de horas de sobreaquecimento em que os dados do modelo da ventilação são importados directamente e em que as características da envolvente são fornecidas da forma que a seguir se exemplifica.

Define-se cada um dos elementos da envolvente exterior através da sua área, coeficiente de absorção do revestimento exterior, inclinação, orientação e a cada elemento faz-se corresponder uma parede tipo, previamente definida.

External Opaque Components	
External Opaque Element: 1	
Area of the Element (m2)	25.5
Absorptivity of the Element	.6
Tilt of the Element (Degrees)	90
Azimuth of the Element (Degrees)	180
Opaque Element Name	ParedeExt
U Value (W/m2/C)	0.59
Decrement Factor	0.88
Time Lag (h)	3.3
OK Delete Element Element Library	

Figura 5.22 – Caracterização dos elementos da envolvente opaca

Para definir as paredes tipo o programa possui uma base de dados de diferentes materiais e permite ainda adicionar novos materiais. No presente caso optou-se por uma configuração de parede exterior composta por dois panos de tijolo de 15 e 11 cm, separados por uma caixa-de-ar com 5,5cm parcialmente preenchida com isolamento térmico em poliestireno extrudido com 3cm e rebocada em ambas as faces com reboco de argamassa com 2cm.

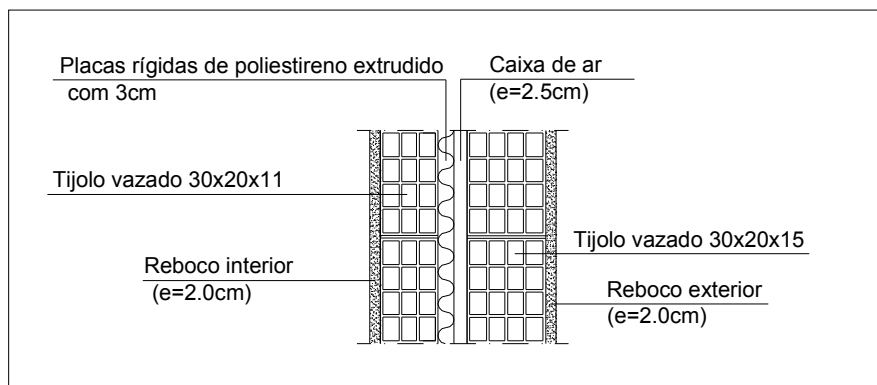


Figura 5.23 – Pormenor tipo da parede exterior - ParedeExt

Code	Material	Density (Kg/qbm)	Conductivity (W/mC)	Specific Heat (J/KgC)
2015	Reboco	2000	1.150	1000
2016	Tijolo 15	125	0.484	800
2017	Ar	1	0.120	1000
2018	Poliestireno	30	0.035	1250
2019	Tijolo 11	99	0.524	800
0	To Be Defined	0	0.000	0

Name of the Element : ParedeExt

	Material Code	Thickness (mm)
Outdoor Layer 1	2015	20
Layer 2	2016	150
Layer 3	2017	25
Layer 4	2018	30
Layer 5	2019	110
Indoor Layer 6	2015	20

Names of Opaque Elements

- Wall
- Roof
- Floor
- int_wall
- TEST
- ParedeExt
- ELEMENT7
- ELEMENT8
- ELEMENT9
- ELEMENT10

Buttons: OK, Add Element

Figura 5.24 – Definição do elemento exterior tipo ParedeExt

Definem-se em seguida as características dos vão envidraçados, sendo os dados relativos à área, orientação e inclinação importados directamente a partir do modelo da ventilação. É assim necessário fornecer dados relativos à transmissividade do vidro, ao coeficiente de transmissão térmica e ainda o *Curtain Factor*, que é definido pelo programa como sendo o rácio entre a energia solar média que entra no edifício com cortinas actuadas e a energia média que entraria caso as cortinas estivessem abertas. O programa possui uma base de dados com os valores da transmissividade do vidro e respectivo factor solar. No presente caso adoptou-se um vidro duplo com uma folha incolor com 5mm, caixa-de-ar com 12,7 mm e outra folha incolor com 2,5mm.

Code	Glazing Type	Transmissivity to Solar Radiation	U Value (W/M2 C)
18	Green 5.0 mm	0.541	6.215
19	Green 6.0 mm	0.487	6.171
20	Low Fe 2.5 mm	0.904	6.329
21	Low-Fe 3.0 mm	0.899	6.306
22	Low-Fe 4.0 mm	0.894	6.260
23	Low-Fe 5.0 mm	0.889	6.215
24	Low-Fe 2.5 mm	0.856	6.329
25	Low-E-1-Generic 3.0 mm	0.670	6.143
26	Low-E-2-Generic 3.0 mm	0.670	6.159
27	Low-E-3-Generic 3.0 mm	0.750	6.215
28	Clear(2.5)+Air(12.7)+Clear(2.5)	0.737	2.801
29	Clear(3)+Air(12.7)+Clear(2.5)	0.721	2.797
30	Clear(5)+Air(12.7)+Clear(2.5)	0.689	2.780
31	Clear(6)+Air(12.7)+Clear(2.5)	0.667	2.772
32	Clear(10)+Air(12.7)+Clear(2.5)	0.603	2.739
33	Clear(12)+Air(12.7)+Clear(2.5)	0.562	2.723
34	Bronze(3)+Air(12.7)+Clear(2.5)	0.555	2.797
35	Bronze(3)+Air(12.7)+Clear(3)	0.542	2.792

Figura 5.25 – Base de dados do programa com características de diferentes tipos de envidraçados

O programa permite também definir para cada envidraçado elementos de sombreamento externos. No presente caso de estudo não se considerou a existência de quaisquer elementos de sombreamento.

Glazed Surface	
Glazed Surface 1	
Area of Surface (m2)	.9
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	0
Solar Transmissivity	.69
U Value (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	.26
Types of Shading Device	
☒ None	☐ Side Fins
☐ Recessed Window	☐ Overhang
OK	Glazings Library

Figura 5.26 – Caracterização dos elementos envidraçados

Para as partições internas define-se a sua área e o elemento tipo que as caracteriza.

Figura 5.27 – Caracterização das partições internas

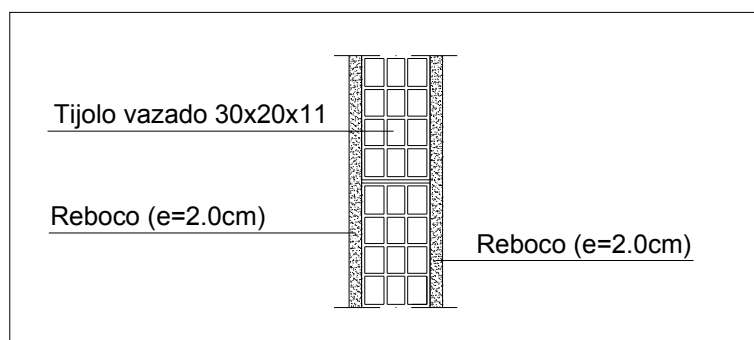


Figura 5.28 – Pormenor tipo da parede interior – Paredelnt

Define-se ainda o padrão de ocupação do edifício de entre vários padrões possíveis: 7:00 – 23:00h, 7:00 – 18:00h, 9:00 – 15:00h ou 24 horas. No presente caso considerou-se um padrão de ocupação de 24 horas. Neste menu o programa permite definir um caudal de infiltração suplementar a adicionar ao obtido pelo modelo da ventilação, definir a temperatura que serve de base ao cálculo do número de horas de sobreaquecimento e definir o elemento tipo que caracteriza a laje de pavimento.

Figura 5.29 – Definição dos dados operativos e do pavimento

Finalmente definem-se os ganhos internos que são função da área de pavimento. Optou-se por seguir a indicação do RCCTE que considera que em edifícios do tipo residencial os ganhos internos são da ordem de 4W/m^2 . Define-se ainda o número de ocupantes do edifício sendo que o programa considera um ganho adicional por cada ocupante de 65 W .

Internal Gains	
Total Horizontal Area of the Building (m2)	105
Week-Day	
Number of Persons in Building	4
Load due Lighting (W/m2) [Default : 5-100]	2
Load due Electr. Equipment (W/m2) [Default < 20]	2
Any Other Load (W/m2)	0
Saturday	
Number of Persons in Building	4
Load due Lighting (W/m2) [Default : 5-100]	2
Load due Electr. Equipment (W/m2) [Default < 20]	2
Any Other Load (W/m2)	0
Sunday	
Number of Persons in Building	4
Load due Lighting (W/m2) [Default : 5-100]	2
Load due Electr. Equipment (W/m2) [Default < 20]	2
Any Other Load (W/m2)	0

Figura 5.30 – Definição dos ganhos internos

Finalmente determina-se a carga de arrefecimento e o número de horas de sobreaquecimento.

Results - Cooling Load & Overheating Hours	
Total Cooling Load For the Current Period :	21.3 kWh
Total Overheating Hours For the Current Period :	19 Hours

Figura 5.31 – Resultados de cálculo do modelo térmico

5.4.6. – Resultados

Conforme descrito realizaram-se simulações para os diferentes cenários propostos tendo-se registado, para cada dia simulado, a carga de arrefecimento diária (kWh) e o número de horas de sobreaquecimento resultantes de cada cenário proposto.

Quadro 5.5 -Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Porto

PORTO		Cenário 1 (Fechado)		Cenário 2 (20% Abert.)		Cenário 3 (10% Abert.)		Cenário 4 (5% Abert.)		Cenário 5 (3% Abert.)		Cenário 6 (2% Abert.)	
DIA	Horas em que $t_e > t_i$ (fechar janelas)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)
215	0	19	19,7	0	0,0	1	0,7	3	1,8	8	4,6	17	15,0
216	0	18	23,3	2	1,6	7	5,5	13	10,0	15	13,9	18	21,1
217	11 - 13	20	25,5	14	13,2	19	21,3	20	24,0	20	24,5	20	25,5
218	0	24	24,8	2	1,1	14	4,5	18	11,7	23	16,4	24	22,6
219	0	24	16,5	2	0,7	3	1,8	4	3,0	11	5,9	24	15,5
220	14 - 16	20	24,3	5	5,5	11	10,6	15	14,8	18	17,3	20	22,9
221	10 - 18	24	29,3	11	10,4	14	17,4	24	23,4	24	26,5	24	29,3
222	9 - 21	24	32,2	17	22,8	22	27,9	24	30,5	24	31,3	24	32,2
223	12, 14 - 17	22	26,1	20	20,5	22	24,9	22	25,9	22	26,1	22	26,1
224	0	24	20,2	0	0,0	1	0,1	5	1,4	13	4,7	23	16,0

Fazendo a representação gráfica destes resultados em conjunto com os dados relativos à temperatura média diária exterior vem:

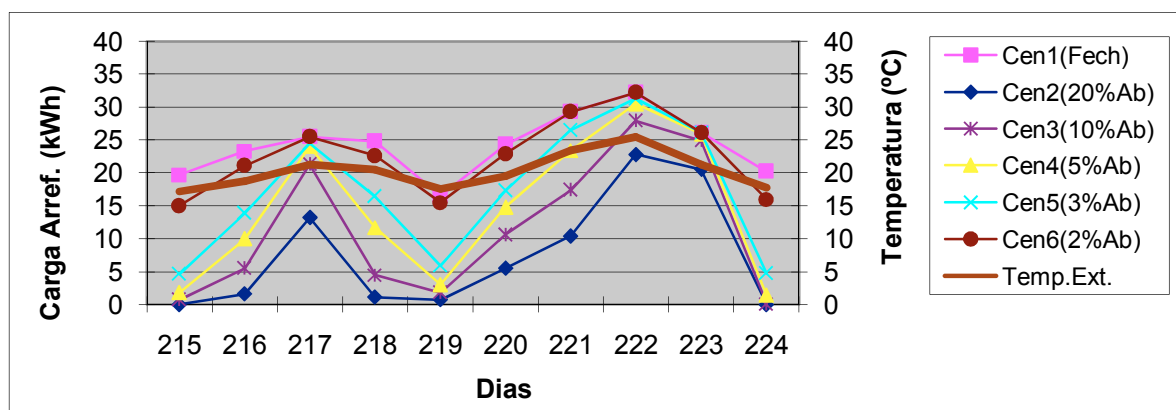


Figura 5.32 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 a 6 do GA1e temperatura média diária exterior (°C) para a localização Porto

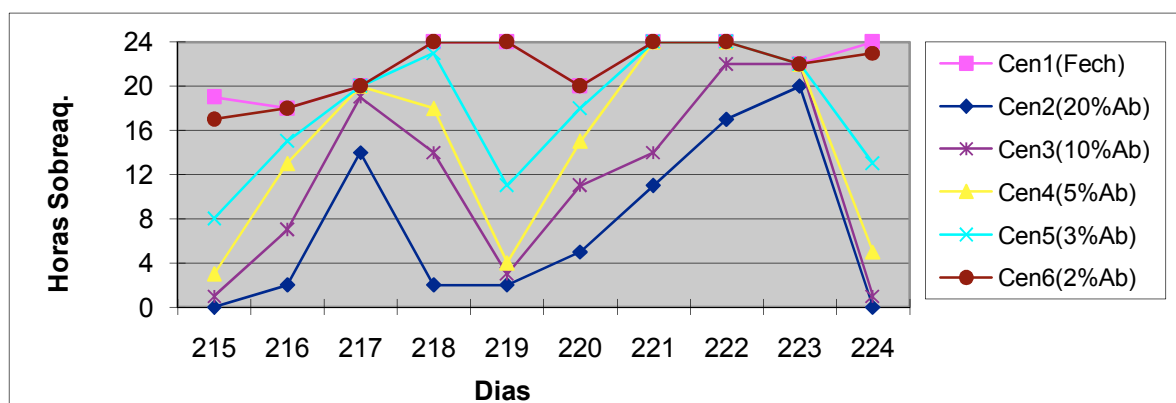


Figura 5.33 – Horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Porto

Analisando o gráfico da carga de arrefecimento verificamos que nos dias em esta é menor (dias 215, 219 ou 224) a abertura das janelas, mesmo que apenas em 5% da sua área faz com que a carga de arrefecimento passe a ter valores muito pequenos ou seja mesmo zero, o que significa que o gasto em energia para arrefecimento é praticamente nulo. Verifica-se ainda que o número de horas de sobreaquecimento segue uma tendência semelhante para os vários cenários à verificada para a carga de arrefecimento.

Verificamos que existe um paralelismo entre a curva da carga de arrefecimento para a situação de todas as janelas fechadas e a curva da temperatura, o que traduz a proporcionalidade entre as duas.

Como seria de esperar, quanto menor a área da abertura mais o resultado encontrado para a carga de arrefecimento se aproxima do encontrado no caso em que as janelas se encontram sempre fechadas (Cenário1). Conclui-se que o cenário de abertura de 2% da área das janelas não produz praticamente efeito na redução da carga de arrefecimento sendo que a partir dos 3% de área de janela aberta essa redução é mais significativa, especialmente nos dias em que a carga de arrefecimento é menor. Em média, a redução na carga de arrefecimento que resulta dos diferentes cenários de ventilação considerados é 67% para o cenário 2, 57% para o cenário 3, 44 % para o cenário 4, 34% para o cenário 5 e finalmente 8% para o cenário 6.

Para cada hora simulada registou-se o valor do número de renovações horárias e de acordo com a fórmula 5.3 determinou-se o número máximo de renovações horárias admissível para cada zona.

Quadro 5.6 - Renovações horárias máximas admissíveis para cada zona para os diferentes cenários propostos de acordo com critério definido

PORTO		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
ZONA	Volume (m ³)	Área Secção Passagem Ar (m ²)	Nº Máximo Renovações Horárias	Área Secção Passagem Ar (m ²)	Nº Máximo Renovações Horárias	Área Secção Passagem Ar (m ²)	Nº Máximo Renovações Horárias
1	30	0,2	12	0,1	6	0,05	3
2	96	0,8	15	0,4	7	0,2	3
3	48	1,8	68	1,8	68	1,8	68
4	15	-	-	-	-	-	-
5	36	0,4	20	0,2	10	0,1	5
6	36	0,4	20	0,2	10	0,1	5
7	54	0,4	13	0,2	6	0,1	3

De acordo com este valor máximo determinou-se para cada dia simulado qual a percentagem de horas em que este limite foi excedido.

Quadro 5.7 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 2 a 6 do GA1 para a localização Porto

PORTO	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
DIA	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido
215	47,92	39,58	39,58	38,19	35,42
216	60,00	43,75	42,36	41,67	31,25
217	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
218	32,64	27,78	27,78	27,78	22,92
219	24,31	22,92	20,14	15,28	13,19
220	40,28	40,28	35,42	34,03	24,31
221	5,56	4,86	4,17	3,47	2,08
222	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
223	3,47	3,47	1,39	1,39	0,00
224	41,67	36,11	36,11	34,72	28,47

Como seria de esperar verifica-se que quanto maior a área das aberturas maior o número de horas de desconforto resultante da velocidade do ar. Verifica-se que, para os dias em que a velocidade do vento é mais elevada (aproximadamente igual a 3 m/s), o desconforto originado pela velocidade do ar é bastante elevado, e que a diminuição deste desconforto que resulta da abertura de áreas menores de janelas é pouco significativa.

Analogamente registou-se o valor da carga de arrefecimento e horas de sobreaquecimento para a localização Bragança.

Quadro 5.8 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Bragança

BRAGANÇA		Cenário 1 (Fechado)		Cenário 2 (20% Abert.)		Cenário 3 (10% Abert.)		Cenário 4 (5% Abert.)		Cenário 5 (3% Abert.)		Cenário 6 (2% Abert.)	
DIA	Horas em que $t_e > t_i$ (fechar janelas)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)
197	12 - 20	21	28,8	9	9,6	12	17,1	16	23,0	18	24,9	21	28,8
198	11 - 20	22	29,7	10	9,1	12	13,8	16	20,8	18	25,0	22	29,6
199	11 - 19	24	28,7	13	18,5	18	22,9	22	25,6	23	27,2	24	28,7
200	12 - 19	23	27,6	8	8,5	9	10,9	14	17,3	17	21,9	23	27,6
201	13 - 20	21	28,0	9	8,3	10	10,4	14	17,5	17	21,6	20	26,8
202	12 - 21	21	30,6	10	9,3	10	9,4	12	16,4	15	21,6	21	29,7
203	10 - 23	24	35,0	11	9,5	14	19,1	20	26,8	22	30,1	24	35,0
204	10 - 22	24	36,0	24	30,7	24	33,6	24	35,4	24	35,5	24	36,0
205	10 - 23	24	33,7	13	17,4	19	24,3	23	30,2	23	30,6	24	33,7
206	11 - 19	24	30,2	20	24,3	23	28,2	23	28,9	24	29,4	24	30,2

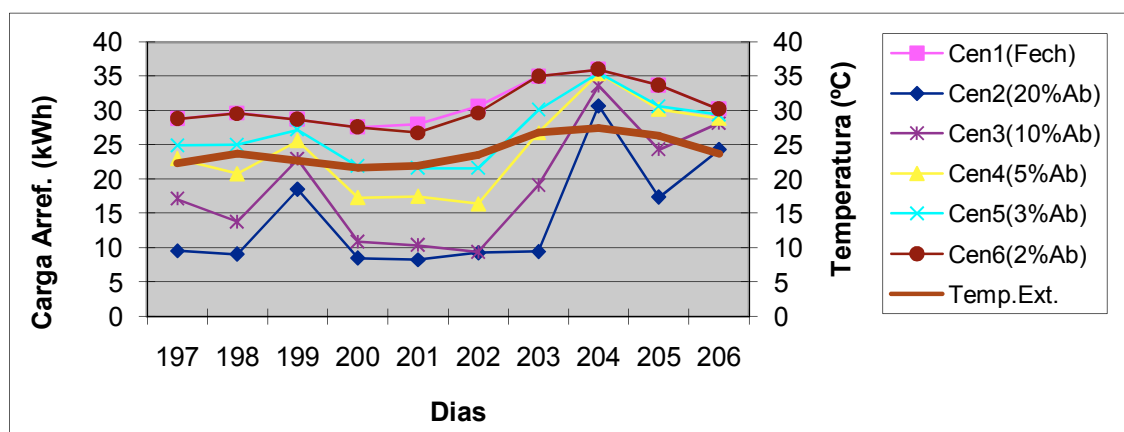


Figura 5.34 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 a 6 do GA1 e temperatura média diária exterior (°C) para a localização Bragança

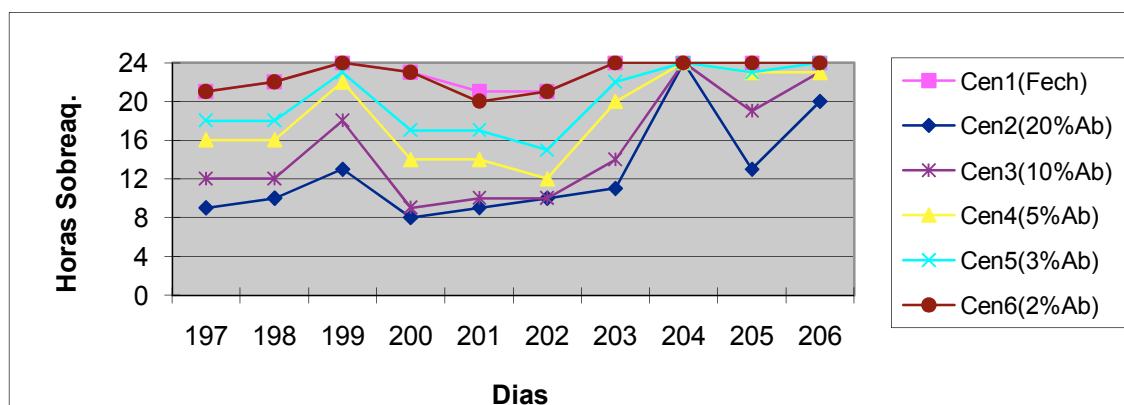


Figura 5.35 – Horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Bragança

Analisando o gráfico da carga de arrefecimento para os diferentes cenários verificamos que, ao contrário do que acontecia para a localização Porto, apesar de se verificar uma diminuição na carga de arrefecimento tanto maior quanto maior for a abertura das janelas, esta nunca chega a ser inferior a 5kWh, ou seja, não existe nenhum caso em que a ventilação natural apenas seja suficiente para o arrefecimento. O mesmo se verifica em termos de horas de sobreaquecimento. À semelhança do que se verificava no caso do Porto, verificamos o paralelismo entre a temperatura média diária exterior e a carga de arrefecimento para o cenário de janelas fechadas.

Se analisarmos o dia 204 podemos ver que este corresponde ao dia de temperatura mais elevada da amostra em análise. A conjugação deste facto com uma velocidade média do vento baixa, da ordem dos 2,31 m/s, faz com que a redução da carga de arrefecimento para os diferentes cenários seja pequena e como tal verificamos que neste dia ocorre o menor diferencial entre a carga para os cenários extremos 1 e 2.

Assim verifica-se que em média a redução na carga de arrefecimento que resulta dos diferentes cenários de ventilação considerados é 45% para o cenário 2, 39% para o cenário 3, 22 % para o cenário 4, 13% para o cenário 5 e finalmente apenas 1% para o cenário 6.

Quadro 5.9 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 2 a 6 do GA1 para a localização Bragança

BRAGANÇA	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
DIA	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido
197	4,17	7,64	3,47	2,08	0,00
198	15,28	15,97	11,11	10,42	9,03
199	3,47	4,86	1,39	1,39	0,00
200	18,75	22,22	21,53	18,06	12,50
201	13,19	12,50	5,56	9,03	6,25
202	26,39	30,56	29,17	20,83	9,03
203	15,28	21,53	14,58	9,72	1,39
204	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
205	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
206	9,72	11,81	10,42	8,33	2,78

Verificamos que neste caso a percentagem de horas de desconforto devido ao movimento do ar no interior é menor que a verificada no caso do Porto, sendo que para os cenários 4,5 e 6 a percentagem média de horas de desconforto é inferior a 10%.

Finalmente temos os mesmos resultados mas agora para a localização Évora.

Quadro 5.10 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Évora

ÉVORA		Cenário 1 (Fechado)		Cenário 2 (20% Abert.)		Cenário 3 (10% Abert.)		Cenário 4 (5% Abert.)		Cenário 5 (3% Abert.)		Cenário 6 (2% Abert.)	
DIA	Horas em que te>ti (fechar janelas)	Horas Sobre-aq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobre-aq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobre-aq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobre-aq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobre-aq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobre-aq	Carga de Arref (kWh)
215	12 - 20	21	27,7	9	8,5	9	8,5	9	8,7	10	10,6	17	22,4
216	11 - 20	23	30,3	9	9,6	9	9,6	9	9,7	12	15,3	19	25,9
217	16 - 19	24	24,9	4	3,8	4	3,8	5	4,0	5	4,7	16	13,3
218	12 - 20	21	28,1	8	8,9	9	8,9	9	9,1	9	9,0	15	20,0
219	10 - 22	24	32,3	10	9,2	10	9,2	12	11,9	13	18,6	21	27,9
220	9 - 24	24	34,5	9	7,8	12	8,9	17	19,4	21	24,8	24	31,9
221	8 - 24	24	37,3	24	37,3	24	37,3	24	37,4	24	37,3	24	37,3
222	7 - 24	24	38,3	24	38,3	24	38,3	24	38,4	24	38,3	24	38,3
223	9 - 23	24	36,5	14	14,7	18	23,5	23	29,8	24	32,6	24	35,5
224	10 - 20	24	32,1	10	8,8	12	15,0	17	21,6	24	25,9	24	30,9

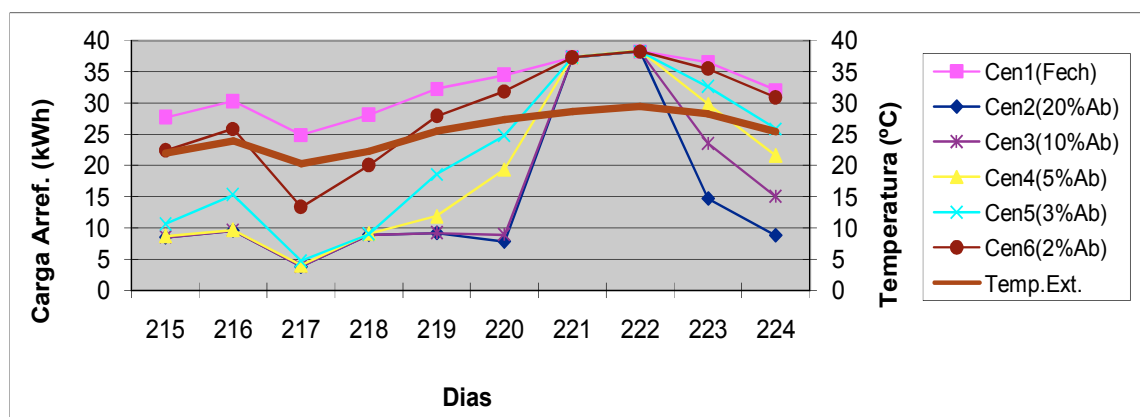


Figura 5.36 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 a 6 do GA1 e temperatura média diária exterior (°C) para a localização Évora

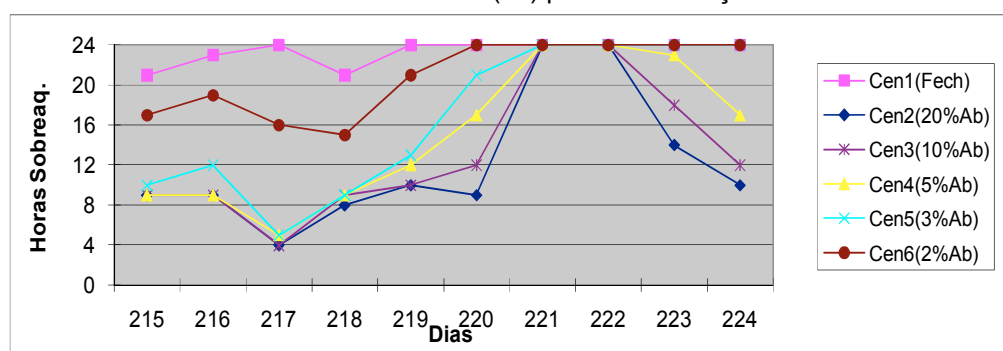


Figura 5.37 – Horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA1 para a localização Évora

Analisando os valores da carga de arrefecimento ao longo do conjunto de dias simulados verificamos que o valor da carga de arrefecimento para os cenários 2, 3 e 4 é praticamente o mesmo e por sua vez bastante inferior ao registado para o cenário 1, para os primeiros 5 dias do período simulado. Por sua vez, para os dias 221 e 222, dias a que corresponde a temperatura mais elevada a carga de arrefecimento para todos os diferentes cenários simulados é a mesma.

Como vimos acima a velocidade média diária do vento para os dias 215 a 220 é muito elevada, entre 5 a 7 m/s, de forma que a abertura de 20%, 10% ou de apenas 5% conduz à máxima redução possível na carga de arrefecimento, verificando-se uma menor redução para as áreas de abertura de 3 e 2%. Nesta localização a carga de arrefecimento nunca se anula totalmente devido à necessidade de fechar as janelas por um período alargado em virtude de se verificar $T_e > 25^\circ\text{C}$.

A partir do dia 221 a velocidade média do vento toma já valores mais baixos, ainda que mais elevados do que os verificados para as restantes localizações. O facto de a carga de arrefecimento nestes dias tomar sempre o mesmo valor para os diferentes cenários simulados leva-nos a concluir que nestes dias o potencial da ventilação é nulo, o que fica a

dever-se por um lado à menor velocidade do vento nestes dias e também aos valores elevados da temperatura exterior que fazem com que a janela permaneça fechada a maior parte do dia. Nos dias finais do período de análise verifica-se um comportamento análogo ao verificado para as restantes localizações, com o aumento gradual da carga de arrefecimento para os diferentes cenários simulados, uma vez que nestes dias os valores médios diários da velocidade do vento são já próximos dos verificados nas restantes localizações. Em média a redução na carga de arrefecimento que resulta dos diferentes cenários de ventilação considerados é 57% para o cenário 2, 53% para o cenário 3, 45% para o cenário 4, 36% para o cenário 5 e finalmente apenas 14% para o cenário 6.

Analisemos agora o desconforto em termos de velocidade do ar resultante dos diferentes cenários propostos:

Quadro 5.11 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 2 a 6 do GA1 para a localização Évora

ÉVORA	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
DIA	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido
215	62,50	52,08	52,08	52,08	47,92
216	58,33	50,00	50,00	48,61	48,61
217	83,33	72,92	68,06	66,67	65,28
218	62,50	56,94	52,08	52,08	51,39
219	45,83	38,19	38,19	38,19	38,19
220	33,33	28,47	27,78	27,78	27,78
221	29,17	24,31	24,31	24,31	24,31
222	8,33	8,33	8,33	6,25	0,69
223	12,50	22,22	18,06	16,67	8,33
224	30,56	26,39	25,69	25,00	16,67

Verificamos que neste caso o número de horas de desconforto é acima do desejado, mesmo para os cenários com menores áreas de abertura, especialmente para os primeiros dias do período de simulação, o que pode ficar a dever-se à velocidade elevada do vento. Já nos últimos dias do período de simulação verificam-se percentagens de desconforto menores e mais aceitáveis. Face aos valores de desconforto devido à velocidade do ar no interior concluímos que o potencial de arrefecimento através da ventilação natural anteriormente determinado, bastante elevado atendendo a que nessa zona a temperatura exterior é também elevada, é na verdade superior ao real potencial.

Simularam-se em seguida os cenários 7 e 8 que correspondem a uma área de abertura de 10%, à semelhança do cenário 3, mas em que serão definidos horários de abertura menores que os considerados nesse cenário.

No cenário 7 definiu-se o período base de fecho das janelas entre as 9 e as 19 horas, e para além destas as horas em que $T_e > 25^\circ\text{C}$ em cada dia, enquanto no cenário 8 o período de fecho das janelas será entre as 20 e as 8 horas do dia seguinte, e para além destas as horas em que $T_e > 25^\circ\text{C}$. Em seguida representaram-se graficamente os resultados obtidos para a carga de arrefecimento (kWh) para os diferentes dias do período de análise, para a localização Porto. Para além dos cenários que queremos comparar, representou-se ainda o cenário 1, que corresponde a todas as janelas fechadas durante todo o dia e ainda o cenário 3, que serviu de base aos restantes, e em que as janelas permanecem abertas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$, estes dois cenários serão assim os limites máximo e mínimo da carga de arrefecimento para a configuração da fracção tipo em estudo.

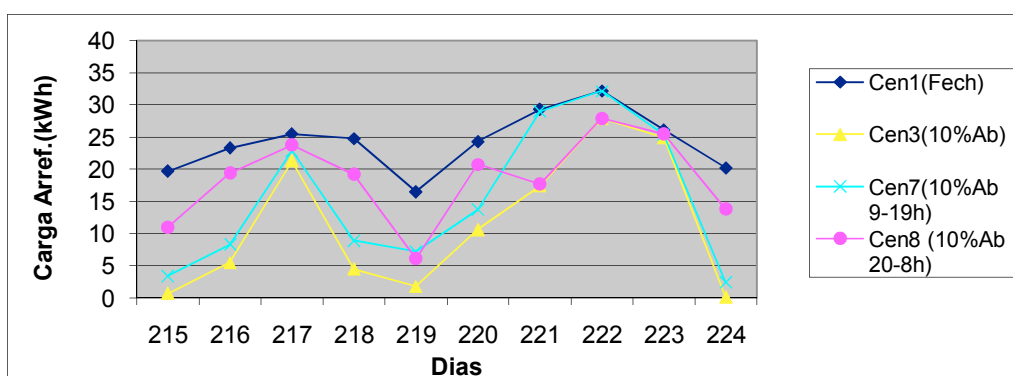


Figura 5.38 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 3, 7 e 8 do GA1 para a localização Porto

Quadro 5.12 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 3 a 8 do GA1 para a localização Porto

PORTO	Cenário 3	Cenário 7	Cenário 8
DIA	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido
215	39,58	29,17	10,42
216	43,75	36,81	6,94
217	0,00	0,00	0,00
218	27,78	24,31	3,47
219	22,92	15,28	7,64
220	40,28	27,78	12,50
221	4,86	3,47	1,39
222	0,00	0,00	0,00
223	3,47	0,00	3,47
224	36,11	27,78	8,33

Verificamos que particularmente o cenário 8 resulta numa diminuição simultânea da carga de arrefecimento e do número de horas de desconforto devido à velocidade do ar no interior, registando para o dia com mais desconforto 13% de horas em que a velocidade máxima do ar considerada é excedida. Por comparação com o cenário 1, a abertura de janelas nas condições definidas para o cenário 8 produz uma redução de 26%.

O cenário 7, apresenta uma diminuição significativa da carga de arrefecimento para a maior parte dos dias sendo em média e por comparação com o cenário 1 de 41%, bem como a concorrente melhoria em termos de conforto relativamente à velocidade do ar, com uma percentagem de horas de desconforto no dia mais desfavorável de 37%, sendo em média de 16,5%.

Assim verifica-se que a adopção de cenários de abertura de janelas por períodos mais curtos permite uma redução considerável da carga de arrefecimento em simultâneo com uma pequena percentagem de horas de desconforto devido à velocidade do ar no interior. O potencial de cada um dos cenários terá que ser enquadrado com cada caso concreto uma vez que, se por um lado a abertura de janelas pode levantar problemas de segurança e privacidade durante a noite, se o edifício não estiver ocupado durante o dia o desconforto originado pela ventilação nesse período será desprezável.

Analisando agora os resultados obtidos para os cenários 7 e 8 para a localização Bragança verificamos que neste caso o cenário 7 está muito próximo do cenário 1 e o cenário 8 do cenário 3. Tal fica a dever-se ao facto de o número de horas em que as janelas permanecem fechadas devido a $T_e > 25^\circ \text{C}$ ser bastante superior ao que acontecia no caso do Porto e assim, os resultados obtidos, especialmente no caso do cenário 7, que consiste em ventilar durante o dia, são próximos dos que se obteriam com a janela sempre fechada.

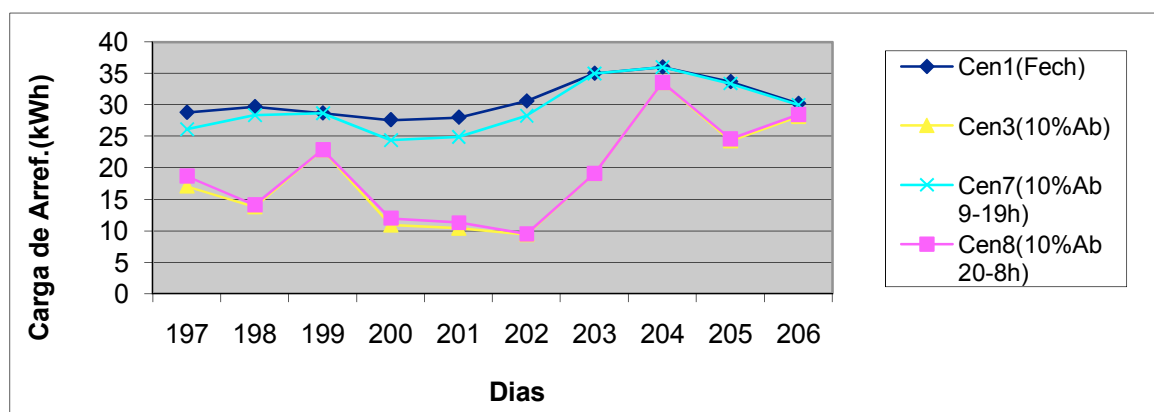


Figura 5.39 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 3, 7 e 8 do GA1 para a localização Bragança

Vejamos agora a evolução da percentagem de horas de desconforto devido à velocidade do ar para os cenários propostos.

Quadro 5.13 - Percentagem de horas em que o número máximo de renovações horárias é excedido para os cenários 3 a 8 do GA1 para a localização Bragança

BRAGANÇA	Cenário 3	Cenário 7	Cenário 8
DIA	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido	% Horas em que o nº máximo renovações é excedido
197	7,64	4,17	3,47
198	15,97	0,00	13,89
199	4,86	0,00	4,86
200	22,22	4,86	14,88
201	12,5	0,00	12,50
202	30,56	6,94	23,61
203	21,53	1,39	20,14
204	0,00	0,00	0,00
205	0,00	0,00	0,00
206	11,81	0,00	11,81

A redução média que se obtém na carga de arrefecimento relativamente ao cenário 1 é de 4,5% e de 38% para os cenários 7 e 8 respectivamente sendo em média o número de horas de desconforto devido à velocidade do vento de 2 e 10% respectivamente.

Apesar de a melhoria em termos de desconforto devido à velocidade do ar do cenário 8 face ao cenário 3 ser pequena, o potencial de redução da carga de arrefecimento deste cenário é praticamente o mesmo do verificado para o cenário 3.

No caso do cenário 7, consegue-se uma boa redução do desconforto no entanto o potencial de redução da carga de arrefecimento deste cenário é pequeno, apenas 4,5%.

Conclui-se assim que a adopção de cenários com menores períodos de janela aberta, durante o dia ou durante a noite, se revela mais vantajosa para climas mais amenos em termos de temperatura e velocidade do vento, como o do Porto podendo, no entanto, ser eventualmente interesse nos casos de climas mais extremos como o de Bragança.

5.5 – Grupo de Análise 2 (Localização das aberturas e configuração da fracção autónoma)

Uma tendência do mercado actual da construção passa por construir habitações de pequena tipologia T1 a T2, muitas vezes com todas as janelas numa mesma fachada. A análise a efectuar no âmbito do Grupo de Análise 2 pretende comprovar para um espaço

composto por duas zonas (em que uma delas será a sala e cozinha e a outra zona dos quartos), possuindo cada uma delas uma janela, qual a disposição com maior potencial de ventilação e por outro lado, avaliar em que medida a localização de todas as janelas na mesma fachada diminui esse potencial de ventilação. Numa segunda fase procurou-se determinar qual a influência das aberturas interiores no potencial de arrefecimento da ventilação, tendo sido definidos cenários alternativos, partindo dos cenários 1, 2 e 3, como em seguida se descreve.

Em cada cenário proposto a fracção tipo será constituída por duas zonas, com as mesmas características geométricas e de envolvente, variando a sua posição relativa bem como a localização das janelas, como se evidencia na seguinte figura.

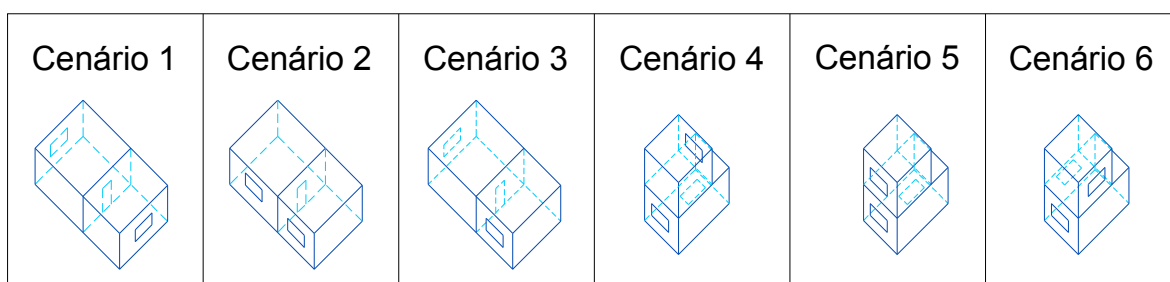


Figura 5.40 - Configuração da fracção tipo para os cenários propostos no Grupo de Análise 2

A fracção tipo em estudo em cada um dos cenários terá 3m de pé direito em cada zona. As janelas de cada zona terão 2m de largura x 1 m de altura e estarão localizadas 1m acima do pavimento. A ligação entre as duas zonas será feita através de uma abertura de 1m de largura x 2 m de altura, que nos cenários de zonas a cotas diferentes será a abertura da escada de ligação. A seguinte figura evidencia as dimensões da fracção tipo em análise bem como a sua orientação.

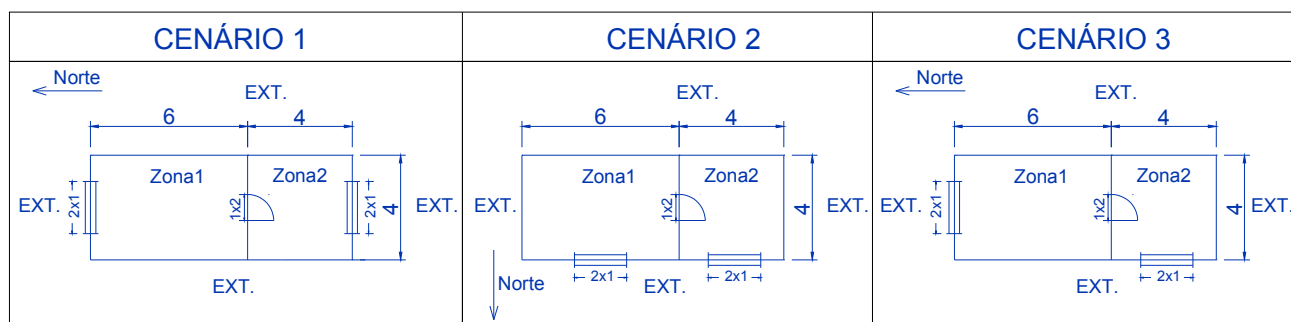


Figura 5.41– Fracção tipo para os cenários 1, 2 e 3 em estudo no Grupo de Análise 2

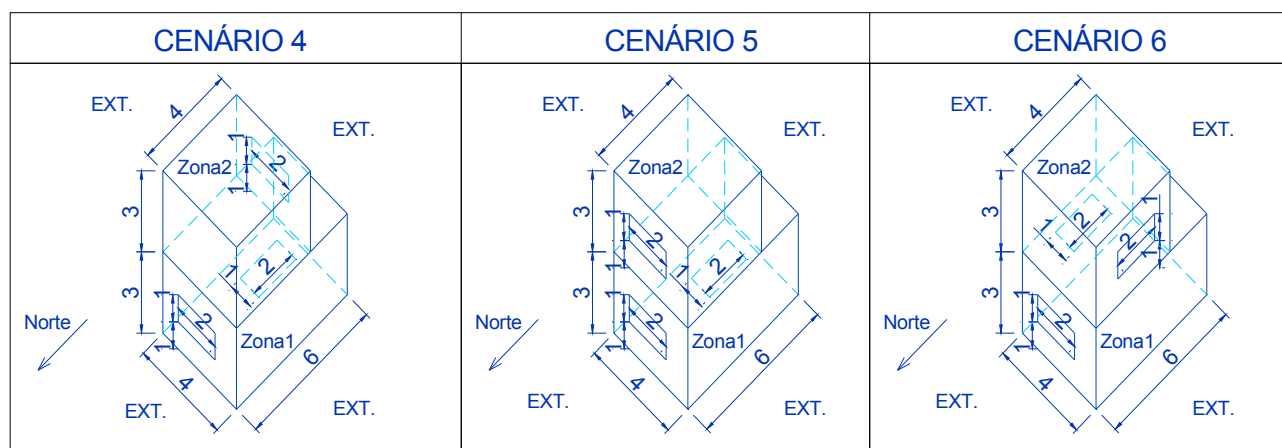


Figura 5.42 – Fracção tipo para os cenários 4, 5 e 6 em estudo no Grupo de Análise 2

No presente estudo iremos simular os cenários 1 a 6 para as localizações Porto e Bragança e os cenários 7 a 12 apenas para a localização Porto, para o mesmo período de simulação adoptado no Grupo de Análise 1. O critério de fecho das janelas será igualmente quando $T_e > 25^\circ\text{C}$ e iremos considerar a abertura de 10% da área de cada uma das janelas.

Para além dos cenários identificados através das figuras propuseram-se outros, que têm por base os cenários já descritos com pequenas variações que se evidenciam no seguinte quadro:

Quadro 5.14 - Cenários propostos no Grupo de Análise 2

Grupo de Análise 2 (GA2)	
Cenário	Descrição
Cenário 7	Todas as janelas sempre fechadas para a configuração de zonas ao mesmo nível e janelas em fachadas opostas (Fracção tipo igual ao Cenário 1).
Cenário 8	Abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$ para a configuração de zonas ao mesmo nível e janelas em fachadas opostas com coeficiente de descarga da abertura interior igual a 0,02.
Cenário 9	Todas as janelas sempre fechadas para a configuração de zonas ao mesmo nível e janelas na mesma fachada (Fracção tipo igual ao Cenário 2).
Cenário 10	Abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$ para a configuração de zonas ao mesmo nível e janelas na mesma fachada com coeficiente de descarga da abertura interior igual a 0,02.
Cenário 11	Todas as janelas sempre fechadas para a configuração de zonas ao mesmo nível e janelas em fachadas adjacentes (Fracção tipo igual ao Cenário 3).
Cenário 12	Abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$ para a configuração de zonas ao mesmo nível e janelas em fachadas adjacentes com coeficiente de descarga da abertura interior igual a 0,02.

No presente caso considerou-se que as paredes exteriores, interiores e os envidraçados têm as mesmas características que as definidas no Grupo de Análise 1. Relativamente aos ganhos internos considerou-se 4 W/m^2 e a presença permanente de dois ocupantes.

O Quadro 5.15 apresenta, para a localização Porto, os valores obtidos para a carga de arrefecimento e horas de sobreaquecimento para os diferentes cenários.

Quadro 5.15 – Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA2 para a localização Porto

PORTO		Cenário 1 (mesmo nível fach. opostas)		Cenário 2 (mesmo nível mesma fach.)		Cenário 3 (mesmo nível fach. adjacentes)		Cenário 4 (nível diferente fach. opostas)		Cenário 5 (nível diferente mesma fachada)		Cenário 6 (nível diferente fach. adjacentes)	
DIA	Horas em que $t_e > t_i$ (fechar janelas)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreacq	Carga de Arref (kWh)
215	0	2	0,4	13	11,0	1	0,2	0	0,0	6	2,4	0	0,0
216	0	7	4,7	14	13,5	7	4,7	4	2,2	9	5,9	4	2,1
217	11 - 13	15	13,3	16	14,5	16	13,3	12	8,2	12	8,6	12	8,1
218	0	13	3,8	19	12,8	18	8,3	8	3,4	15	7,5	13	5,7
219	0	3	0,7	12	7,7	3	0,2	0	0,0	3	0,2	0	0,0
220	14 - 16	11	8,0	15	13,6	11	7,8	8	4,5	11	7,1	7	4,4
221	10 - 18	14	12,4	21	15,3	14	12,2	14	11,5	17	14,2	14	11,6
222	9 - 21	17	17,6	19	18,1	17	17,6	16	15,8	17	16,8	17	15,8
223	12, 14 - 17	16	13,7	16	13,6	16	13,4	11	10,4	13	10,8	12	10,0
224	0	1	0,2	13	10,4	1	0,3	0	0,0	6	2,3	0	0,0

Traduzindo estes resultados de forma gráfica verificamos que a carga de arrefecimento determinada nos diferentes dias que compõem o período de análise para os cenários 1 e 3 é muito semelhante enquanto no caso do cenário 2 o seu valor é mais elevado, sendo a diferença mínima da ordem dos 10%, nos dias em que a carga de arrefecimento é mais elevada e sendo até 50 vezes superior nos dias em que a carga de arrefecimento é menor, como no caso do dia 224.

Conclui-se assim que a opção de colocar janelas em fachadas opostas, por comparação com a opção de colocar as mesmas janelas em fachadas adjacentes, não tem grande repercussão no potencial de arrefecimento, ficando a diferença encontrada a dever-se essencialmente aos diferentes ganhos solares que podem resultar das diferentes orientações.

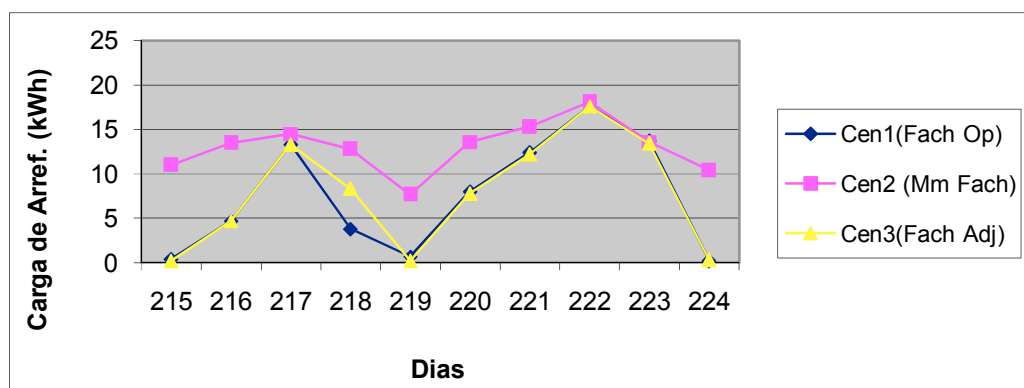


Figura 5.43 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 4, 5 e 6 do GA2 para a localização Porto

Analisando agora o que acontece para os cenários 4, 5 e 6 verificamos que se obtêm resultados semelhantes, sendo neste caso a diferença entre o valor da carga de arrefecimento determinado para os diferentes dias entre o cenário 5 e os cenários 4 e 6 menor que a verificada anteriormente. A carga de arrefecimento para o cenário 5 é no máximo 2,5 vezes superior e em média 30% superior à obtida para os cenários 4 e 6. Verifica-se ainda que neste caso a carga de arrefecimento em qualquer dos cenários propostos é inferior à que havia sido determinada para os cenários 1, 2 e 3, ou seja, a diferença de cotas entre as zonas a ventilar potencia a ventilação, como seria de esperar.

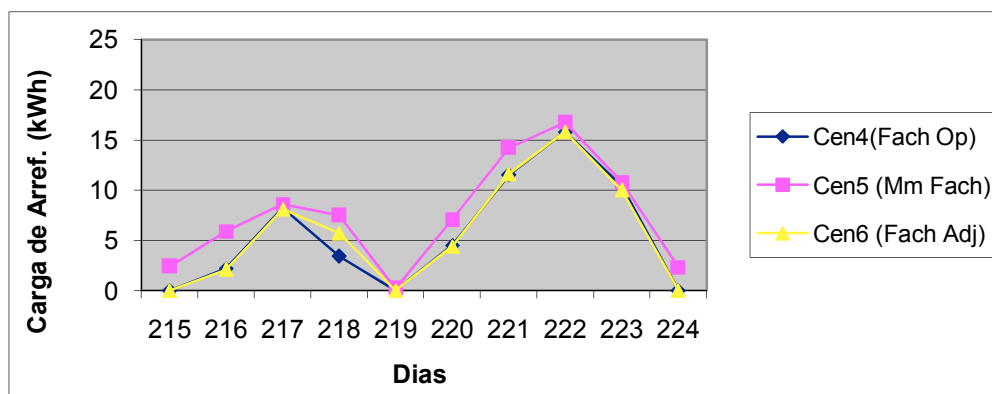


Figura 5.44– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 4, 5 e 6 (zonas a cota diferente) do GA2 para a localização Porto

Comparemos agora os cenários 1 e 4, cuja disposição de janelas é semelhante, fachadas opostas, e em que as zonas que compõem a fracção tipo estão situadas à mesma cota e a cotas diferentes, respectivamente.

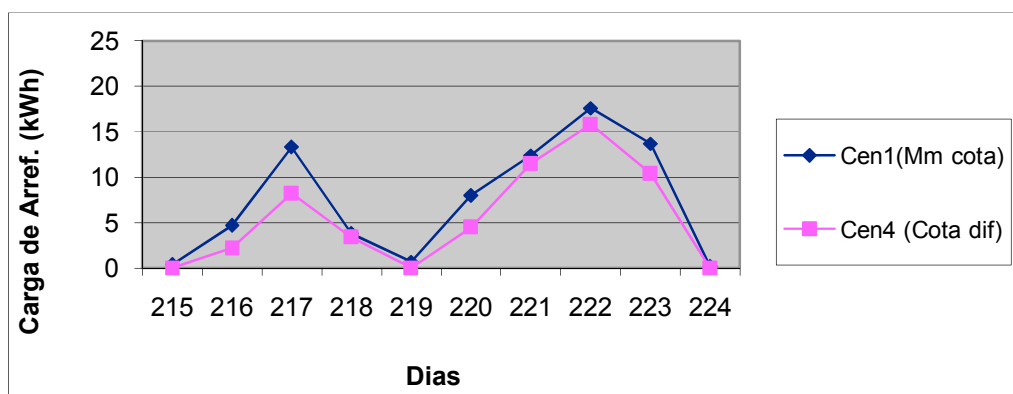


Figura 5.45 - Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 e 4 (janelas em fachadas opostas) do GA2 para a localização Porto

Como vimos, de entre os dois conjuntos de cenários analisados, estes correspondem às configurações com maior potencial em termos de arrefecimento através da ventilação natural, sendo a carga de arrefecimento determinada no cenário 1, exceptuando os dias em que é nula, em média 45% superior à do cenário 4.

Por sua vez comparando os cenários 2 e 5 verificamos que a diferença de potencial que resulta dos dois cenários é já mais significativa, sendo em média 5 vezes superior, sendo que de entre os diferentes cenários propostos para a opção zonas à mesma cota ou zonas a cota diferente, estes são os que apresentam menor potencial de arrefecimento através da ventilação natural uma vez que, dentro de cada uma dessas configurações, estes apresentam todas as aberturas na mesma fachada. Verifica-se que no caso do cenário 5 em 7 dos 10 dias analisados a carga de arrefecimento se situa abaixo dos 10 kWh, enquanto no cenário 2 isso acontece em apenas um dia.

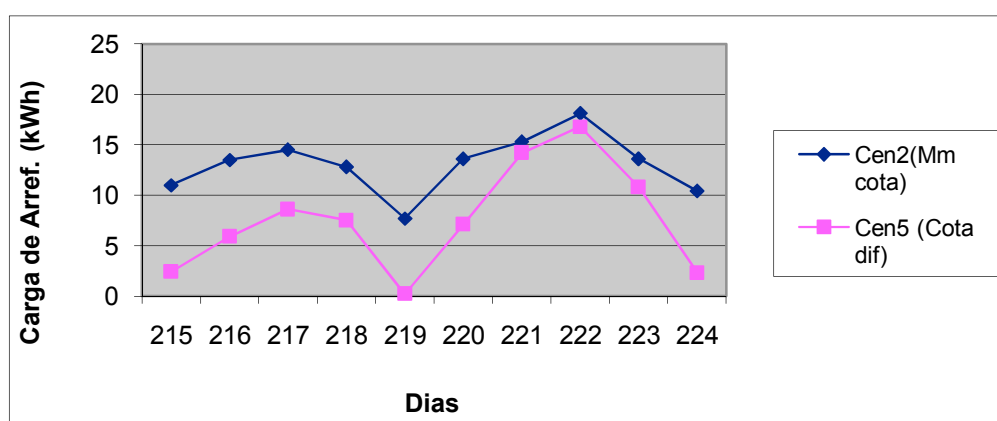


Figura 5.46 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2 e 5 (janelas na mesma fachada) do GA2 para a localização Porto

Finalmente comparando o que acontece com os cenários 3 e 6 verificamos resultados semelhantes aos dos cenários 1 e 4, ou seja, a diferença de potencial entre os dois cenários

é menor, sendo a carga de arrefecimento no cenário 3, em média, 10% superior à determinada para o cenário 6.

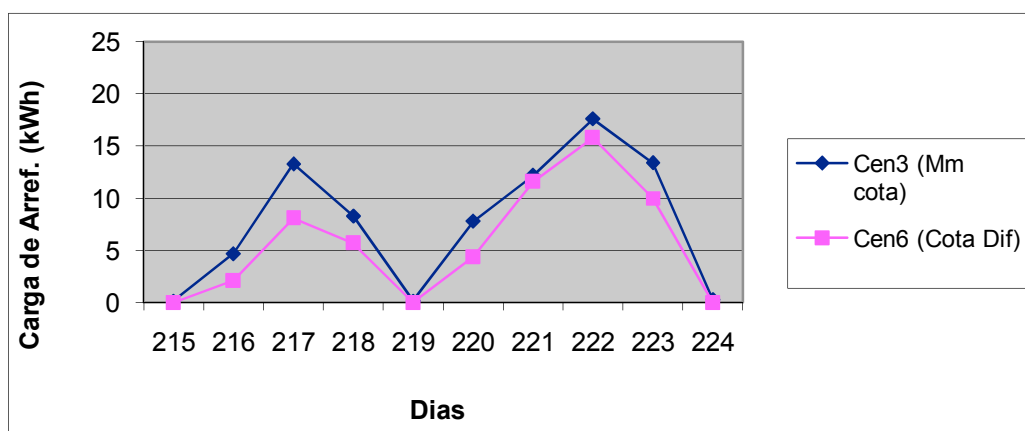


Figura 5.47 - Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 3 e 6 (janelas em fachadas adjacentes) do GA2 para a localização Porto

Os cenários propostos permitem assim constatar a influência da localização das aberturas no potencial de arrefecimento através da ventilação verificando-se que, nos caso em que existe diferença de cota entre as zonas a ventilar, a posição das janelas não tem uma influência muito significativa mas que no caso de zonas à mesma cota, a localização de todas as aberturas numa mesma fachada diminui de forma significativa o potencial de arrefecimento através da ventilação natural, aumentando assim o risco de sobreaquecimento.

O quadro que se segue apresenta o resultado obtido para a carga de arrefecimento e horas de sobreaquecimento para os cenários em estudo para a localização Bragança (V2).

Quadro 5.16 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 1 a 6 do GA2 para a localização Bragança

BRAGANÇA		Cenário 1 (mesmo nível fach. opostas)		Cenário 2 (mesmo nível mesma fach.)		Cenário 3 (mesmo nível fach. adjacentes)		Cenário 4 (nível diferente fach. opostas)		Cenário 5 (nível diferente mesma fachada)		Cenário 6 (nível diferente fach. adjacentes)	
DIA	Horas em que te>ti (fechar janelas)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)
197	12 - 20	13	13,4	18	17,2	14	13,8	12	11,2	13	12,2	12	11,3
198	11 - 20	13	12,5	18	17,5	13	12,6	13	11,1	13	13,4	13	11,1
199	11 - 19	14	14,4	17	16,4	14	13,4	12	13,0	15	12,8	12	11,5
200	12 - 19	12	10,4	17	16,0	11	9,0	11	8,4	13	11,2	11	7,8
201	13 - 20	12	10,6	17	16,6	13	9,5	11	8,3	12	11,3	12	7,6
202	12 - 21	12	9,8	18	18,6	12	10,5	12	8,6	14	13,5	12	9,3
203	10 - 23	16	16,1	20	20,7	17	17,1	15	15,4	19	19,1	16	16,4
204	10 - 22	19	20,6	21	21,2	20	20,8	19	19,9	20	20,5	20	20,0
205	10 - 23	15	17,2	21	19,8	15	17,1	15	17,0	18	17,6	15	16,9
206	11 - 19	15	16,2	17	17,2	17	16,4	13	14,0	16	14,4	13	13,8

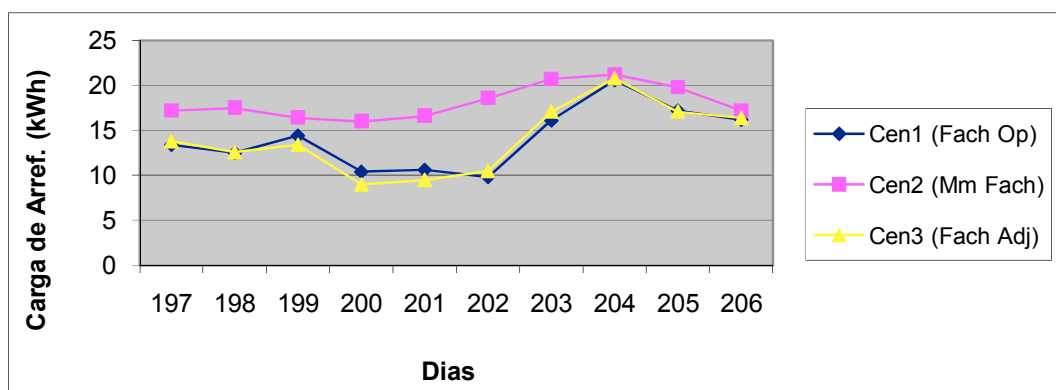


Figura 5.48 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2 e 3 (zonas à mesma cota) do GA2 para a localização Bragança

À semelhança do que acontecia para a localização Porto, verificamos que os resultados obtidos para os cenários 1 e 3 são muito próximos. Neste caso, por se tratar de uma zona mais quente, em que a temperatura exterior é mais elevada, verificamos que ao contrário do que acontecia para a localização Porto, não existe nenhum dia do período de análise em que a carga de arrefecimento seja próxima de zero e como tal, a máxima diferença entre o cenário 2 e os cenários 1 e 3 será menor do que acontecia no caso do Porto. Verificamos neste caso que a carga de arrefecimento para o cenário 2 é em média 37% superior à obtida pelo cenário 3, sendo no máximo 75% superior, sendo que a máxima diferença se verifica nos dias em que a carga de arrefecimento é menor. Como podemos verificar através dos dados constantes do Quadro 5.16 o número de horas em que a janela permanece fechada é superior, quando comparado com a localização Porto, e assim o potencial de arrefecimento da ventilação natural neste caso é, em geral, menor.

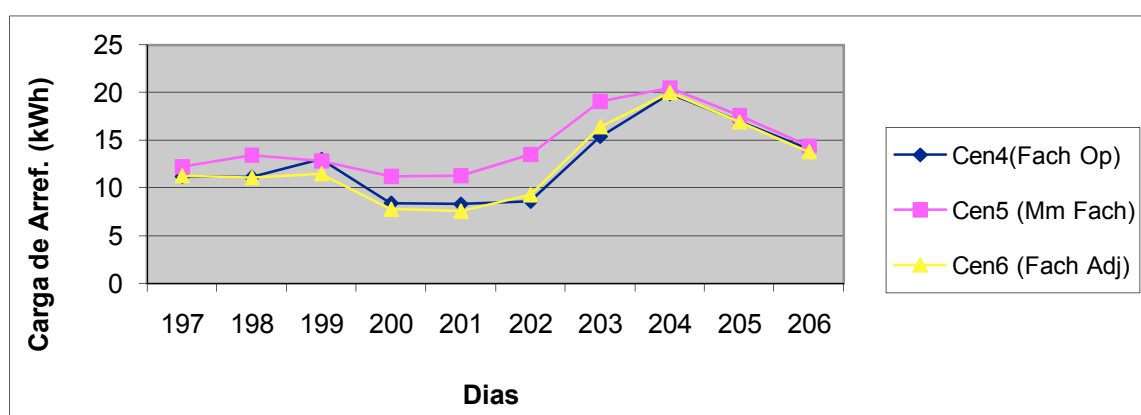


Figura 5.49 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 4, 5 e 6 (zonas a cota diferente) do GA2 para a localização Bragança

Neste caso a diferença da carga de arrefecimento para os diferentes cenários é ainda menor, em média 20 % superior no cenário 5 por comparação com o cenário 6.

Fazendo novamente a comparação entre os cenários 1 e 4, 2 e 5 e 3 e 6, cenários cuja disposição de janelas é semelhante, fachadas opostas, mesma fachada e fachadas adjacentes respectivamente, e em que as zonas que compõem a fracção tipo estão situadas à mesma cota, no caso dos primeiros, e a cotas diferentes nos restantes obtiveram-se os seguintes resultados:

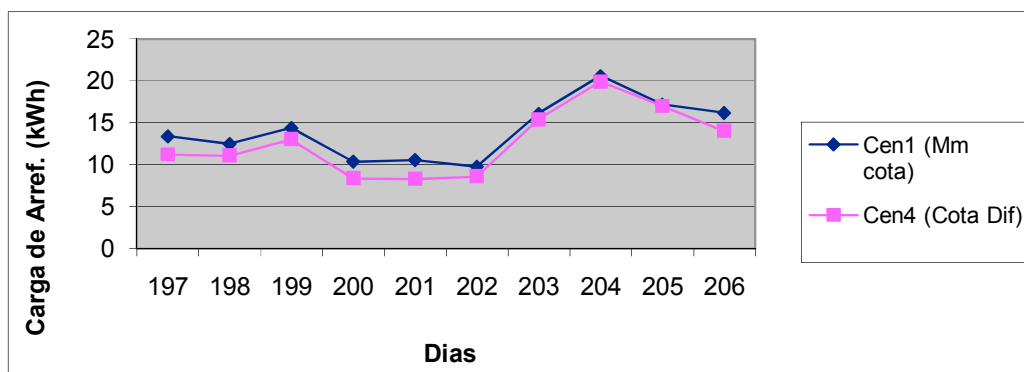


Figura 5.50 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1 e 4 (janelas em fachadas opostas) do GA2 para a localização Bragança

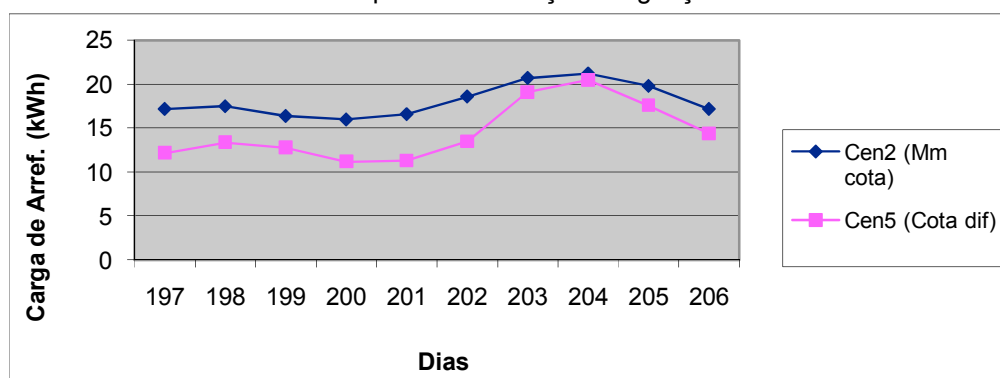


Figura 5.51 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2 e 5 (janelas na mesma fachada) do GA2 para a localização Bragança

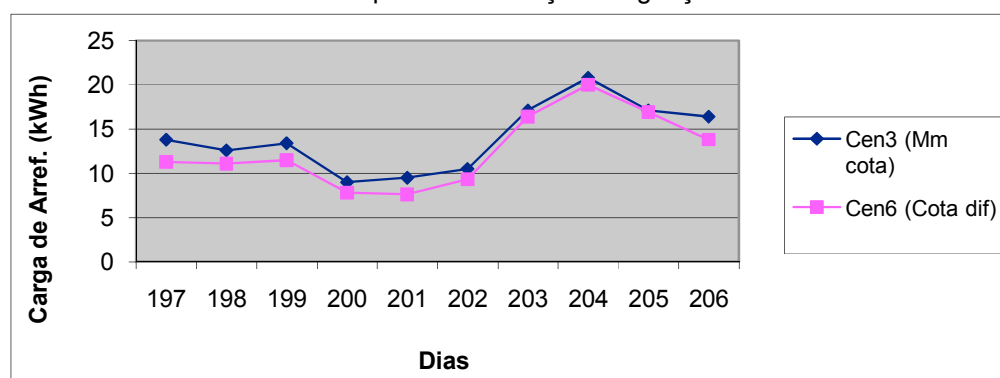


Figura 5.52 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 3 e 6 (janelas em fachadas adjacentes) do GA2 para a localização Bragança

Os resultados dos cenários propostos para a localização Bragança apontam para as mesmas conclusões. De todos os cenários propostos, o cenário 2 é aquele que apresenta

menor potencial de arrefecimento através da ventilação natural, e consequentemente, o que conduz a valores mais elevados de carga de arrefecimento para os diferentes dias do período de análise. Conclui-se ainda que para uma localização com clima mais quente a penalização que resulta da localização de todas as aberturas numa mesma fachada assume particular importância, uma vez que a carga de arrefecimento é naturalmente maior, e o número de horas em que a temperatura exterior é superior a 25° C é também maior, e assim o número de horas em que a janela permanece fechada é maior.

Relativamente aos restantes cenários propostos, como foi referido, pretende-se avaliar a importância das aberturas interiores no potencial de ventilação das fracções tipo definidas nos cenários 1, 2 e 3. Assim, iremos comparar os resultados obtidos nestes cenários com os resultados relativos aos cenários em que, para a mesma fracção tipo, mantemos as janelas sempre fechadas e também relativos aos cenários em que mantemos 10% da área das janelas aberta sempre que $T_e < 25^\circ \text{C}$, considerando agora para a abertura interior um coeficiente de descarga de 0,02. A redução do coeficiente de descarga produz um efeito semelhante ao de reduzir a área da abertura interior. Neste caso pretendemos simular a situação em que a porta interior se encontra fechada, consistindo a abertura de passagem em folgas de 2 cm de altura, no topo e na base da porta a toda a sua largura, totalizando 0,04 m² de área útil e 2% da sua área total.

Na seguinte figura podemos ver a representação gráfica dos diferentes cenários aplicados à fracção tipo do cenário 1.

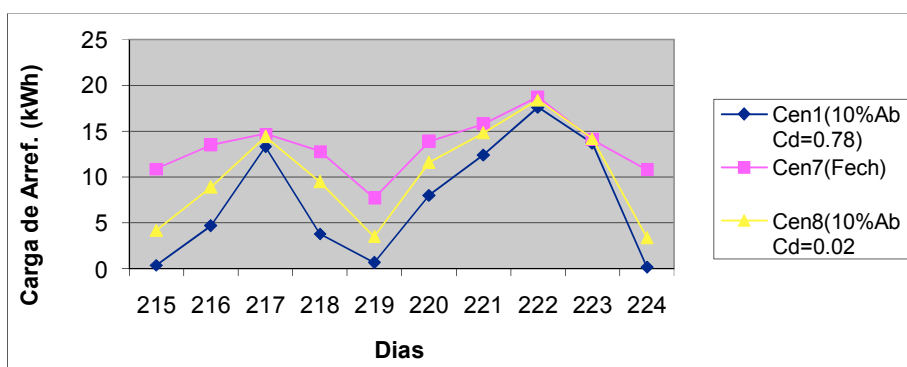


Figura 5.53 – Carga de arrefecimento para os cenários 1, 7 e 8 (zonas à mesma cota e janelas em fachadas opostas) do GA2 para a localização Porto

Como podemos ver a diferença entre o cenário 1 e 7 representa a diminuição da carga de arrefecimento da fracção em estudo que resulta da abertura de 10% da área das janelas no período já referido, considerando como coeficiente de descarga da abertura interior o valor de 0,78. Se a porta interior permanecesse fechada, apenas existindo as referidas folgas, o valor da carga de arrefecimento seria o determinado para o Cenário 8, que representa um

aumento da carga de arrefecimento por comparação com o cenário 1, ou uma diminuição do potencial de arrefecimento da ventilação natural. A redução na carga de arrefecimento conseguida com o cenário de ventilação 1 é em média de 43%, enquanto no caso do cenário 8 esta redução é em média de 27%, ou seja, o potencial de arrefecimento através da ventilação natural desce em quase 50% para a configuração da fracção tipo do cenário 1. Já em relação à configuração da fracção tipo correspondente ao cenário 2 verificamos que o potencial de arrefecimento da ventilação natural neste caso é praticamente nulo e consequentemente não é possível determinar qual a influência da abertura interior.

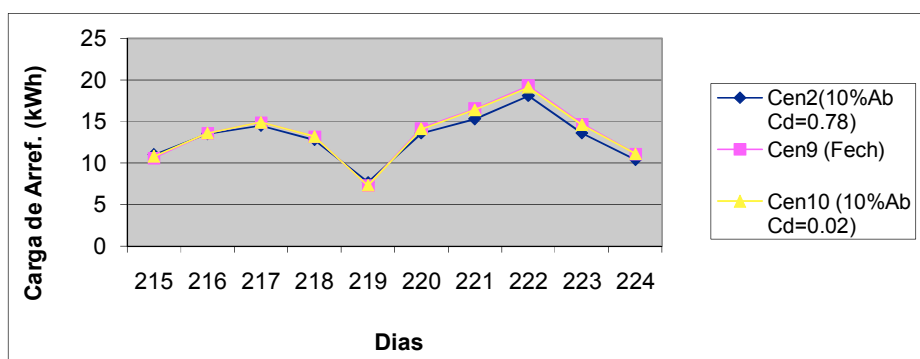


Figura 5.54 – Carga de arrefecimento para os cenários 2, 9 e 10 (zonas à mesma cota e janelas na mesma fachada) do GA2 para a localização Porto

Finalmente relativamente aos cenários 3, 11 e 12 verificamos um comportamento muito semelhante ao correspondente à configuração da fracção tipo do cenário 1, sendo neste caso a redução média na carga de arrefecimento conseguida com o cenário de ventilação 3 de 48% e no cenário 8 de 24%.

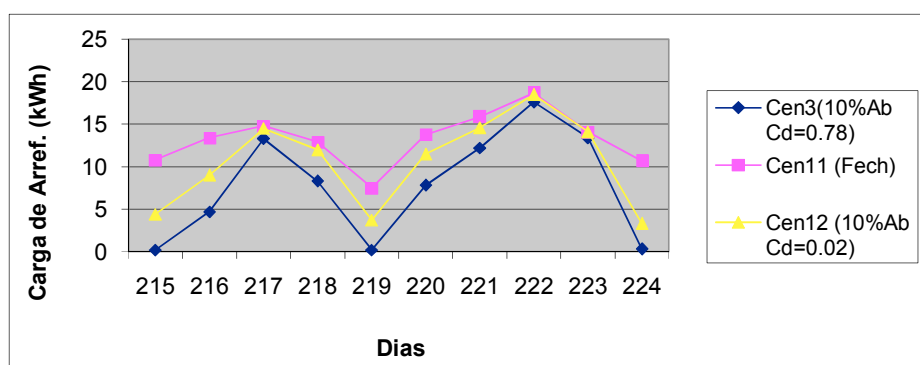


Figura 5.55 – Carga de arrefecimento para os cenários 3, 11 e 12 (zonas à mesma cota e janelas em fachadas adjacentes) do GA2 para a localização Porto

Os resultados apresentados evidenciam a forma como a área das aberturas interiores podem condicionar o potencial de arrefecimento da ventilação natural, podendo a redução chegar aos 50%.

5.6 – Grupo de Análise 3 (Orientação de fachadas e aberturas em relação ao vento dominante)

No âmbito do Grupo de Análise 3 estabeleceram-se diferentes cenários a simular de forma a avariar a influência da orientação das fachadas na carga de arrefecimento da fracção, nomeadamente por efeito das diferenças na radiação solar para as diferentes orientações, bem como avaliar a importância da coincidência da orientação das aberturas relativamente à direcção dos ventos dominantes e o seu impacto na carga de arrefecimento.

5.6.1 - Fracção Tipo 1

Numa primeira fase realizaram-se simulações para a Fracção Tipo 1, com características semelhantes às definidas em cenários anteriores, com envolvente exterior e interior (paredes exteriores, paredes interiores, envidraçados, ganhos internos e características operativas) semelhante à considerada nas simulações já realizadas. Esta fracção tipo 1 será composta por duas zonas, dotadas de um envidraçado cada, localizados na mesma fachada e em que apenas uma das fachadas é exterior. Fez-se variar a orientação da fachada exterior e determinou-se qual seria a carga de arrefecimento resultante, mantendo as janelas sempre fechadas ou considerando um cenário de abertura de 20% da área das janelas quanto $T_e < 25^\circ\text{C}$. Estas simulações foram realizadas para as localizações Porto, Bragança e Évora, para os períodos de análise anteriormente definidos.

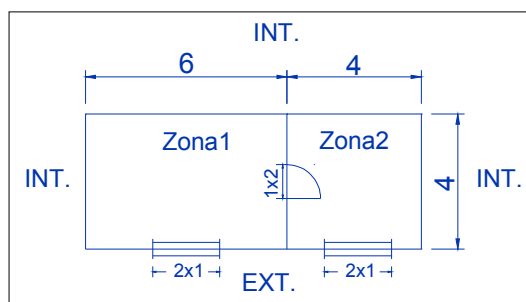


Figura 5.56 – Fracção Tipo 1 a simular nos cenários propostos no Grupo de Análise 3

5.6.2 - Cenários Propostos

Estabeleceram-se os seguintes cenários a simular para a fracção tipo 1.

Quadro 5.17 - Cenários propostos no Grupo de Análise 3

GRUPO DE ANÁLISE 3 (GA3)	
Cenário	Descrição
Cenário 1	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Norte em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia
Cenário 2	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Este em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia
Cenário 3	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Sul em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia;
Cenário 4	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Oeste em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia;
Cenário 5	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Norte com abertura de 20% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 6	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Este com abertura de 20% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 7	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Sul com abertura de 20% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.
Cenário 8	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Oeste com abertura de 20% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$.

5.6.3 - Resultados

Conforme descrito realizaram-se simulações para os diferentes cenários propostos tendo-se registado, para cada dia simulado, a carga de arrefecimento diária (kWh) e o número de horas de sobreaquecimento resultantes de cada um deles.

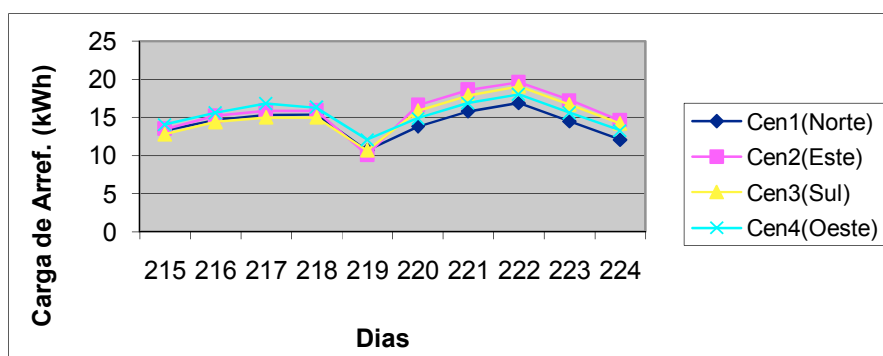


Figura 5.57– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2, 3 e 4 do GA3 para a localização Porto

Analisando os resultados verificamos que as diferenças na carga de arrefecimento para as diferentes orientações de parede exterior consideradas são pouco significativas, com variações da ordem dos 10%.

Atendendo ao exposto no Capítulo 4, e tendo em conta as parcelas que contribuem para a carga de arrefecimento, as diferenças encontradas na carga de arrefecimento para cada orientação, e para o caso em que as janelas permanecem fechadas, ficam a dever-se aos diferentes ganhos solares que resultam dos diferentes valores de radiação incidente através dos envidraçados para cada orientação e também às diferenças nos ganhos através da envolvente opaca, igualmente devidos aos diferentes valores da radiação incidente para as diferentes orientações.

Vejamos agora qual o potencial de redução da carga de arrefecimento que resulta da abertura de 20% da área das janelas para as diferentes orientações, por comparação com os cenários em que as janelas permanecem sempre fechadas.

Quadro 5.18 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 5 a 8 do GA3 para a localização Porto

PORTO		Cenário 5 (Norte)		Cenário 6 (Este)		Cenário 7 (Sul)		Cenário 8 (Oeste)	
DIA	Horas em que $t_e > t_i$ (fechar janelas)	Horas Sobreac	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreac	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreac	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreac	Carga de Arref (kWh)
215	0	12	10,2	14	10,4	13	9,8	12	11,1
216	0	15	12,6	14	13,4	13	12,5	14	13,6
217	11 - 13	19	14,0	19	14,7	19	13,7	19	15,6
218	0	23	15,0	22	15,8	22	14,8	23	16,1
219	0	12	6,7	14	6,0	12	6,8	11	8,1
220	14 - 16	17	11,7	17	14,6	16	13,9	17	12,8
221	10 - 18	24	15,6	24	18,6	24	17,8	24	16,7
222	9 - 21	24	15,9	24	18,8	24	18,1	24	17,0
223	12, 14 - 17	21	13,6	21	16,8	21	16,1	21	14,8
224	0	12	8,9	14	11,7	13	11,3	13	10,1

Para facilitar a comparação representou-se graficamente em simultâneo o resultado obtido para a carga de arrefecimento para o cenário 2, que servirá como referencial dos cenários em que as janelas permanecem fechadas, e para os cenários 5, 6, 7 e 8.

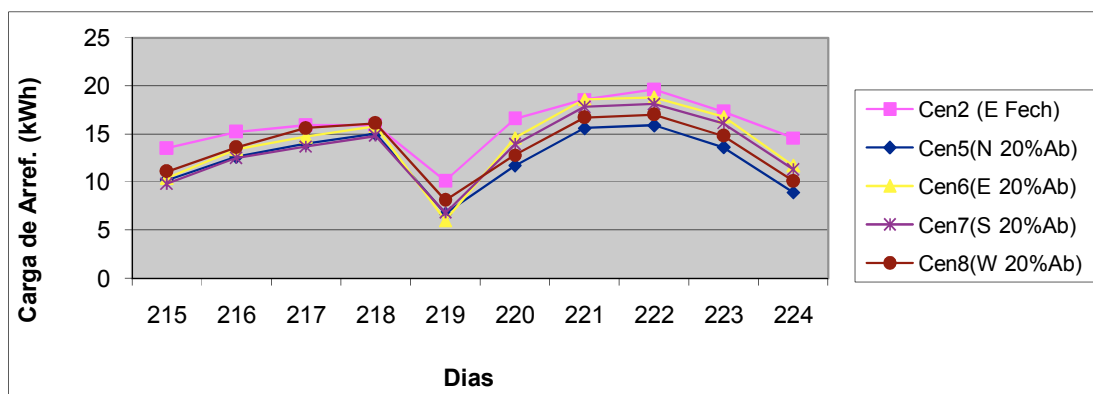


Figura 5.58– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2, 4, 5, 6, 7 e 8 do GA3 para a localização Porto

Verificamos que a abertura das janelas em 20% da sua área produz uma redução média de 14,1% para a fachada a Norte, 12,2% para a fachada voltada a Este e 12,5% para os casos de fachada a Sul e Oeste. Verificamos que apesar de estarmos a abrir uma grande percentagem de janela o valor da redução máxima conseguido é pouco significativo, o que fica a dever-se ao pequeno potencial de ventilação dos sistemas de ventilação unilateral. Uma vez que a carga de arrefecimento toma valores muito semelhantes para as diferentes orientações consideradas devemos atribuir o maior ou menor potencial de cada uma das orientações à influência do vento, e a coincidência da sua direcção predominante com a das aberturas nos diferentes cenários.

Considerando a localização Bragança, obtiveram-se os seguintes resultados:

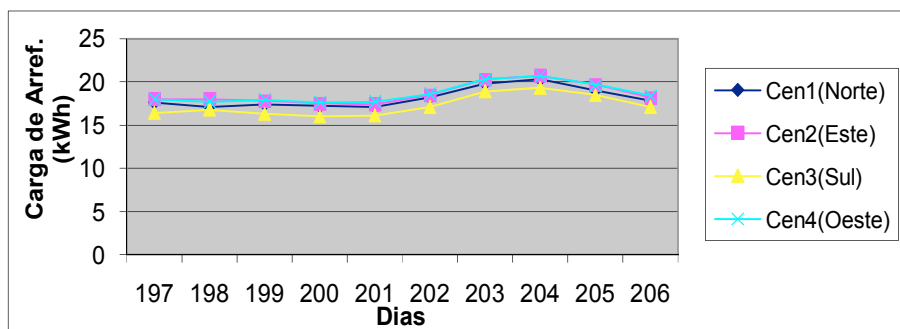


Figura 5.59– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2, 3 e 4 do GA3 para a localização Bragança

Uma vez mais verificam-se pequenas diferenças na carga de arrefecimento para as diferentes alterações. Tal facto poderá ficar a dever-se a termos apenas um elemento de fachada exterior e também pelo facto de os envidraçados representarem uma pequena percentagem da área de pavimento.

A abertura das janelas em 20% da sua área para os cenários propostos para a localização Bragança conduziu aos resultados constantes da seguinte tabela:

Quadro 5.19 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 5 a 8 do GA3 para a localização Bragança

BRAGANÇA		Cenário 5 (Norte)		Cenário 6 (Este)		Cenário 7 (Sul)		Cenário 8 (Oeste)	
DIA	Horas em que $t_e > t_i$ (fechar janelas)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)
197	12 - 20	19	16,0	19	16,5	19	14,8	19	16,3
198	11 - 20	20	15,6	20	16,7	20	15,4	20	16,2
199	11 - 19	22	16,0	22	16,6	22	14,9	22	16,5
200	12 - 19	20	15,4	20	15,9	20	14,3	20	15,8
201	13 - 20	19	15,4	19	15,9	19	14,5	19	16,0
202	12 - 21	20	16,4	20	16,9	20	15,4	20	16,8
203	10 - 23	24	19,4	24	20,0	24	18,5	24	19,9
204	10 - 22	24	20,3	24	20,8	24	19,3	24	20,7
205	10 - 23	24	18,5	24	19,3	24	18,0	24	19,2
206	11 - 19	24	17,1	24	17,7	24	16,5	24	17,7

De forma análoga representou-se graficamente o valor da carga de arrefecimento para os diferentes cenários de abertura de janelas, conjuntamente com o cenário 2, que será o cenário limite.

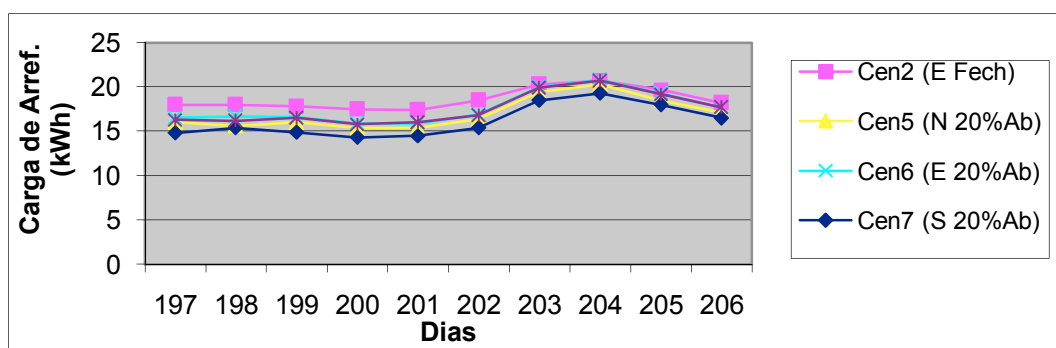


Figura 5.60– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 2, 5, 6, 7 e 8 do GA3 para a localização Bragança

Verificamos neste caso que a redução média na carga de arrefecimento é de 6,5% para a fachada voltada a Norte, 5,4% para a fachada a Este, 6,6% para a fachada a Sul e finalmente 6,4% para a fachada a Oeste. De notar que a carga de arrefecimento média com as janelas fechadas para a localização Bragança é superior à do Porto, sendo que a redução média na carga de arrefecimento conseguida com a abertura das janelas, para as diferentes orientações, é neste caso aproximadamente 50% menor.

Finalmente para a localização Évora vem:

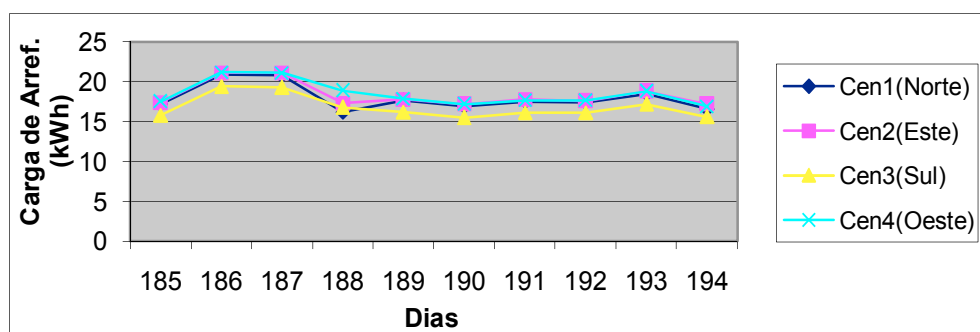


Figura 5.61– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 1, 2, 3 e 4 do GA3 para a localização Évora

Uma vez mais os resultados apresentados mostram diferenças pouco significativas na carga de arrefecimento para as diferentes orientações consideradas da fachada exterior. Abrindo as janelas podemos verificar a seguinte redução, para cada orientação considerada:

Quadro 5.20 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 5 a 8 do GA3 para a localização Évora

ÉVORA		Cenário 5 (Norte)		Cenário 6 (Este)		Cenário 7 (Sul)		Cenário 8 (Oeste)	
DIA	Horas em que $t_e > t_i$ (fechar janelas)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)
185	13 - 20	18	15,3	18	15,7	18	13,9	18	15,6
186	7 - 24	24	20,1	24	20,4	24	18,7	24	20,4
187	9 - 23	24	20,8	24	21,1	24	19,3	24	21,0
188	10 - 22	24	16,2	24	17,3	24	16,8	24	19,0
189	12 - 19	24	17,0	24	17,3	24	15,6	24	17,2
190	13 - 19	19	15,0	19	15,4	19	13,6	19	15,3
191	12 - 20	19	15,4	19	15,9	19	14,0	19	15,6
192	12 - 20	20	15,4	20	15,7	18	14,1	19	15,7
193	11 - 20	19	16,8	19	17,2	19	15,5	19	17,0
194	12 - 19	20	14,8	20	15,6	20	13,9	20	15,0

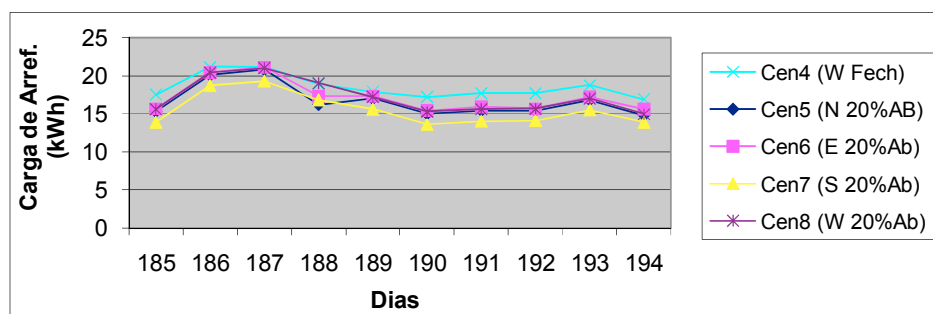


Figura 5.62– Carga de arrefecimento para os cenários 4, 5, 6, 7 e 8 do GA3 para a localização Évora

Verificamos, neste caso, que a redução média na carga de arrefecimento é de 7,4% para a fachada voltada a Norte, 6,6% para a fachada a Este, 7,8% para a fachada a Sul e finalmente 7,4% para a fachada a Oeste.

Os cenários simulados no presente Grupo de Análise (Cenários 1 a 8) representam uma fracção tipo com um sistema de ventilação natural unilateral e por conseguinte com baixo potencial de arrefecimento por ventilação, independentemente da orientação considerada.

De uma forma genérica podemos concluir que a redução da carga de arrefecimento estará compreendida entre os 12 e os 14% no caso do Porto, entre os 5 e os 6 % no caso de Bragança e entre os 6 e os 7% no caso de Évora. Apesar de estes valores serem pouco significativos importa salientar que a percentagem de horas de desconforto devido à velocidade do ao no interior, verificada para os diferentes cenários, está sempre abaixo dos 5%. Os resultados encontrados não permitem extrapolar qual será a orientação com melhor potencial de arrefecimento para as diferentes localizações uma vez que a percentagem de variação da carga de arrefecimento é muito pequena e consequentemente a redução conseguida é pouco significativa, não sendo suficiente para justificar um particular cuidado na adopção de uma orientação em detrimento de outra. Podemos sim concluir que no pior cenário obteremos 5% de redução de carga de arrefecimento.

5.6.4 - Fracção Tipo 2

Definiram-se em seguida um conjunto de cenários adicionais com o objectivo de estudar o mesmo parâmetro mas considerando uma fracção tipo em que ocorresse ventilação cruzada. Assim, optou-se pela configuração da fracção tipo 2, em tudo semelhante à fracção tipo 1, mas em que as janelas estão localizadas em fachadas opostas.

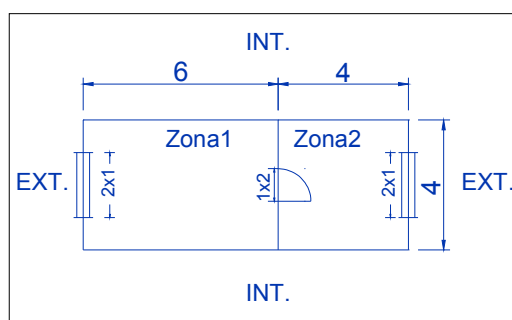


Figura 5.63– Fracção Tipo 2 a simular nos cenários propostos no Grupo de Análise 3

5.6.5 - Cenários Propostos

Estabeleceram-se então cenários complementares a simular para a fracção tipo 2:

Quadro 5.21 - Cenários complementares propostos no Grupo de Análise 3

GRUPO DE ANÁLISE 3 (GA3)	
Cenário	Descrição
Cenário 9	Fracção Tipo 2 com fachadas exteriores voltadas a Norte/Sul em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia;
Cenário 10	Fracção Tipo 2 com fachadas exteriores voltadas a Este/Oeste em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia;
Cenário 11	Fracção Tipo 2 com fachada exterior voltada a Noroeste/Sudeste em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia;
Cenário 12	Fracção Tipo 1 com fachada exterior voltada a Nordeste/Sudoeste em que todas as janelas permanecem fechadas durante todo o dia;
Cenário 13	Fracção Tipo 2 com fachadas exteriores voltadas a Norte/Sul com abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$;
Cenário 14	Fracção Tipo 2 com fachadas exteriores voltadas a Este/Oeste com abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$;
Cenário 15	Fracção Tipo 2 com fachadas exteriores voltadas a Noroeste/Sudeste com abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$;
Cenário 16	Fracção Tipo 2 com fachadas exteriores voltadas a Nordeste/Sudoeste com abertura de 10% da área de todas as janelas sempre que $T_e < 25^\circ\text{C}$;

No presente caso, em virtude de termos janelas em fachadas opostas optou-se por uma área de abertura de janelas de 10% para que o desconforto devido à velocidade do ar no interior não seja muito elevado.

5.6.6 – Resultados

Determinou-se a carga de arrefecimento e o número de horas de sobreaquecimento para o período de simulação e para a localização Porto.

Quadro 5.22- Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 9 a 12 do GA3 para a localização Porto

PORTO	Cenário 9 (Norte/Sul)		Cenário 10 (Este/Oeste)		Cenário 11 (NW/SE)		Cenário 12 (NE/SW)	
DIA	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)
215	24	13,0	24	13,8	24	13,7	24	13,5
216	20	14,4	20	15,3	20	15,2	20	15,1
217	23	15,0	24	16,2	24	16,2	24	16,0
218	24	15,1	24	16,1	24	16,0	24	15,8
219	24	10,8	24	11,1	24	11,3	24	10,9
220	21	14,8	21	15,6	21	15,6	21	15,4
221	24	16,8	24	17,6	24	17,5	24	17,3
222	24	17,8	24	18,6	24	18,6	24	18,4
223	24	15,5	24	16,3	24	16,3	24	16,1
224	24	13,2	24	13,9	24	13,9	24	13,5

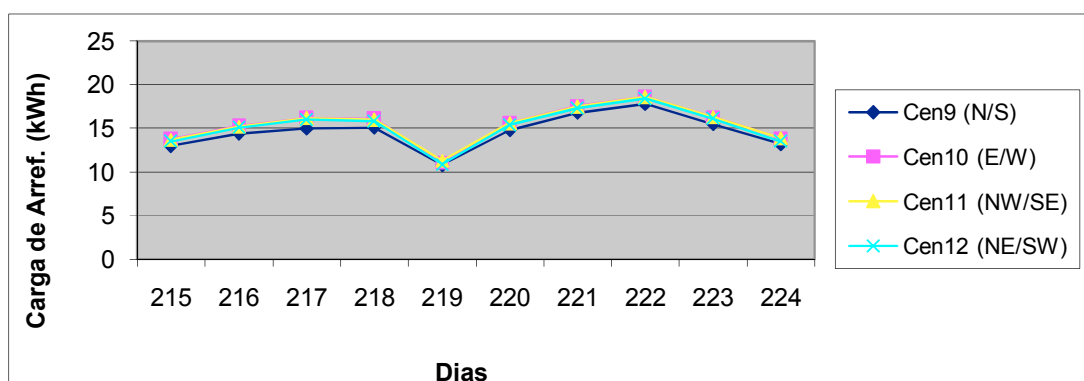


Figura 5.64– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 9, 10, 11 e 12 do GA3 para a localização Porto

À semelhança do que acontecia nos cenários anteriores verificamos, desta vez de forma ainda mais acentuada, que a carga de arrefecimento para os diferentes cenários é muito semelhante. Vejamos agora o que acontece como consequência da abertura das janelas. Optou-se por representar graficamente os resultados das simulações para os cenários 13, 14, 15 e 16 em conjunto com o cenário 10 que é o mais gravoso, ainda que, como vimos seja praticamente igual aos restantes, de forma a podermos avaliar o potencial de arrefecimento relativo entre eles.

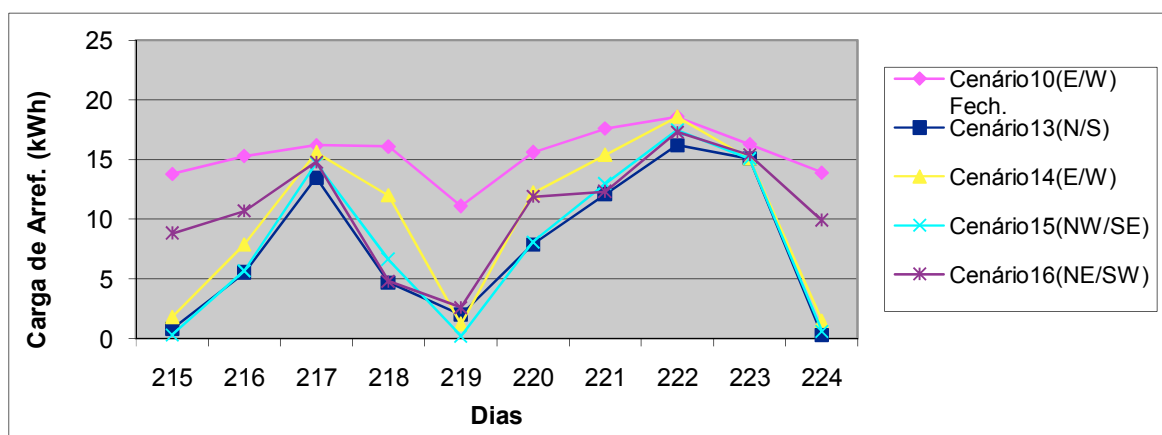


Figura 5.65– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 10, 13, 14, 15 e 16 do GA3 para a localização Porto

No presente caso determinou-se que a redução média na carga de arrefecimento é de 52,6% para fachadas na direcção Norte/Sul, 38,5% para fachadas na direcção Este/Oeste, 51,0% para fachadas na direcção Noroeste/Sudeste e finalmente 31,7% para as fachadas Nordeste/Sudoeste. Relembrando o perfil da direcção do vento dominante no período de análise, que evidenciava as direcções Norte e Noroeste como predominantes, vemos que os cenários com configurações coincidentes com essas direcções, Norte/Sul e Noroeste/Sudeste apresentam maior redução que a conseguida para as restantes direcções.

Realizaram-se igualmente simulações para a localização Bragança tendo-se obtido os seguintes resultados:

Quadro 5.23 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 9 a 12 do GA3 para a localização Bragança

BRAGANÇA	Cenário 9 (Norte/Sul)		Cenário 10 (Este/Oeste)		Cenário 11 (NW/SE)		Cenário 12 (NE/SW)	
DIA	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)
197	24	16,9	24	17,8	24	17,6	24	17,7
198	24	16,8	24	17,7	24	17,7	24	17,6
199	24	16,7	24	17,7	24	17,5	24	17,5
200	24	16,5	24	17,4	24	17,2	24	17,3
201	24	16,5	24	17,4	24	17,2	24	17,3
202	22	17,4	22	18,4	22	18,2	22	18,2
203	24	19,1	24	20,0	24	19,9	24	19,9
204	24	19,5	24	20,4	24	20,3	24	20,3
205	24	18,5	24	19,4	24	19,3	24	19,3
206	24	17,3	24	18,1	24	18,0	24	18,1

A representação gráfica destes resultados conduz-nos a uma análise semelhante à realizada no caso do Porto.

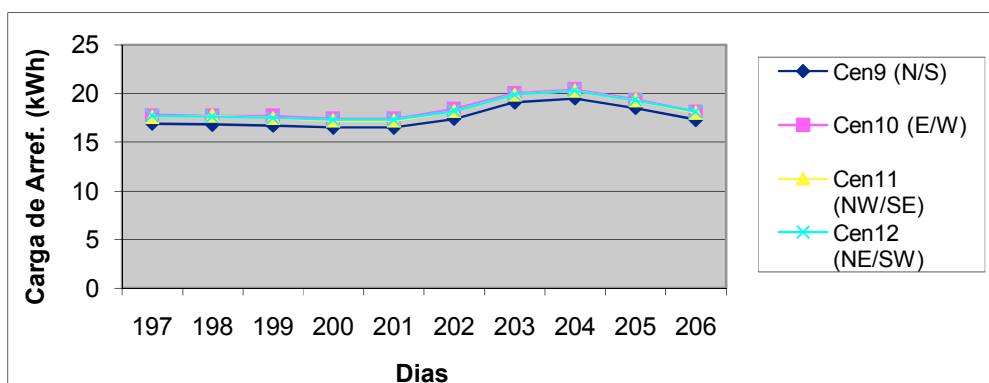


Figura 5.66– Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 9, 10, 11 e 12 do GA3 para a localização Bragança

Analiseemos agora o que acontece com a carga de arrefecimento se abrirmos 10% da área das janelas. Uma vez mais representaram-se graficamente os resultados do cenário 10 em conjunto com os dos cenários 13 a 16.

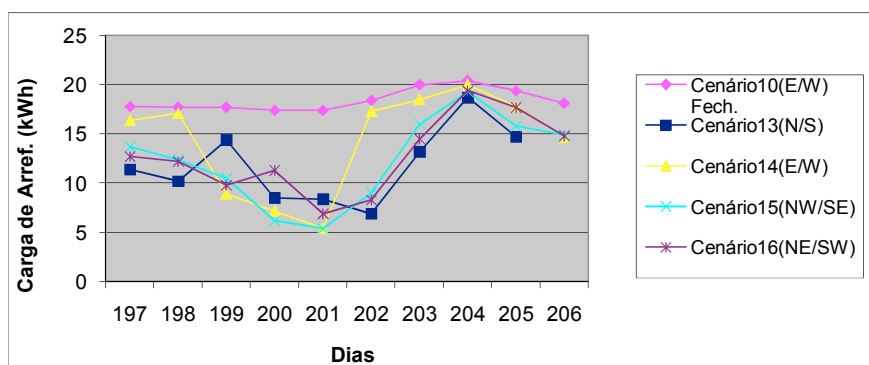


Figura 5.67 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 10, 13, 14, 15 e 16 do GA3 para a localização Bragança

A redução média na carga de arrefecimento será de 33,7% para fachadas na direcção Norte/Sul, 23,1% para fachadas na direcção Este/Oeste, 34,0% para fachadas na direcção Noroeste/Sudeste e finalmente 31,4% para as fachadas Nordeste/Sudoeste.

A direcção predominante dos ventos neste caso, como evidenciado na Figura 5.7, é Norte e Oeste. Os resultados confirmam a direcção Norte/Sul como de grande potencial enquanto o resultado obtido para a direcção Este/Oeste não evidencia a relação entre orientação e direcção dominante do vento.

A principal conclusão a retirar destes resultados é de que, independentemente da orientação, a abertura de janelas permite uma redução média na carga de arrefecimento que no mínimo será de 23% e no máximo chegará aos 34%.

Finalmente para a localização Évora obtiveram-se os seguintes resultados:

Quadro 5.24 - Carga de arrefecimento (kWh) e horas de sobreaquecimento para os cenários 9 a 12 do GA3 para a localização Évora

ÉVORA	Cenário 9 (Norte/Sul)		Cenário 10 (Este/Oeste)		Cenário 11 (NE/SW)		Cenário 12 (NW/SE)	
DIA	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)	Horas Sobreaq	Carga de Arref (kWh)
215	21	16,2	21	17,0	21	16,9	21	16,9
216	24	17,2	24	18,1	24	18,0	24	17,9
217	24	15,2	24	16,1	24	16,0	24	15,9
218	22	16,3	22	17,2	22	17,1	22	17,0
219	24	17,9	24	18,9	24	18,8	24	18,7
220	24	18,3	24	19,9	24	19,8	24	19,7
221	24	19,7	24	20,6	24	20,5	24	20,4
222	24	20,1	24	20,9	24	20,8	24	20,7
223	24	19,4	24	20,2	24	20,2	24	20,0
224	24	17,8	24	18,6	24	18,6	24	18,4

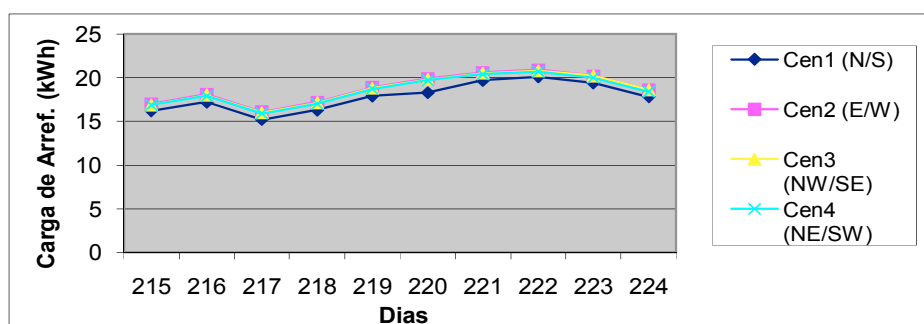


Figura 5.68 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 9, 10, 11 e 12 do GA3 para a localização Évora

Representou-se em seguida o valor da carga de arrefecimento para o cenário 10 em conjunto com os cenários 13, 14, 15 e 16.

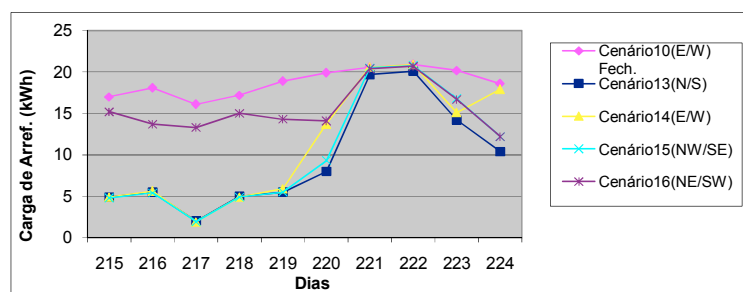


Figura 5.69 – Carga de arrefecimento (kWh) para os cenários 10, 13, 14, 15 e 16 do GA3 para a localização Évora

A redução média na carga de arrefecimento será de 51,2% para fachadas na direcção Norte/Sul, 42,9% para fachadas na direcção Este/Oeste, 47,8% para fachadas na direcção Noroeste/Sudeste e finalmente 17,2% para as fachadas Nordeste/Sudoeste. A direcção predominante do vento que havia sido evidenciada na Figura 5.8 é Noroeste, que coincide com uma das orientações com maior potencial de redução da carga de arrefecimento.

Os resultados obtidos através das simulações realizadas para as diferentes localizações indiciam a relação entre o potencial de diminuição da carga de arrefecimento e a coincidência da orientação das fachadas com a direcção predominante do vento, podendo no entanto existir orientações que apresentem maior potencial uma vez que a relação que se pretende evidenciar não é linear, estando dependente de outras variáveis tais como a velocidade do vento e temperatura exterior. De facto a predominância do vento em determinada direcção pode ocorrer num período em que $T_e > 25^\circ \text{C}$, e como tal em que a ventilação seja nula.

O conhecimento da direcção do vento para as diferentes localizações deverá ser um factor a ter em conta no processo de concepção dos edifícios. A informação relativa à direcção do vento durante toda a estação de Verão para as diferentes localizações em estudo foi tratada e representada graficamente como em seguida se evidencia.

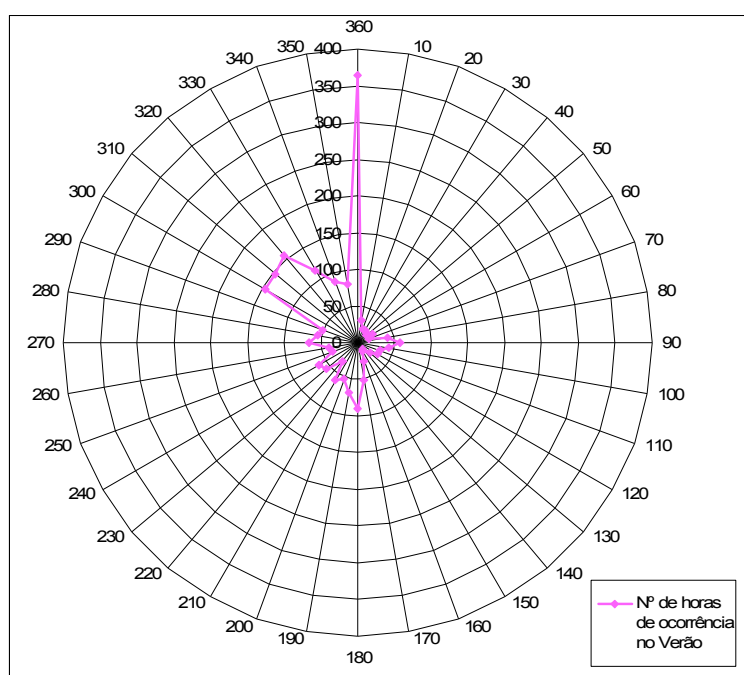


Figura 5.70 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Porto, durante a estação de Verão

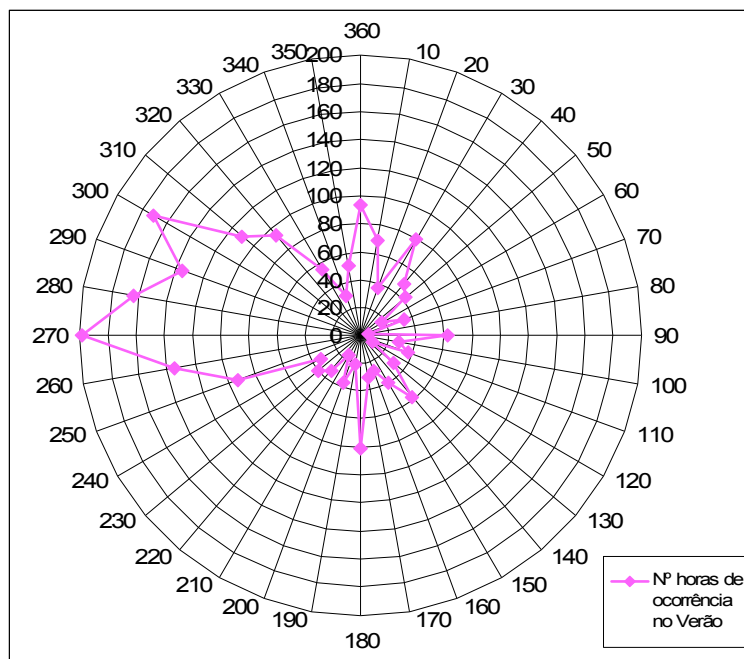


Figura 5.71 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Bragança, durante a estação de Verão

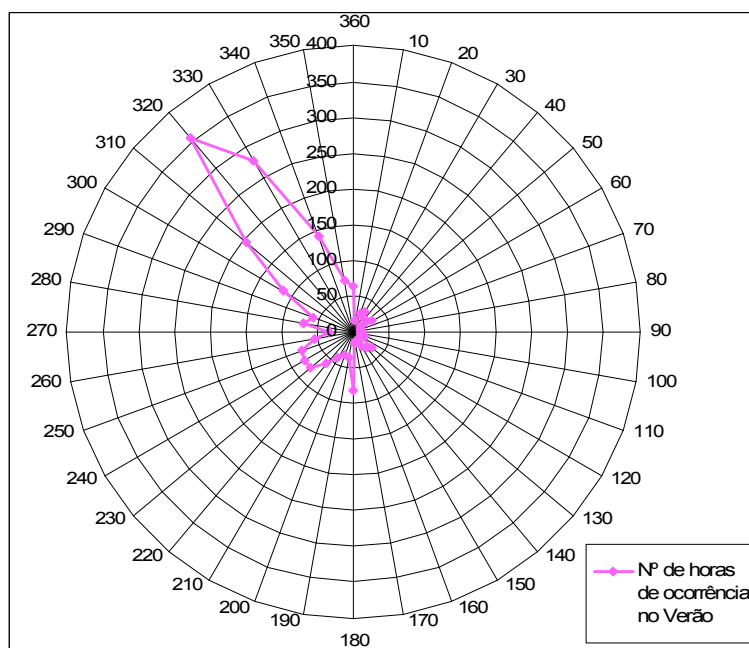


Figura 5.72 – Número de horas de ocorrência das diferentes direcções do vento para a localização Évora, durante a estação de Verão

5.7 – Grupo de Análise 4 (Inércia Térmica)

Por último iremos averiguar qual a influência da Inércia Térmica do edifício em conjunto com a ventilação natural no conforto térmico no interior durante a estação de arrefecimento. Como vimos no Ponto 3.5, o aumento da Inércia Térmica do edifício não produz alteração

no total das perdas e ganhos de calor do edifício no final do dia, resultando sim numa diminuição do valor máximo da carga de arrefecimento e num atraso temporal no instante em que esse máximo ocorre, em virtude de os elementos da envolvente absorverem parte do calor e o restituírem num momento posterior.

Para avaliar este parâmetro recorreu-se ao software de cálculo LESOCOOL, que funciona com base num sistema de temperatura variável, e que fornece resultados relativos à temperatura interior.

O programa permite definir diferentes classes de inércia características para a fracção tipo em estudo, caracterizadas através da efusividade térmica média da zona. O programa define quatro valores característicos tipo possíveis, a saber:

- Inércia Muito Forte – 90% da área da superfície dos materiais com capacidade de armazenamento encontra-se exposta, tecto, pavimento e paredes de contorno. O valor médio da efusividade é muito elevado, da ordem de $bm = 1500 \text{ (Ws}^{0.5}/\text{m}^2\text{K)}$.
- Inércia Forte – 60% da área da superfície dos materiais com capacidade de armazenamento encontra-se exposta, pavimento e tecto ou pavimento e paredes de contorno ou tecto e paredes de contorno. O valor médio da efusividade é $bm = 1000 \text{ (Ws}^{0.5}/\text{m}^2\text{K)}$.
- Inércia Média – 30% da área da superfície dos materiais com capacidade de armazenamento encontra-se exposta, tecto ou pavimento ou paredes de contorno. O valor médio da efusividade é $bm = 500 \text{ (Ws}^{0.5}/\text{m}^2\text{K)}$.
- Inércia Fraca – A superfície dos materiais com capacidade de armazenamento não se encontra exposta, o pavimento tecto e paredes são constituídos por elementos leves, ou encontram-se revestidos por elementos leves. O valor médio da efusividade toma um valor muito baixo, sendo $bm = 200 \text{ (Ws}^{0.5}/\text{m}^2\text{K)}$.

A fracção tipo a utilizar será a mesma que foi simulada no Grupo de Análise 1, cuja configuração se relembra.

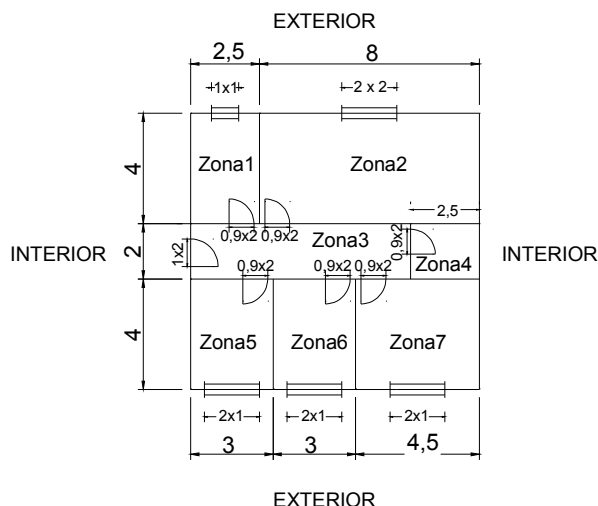


Figura 5.73 - Representação esquemática da fracção tipo em estudo no Grupo de Análise 4

Para as simulações a realizar considerou-se um modelo de uma única zona, com a fachada com duas janelas voltada a norte e a fachada oposta a Sul. O programa não possui uma rotina específica para definição das características da radiação solar e assim determinou-se o ganho que ocorre através dos envidraçados de cada orientação e esse valor foi introduzido conjuntamente com os ganhos internos. O programa importa ainda os valores relativos à temperatura no exterior a partir dos ficheiros de dados climáticos, no entanto não considera a acção do vento, e assim contabiliza apenas o arrefecimento que ocorre for efeito da diferença de temperatura.

O programa em questão não permite simular períodos de tempo longos e assim optou-se por fazer a simulação para um período mais reduzido dentro do período de análise inicialmente determinado, tendo sido escolhidos os três dias consecutivos cuja média da temperatura diária é mais elevada.

Quadro 5.25 - Período de análise para as diferentes localizações a simular no Grupo de Análise 4

Localização	Período de Análise
Porto	Dia 220 (7 de Agosto) até dia 222 (9 de Agosto);
Évora	Dia 221 (8 de Agosto) até dia 223 (10 de Agosto);

Numa primeira fase determinou-se a evolução da temperatura interior para o cenário de abertura de 10% da área de todas as janelas para as diferentes classes de inércia. Em seguida representou-se essa mesma evolução com a que ocorreria no caso de mantermos as janelas fechadas, uma vez mais considerando as diferentes classes de inércia. Assim pretendeu-se determinar para cada caso qual a influência da ventilação natural na temperatura no interior bem como avaliar o seu potencial no controlo da mesma.

Realizaram-se simulações para as localizações Porto e Évora, de acordo com os cenários que em seguida se explicitam:

Quadro 5.26 - Cenários propostos no Grupo de Análise 4

GRUPO DE ANÁLISE 4 (GA4)	
Cenário	Descrição
Cenário 1	Fracção Tipo com Inércia Fraca em que 10% da área de todas as janelas permanece aberta quando $T_e < T_i$;
Cenário 2	Fracção Tipo com Inércia Média em que 10% da área de todas as janelas permanece aberta quando $T_e < T_i$;
Cenário 3	Fracção Tipo com Inércia Forte em que 10% da área de todas as janelas permanece aberta quando $T_e < T_i$;
Cenário 4	Fracção Tipo com Inércia Muito Forte em que 10% da área de todas as janelas permanece aberta quando $T_e < T_i$;
Cenário 5	Fracção Tipo com Inércia Fraca em que todas as janelas permanece fechadas durante todo o dia;
Cenário 6	Fracção Tipo com Inércia Média em que todas as janelas permanece fechadas durante todo o dia;
Cenário 7	Fracção Tipo com Inércia Forte em que todas as janelas permanece fechadas durante todo o dia;
Cenário 8	Fracção Tipo com Inércia Muito Forte em que todas as janelas permanece fechadas durante todo o dia;

5.7.1 – Resultados

Através da representação gráfica do valor da temperatura interior da fracção tipo ao longo do período de análise, para cada uma das classes de inércia considerada, podemos verificar que nos troços em que a temperatura é decrescente, como nas primeiras horas do período de análise, esse decréscimo é mais rápido e acentuado no caso em que a fracção tem inércia fraca, no entanto, quando a temperatura está a aumentar esse aumento é igualmente mais rápido, sendo o máximo valor atingido significativamente superior. Se compararmos a temperatura no interior com a temperatura exterior verificamos que quanto menor for a inércia maior a proximidade entre a temperatura interior e exterior, e quanto maior a inércia menores são as variações em termos de temperatura no interior.

Quantificando as diferenças encontradas para a localização Porto podemos dizer que a máxima diferença na temperatura interior entre os cenários limite de Inércia Fraca e Muito Forte é de 7,8 °C, sendo a temperatura média no caso de Inércia Fraca 2,9 °C superior à situação de Inércia Muito Forte. Enquanto nos casos de Inércia Muito Forte, Forte e Média a temperatura interior nunca ultrapassa os 25 °C verificamos que no caso de inércia fraca esse valor é excedido em 26 % das horas do período de simulação.

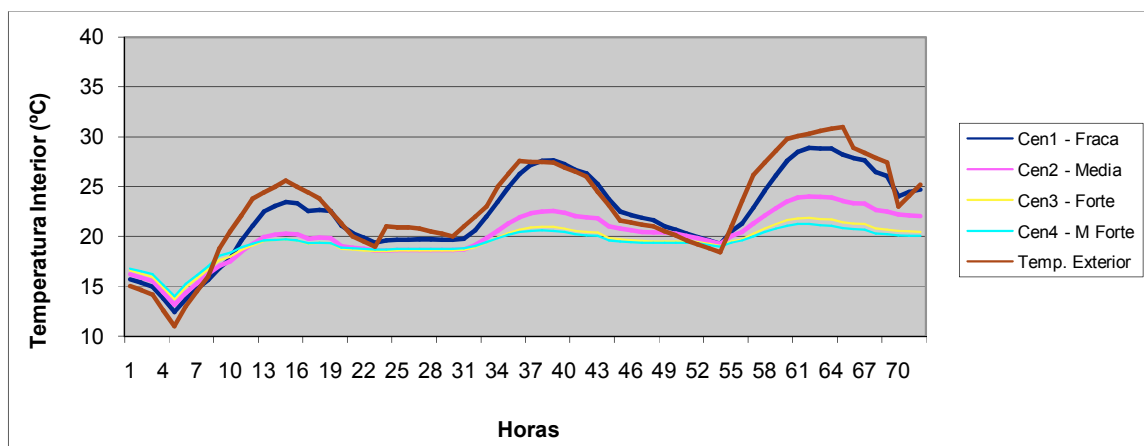


Figura 5.74 – Temperatura interior (°C) para os cenários 1 a 4 do GA4 e temperatura média horária exterior (°C) para a localização Porto

Analisemos agora os resultados obtidos para a localização Évora, localização em que a temperatura no exterior é mais elevada, tomando muitas vezes valores acima dos 35° C. Neste caso a máxima diferença verificada na temperatura interior entre os cenários de Inércia Fraca ou Muito Forte é de 7,5 °C, sendo a temperatura média no caso de Inércia Fraca 3,0 °C superior à situação de Inércia Muito Forte. No cenário de Inércia Fraca verificamos que a temperatura interior excede os 30 °C em 44,4% das horas do período de análise, e no caso de Inércia Média em 13,9% das horas. No caso de Inércia Muito Forte a temperatura está sempre abaixo dos 28 °C, e este valor é ultrapassado em 20,8% das horas no caso de Inércia Forte.

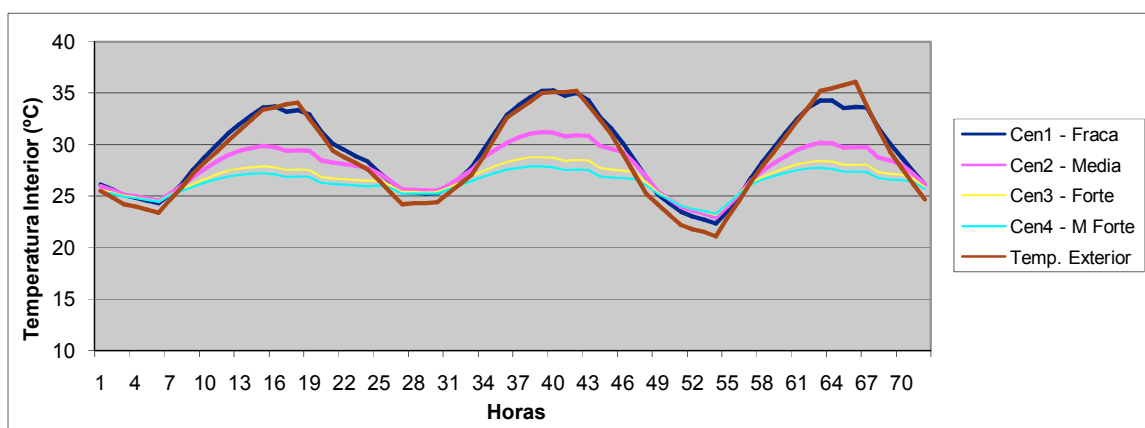


Figura 5.75 – Temperatura interior (°C) para os cenários 1 a 4 do GA4 e temperatura média horária exterior (°C) para a localização Évora

Comparemos agora a evolução da temperatura no interior com a abertura de 10% da área de todas as janelas com a situação em que as janelas permanecem fechadas durante todo o dia.

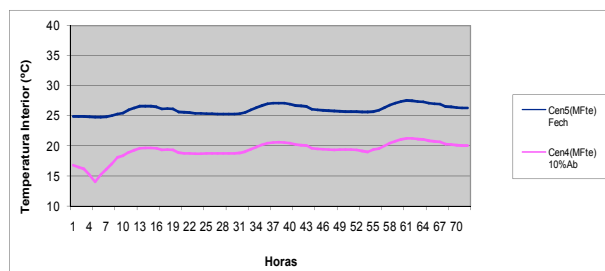


Figura 5.76 – Temperatura interior (°C) para os cenários 4 e 5 do GA4 para a localização Porto

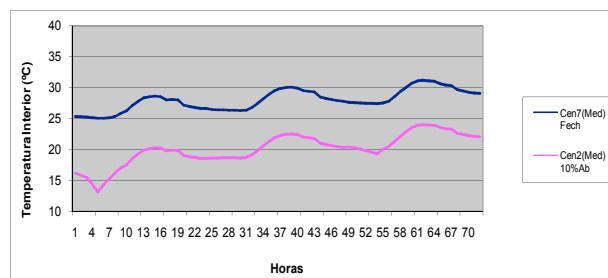


Figura 5.78 - Temperatura interior (°C) para os cenários 2 e 7 do GA4 para a localização Porto

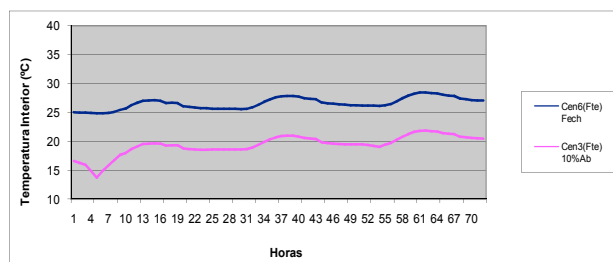


Figura 5.77 – Temperatura interior (°C) para os cenários 3 e 6 do GA4 para a localização Porto

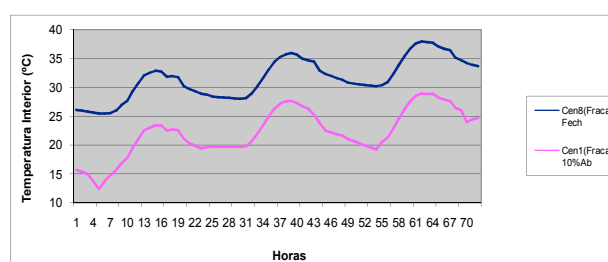


Figura 5.79 - Temperatura interior (°C) para os cenários 1 e 8 do GA4 para a localização Porto

Analisando os resultados obtidos verificamos, em todos eles, uma acentuada diminuição da temperatura no interior como resultado da abertura das janelas, levando-nos a concluir que a ventilação natural é uma solução adequada independentemente da classe de Inércia do edifício. Essa redução é tanto maior quanto menor a classe de Inércia, sendo a redução média conseguida de 9,4°C no caso de Inércia Fraca e de 6,8°C no caso de Inércia Muito Forte. De forma análoga, o aumento da temperatura no interior como reflexo do aumento na temperatura exterior será igualmente mais rápido e significativo no caso de inércia Fraca. É visível no gráfico o aumento da temperatura ao longo do período diurno e a sua diminuição durante a noite, sendo em todos os casos o aumento diurno superior à redução na mesma durante a noite, ficando também evidente que no final do dia a temperatura no interior é sempre superior à que se verificava à mesma hora do dia anterior. Este efeito cumulativo irá ter uma maior repercussão no conforto no interior nos casos de Inércia Média e Fraca, uma vez que a temperatura no interior nestes casos apresenta valores mais elevados. Se considerarmos as 8 horas da manhã do segundo dia simulado verificamos que temperatura no caso de Inércia Muito Forte é 2,0 °C superior à que se verificava a essa hora no primeiro dia, e 0,5° C superior no terceiro dia em relação ao primeiro. No caso de Inércia Fraca essa diferença é de 5,0 °C entre o segundo e o primeiro dia e de 0,7 °C entre o terceiro e o segundo. A diferença entre estes valores prende-se com o facto de no segundo dia a temperatura no interior estar já mais próxima da temperatura no exterior, oscilando como consequência das oscilações dela mas sem aumento significativo de valor.

Relativamente ao conforto no interior verificamos que no caso de termos um edifício com inércia fraca o recurso à ventilação natural será muito benéfico uma vez que, considerando como limite de conforto a temperatura interior de 25° C, permite passar de uma situação de 100% de horas de desconforto com a janela fechada para uma situação de 26,4% de horas de desconforto com 10% da área da janela aberta.

Já no caso de Inércia Forte e para a temperatura interior de 25°C verificamos que o desconforto no interior seria de 92% com as janelas fechadas, passando a ser nulo no caso de abirmos 10% da área das janelas. Estes números não traduzem a realidade da situação verificada uma vez que apesar de se situar acima dos 25° C no caso das janelas fechadas, a máxima temperatura interior no caso de Inércia Forte é de 27,1°C, enquanto no mesmo caso mas com Inércia fraca ela atinge o valor de 37,9°C.

Assim concluímos que a inércia do edifício actua no controlo da temperatura no seu interior e que quanto mais elevada ela for, menor será o aumento da temperatura e menores as flutuações da mesma. A conjugação de edifícios com Inércia Forte e Muito Forte com sistemas de ventilação natural permite potenciar o efeito de cada um deles em separado, actuando como uma garantia de conforto no interior.

Por outro lado, nos casos de edifícios com Inércia Média a Fraca, onde o risco de sobreaquecimento e ocorrência de desconforto é mais elevado, o potencial de utilização da ventilação natural é também elevado, uma vez que a necessidade de retirar calor do interior é ainda mais premente.

Resultados das mesmas simulações realizadas para o caso de Évora apontam para conclusões semelhantes. A representação gráfica dos cenários de abertura de 10% das janelas e de janelas fechadas durante a totalidade do dia permite ainda verificar que neste caso, por se tratar de uma localização em que a temperatura exterior é mais elevada, o potencial de arrefecimento da ventilação natural é menor, uma vez que as janelas permanecem fechadas por períodos mais alargados de tempo. A redução média conseguida na temperatura interior devido à abertura das janelas em 10% da sua área, no caso de Inércia Muito Forte, é para esta localização de 0,9°C. Neste caso é mais evidente a redução que ocorre no período nocturno.

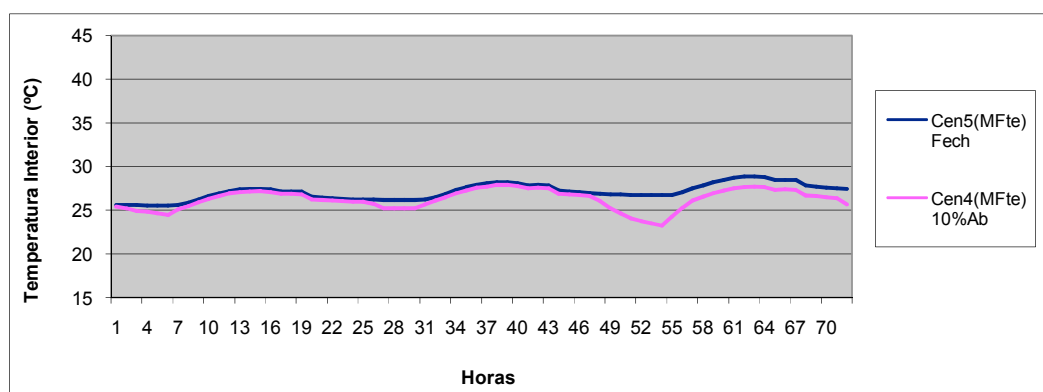


Figura 5.80 - Temperatura interior (°C) para os cenários 4 e 5 do GA4 a para a localização Évora

6. – Conclusões

6.1 – Resumo de Resultados e Conclusões

Os resultados do Grupo de Análise 1 evidenciam o seguinte:

- Nos dias em que a carga de arrefecimento é menor, a abertura de áreas de janela menores conduz a valores de carga de arrefecimento semelhantes aos obtidos pela abertura de áreas de janela superiores sendo o desconforto devido ao movimento do ar no interior tanto menor quanto menor a área de abertura. Relativamente aos dias com valores de carga de arrefecimento mais elevados, o potencial de arrefecimento através da ventilação natural é mais limitado e a redução na carga de arrefecimento que resulta da abertura das janelas em percentagens de área superiores é pouco maior que a obtida com áreas de aberturas menores. Assim a influência da área de abertura na redução da carga de arrefecimento é pouco evidente nos dias em que a carga de arrefecimento toma valores extremos mas fica bem evidente nos dias em que esta toma valores intermédios.

- A redução da carga de arrefecimento para a localização Porto é de 67% para uma abertura de janelas de 20% da sua área, 57% para abertura de 10% da área, 44% para abertura de 5% da área, 34% para a abertura de 3% da área e 8% para a abertura de 2% da área. Quanto à percentagem de horas de desconforto devido à velocidade do vento encontrou-se um valor médio de 26% para a abertura de 20% da área, 22% para a abertura de 10% da área, 21% para a abertura de 5% da área, 20% para a abertura de 3% da área e 16% para a abertura de 2% da área. A análise dos resultados em termos do seu valor médio traduz uma tendência, esperada, de redução do desconforto à medida que diminui a área de abertura, mas sendo essa redução percentualmente pouco significativa. A análise da totalidade dos resultados permite concluir que nos dias em que a velocidade do vento toma valores mais elevados, da ordem dos 3 m/s, a diminuição da percentagem de área aberta tem pouca influência na percentagem de horas de desconforto devido à velocidade do ar, que para estes dias é sempre relativamente elevada, da ordem dos 40%, enquanto que nos restantes dias o desconforto devido a velocidade do vento toma sempre valores aceitáveis, da ordem dos 10%.

- Analisando os mesmos cenários para a localização Bragança verificamos que neste caso a redução da carga de arrefecimento é de 45% para a abertura de 20% da área das janelas,

39% para a abertura de 10% da área das janelas, 22 % para a abertura de 5% das janelas, 13% para a abertura de 3% da área de janelas e finalmente apenas 1% para a abertura de 2% da área das janelas. Por comparação com a localização Porto verificamos uma menor redução na carga de arrefecimento e valores da carga de arrefecimento em geral mais elevados. À localização Bragança correspondem, como vimos, valores mais elevados de temperatura exterior e radiação solar que justificam para esta localização valores mais elevados da carga de arrefecimento. O menor número de horas em que a temperatura exterior é inferior a 25°C é um dos factores que condiciona o menor potencial de arrefecimento da ventilação natural para esta localização.

Relativamente ao desconforto em termos de velocidade do ar este ocorrerá em 11% das horas para abertura de 20% da área da janela, em 13% das horas para abertura de 10% da área das janelas, de 10% para a abertura de 5% da área das janelas, de 8% para a abertura de 3% da área das janelas e de 4% para a abertura de 2% da área das janelas. Verificamos neste caso que os valores de desconforto verificados são menores, encontrando-se em, geral abaixo dos 10%, limite considerado aceitável.

- Verifica-se para a localização Bragança que, mesmo para velocidades do vento mais elevadas que as registadas no caso do Porto, a percentagem de horas de desconforto devido à velocidade do ar no interior é menor. Tal poderá ficar-se a dever ao facto de a temperatura exterior no Porto ser mais baixa, originando um maior gradiente térmico e aumentando as trocas de ar por efeito da diferença de temperatura.

- Os resultados encontrados relativos à localização Évora permitiram determinar uma redução na carga de arrefecimento de 67% para a abertura de 20% da área das janelas, 57% para a abertura de 10% da área das janelas, 44 % para a abertura de 5% da área das janelas, 34% para a abertura de 3% da área das janelas e finalmente 8% para a abertura de 2% da área das janelas. O desconforto associado a estes cenários em termos de percentagem de horas em que a velocidade do ar está acima do limite definido atrás é, em média, de 43% para abertura de 20% da área das janelas, 38% para abertura de 10% da área das janelas, 36% para a abertura de 5% da área das janelas, 36% para a abertura de 3% da área das janelas e de 33% para a abertura de 2% da área das janelas. Verificamos assim que a este caso corresponde maior percentagem de redução da carga de arrefecimento, ao contrário do que seria de esperar se atendêssemos a que o valor da temperatura média exterior é superior ao das restantes localizações. Como ficou evidente através da representação gráfica dos valores da velocidade do vento na Figura 5.5, para

localização Évora os valores da velocidade média do vento são muito elevados. Assim, a elevada percentagem de desconforto em termos de velocidade do ar no interior deverá ficar a dever-se a estes valores elevados de velocidade do vento. O potencial de arrefecimento efectivo será, assim, inferior ao determinado uma vez que ele deverá estar enquadrado no limite máximo da velocidade do ar no interior.

- Verifica-se que para uma mesma localização existem variações substanciais das condições climáticas exteriores e como tal, um cenário de ventilação que apresenta bom desempenho na redução da carga de arrefecimento e com pequena percentagem de horas de desconforto para um determinado dia pode, para o dia seguinte revelar-se perfeitamente desadequado;

Os resultados obtidos permitiram extrair as seguintes conclusões:

- *A utilização de sistemas de ventilação natural permite reduzir de forma significativa a carga de arrefecimento desde que as temperaturas no exterior e a velocidade do vento estejam dentro de limites adequados;*
- *Para valores da velocidade do vento elevados ou grande amplitude térmica diária o desconforto decorrente da velocidade do ar no interior do edifício toma valores elevados;*
- *A adopção de cenários de ventilação por períodos mais curtos, apenas durante a noite ou apenas durante o dia permite obter uma redução da carga de arrefecimento menor que a máxima possível com redução simultânea da percentagem de horas de desconforto, particularmente nas zonas onde o clima é mais ameno.*
- *A possibilidade de controlo manual ou automático dos sistemas de ventilação natural é essencial para evitar situações de desconforto decorrentes da variabilidade do clima exterior.*

Analisando agora os resultados obtidos através das simulações do Grupo de Análise 2 verifica-se que:

- O potencial de redução da carga de arrefecimento para uma situação de posicionamento das janelas em fachadas opostas é semelhante ao potencial de redução para a situação de posicionamento de janelas em fachadas adjacentes para as diferentes localizações analisadas;

- Na situação de zonas à mesma cota, o posicionamento das janelas na mesma fachada, por comparação com o seu posicionamento em fachadas opostas ou adjacentes, conduz a valores muito superiores da carga de arrefecimento, particularmente para a localização Porto, em que esta diferença é no mínimo 10% superior e em média 10 vezes superior, e também para a localização Bragança, com valores da carga de arrefecimento em média 37% superiores.
- A diferença no potencial de arrefecimento para o posicionamento de janelas na mesma fachada face ao seu posicionamento em fachadas opostas ou adjacentes no caso de zonas situadas a cotas diferentes é menor que a verificada para o caso de zonas à mesma cota. Neste caso este valor é em média 30% superior no caso do Porto e 20% superior no caso de Bragança.
- Comparando, para a configuração de janelas em fachadas opostas, as situações de zonas ao mesmo nível ou a níveis diferentes verifica-se que a carga de arrefecimento no caso de zonas ao mesmo nível, no caso do Porto e exceptuando os dias em que a carga é nula, é em média 45% superior à situação de zonas a nível diferente, e no caso de Bragança apenas 13% superior;
- Na situação de janelas localizadas na mesma fachada verificou-se que a carga de arrefecimento para zonas à mesma cota, quando comparada com a situação de zonas a cotas diferentes, é em média 5 vezes superior no caso do Porto, e 30% superior no caso de Bragança;
- A diminuição da secção da abertura interior provoca uma redução no potencial de arrefecimento nos casos de aberturas em fachadas opostas ou adjacentes que pode chegar aos 50%.

Os resultados encontrados permitem extrair as seguintes conclusões:

- *A configuração de janelas na mesma fachada apresenta um potencial de redução da carga de arrefecimento muito inferior ao correspondente às configurações de janelas em fachadas opostas ou adjacentes, particularmente para as localizações onde a temperatura exterior e a carga de arrefecimento são mais elevadas;*

- O posicionamento das janelas em zonas a cota diferente, ainda que situadas na mesma fachada, produz resultados semelhantes aos encontrados para a situação de janelas em fachadas opostas para zonas à mesma cota;
- As aberturas interiores desempenham um importante papel no potencial dos sistemas de ventilação natural, podendo condicionar de forma determinante o seu desempenho;

Relativamente ao Grupo de Análise 3, em que se estudava a influência da orientação e da direcção predominante do vento no potencial de arrefecimento, verificou-se que:

- Para a configuração de janelas na mesma fachada, mantendo as janelas fechadas verifica-se que a mudança na orientação da fachada produz pequenas variações no valor da carga de arrefecimento da fracção, da ordem dos 10%;
- A abertura das janelas no mesmo caso permite reduzir a carga de arrefecimento entre 12 e 14% para a localização Porto, entre 5 e 6% para a localização Bragança e entre 6 e 7% para a localização Évora, consoante a orientação considerada;
- Para o caso de janelas em fachadas opostas verifica-se uma redução média da carga de arrefecimento de 52,6% para a orientação Norte/Sul, 38,5% para a orientação Este/Oeste, 51,0% para a orientação Noroeste/Sudeste e 31,7% para a orientação Nordeste/Sudoeste para a localização Porto, sendo as direcções predominantes do vento no período de análise considerado para essa localização Norte e Noroeste;
- Para o mesmo caso mas para a localização Bragança verificou-se uma redução média da carga de arrefecimento de 33,7% para a orientação Norte/Sul, 23,1% para a orientação Este/Oeste, 34,0% para a orientação Noroeste/Sudeste e 31,4% para a orientação Nordeste/Sudoeste, sendo neste caso as direcções predominantes do vento no período de análise considerado Norte e Oeste;
- Finalmente para a localização Évora verificou-se uma redução média da carga de arrefecimento de 51,2% para a orientação Norte/Sul, 42,9% para a orientação Este/Oeste, 47,8% para a orientação Noroeste/Sudeste e 17,2% para a orientação Nordeste/Sudoeste, sendo neste caso a direcção predominante do vento no período de análise considerado Noroeste;

- Verificamos que no caso do Porto existe correspondência entre as direcções predominantes do vento e as que produzem maior diminuição da carga de arrefecimento.
- No caso de Bragança a análise em termos de valores médios não evidencia a correspondência entre as orientações com maior redução de carga de arrefecimento e a direcção predominante do vento. Uma análise à representação gráfica dos resultados permite verificar que a orientação Norte /Sul é na generalidade dos dias a de maior potencial de arrefecimento enquanto a orientação Este/Oeste é na maior parte dos dias a que apresenta menor potencial de redução, no entanto existem dias em que esta orientação é a de maior potencial.
- No caso de Évora verificamos que a direcção predominante do vento é Noroeste é uma das que apresenta maior potencial de arrefecimento, sendo que, à excepção da orientação Nordeste/Sudoeste, as restantes apresentam potencial de arrefecimento semelhante.
- Os resultados obtidos indiciam a relação entre redução da carga de arrefecimento e direcção predominante do vento no entanto o potencial de arrefecimento das configurações não coincidentes com essas direcções predominantes é da mesma ordem de grandeza, não ficando assim evidente que este deva ser um parâmetro determinante durante a concepção;
- Os resultados evidenciam que existe uma grande diferença de potencial entre sistemas de ventilação unilateral e cruzada e que, independentemente da orientação, no caso de ventilação cruzada, na pior situação o potencial de redução da carga de arrefecimento será de 32% para o Porto, de 23% para Bragança e de 17% para Évora.

Com base nesta análise conclui-se:

- *A concordância entre a orientação das aberturas e a direcção predominante do vento potencia o desempenho dos sistemas de ventilação natural no entanto, desde que ocorra ventilação cruzada o potencial de redução da carga de arrefecimento é significativo, independentemente da orientação;*

Finalmente as simulações realizadas no Grupo de Análise 4 demonstraram:

- Relativamente à localização Porto, na situação de abertura de 10% da área das janelas, verificou-se que a máxima diferença para a temperatura interior comparando os casos de

Inércia Fraca com Inércia Muito Forte, para o período em análise, é de 7,8° C, sendo em média 2,9°C mais elevada no caso de Inércia Fraca. Verifica-se ainda que no caso de Inércia Média, Forte e Muito Forte a temperatura no interior é sempre inferior a 25°C, valor que é excedido em 26% das horas no caso de Inércia Fraca.

- Relativamente à localização Évora, na situação de abertura de 10% da área das janelas, a máxima diferença para a temperatura interior entre os casos de Inércia Fraca e Muito Forte é de 7,5° C, sendo neste caso em média 3,0° C superior. No cenário de Inércia Fraca verificamos que a temperatura interior excede os 30 °C em 44,4% das horas do período de análise, e no caso de Inércia Média em 13,9% das horas. No caso de Inércia Muito Forte a temperatura está sempre abaixo dos 28 °C, e este valor é ultrapassado em 20,8% das horas no caso de Inércia Forte.

- Verifica-se uma acentuada diminuição da temperatura no interior como resultado da abertura das janelas independentemente da classe de inércia do edifício. Essa redução é tanto maior quanto menor a classe de Inércia, sendo em média de 9,4°C no caso de Inércia Fraca e de 6,8°C no caso de Inércia Muito Forte.

- Para o período analisado, o aumento da temperatura ao longo do período diurno é superior à sua redução durante a noite, e assim, no final do dia a temperatura no interior é sempre superior à que se verificava à mesma hora do dia anterior.

- Nas localizações em que a temperatura exterior é mais elevada, o potencial de arrefecimento da ventilação natural é menor, uma vez que as janelas permanecem fechadas por períodos mais alargados de tempo e a temperatura exterior ao longo do dia é mais elevada.

Assim conclui-se que:

- A classe de Inércia térmica do edifício condiciona a sua resposta face à temperatura exterior, assumindo particular importância para as localizações com clima mais quente. Quanto mais elevada for a inércia do edifício menor será o aumento da temperatura interior e menores as flutuações da mesma.

- Em edifícios com Inércia Forte e Muito Forte os sistemas de ventilação natural permitem remover o calor armazenado nos elementos com capacidade de armazenamento nos

períodos do dia em que a temperatura exterior é mais baixa e assim a conjugação da ventilação natural e da inércia elevada funciona como uma garantia de conforto no interior.

- Em edifícios com Inércia Média a Fraca o potencial de utilização da ventilação natural é elevado, uma vez que a temperatura no interior atinge valores elevados e é necessário retirar grande quantidade de calor do interior.

6.2 - Recomendações de Projecto

Com base nas conclusões do estudo realizado, bem como em resultados de outros estudos que foram alvo de pesquisa, listam-se em seguida um conjunto de recomendações a ser seguidas no processo de concepção dos edifícios, de forma a garantir a melhor integração dos sistemas de ventilação natural bem como a eficácia no seu funcionamento, especificamente na estação de arrefecimento.

6.2.1 - Implantação

- Para localizações fora da zona urbana deve optar-se por um posicionamento que tire melhor partido do gradiente do vento local. No caso de montanhas a melhor localização na generalidade dos casos é no meio da encosta, com a menor dimensão do edifício no sentido da linha da encosta, para que a ventilação cruzada ocorra ao longo da menor dimensão do edifício.
- Para localizações junto do mar, de lagos ou rios, o edifício deverá ser posicionado perto da costa e com a maior dimensão paralela à linha da costa, de forma a aproveitar a brisa que sopra do mar durante o dia, e da terra durante a noite.
- No caso de zonas urbanas, a localização a adoptar deverá garantir uma distância superior à esteira dos restantes edifícios, evitando que o edifício fique abrigado dos ventos de Verão. Caso tal não seja possível, o edifício deverá preferencialmente ser colocado com o seu eixo longitudinal perpendicular à direcção dos ventos predominantes no Verão.
- Em zonas urbanas muito densas, os espaços com maiores necessidades de ventilação deverão ser colocados nos pisos superiores, onde o vento tem maior velocidade e menos turbulência. As passagens estreitas, esquinas de edifício muito próximas e arcadas desde uma face à outra do edifício devem ser evitadas devido ao risco de expor os peões a forte aceleração do ar.
- Quando um projecto envolve diversos edifícios, a escolha da sua organização deve procurar evitar a interferência da esteira de uns edifícios nos restantes. Assim, o posicionamento dos edifícios diagonal relativamente à direcção do vento dominante ou

alternados em grelha permite um melhor aproveitamento do vento reduzindo o efeito de protecção ao vento de uns edifícios face aos outros.

- O posicionamento do edifício deve ter em conta a concordância entre a direcção das aberturas e a direcção predominante do vento, particularmente nas situações em que não seja possível ocorrer ventilação cruzada;

- A menor dimensão do edifício deve ficar paralela à direcção dominante do vento de forma a potenciar a ventilação cruzada. Adicionalmente deve procurar-se que a razão entre comprimento e largura do edifício não seja muito elevada, para evitar o decréscimo acentuado da pressão na zona central da fachada a barlavento, com possível efeito de sucção nos extremos.

6.2.2 - Distribuição dos Espaços

- A distribuição em planta dos espaços deve ter em conta a possibilidade de ventilação cruzada. Em edifícios residenciais a cozinha e casas de banho devem ser colocadas a sotavento no edifício, com aberturas permitindo a exaustão do ar proveniente dos quartos e salas, localizados a barlavento. Este tipo de configuração permite ventilação sem risco de transporte de odores ou vapor de água.

- As partições interiores perpendiculares ao fluxo de ar devem ser dotadas de aberturas com dimensão suficiente de forma a não causar obstruções significativas ao fluxo de ar. Adicionalmente, a localização do mobiliário no interior dos compartimentos deve permitir o fluxo de ar através do compartimento.

- As zonas destinadas a salas de estar e escritório devem ser colocadas na fachada a barlavento, com boa exposição ao ar, enquanto os quartos podem ser localizados quer a barlavento quer a sotavento, preferencialmente mais abrigados.

- Nas habitações tipo moradia com dois andares, os espaços com produção significativa de ganhos internos, tais como a cozinha ou o escritório devem ficar localizados no piso inferior. As zonas de estar, localizadas no piso de cima não devem estar em comunicação com as do nível inferior de forma a evitar que o ar poluído e a temperatura mais elevada entre nos compartimentos do piso superior. Nos casos em que a escada de ligação entre os dois pisos é aberta deverá existir uma zona ventilada entre eles que funcione como filtro do ar.

- Em edifícios residenciais de múltiplos pisos, deve ser dada especial atenção ao posicionamento das escadas, que funcionarão como chaminés de exaustão evitando assim que o ar aquecido entre nas habitações situadas a nível superior. As aberturas de exaustão

das escadas deverão ser posicionadas na fachada a sotavento, a altura superior à do nível do último andar.

6.2.3 - Posicionamento e Dimensionamento das Aberturas

- As aberturas de exaustão devem ter dimensão igual ou superior às aberturas de admissão de ar de modo a evitar velocidade do ar excessiva com fluxo de ar limitado.
- A posição vertical das aberturas de admissão nos edifícios com dois pisos, ou de espaços com pé direito elevado, deve ser inferior à posição das aberturas de exaustão, de forma a evitar o conflito entre a ventilação cruzada e o efeito de chaminé.
- Sempre que possível a disposição das aberturas deve ser tal que permita ocorrência de ventilação cruzada. Se tal não for possível poderá optar-se pela organização de espaços a cota diferente, em tipologias do tipo Duplex.
- Na escolha do tipo de caixilho deve ser tido em conta as diferentes possibilidades de abertura que ele oferece devendo optar-se por caixilhos que permitam a abertura de diferentes percentagens da área de janela, como as janelas deslizantes horizontais e verticais, ou que incorporem dois tipo de abertura em simultâneo, como oscilo/batente ou outros, permitindo assim controlo ao ocupante.
- Quando a única possibilidade for a ventilação unilateral, cada compartimento deve possuir mais de uma abertura se possível afastadas entre si. O recurso a palas verticais permite potenciar a ventilação nesses compartimentos.
- Quando se utiliza ventilação por efeito de chaminé em edifício de múltiplos pisos, as aberturas de exaustão devem ser colocadas nas fachadas a sotavento.

6.2.4 – Características da Envolvente

- A envolvente do edifício deverá ser estanque e este deverá ser dotado de dispositivos específicos, convenientemente dimensionados que permitam fazer a admissão e exaustão dos caudais de ar mínimos necessários para cumprir os requisitos de qualidade do ar interior. A admissão/extracção de ar para arrefecimento pode ser feita através de dispositivos específicos para o efeito ou apenas pela abertura de janelas devendo este aspecto ser tido em conta no processo de concepção.
- Devem procurar-se características de elementos da envolvente exterior e interior que confirmem ao edifício inércia forte a muito forte, preferencialmente com as faces interiores expostas, particularmente em zonas com clima mais quente, como Évora, em que a temperatura exterior atinge valores muito elevados.

6.3 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Sugerem-se em seguida alguns temas de trabalhos complementares ou como desenvolvimento ao que aqui se apresentou.

- Adoptando uma configuração para a fracção tipo com determinada área de aberturas determinar qual a poupança em termos de carga de arrefecimento conseguida durante a totalidade da estação de arrefecimento, dentro dos limites de conforto;
- Monitorização de uma situação real em que se recorra a ventilação natural para arrefecimento, determinação das condições de conforto no interior através de sensores para as diferentes variáveis e comparação com valores obtidos através de simulações;
- Estudo de sistemas de pré-arrefecimento do ar adaptados ao clima Português;
- Análise das possibilidades de aplicação de sistemas inovadores de ventilação face às características climáticas e arquitectónicas dos edifícios portugueses.

REFERÊNCIAS

- [1] URBVENT (2004) 'Natural Ventilation in Urban Areas – Potential Assessment and Optimal Façade Design – Handbook', (eds) Ghiaus, C. Allard, F.
- [2] Concanon, Peter. (2002) 'Residential Ventilation', Air Infiltration and Ventilation Centre AIVC, Technical Note 57. Brussels, Belgium.
- [3] LCR (1993) 'London Energy Study Report', London Research Center.
- [4] White, F.M. (2004) 'Mecânica dos Fluidos', McGrawHill, London, UK.
- [5] Santamouris, M., (1998) 'Natural Ventilation in Buildings – A design Handbook', F. Allard, Editor James & James, London, UK.
- [6] BRE Digest 399 (1994) '*Natural ventilation in non-domestic buildings*' Building Research Establishment, Garston, UK.
- [7] Dascalakri, E. e Santamouris, M. (1998) 'Manual of AIOLOS', Department of Applied Physics, University of Athens, Greece.
- [8] Allard, F., Dorer, V.B. e Feustel, H.E. (1990) 'COMIS: Fundamentals of the Multizone Air Flow Model', Comis Technical Note 29, AIVC, Coventry, UK.
- [9] Walton, G. N. (1994) 'CONTAM93: User Manual', (NISTIR5385), National Institute of Standards and Technology, US.
- [10] BREEZE (1993) 'BREEZE 6.0: User Manual', Building Research Establishment, Garston, UK.
- [11] ASHRAE (1992) 'ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy', ASHRAE Atlanta.
- [12] ISO (International Organization for Standardization) (1994) 'ISO International Standard 7730: Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and the PPD Indices and Specification of the Conditions of Thermal Comfort', Second Edition, ISO, Geneva.
- [13] Nicol, J. F. (2002) "Why international thermal comfort standards don't fit tropical Buildings" in *International Symposium Building Research and Sustainability of the Built Environment in the Tropics*, Jakarta, 14 – 16 October.

- [14] Fanger, P.O. (1972) 'Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering', McGrawHill, New York.
- [15] Fanger, P. O., L. Banhidi, et al (1980), 'Comfort Limits for Heated Ceiling', ASHRAE Transactions, Vol. 86, pp141-156.
- [16] Gagge, A.P. (1973) 'Rational temperature indices of man's thermal environment and their use with a two node model of his temperature regulation', Federation Proceedings, Vol. 32, no 5, pp1572-1582.
- [17] Gagge, A. P., Fobelets, A. P. e Berglund, L. G. (1986) 'A standard predictive index of human response to the thermal environment', ASHRAE Transactions, Vol. 92, no 2b, pp709-731.
- [18] Jokl, M. V. (1987) 'A new COMECON standard for the thermal comfort within residential and civic buildings', Indoor Air 87, Berlin, Vol. 3, pp457-460.
- [19] Madsen, T.L. (1987) 'Measurement and control of thermal comfort in passive solar systems', in Faist, A., Fernandes, E. e Sagelsdorff, R. (eds) *Proceedings of the Third International Congress on Building Energy Management ICBEM 87*, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Vol. IV, pp489-496.
- [20] Humphres M. (1975) 'Field studies of thermal comfort compared and applied', *Journal of Installation Heating and Ventilation Engineers*, Vol. 44, pp5-27.
- [21] Baker, N. (1993) 'Thermal comfort evaluation for passive buildings – a PASCOOL task', in *Proceedings of the Conference on Solar Energy in Architecture and Planning*, H. S. Stephens and Associate, Florence.
- [22] Nicol, J. F. et al (1995) 'Standards for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century', Chapman and Hall, London, p247.
- [23] Brager, R e De Dear, J. (1998) 'Thermal adaptation in the built environment: A literature review', *Energy and Buildings*, Vol. 27, no 1, pp83-96.
- [24] Brager, R. e De Dear, J. (2000) 'A standard for natural ventilation', ASHRAE Journal, Vol. 42, no 10, pp21-28.
- [25] De Dear, R.J. (1998) ASHRAE *Transactions*, Vol. 104, no 1b, pp1141-1152.

- [26] De Dear, R. J. e Brager, G. S. (1998) *ASHRAE Transactions*, Vol. 104, no 1a, pp145-167.
- [27] Rijal, H. B, Yoshida, Y. e Umeriya, N. (2002) 'Investigation of the thermal comfort in Nepal', in *International Symposium Building Research and Sustainability of the Built Environment in the Tropics*, Jakarta, Indonesia.
- [28] Klitsikas, N., Balaras, C., Argiriou, A. e Santamouris, M. (1995) 'Comfort field studies in the frame of PASCOOL in Athens, Hellas', in Santamouris, M. (ed) *Proceedings of the International Workshop on Passive Cooling*, Athens, Greece.
- [29] Lin Borong, Tan Gang, Wang Peng, Song Ling, Zhu Yingxin e Zhai Guangkui (2004) 'Study on thermal performance of the chinese traditional vernacular dwellings in summer', *Energy and Buildings*, Vol.36,no 1, January, pp73-79.
- [30] Becker, S., Potcher, O. e Yaakov, Y. (2003) 'Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and arid climate', *Energy and Buildings*, Vol.35, pp747-756.
- [31] Hien, W.N. e Tanamas, J. (2002) 'The effect of wind on thermal comfort in the tropical environment' in *Proceedings of the International Symposium on Building Research and Sustainability of Built Environment in The Tropics*, Jakarta, Indonesia.
- [32] Feriadi, H. (2002) 'Thermal Confort for Naturaly Ventilated Houses in Indonesia' in *Proceedings of the International Symposium on Building Research and Sustainability of Built Environment in The Tropics*, Jakarta, Indonesia.
- [33] Belayat, E. K., Nicol, J.F. e Wilson, M. (2002) 'Thermal Comfort in Algeria: Preliminary results of field studies', in *Proceedings of EPIC2002 Conference*, Lyon, France.
- [34] Mallick, F. H. (1994) 'Thermal comfort in tropical climates: An investigation of comfort criteria for Bangladesh subjects', in *Proceedings of the Conference on PLEA 1994*, Israel.
- [35] De Dear, R.J. e Brager, G.S. (2002) 'Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55', *Energy and Buildings*, Vol.34, pp549-561.
- [36] Humphreys, M. (1978) 'Outdoor temperature and comfort indoors', *Building Research and Practice*, Vol.6, no 2, pp92-105.

- [37] Nicol, J. F., Raja, I. A. (1995) 'Time and thermal comfort in naturally ventilated buildings', in Santamouris, M. (ed) *Proceedings in the International Workshop on Passive Cooling*, Athens, Greece.
- [38] Humphreys, M. e Nicol, J. F. (2000), 'Outdoor temperature and indoor thermal comfort – raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field', ASHRAE Transactions, Vol.206, no 2, pp 485-492.
- [39] Arens, E.A., Blyholder, A. G. and Schiller, G.E.(1994) 'Predicting thermal comfort of people in naturally ventilated buildings' ASHRAE Transactions, Vol. 90, 1B, pp272-279.
- [40] Arens, E. A. e Watanabe, N. S. (1986) 'A method for designing naturally ventilated buildings using bin climate data' ASHRAE Transactions, Vol.90, 2B, pp773-792.
- [41] Tanabe, S. and Kimura, K. (1994) 'Effects of temperature, humidity and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions', ASHRAE Transactions, Vol. 100, no 2, pp953-960.
- [42] De Dear, R. J. (1991) 'Diurnal and seasonal variation in the human thermal climate of Singapore', Singapore Journal of Tropical Geography, Vol.10, pp13-25.
- [43] Mallick, F. H. (1996) 'Thermal comfort and building design in the tropical climates', *Energy and Buildings*, Vol. 23, pp161-167.
- [44] Kukreja, C.P. (1978) 'Tropical Architecture', McGraw-Hill, New Dheli.
- [45] Hardiman, P. (1992) 'Untersuchung nat uralicher Luftungssysteme zur Verbesserung des Raumklimas von konteng unstigen Wohnhausern auf Java/Indonesia', PdD Thesis, Universitat Stuttgart, Germany.
- [46] Toffum, A., Melikov, K., Rasmussen, L. W., Kuciel, A. A., Cinalska, E. A., Tynel, A. Bruzda, M. e Fanger, P.O. (2000) 'Human Response to Air Movement: Part I. Preference and Draught Discomfort', DTU International Centre for Indoor Environment and Energy, Lyngby, Denmark.
- [47] OECD (1991) 'Fighting Noise in 1990's', *Organization for Economic Co-Operation and Development*, Paris.
- [48] Milne, G. R. (1995) 'The energy implications of a climate-based indoor air temperature standard', in Nicol, J. F., Humphreys, M.A., Sykes, O. e Roaf, S. (eds) *Standars for Thermal Comfort: Indoor Air Temperature Standars for the 21st Century*, E. and F. N. Spon, London

- [49] Wilkins, J. (1995) 'Adaptive comfort control for conditioned buildings' in *Proceedings of the CIBSE National Conference*, Eastbourne, UK, Chartered Institute of Building Service Engineers, London, part 2, pp9-16.
- [50] Hensen, J. L. M. e Centrenova, L. (2001) 'Energy Simulations of traditional versus adaptive thermal comfort for two moderate climate regions', in *Proceedings of the Conference Moving Comfort Standards into the 21st Century*, Windsor, UK, pp78-91.
- [51] Givoni, B. (1994) 'Passive and low energy cooling of buildings', Van Nostrand Reinhol, Los Angeles, CA.
- [52] Chandra, S, Fairey, P.W. e Houston, M. M. (1986) 'Cooling with ventilation', SERI/SP-273-2966, DE86010701, Solar Energy Research Institute, Colorado.
- [53] Carrol, W. C. et al (1982) 'Passive Cooling Technology Assessments', Synthesis Report, LBL-15184, Berkeley, California.
- [54] Emmerich, S. J., Dols, W.S. e Axley, J. W. (2001) 'Natural Ventilation Review and plan for design and Analysis Tool', NISTIR 6781, Prepared for Architectural Energy Corporation Boulder, Colorado, August.
- [55] Cardinale, N. Minucci, M. e Ruggiero, F. (2003) 'Analysis of energy saving using natural ventilation in a traditional Italian buildings', *Energy and Buildings*, Vol.35, pp153-159.
- [56] Santamouris, M. e Fleury, B. (1989) 'The cooling potential of passive cooling techniques in Greece', Report prepared by PROTECHNA on behalf of the Centre for Renewable Energy Sources of Greece (CRES), Athens, Greece.
- [57] Aynsley, R. (1999) 'Estimating summer wind driven natural ventilation potential for indoor thermal comfort', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 83, pp515-525.
- [58] Germano, M., Roulet, C. A., Allard, F. e Ghiaus, C. (2002) 'Potential for natural ventilation in urban context: As assessment method', in *Proceedings of the EPIC2002*, Lyon, France
- [59] Ghiaus, C. e Allard, F. (2002) 'Assessment of natural ventilation potential of a region using degree hours estimated on global weather data', in *Proceedings of the Conference on EPIC2002*, Lyon, France.

- [60] Fleury, B. (1990) 'Ventilative Cooling: State of the art', in Proceedings of the Workshop on Passive Cooling, Ispra, Italy, 2-4 April
- [61] Hyde, R. (2000) 'Climate Responsive Design', E. and F. Spon, London.
- [62] CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers) (1997) 'Natural Ventilation in Non-domestic buildings: Applications Manual', AM10, CIBSE, London.
- [63] Martin, A. J. (1995) 'Control of Natural Ventilation', BSRIA Technical Note TN11/95, *The Building Services Research and Information Association*, Atlanta, GA.
- [64] Rosenbaum, M. (1999) 'Passive and low energy cooling survey', Environmental Building News, pp1-14.
- [65] Chandra, S. (1989) 'Ventilative cooling', in Cook, J. (ed) Passive Cooling, MIT Press, Cambridge, MA.
- [66] Nielsen, H. K. (2002) 'Stay Cool: A design guide for the built environment in hot climates', James&James, London.
- [67] Santamouris, M. (2003) 'Night Ventilation Strategies', Air Information and Ventilation Center, (AIVC), Brussels.
- [68] Solaini, G., Dallo, G. e Scansani, S. (1998) 'Simultaneous application of different natural cooling technologies to an experimental building', Renewable Energy, Vol. 15, pp277-282.
- [69] Silestrini, G. e Alessandaro, S. (1998) 'Cooling of ancient buildings through night forced ventilation', Proceedings of the Conference PLEA88, Pergamon Press, Oxford.
- [70] Geros, V., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A. e Guarracino, G. (1999) 'Experimental evaluation of night ventilation phenomena', *Energy and Buildings*, Vol. 29, pp141-154.
- [71] Givoni, B. (1998) 'Climate Considerations in Buildings and Urban Design', Van Nostrand Reinhold, Los Angeles, CA.
- [72] Rainaweera, C. e Hestnes, A.G. (1994) 'Enhanced cooling in typical Sri Lankan Dwellings', *Proceedings of the Conference PLEA94*, Israel.

- [73] Golneshau, A. A. e Yaghoubi, M. A. (1985) 'Natural cooling of a residential room with ventilation in hot arid regions', in *Proceedings of the Conference on CLIMA2000*, Copenhagen, Denmark.
- [74] Golneshau, A. A. e Yaghoubi, M. A. (1990) 'Simulation of ventilation strategies of a residential building in hot arid regions in IRAN', *Energy and Buildings*, Vol. 14, pp201-205.
- [75] Birtles, A. B., Kolokotroni, M. e Perera, M. (1996) 'Night cooling and Ventilation design for Office Type Buildings', WREN, London.
- [76] Kolokotroni, M., Webb, B. C. e Hayes, S. D. (1998) 'Summer cooling with night ventilation for office buildings in moderate climates', *Energy and Buildings*, Vol. 27, pp231-237.
- [77] Blondeau, P., Sperandio, M. e Allard, F. (1995) 'Night ventilation for building cooling in summer', *Solar Energy*, Vol. 61, pp327-335.
- [78] Tindale, A. W., Irving, S.J., Concannon, P. J. e Kolokotroni, M. (1995) 'Simplified method for nightcooling', in *Proceedings of the CIBSE National Conference 1995*, Eastbourne, UK, 1-3 Octobre, Vol. 1, pp8-13.
- [79] Roulet, C. van der Maas, A. e Flourentzos, F. (1996) 'A planning tool for passive cooling of buildings', in *Proceedings of the Seventh International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Nagoya, Japan.
- [80] Santamouris, M. and Asimakopoulos, D. (eds) (1996) 'Passive Cooling of Buildings', James&James, London.
- [81] Santamouris, M., Geros, V., Klitsikas, N. e Argiriou, A. (1995) 'SUMMER: A computer tool for passive cooling applications', in 'Santamouris, M. (ed) *Proceedings of the International Symposium: Passive Cooling of Buildings*, Athens, Greece, 19-20 June.
- [82] Givoni, B. (1992) 'Comfort, climate analysis and building design guidelines', *Energy and Buildings*, Vol. 18, pp11-23.
- [83] Givoni, B. (1998) 'Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part1: 1993 experimental periods', *Energy and Buildings*, no 28, pp25-32.
- [84] Shaviv, E., Yezioro, A. e Capeluto, I. G. (2001) 'Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy', *Renewable Energy*, Vol. 24, pp445-452.

- [85] Liem, S. H. e Vam Paassen, A. H. C. (1998) 'Hardware and controls for natural ventilation cooling' in *Proceedings of the 18 th AIVC Conference on Ventilation and Cooling*, Athens, Greece, Vol. I.
- [86] Raja, A., Fergus, J., Nicol, J. F., McCartney, K. J. e Humphreys, M. A. (2001) 'Thermal Comfort: Use of Controls in Naturally Ventilated Buildings', *Energy and Buildings*, Vol. 33, pp235-244.
- [87] Raja, A., Nicol, J. F. e McCartney, K.J. (1998) 'Natural Ventilated buildings: Use of control for changing indoor climate', in *Proceedings of the world renewable energy congress*, Pergamon Press, Oxford, Vol. V, pp391-394.
- [88] Baker, N. e M. Standeven (eds.).(1995) 'PASCOOL- Comfort Group – Final Report'. Comissão Europeia. Bruxelas.
- [89] Bruant, M., G. Guarracino, P. Michel, M. Santamouris e A. Voeltzel. (1996). 'Impact of a Global Control of Bioclimatic Buildings in terms of Energy Consumption and Buildings Performance'. *Proceedings of the Fourth European Conference on Architecture*, Berlin, pp. 537-540. H.S. Stephens & Associates, Bedford, UK.
- [90] Kolokotroni, M., Perera, M. D., Azzi, D. e Virk, G. S. (2001)'An investigation of passive ventilation cooling and control strategies for na educational building' *Applied Thermal Engineering*, Vol.21, pp183-199.
- [91] Pitts, A. C. e Abro, R. S. (1991) 'Intelligent control of night time ventilation', in Alvarez, S. (ed) *Architecture and Urban Space*, Kluwer Academic Press, The Netherlands, pp595-600.
- [92] Eftekhari, M. e Marjanovic, L. D. (2003) 'Application of fuzzy control in naturally ventilated buildings for summer conditions', *Energy and Buildings*, Vol.35, pp645-655.
- [93] Kolokotsa, D. (2001) 'Design and Implementation of an Integrated intelligent Building Indoor Environment Management System using Fuzzy Logic, Advanced Decision Support Techniques, Local operating Network Capabilities and Smart Card Technology', PhD thesis, Technical University of Crete, Chania, Greece.
- [94] Stanners, D. e Bourdeau, P. (eds) (1995) 'Europ's Environment – The Dobris Assessment', European Environmental Agency, Denmark.
- [95] Geros, V., Santamouris, M., Papanikolaou, N. 3 Guarraccino, G. (2001) 'Night ventilation in urban environment', in *Proceedings of the AIVC Conference*, Bath, UK.

- [96] Orme, M. (1999) 'Applicable Models for Air Infiltration and Ventilation Calculations', AIVC.
- [97] Grosso, M. (1992) 'Wind Pressure Distribution Around Buildings : A parametrical model', *Energy and Buildings*, Vol. 18, pp 101-131.
- [98] Hussein, M. e B. E. Lee (1980) 'An Investigation of wind forces on three dimensional roughness elements in a simulated atmospheric boundary layer', BS 55, Department of Building Science, University of Sheffield, UK.
- [99] Akins, R.E. e J.E. Cermak (1976) 'Wind pressures on buildings', CER76-77EA-JEC15, Fluid Dynamic and Diffusion Laboratory, Colorado State University, CO.
- [100] Flourentzos, S. et al (1996), 'Lesocool Manual', École Polytechnique Fédérale de Lausanne', Lausanne.
- [101] – MOPTC (2006) 'Regulamento as Características do Comportamento Térmico os Edifícios (RCCTE) – Decreto-Lei n.º 80/2006 de 6 de Abril', Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações', Portugal.
- [102] ANSI/ASHRAE Standard – 113-1990 (1990) 'Method of Testing for Room Air Diffusion', American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.

BIBLIOGRAFIA

European Collaborative Action (2003) 'Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy', Report 23, Workgroup 16, European Commission.

Liddament, M. W. (1996) 'A Guide to Energy Efficient Ventilation', AIVC.

McQuiston et al (2000) 'Heating, Ventilating and Air Conditioning – Analysis and Design' (eds) John Wiley & Sons, Inc.

Santamouris, M., Wouters, P., (2006) 'Building Ventilation: The State of the Art', AIVC, (eds) EarthScan.

ANEXO

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 1

Flow of zones

Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	Air changes per hour	Temperature (C)
1	24.54	24.90	1	25.00
2	25.53	27.45	1	25.00
3	21.04	22.26	1	25.00
4	22.95	22.39	1	25.00
5	22.36	22.39	1	25.00
6	22.25	22.52	1	25.00
7	103.01	105.42	4	25.00
8	210.65	213.95	7	25.00
9	286.97	289.30	10	25.00
10	233.15	233.16	8	25.00
11	0.00	0.40	0	25.00
12	0.00	0.02	0	25.00
13	0.00	0.00	0	25.00
14	2.23	2.32	0	25.00
15	232.21	232.99	8	25.00
16	198.84	199.84	7	25.00
17	317.44	319.58	11	25.00
18	2.88	3.28	0	25.00
19	10.41	10.68	0	25.00
20	14.37	14.80	0	25.00
21	7.26	6.57	0	25.00
22	10.61	9.01	0	25.00
23	8.29	11.18	0	25.00
24	11.18	12.79	0	25.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 2

Flow of zones

Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	Air changes per hour	Temperature (C)
1	151.07	156.80	2	25.00
2	164.45	171.95	2	25.00
3	135.74	139.97	1	25.00
4	136.52	140.81	1	25.00
5	136.52	140.82	1	25.00
6	137.29	141.59	1	25.00
7	431.91	441.99	5	25.00
8	833.58	846.64	9	25.00
9	1125.89	1135.03	12	25.00
10	909.84	909.84	9	25.00
11	0.00	0.37	0	25.00
12	0.00	0.01	0	25.00
13	0.00	0.00	0	25.00
14	14.39	14.40	0	25.00
15	910.03	913.10	10	25.00
16	781.01	784.96	8	25.00
17	1244.09	1252.49	13	25.00
18	20.37	20.39	0	25.00
19	65.96	66.43	1	25.00
20	91.01	92.24	1	25.00
21	40.72	40.83	0	25.00
22	55.77	56.05	1	25.00
23	69.03	69.38	1	25.00
24	78.85	79.63	1	25.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 3

Flow of zones

Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	Air changes per hour	Temperature (C)
1	106.23	107.66	2	25.00
2	116.20	114.18	2	25.00
3	94.75	93.71	2	25.00
4	95.34	97.24	2	25.00
5	95.33	92.33	2	25.00
6	95.85	95.18	2	25.00
7	547.41	546.96	11	25.00
8	1060.59	1060.87	22	25.00
9	1425.93	1424.32	30	25.00
10	1143.60	1142.99	24	25.00
11	0.76	1.95	0	25.00
12	0.02	1.73	0	25.00
13	0.01	1.78	0	25.00
14	9.68	12.56	0	25.00
15	1146.09	1146.44	24	25.00
16	986.05	984.81	21	25.00
17	1574.76	1572.07	33	25.00
18	15.41	13.06	0	25.00
19	44.75	47.17	1	25.00
20	62.19	61.75	1	25.00
21	27.49	28.15	1	25.00
22	37.75	38.76	1	25.00
23	46.69	43.87	1	25.00
24	53.66	52.11	1	25.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 4

Flow of zones

Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	Air changes per hour	Temperature (C)
1	0.10	0.00	0	25.00
2	0.06	0.00	0	25.00
3	0.00	0.00	0	25.00
4	0.00	0.01	0	25.00
5	0.11	0.00	0	25.00
6	0.01	0.00	0	25.00
7	0.04	0.00	0	25.00
8	0.27	0.00	0	25.00
9	0.00	1.61	0	25.00
10	0.00	0.61	0	25.00
11	0.61	0.00	0	25.00
12	0.01	0.00	0	25.00
13	0.00	0.00	0	25.00
14	0.00	0.00	0	25.00
15	0.35	0.00	0	25.00
16	0.00	1.24	0	25.00
17	0.00	2.69	0	25.00
18	0.00	1.68	0	25.00
19	2.87	0.00	0	25.00
20	0.10	0.00	0	25.00
21	0.03	0.00	0	25.00
22	0.00	0.00	0	25.00
23	0.01	0.00	0	25.00
24	0.00	0.00	0	25.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 5

Flow of zones

Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	Air changes per hour	Temperature (C)
1	48.70	49.75	1	25.00
2	53.71	54.86	2	25.00
3	43.94	44.48	1	25.00
4	44.68	44.74	1	25.00
5	43.67	44.75	1	25.00
6	44.25	45.00	1	25.00
7	182.31	182.47	5	25.00
8	353.53	353.53	10	25.00
9	474.77	474.77	13	25.00
10	379.72	381.00	11	25.00
11	0.30	0.00	0	25.00
12	0.85	0.00	0	25.00
13	0.89	0.00	0	25.00
14	6.12	4.63	0	25.00
15	382.03	382.03	11	25.00
16	328.27	328.27	9	25.00
17	524.02	524.02	15	25.00
18	6.47	6.56	0	25.00
19	21.25	21.34	1	25.00
20	29.42	29.58	1	25.00
21	13.09	13.13	0	25.00
22	17.68	18.01	1	25.00
23	22.19	22.34	1	25.00
24	25.46	25.56	1	25.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 6

Flow of zones

Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	Air changes per hour	Temperature (C)
1	48.94	49.74	1	25.00
2	53.72	54.86	2	25.00
3	43.94	44.48	1	25.00
4	44.64	44.74	1	25.00
5	43.34	44.75	1	25.00
6	44.25	45.00	1	25.00
7	182.31	182.47	5	25.00
8	353.53	353.53	10	25.00
9	474.77	474.77	13	25.00
10	379.72	381.00	11	25.00
11	0.40	0.00	0	25.00
12	0.85	0.00	0	25.00
13	0.89	0.00	0	25.00
14	6.12	4.63	0	25.00
15	382.03	382.03	11	25.00
16	328.27	328.27	9	25.00
17	524.02	524.02	15	25.00
18	6.47	6.56	0	25.00
19	21.18	21.34	1	25.00
20	29.23	29.58	1	25.00
21	13.12	13.13	0	25.00
22	17.97	18.01	1	25.00
23	22.22	22.34	1	25.00
24	25.46	25.56	1	25.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 7

Flow of zones

Time	Inflow (m3/h)	Outflow (m3/h)	Air changes per hour	Temperature (C)
1	50.79	49.74	1	25.00
2	53.70	54.86	1	25.00
3	43.94	44.48	1	25.00
4	44.47	44.74	1	25.00
5	42.31	44.75	1	25.00
6	44.24	45.00	1	25.00
7	182.31	182.47	3	25.00
8	353.53	353.53	7	25.00
9	474.77	474.77	9	25.00
10	379.72	380.99	7	25.00
11	0.65	0.00	0	25.00
12	0.02	0.00	0	25.00
13	0.01	0.00	0	25.00
14	4.61	4.64	0	25.00
15	382.03	382.03	7	25.00
16	328.27	328.27	6	25.00
17	524.02	524.02	10	25.00
18	6.48	6.56	0	25.00
19	21.18	21.33	0	25.00
20	29.42	29.58	1	25.00
21	13.07	13.13	0	25.00
22	17.68	18.01	0	25.00
23	22.24	22.34	0	25.00
24	25.46	25.56	0	25.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 1

Opening : 1

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1				15.58	0.900	1
2				17.11	0.900	1
3				13.85	0.900	1
4				13.92	0.900	1
5				13.93	0.900	1
6				14.01	0.900	1
7				-103.01	0.900	1
8				-210.65	0.900	1
9				-286.97	0.700	1
10				233.16	-0.100	1
11				0.00	-0.100	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				1.39	-0.100	1
15				-232.21	0.200	1
16				-198.84	0.200	1
17				-317.43	0.900	1
18				1.97	0.900	1
19				6.44	0.900	1
20				8.98	0.900	1
21				3.94	0.900	1
22				5.43	0.900	1
23				6.75	0.900	1
24				7.75	0.900	1

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 1

Opening : 2

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1				0.00	0.900	0
2				0.00	0.900	0
3				0.00	0.900	0
4				0.00	0.900	0
5				0.00	0.900	0
6				0.00	0.900	0
7				0.00	0.900	0
8				0.00	0.900	0
9				0.00	0.700	0
10				0.00	-0.100	0
11				0.00	-0.100	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				0.00	-0.100	0
15				0.00	0.200	0
16				0.00	0.200	0
17				0.00	0.900	0
18				0.00	0.900	0
19				0.00	0.900	0
20				0.00	0.900	0
21				0.00	0.900	0
22				0.00	0.900	0
23				0.00	0.900	0
24				0.00	0.900	0

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 2

Opening : 1

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1	1.93	-151.07	50.57	-100.50	0.900	1
2	1.93	-164.45	55.76	-108.69	0.900	1
3	1.93	-135.74	45.22	-90.52	0.900	1
4	1.93	-136.52	45.48	-91.04	0.900	1
5	1.93	-136.51	45.48	-91.03	0.900	1
6	1.93	-137.29	45.74	-91.55	0.900	1
7				-431.91	0.900	1
8				-833.57	0.900	1
9				-1125.89	0.700	1
10				909.84	-0.100	1
11				0.00	-0.100	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				-9.67	-0.100	1
15				-910.03	0.200	1
16				-781.01	0.200	1
17				-1244.08	0.900	1
18				-13.71	0.900	1
19				-44.28	0.900	1
20				-60.96	0.900	1
21				-27.38	0.900	1
22				-37.47	0.900	1
23				-46.34	0.900	1
24				-52.87	0.900	1

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 2

Opening : 2

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1				0.00	0.900	0
2				0.00	0.900	0
3				0.00	0.900	0
4				0.00	0.900	0
5				0.00	0.900	0
6				0.00	0.900	0
7				0.00	0.900	0
8				0.00	0.900	0
9				0.00	0.700	0
10				0.00	-0.100	0
11				0.00	-0.100	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				0.00	-0.100	0
15				0.00	0.200	0
16				0.00	0.200	0
17				0.00	0.900	0
18				0.00	0.900	0
19				0.00	0.900	0
20				0.00	0.900	0
21				0.00	0.900	0
22				0.00	0.900	0
23				0.00	0.900	0
24				0.00	0.900	0

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 5

Opening : 1

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1	1.93	-18.66	49.75	31.09	-0.200	1
2	1.93	-20.73	54.86	34.13	-0.200	1
3	1.93	-16.91	44.48	27.57	-0.200	1
4	1.93	-17.01	44.74	27.73	-0.200	1
5	1.93	-17.00	44.75	27.74	-0.200	1
6	1.93	-17.10	45.00	27.90	-0.200	1
7				182.47	-0.200	1
8				353.53	-0.200	1
9				474.77	-0.200	1
10				-379.72	0.200	1
11				0.00	0.200	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				2.77	-0.100	1
15				382.03	-0.100	1
16				328.27	-0.100	1
17				524.02	-0.200	1
18				3.92	-0.200	1
19				12.84	-0.200	1
20				17.92	-0.200	1
21				7.87	-0.200	1
22				10.81	-0.200	1
23				13.46	-0.200	1
24				15.43	-0.200	1

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 5

Opening : 2

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1				0.00	-0.200	0
2				0.00	-0.200	0
3				0.00	-0.200	0
4				0.00	-0.200	0
5				0.00	-0.200	0
6				0.00	-0.200	0
7				0.00	-0.200	0
8				0.00	-0.200	0
9				0.00	-0.200	0
10				0.00	0.200	0
11				0.00	0.200	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				0.00	-0.100	0
15				0.00	-0.100	0
16				0.00	-0.100	0
17				0.00	-0.200	0
18				0.00	-0.200	0
19				0.00	-0.200	0
20				0.00	-0.200	0
21				0.00	-0.200	0
22				0.00	-0.200	0
23				0.00	-0.200	0
24				0.00	-0.200	0

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 6

Opening : 1

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1	1.93	-18.72	49.74	31.03	-0.200	1
2	1.93	-20.73	54.86	34.13	-0.200	1
3	1.93	-16.91	44.48	27.57	-0.200	1
4	1.93	-17.01	44.74	27.72	-0.200	1
5	1.93	-17.00	44.75	27.75	-0.200	1
6	1.93	-17.10	45.00	27.90	-0.200	1
7				182.47	-0.200	1
8				353.53	-0.200	1
9				474.77	-0.200	1
10				-379.72	0.200	1
11				0.00	0.200	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				2.77	-0.100	1
15				382.03	-0.100	1
16				328.27	-0.100	1
17				524.02	-0.200	1
18				3.92	-0.200	1
19				12.84	-0.200	1
20				17.92	-0.200	1
21				7.87	-0.200	1
22				10.81	-0.200	1
23				13.46	-0.200	1
24				15.43	-0.200	1

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 6

Opening : 2

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1				0.00	-0.200	0
2				0.00	-0.200	0
3				0.00	-0.200	0
4				0.00	-0.200	0
5				0.00	-0.200	0
6				0.00	-0.200	0
7				0.00	-0.200	0
8				0.00	-0.200	0
9				0.00	-0.200	0
10				0.00	0.200	0
11				0.00	0.200	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				0.00	-0.100	0
15				0.00	-0.100	0
16				0.00	-0.100	0
17				0.00	-0.200	0
18				0.00	-0.200	0
19				0.00	-0.200	0
20				0.00	-0.200	0
21				0.00	-0.200	0
22				0.00	-0.200	0
23				0.00	-0.200	0
24				0.00	-0.200	0

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 7

Opening : 1

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1	1.93	-18.72	49.74	31.01	-0.200	1
2	1.93	-20.73	54.86	34.13	-0.200	1
3	1.93	-16.91	44.48	27.57	-0.200	1
4	1.93	-17.01	44.74	27.73	-0.200	1
5	1.93	-17.00	44.75	27.75	-0.200	1
6	1.93	-17.10	45.00	27.90	-0.200	1
7				182.47	-0.200	1
8				353.53	-0.200	1
9				474.77	-0.200	1
10				-379.72	0.200	1
11				0.00	0.200	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				2.78	-0.100	1
15				382.03	-0.100	1
16				328.27	-0.100	1
17				524.02	-0.200	1
18				3.91	-0.200	1
19				12.84	-0.200	1
20				17.92	-0.200	1
21				7.87	-0.200	1
22				10.81	-0.200	1
23				13.46	-0.200	1
24				15.43	-0.200	1

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

Zone : 7

Opening : 2

Flow of external elements

Time	Neutral level (m)	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)	CP	Status
1				0.00	-0.200	0
2				0.00	-0.200	0
3				0.00	-0.200	0
4				0.00	-0.200	0
5				0.00	-0.200	0
6				0.00	-0.200	0
7				0.00	-0.200	0
8				0.00	-0.200	0
9				0.00	-0.200	0
10				0.00	0.200	0
11				0.00	0.200	0
12				0.00	-0.100	0
13				0.00	-0.100	0
14				0.00	-0.100	0
15				0.00	-0.100	0
16				0.00	-0.100	0
17				0.00	-0.200	0
18				0.00	-0.200	0
19				0.00	-0.200	0
20				0.00	-0.200	0
21				0.00	-0.200	0
22				0.00	-0.200	0
23				0.00	-0.200	0
24				0.00	-0.200	0

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

First Zone : 1

Second Zone : 3

Opening

Flow of internal elements

Time	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)
1			-15.22
2			-15.18
3			-12.62
4			-14.48
5			-13.90
6			-13.74
7			105.42
8			213.95
9			289.30
10			-233.15
11			0.39
12			0.01
13			0.00
14			-1.30
15			232.99
16			199.84
17			319.58
18			-1.57
19			-6.17
20			-8.55
21			-4.63
22			-7.02
23			-3.86
24			-6.14

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

First Zone : 2
Second Zone : 3

Opening

Flow of internal elements

Time	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)
1			106.23
2			116.20
3			94.75
4			95.33
5			95.33
6			95.85
7			441.99
8			846.64
9			1135.03
10			-909.84
11			0.37
12			0.01
13			0.00
14			9.68
15			913.10
16			784.96
17			1252.49
18			13.72
19			44.75
20			62.19
21			27.49
22			37.75
23			46.69
24			53.66

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

First Zone : 3
Second Zone : 4

Opening

Flow of internal elements

Time	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)
1			0.10
2			0.06
3			0.00
4			-0.01
5			0.11
6			0.01
7			0.04
8			0.27
9			-1.61
10			-0.61
11			0.61
12			0.01
13			0.00
14			0.00
15			0.35
16			-1.24
17			-2.69
18			-1.68
19			2.87
20			0.10
21			0.03
22			0.00
23			0.01
24			0.00

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

First Zone : 3
Second Zone : 5

Opening

Flow of internal elements

Time	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)
1			30.04
2			32.98
3			27.03
4			27.67
5			26.67
6			27.14
7			182.31
8			353.53
9			474.77
10			-381.00
11			0.30
12			0.85
13			0.88
14			4.25
15			382.03
16			328.27
17			524.02
18			3.83
19			12.76
20			17.76
21			7.83
22			10.49
23			13.31
24			15.33

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

First Zone : 3

Second Zone : 6

Opening

Flow of internal elements

Time	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)
1			30.22
2			32.99
3			27.03
4			27.63
5			26.33
6			27.14
7			182.31
8			353.53
9			474.77
10			-381.00
11			0.39
12			0.85
13			0.88
14			4.25
15			382.03
16			328.27
17			524.02
18			3.83
19			12.68
20			17.57
21			7.85
22			10.77
23			13.34
24			15.33

AIOLOS - results for project: c:\progra~1\aiolos~1\ce1\ce1_cen3.ppa

First Zone : 3
Second Zone : 7

Opening

Flow of internal elements

Time	Lower (m3/h)	Upper (m3/h)	Balance (m3/h)
1			32.07
2			32.97
3			27.03
4			27.46
5			25.31
6			27.14
7			182.31
8			353.53
9			474.77
10			-380.99
11			0.64
12			0.02
13			0.01
14			2.75
15			382.03
16			328.27
17			524.02
18			3.83
19			12.69
20			17.76
21			7.81
22			10.48
23			13.36
24			15.32

*External Opaque Element : 1	
Area of the element (m2)	25.5
Absorptivity of the Element	0.6
Tilt of the Element (Degrees)	90
Azimuth of the Element (Degrees)	180
Opaque Element Name	ParedeExt
Overall Heat Transfer Coefficient (W/m2/C)	0.59
Decrement Factor	0.88
Time Lag (h)	3.32

*External Opaque Element : 2	
Area of the element (m2)	26.5
Absorptivity of the Element	0.6
Tilt of the Element (Degrees)	90
Azimuth of the Element (Degrees)	0
Opaque Element Name	ParedeExt
Overall Heat Transfer Coefficient (W/m2/C)	0.59
Decrement Factor	0.88
Time Lag (h)	3.32

*External Opaque Element : 1	
Area of the element (m2)	31.5
Opaque Element Name	ParedeInt
*External Opaque Element : 2	
Area of the element (m2)	12
Opaque Element Name	ParedeInt
*External Opaque Element : 3	
Area of the element (m2)	12
Opaque Element Name	ParedeInt
*External Opaque Element : 4	
Area of the element (m2)	12
Opaque Element Name	ParedeInt
*External Opaque Element : 5	
Area of the element (m2)	31.5
Opaque Element Name	ParedeInt

*Glazed Surface : 1	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	0
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 2	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	0
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 3	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	0
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 4	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	0
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 5	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	180
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 6	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	180
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 7	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	180
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 8	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	180
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 9	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	180
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26
*Glazed Surface : 10	
Area of Surface (m2)	0
Solar Transmissivity	0.69
Tilt Angle of Surface (Degrees)	90
Azimuth of Surface (Degrees)	180
U Value, (W/m2/C)	2.78
Curtain Factor	0.26

FLOOR AND OPERATIONAL DATA

Start Day of Calculations	217
End Day of Calculations	217
Floor Area of the Building (m2)	105
Volume of the Building (m3)	315
Absorptivity of the Floor	0.6
Infiltration Rate (Air Changes/Hour)	0
Design Indoor Temperature (C)	25
Opaque Element Name of the Floor	floor
Week-Day Occupancy Pattern	24 Hours
Saturday Occupancy Pattern	24 Hours
Sunday Occupancy Pattern	24 Hours

INTERNAL GAINS

Total Horizontal Area of the Building (m2)	105
*Week-Day	
Number of Persons in the Building	4
Load due to Lighting (W/m2)	2
Load due to Electr. Equipment (W/m2)	2
Any Other Load (W/m2)	0
*Saturday	
Number of Persons in the Building	4
Load due to Lighting (W/m2)	2
Load due to Electr. Equipment (W/m2)	2
Any Other Load (W/m2)	
*Sunday	
Number of Persons in the Building	4
Load due to Lighting (W/m2)	2
Load due to Electr. Equipment (W/m2)	2
Any Other Load (W/m2)	