

PROCEDIMENTOS NA CONSTRUÇÃO DO TRY E IMPLICAÇÕES NA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

INÊS VIEIRA DE ARAÚJO E SOUSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientador: Professora Doutora Maria de Lurdes de Oliveira Simões

Coorientador: Doutor João Manuel do Paço Quesado Delgado

JULHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

AGRADECIMENTOS

No final deste trabalho, gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para que a realização do mesmo fosse possível.

À minha orientadora, Professora Doutora Eva Barreira, por todos os conhecimentos transmitidos, disponibilidade e acompanhamento demonstrados ao longo da presente dissertação, além dos conselhos efetuados e dedicação.

À Professora Doutora Maria Lurdes Simões, por todo o apoio prestado e pela orientação, principalmente no campo da estatística, bem como a disponibilidade demonstrada.

Ao Doutor João Delgado, pela orientação científica, disponibilidade, partilha e ajuda prestada.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram em todo o meu percurso académico, quero agradecer a paciência e o facto de estarem sempre presentes.

Ao António, por toda a ajuda e apoio ao longo do meu percurso académico, pelas sugestões e sobretudo, pela paciência e atenção dedicadas.

Um agradecimento especial a todos os meus amigos e restante família, por todo o apoio e incentivo.

Queria também prestar um agradecimento à FEUP por me ter proporcionado com uma formação académica de excelente qualidade, e aos profissionais que primam por estimular e transmitir conhecimentos.

RESUMO

O clima exterior é um fator de extrema importância nas simulações higrotérmicas de edifícios, podendo afetar a qualidade do interior e, desta forma, limitar o nível de satisfação do utilizador e influenciar os gastos energéticos ligados ao aquecimento e arrefecimento. Assim sendo, é importante que haja um estudo acerca das variáveis climáticas envolvidas na simulação higrotérmica de modo a obter edifícios sustentáveis, com um grau de satisfação do utente elevado e menores custos energéticos. Atualmente têm sido desenvolvidas metodologias para estudar o clima exterior, das quais se destacam os anos climáticos de referência. Existem diversos tipos de anos de referência, sendo que neste trabalho foi abordado o Test Reference Year (TRY).

A construção de um TRY requer dados climáticos reais, para que o ano obtido seja fiel à realidade do local onde se insere. Deste modo, foram utilizados dados da estação meteorológica do Laboratório de Físicas das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), desde 2009 a 2014. Estes foram tratados estatisticamente e as falhas existentes nos registos foram colmatadas. Após esse tratamento dos dados, foram construídos dois TRY, um sem colmatagem de falhas e outro com correção das mesmas, com a finalidade de se comparar e averiguar qual as implicações que a correção de falhas trouxe, de acordo com a metodologia da norma EN ISO 15927 [1]. Além destes dois anos, foi obtido um terceiro, denominado Ano Médio, que resultou das médias de todos os dados da série de anos disponível.

A realização de simulações higrotérmicas foi concretizada com recurso ao programa WUFI PRO 5.2 [2], para cada um dos anos climáticos. A análise foi feita para um elemento construtivo em que se avaliaram as temperaturas e humidades superficiais exteriores, os teores de humidade em cada camada e os teores de humidade total. Para uma análise comparativa entre os diferentes anos utilizou-se uma ferramenta estatística, o IBM SPSS Statistics 21 [3] que permitiu a averiguação das diferenças entre cada um dos anos.

A análise efetuada possibilitou concluir que existem diferenças entre utilizar como clima exterior a média dos dados de todos os anos de que se dispõe ou utilizar um ano climático de referência, sendo que o primeiro apresenta pouca variação nos resultados, logo pode não mostrar situações reais. Já o ano climático de referência tem um comportamento muito mais variável, descrevendo o comportamento natural dos parâmetros climáticos. No caso dos TRY, as correções só afetam a escolha do ano climático de referência, sendo descartadas nas simulações. Assim, do TRY com falhas para o TRY sem falhas apenas três meses não são coincidentes e as diferenças entre os dois anos são estatisticamente consideráveis, embora o impacto nas simulações higrotérmicas não se torne facilmente observável.

PALAVRAS-CHAVE: dados climáticos, TRY, EN ISO 15927, simulação higrotérmica, análise estatística

ABSTRACT

The exterior climate is a factor of utmost importance in the hygrothermal simulations of buildings and may affect the quality of the interior and thus limit the user's satisfaction level and influence the energy costs associated with heating and cooling. Therefore, it is important to study the climate variables involved in hygrothermal simulation in order to achieve sustainable buildings with a high degree of user satisfaction and lower energy costs. Currently there have been developments in methodologies to study the weather conditions, which include the climate reference years. There are several types of reference years, and the type that was studied in the current paper was the Test Reference Year (TRY).

The construction of a TRY requires real climatic data, so that the year obtained is true to the real weather of the local. Thus, in this paper the weather data used was from the meteorological station of the LFC/FEUP, from 2009 to 2014. These were statistically analysed and the existing gaps in the data were filled. After the treatment of the data, two TRY were obtained, one with gaps in the data and one without omissions, in order to compare and find out what were the implications brought by filling the data, according to the methodology of EN ISO 15927 [1]. In addition to these two years, a third was obtained, under the name of average year, which resulted from the average of the data from all the available years.

Hygrothermal simulations were conducted using the software WUFI PRO 5.2 [2], for each of the climatic years. The analysis was applied to a construction element in which the outer surface temperature and moisture, were evaluated, as well as, for each layer, the moisture content and the overall moisture content. For a comparative analysis between the different years, the statistical software IBM SPSS 21 [3] was used, to assess the differences between the results of the analysis with each of the years.

The analysis allowed to observe differences between the use of the average of the data of every case-study year, or the test reference year, as the exterior climate, where the former shows low variability, and, therefore, it does not account for real situations. The test reference year shows a much more variable behaviour, successfully describing the climate data. In the case of TRY, the numerical corrections of missing data only influence the selection of the monthly best year, and were consequently discarded for numerical simulation purposes. Therefore, the comparison between TRY with and without missing data correction, show dissimilarities in three of the twelve months, effectively demonstrating important statistical differences between both TRY types. However, these proved to not have a considerable effect in the hygrothermal simulation results.

KEYWORDS: climate data, TRY, EN ISO 15927, hygrothermal simulation, statistical analysis

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA	2
2. ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA	3
2.1. DEFINIÇÃO DE CLIMA	3
2.2. PARÂMETROS CLIMÁTICOS	4
2.2.1. ENQUADRAMENTO	4
2.2.2. TEMPERATURA DO AR.....	4
2.2.3. HUMIDADE RELATIVA.....	4
2.2.4. RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA E TERRESTRE	5
2.2.5. PRESSÃO ATMOSFÉRICA	5
2.2.6. RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E DIFUSA.....	5
2.2.7. CHUVA	6
2.2.8. VENTO – DIREÇÃO E VELOCIDADE.....	6
2.3. TIPOS DE ANOS CLIMÁTICOS DE REFERÊNCIA.....	6
2.3.1. TRY – TEST REFERENCE YEAR.....	7
2.3.2. TMY – TYPICAL METEOROLOGICAL YEAR	7
2.3.3. WYEC – WEATHER YEAR FOR ENERGY CALCULATIONS.....	11
2.3.4. MRY – MOISTURE REFERENCE YEAR.....	11
2.3.5. OUTROS	12
2.3. OBSERVAÇÕES FINAIS	12
3. TRATAMENTO DOS DADOS E METODOLOGIA APLICADA	15
3.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	15
3.1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15

3.1.2. <i>SCRIPT</i> CRIADO	16
3.1.3. BREVE DESCRIÇÃO DO CLIMA DO PORTO	17
3.2. CORREÇÃO DE FALHAS DE MEDIÇÃO	23
3.3. METODOLOGIA APLICADA	26
4. CONSTRUÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA	29
4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO	29
4.1.1. LIMITAÇÕES E FERRAMENTAS DISPONÍVEIS	29
4.1.2. <i>SCRIPT</i> CRIADO	30
4.2. SELEÇÃO DOS ANOS CLIMÁTICOS	42
4.2.1. TRY COM FALHAS.....	43
4.2.2. TRY SEM FALHAS	44
4.2.3. ANO MÉDIO	44
4.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
5. SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA.....	47
5.1. PROGRAMA DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA WUFI.....	47
5.1.1. DADOS DE ENTRADA	47
5.1.2. RESULTADOS	49
5.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	53
5.3. SÍNTESE CRÍTICA	58
6. CONCLUSÃO	61
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Classificação climática de Köppen para Portugal Continental (adaptada de [4])	3
Figura 2.2 – Exemplo de um diagrama psicrométrico [9]	5
Figura 2.3 – Representação da distribuição da precipitação (adaptada de [15])	6
Figura 3.1 – Representação esquemática de um <i>boxplot</i> típico	16
Figura 3.2 – Representação das medidas estatísticas referentes à temperatura, com base nas médias diárias [°C]	18
Figura 3.3 – Representação das medidas estatísticas referentes à humidade relativa, com base nas médias diárias	18
Figura 3.4 – Representação das medidas estatísticas referentes à radiação solar global, com base nas médias diárias [W/m ²].....	19
Figura 3.5 – Representação das medidas estatísticas referentes à radiação solar difusa, com base nas médias diárias [W/m ²].....	20
Figura 3.6 – Representação das medidas estatísticas referentes à radiação atmosférica, com base nas médias diárias [W/m ²].....	20
Figura 3.7 – Representação das medidas estatísticas referentes à pressão do ar, com base nas médias diárias [hPa]	21
Figura 3.8 – Representação das medidas estatísticas referentes à direção do vento, com base nas médias diárias [°].....	22
Figura 3.9 – Representação das medidas estatísticas referentes à velocidade do vento, com base nas médias diárias [m/s].....	22
Figura 3.10 – Representação das medidas estatísticas referentes à chuva, com base nas médias diárias [l/m ² h]	23
Figura 3.11 – Gráfico representativo da interpolação feita para o parâmetro temperatura.....	24
Figura 3.12 – Gráfico representativo da interpolação feita para o parâmetro da humidade relativa	24
Figura 3.13 – Gráfico representativo da interpolação feita para o parâmetro da radiação solar global	25
Figura 3.14 – Gráfico representativo da correção feita para o parâmetro temperatura	25
Figura 3.15 – Gráfico representativo da correção feita para o parâmetro humidade relativa	26
Figura 3.16 – Gráfico representativo da correção feita para o parâmetro radiação solar global	26
Figura 4.1 – Representação de um <i>spline</i> tipo (adaptada de [34]).....	30
Figura 4.2 – Comparação entre modelações <i>spline</i> de diferentes tipos (adaptada de [36])	30
Figura 4.3 – Excerto do <i>script</i> criado	31
Figura 4.4 – Excerto do ficheiro de texto com os valores de <i>FS</i> gerado pelo <i>script</i> criado	31
Figura 4.5 – Exemplo da distribuição anual de frequências acumuladas do parâmetro temperatura para um mês	32

Figura 4.6 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (com falhas) (1º Semestre)	33
Figura 4.7 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (com falhas) (2º Semestre)	33
Figura 4.8 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (sem falhas) (1º Semestre)	34
Figura 4.9 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (sem falhas) (2º Semestre)	34
Figura 4.10 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (com falhas) (1º Semestre)	35
Figura 4.11 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (com falhas) (2º Semestre)	35
Figura 4.12 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (sem falhas) (1º Semestre)	36
Figura 4.13 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (sem falhas) (2º Semestre)	36
Figura 4.14 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (com falhas) (1º Semestre)	37
Figura 4.15 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (com falhas) (2º Semestre)	37
Figura 4.16 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (sem falhas) (1º Semestre)	38
Figura 4.17 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (sem falhas) (2º Semestre)	38
Figura 4.18 – Medida <i>FS</i> relativa à temperatura	40
Figura 4.19 – Medida <i>FS</i> relativa à humidade relativa	41
Figura 4.20 – Medida <i>FS</i> relativa à radiação solar global	42
Figura 4.21 – Desvios anuais mensais (com falhas) e anos seleccionados para cada mês	43
Figura 4.22 – Desvios anuais mensais (sem falhas) e anos seleccionados para cada mês	44
Figura 5.1 – Configuração do elemento construtivo	47
Figura 5.2 – Humidade superficial exterior	49
Figura 5.3 – Temperatura superficial exterior	50
Figura 5.4 – Teor de humidade na camada de reboco exterior	51
Figura 5.5 – Teor de humidade na camada de tijolo	51
Figura 5.6 – Teor de humidade na camada de isolamento térmico	52
Figura 5.7 – Teor de humidade na camada de gesso cartonado	52
Figura 5.8 – Teor de humidade total	53

Figura 5.9 – Curvas de frequências acumuladas para a temperatura e humidade superficial exterior 57
Figura 5.10 – Curvas de frequências acumuladas para as camadas do elemento construtivo 57
Figura 5.11 – Curvas de frequências acumuladas para o teor de humidade total 58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1 – Propriedades do elemento construtivo.....	48
Tabela 5.2 – Coeficientes de transferência à superfície.....	48
Tabela 5.3 – Medidas estatísticas relativas ao TRY com falhas	54
Tabela 5.4 – Medidas estatísticas relativas ao TRY sem falhas	54
Tabela 5.5 – Medidas estatísticas relativas ao Ano Médio	55
Tabela 5.6 – Testes de Wilcoxon e Sign para a comparação entre o TRY com falhas e o TRY sem falhas	56
Tabela 5.7 – Testes de Wilcoxon e Sign para a comparação entre o TRY com falhas e o Ano Médio	56
Tabela 5.8 – Testes de Wilcoxon e Sign para a comparação entre o TRY sem falhas e o Ano Médio	56

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Os edifícios devem ser construídos tendo em atenção o clima do local onde se inserem, uma vez que a solicitação climática terá impacto na escolha de soluções para garantir uma melhor performance a nível higratérmico e energético. Para fazer essa análise do comportamento dos edifícios existem programas de cálculo automático, que são ferramentas que têm como dados de entrada as variações horárias de diversos parâmetros climáticos, entre os quais temperatura, humidade relativa, radiação solar, vento, chuva e pressão atmosférica, relativos a um determinado período de tempo. Estes dados são obtidos a partir de estações meteorológicas, sendo que no caso em estudo, foram retirados da estação do Laboratório de Físicas das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Para garantir um dimensionamento adequado a partir dos dados do clima onde se insere o edifício, poderiam adotar-se dois procedimentos. Poder-se-ia simular individualmente os vários anos de uma série de dados disponível e proceder ao dimensionamento para o ano mais crítico, sendo que este processo se pode tornar bastante moroso e repetitivo, principalmente quando se possui muitos dados. Por outro lado, pode optar-se por, a partir de uma série de dados, criar um ano climático de referência, que se define como o ano que mais se aproxima do comportamento normal do clima. Existem vários tipos de anos climáticos, cada um com uma metodologia de construção distinta. Neste trabalho, será alvo de estudo o Test Reference Year (TRY), que será contruído a partir do método proposto pela norma EN ISO 15927.

1.2. OBJETIVOS

Neste trabalho pretendeu-se desenvolver procedimentos para a construção do TRY e avaliar as suas consequências na simulação higrotérmica. Deste modo, estabeleceram-se os seguintes objetivos parciais:

- Identificar os parâmetros meteorológicos que influenciam a escolha do ano climático de referência e a simulação higrotérmica;
- Descrever os vários tipos de anos climáticos de referência existentes na literatura e as metodologias para sua obtenção;
- Analisar e tratar de forma estatística os parâmetros climáticos obtidos a partir da estação meteorológica do LFC/FEUP, caracterizando cada um deles;
- Proceder à colmatação de falhas existentes nos registos;
- Definir os procedimentos para a construção do TRY de acordo com a norma EN ISO 15927;
- Construir dois anos climáticos de referência: o TRY com colmatação de falhas e o TRY sem colmatação de falhas;
- Construir o ano médio para posterior comparação com os TRYs;
- Analisar os três anos climáticos através do programa de cálculo automático WUFI PRO 5.2, realizando simulações higrotérmicas para um mesmo elemento construtivo;
- Comparar os resultados das simulações com recurso ao IBM SPSS Statistics 21.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA

O trabalho foi dividido em seis capítulos, em que o primeiro expõe o enquadramento do trabalho, os objetivos do mesmo e a organização e estrutura adotada.

O segundo capítulo é referente aos parâmetros meteorológicos utilizados no estudo e sua definição, e inclui uma resenha dos tipos de anos climáticos de referência mais utilizados bem como a metodologia de cálculo que cada um usa.

O terceiro capítulo diz respeito ao tratamento estatístico dos dados fornecidos pela estação meteorológica do LFC/FEUP, fazendo uma descrição dos parâmetros climáticos em termos estatísticos e apresentando um conjunto de medidas estatísticas para descrever o clima em análise. Neste capítulo faz-se também a correção das falhas existentes nos dados, além da descrição do método proposto pela norma EN ISO 15927 que será aplicada neste trabalho.

O quarto capítulo tem como finalidade a obtenção dos três anos climáticos, os dois TRYs, com e sem falhas, e o ano médio. Inclui também a descrição do processo de construção dos anos climáticos e o *software* utilizado.

O quinto capítulo apresenta a análise das simulações higrotérmicas realizadas com recurso ao programa WUFI PRO 5.2, considerando como condição fronteira os três anos climáticos definidos. É feita a comparação entre os resultados através de um estudo estatístico com o programa IBM SPSS Statistics 21 [3].

Por fim, o sexto e último capítulo apresenta as conclusões e considerações finais do trabalho, tecendo alguns possíveis desenvolvimentos futuros associados ao tema.

2

ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA

2.1. DEFINIÇÃO DE CLIMA

Frequentemente confundidos, os conceitos de clima e tempo meteorológico descrevem as mesmas variáveis, usando para o efeito distintas escalas temporais. Por um lado, tempo é definido como a alteração das condições atmosféricas num dado local e num dado instante, sendo caracterizado, entre outros parâmetros, pela temperatura e humidade relativa do ar, vento à superfície, pressão atmosférica, nebulosidade. Por outro lado, clima é o conjunto dos estados do tempo numa certa área para um dado período de tempo, com variações de local para local e é influenciado por fatores geográficos como a latitude, distância do mar, vegetação, orografia [4, 5].

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) [4], para caracterizar o clima de um determinado local, o intervalo de tempo utilizado é fundamental, não se obtendo os mesmos resultados comparando um ano com uma década ou século. É importante dispor de longas séries de dados para serem perceptíveis as tendências climáticas. De modo a classificar os diversos tipos de clima é usual utilizar a notação de Köppen-Geiger. No caso de Portugal Continental, como demonstra a Figura 2.1, a maior parte do território é do tipo C, ou seja, temperado, com zonas de verão quente e seco (Csa), outras de verão seco e suave (Csb), e, no distrito de Beja, uma pequena área com clima do tipo B, que se refere ao clima árido, de estepe fria da latitude média (BSk).

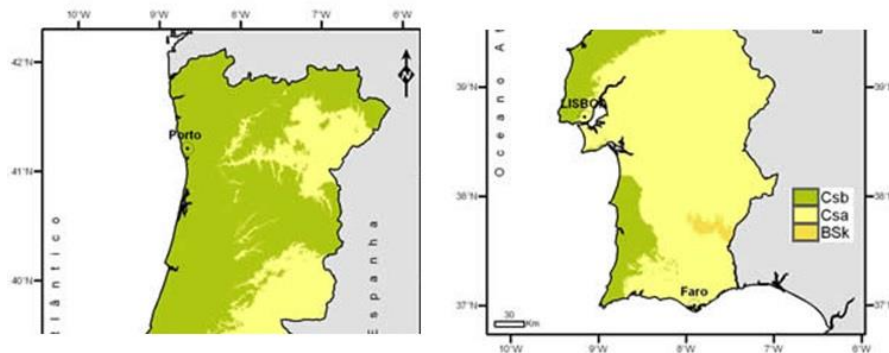


Figura 2.1 – Classificação climática de Köppen para Portugal Continental (adaptada de [4])

2.2. PARÂMETROS CLIMÁTICOS

2.2.1. ENQUADRAMENTO

Segundo Rahman e Dewsbury [6], para a simulação de edifícios no que toca a consumos de energia, clima interior e sistemas de energia solar, é necessário recorrer a dados climáticos de referência, o que significa valores horários de vários parâmetros climáticos, entre os quais a temperatura do ar, humidade, radiação solar, radiação atmosférica e vento. Por norma, estes dados devem pertencer ao local em que se encontra o sistema/edifício a analisar, no entanto, podem ser empregues dados de uma estação próxima. Para obter uma simulação que represente o comportamento típico a longo prazo, é fundamental usar vários anos de dados meteorológicos reais ou um ano de dados meteorológicos típicos. Enquanto o primeiro procedimento oferece resultados mais exatos, em detrimento de uma simulação mais demorada, o segundo, embora caracterizado pela dificuldade em selecionar um ano que corresponda à média a longo termo, é mais rápido a concluir a simulação numérica. Tendo em conta a panóplia de variáveis meteorológicas envolvidas neste processo, apresentar-se-á de seguida uma breve definição de cada uma.

2.2.2. TEMPERATURA DO AR

Segundo Anacleto [7], o parâmetro meteorológico mais considerado no quotidiano é a temperatura, sendo observada para avaliar muitos fenómenos naturais e quase todas as grandezas físicas dependem desta variável.

Além das variações cíclicas diárias que a temperatura apresenta devido aos fenómenos meteorológicos, exhibe igualmente componentes aleatórias. A importância dos seus efeitos podem ser tão elevada que é completamente alterado o seu comportamento expectável, e, por esse motivo, um dado dia pode ser caracterizado por valores de temperatura bastante diferentes dos valores típicos da estação em que se encontra. Ainda assim, se for calculada a média para os seus valores homólogos, correspondendo à mesma hora do mesmo dia de distintos anos, para um intervalo de anos, a temperatura diária resultante mostrará uma tendência periódica [8].

Este parâmetro é normalmente expresso em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e pode ser medido recorrendo a termómetros ou a sensores.

2.2.3. HUMIDADE RELATIVA

Segundo Freitas e Pinto [9], a humidade relativa é um parâmetro climático que está diretamente relacionada com a temperatura, tendendo a aumentar quando esta diminui e vice-versa. Define-se como a relação entre a massa de vapor de água contida no ar e a quantidade máxima de vapor de água que o ar poderia conter para uma dada temperatura.

Pode-se observar a relação entre os vários parâmetros climáticos, por exemplo, a humidade absoluta, humidade relativa, temperatura do ar e pressão do vapor de água, através de um diagrama psicrométrico, (Figura 2.2), sendo que este elemento é fundamental na análise das condensações superficiais. Para medir este parâmetro utilizam-se higrómetros [10].

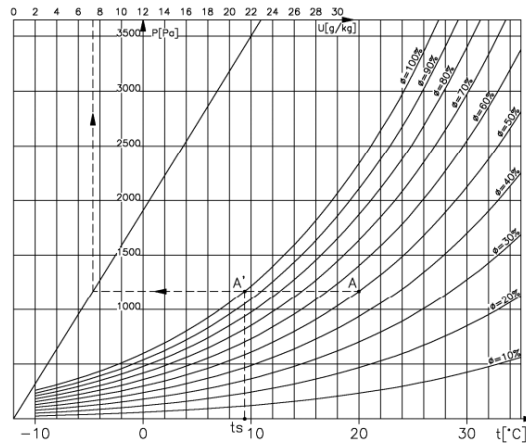


Figura 2.2 – Exemplo de um diagrama psicrométrico [9]

2.2.4. RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA E TERRESTRE

A radiação solar, depois de atravessar a atmosfera, atinge a superfície terrestre, sendo uma parte absorvida e outra refletida para fora da atmosfera. A parte absorvida aquece o solo, causando uma reemissão da radiação, à qual se denomina radiação terrestre. Esta é absorvida e refletida pela atmosfera quase na sua totalidade, e posteriormente reemitida num fluxo de calor radiativo. A soma da radiação terrestre refletida e da quantidade reemitida pela atmosfera é designada de radiação atmosférica. Esta depende da quantidade de vapor de água na atmosfera, da presença de nuvens e da temperatura do ar das camadas inferiores da atmosfera [8].

2.2.5. PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Este parâmetro pode ser definido, de acordo com Freitas e Pinto [9], como a pressão que o ar exerce sobre a superfície terrestre, sendo o seu valor de referência 101325 Pa. Normalmente este valor não é constante [11] e as variações que ocorrem têm origem em diversos fatores, nomeadamente, a temperatura, a altitude, a humidade do ar e a latitude. Quando a altitude aumenta, a pressão tende a diminuir, embora não de forma constante [10]. Conforme descrito em Quanto menor for a temperatura, maior a densidade de partículas do ar, tornando-se mais pesadas e, por consequência, a pressão aumenta [12]. Para medir a pressão atmosférica utiliza-se o barómetro sendo este parâmetro normalmente expresso em hPa.

2.2.6. RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E DIFUSA

A radiação global é equivalente ao somatório da radiação direta e da radiação difusa. Enquanto a primeira componente é referente à radiação solar que atinge a superfície terrestre através de uma linha entre esta e o sol, a segunda representa a que se dispersou devido às moléculas e partículas do ar, mas que ainda assim chegou a superfície da Terra. Na ausência de uma atmosfera, a radiação difusa seria nula [13]. A medição da radiação solar pode ser feita com recurso a piranómetros [14].

2.2.7. CHUVA

A chuva consiste na queda de água no estado líquido e é resultado da condensação do vapor de água existente na atmosfera. É normalmente designada de precipitação, mas este termo também diz respeito à queda de água no estado sólido, nomeadamente neve e granizo. O instrumento utilizado para medir a quantidade de chuva que cai por unidade de superfície, durante um certo intervalo de tempo, é o pluviómetro. Essa medição é expressa em milímetros de altura de lâmina de água, ou em litros por metro quadrado. A variação dos valores de precipitação deve-se a um conjunto de vários fatores, nomeadamente a latitude, proximidade do mar, correntes marítimas e o relevo. A Figura 2.3 exemplifica uma possível representação da distribuição global da precipitação [15].

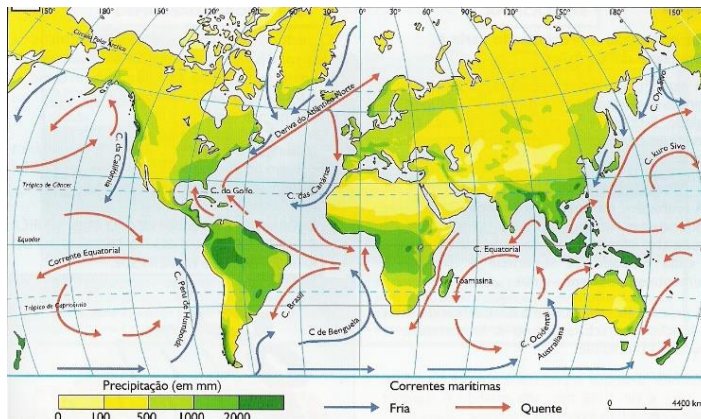


Figura 2.3 – Representação da distribuição da precipitação (adaptada de [15])

2.2.8. VENTO – DIREÇÃO E VELOCIDADE

O movimento horizontal do ar em relação à superfície terrestre é denominado de vento, e a sua principal causa é a desigualdade na distribuição da pressão atmosférica a um certo nível [10].

Por observação das isóbaras, linhas que unem pontos de igual pressão atmosférica numa carta meteorológica, é possível avaliar a direção e intensidade aproximadas do vento. A direção do vento é expressa em graus, medidos no sentido horário a partir do norte geográfico, correspondendo os 0° ao Norte, 90° a Este, 180° a Sul e 270° a Oeste. O instrumento que utilizado para determinar a direção é o catavento, cuja seta aponta na direção de onde o vento sopra.

A velocidade do vento é definida como a distância percorrida pela massa de ar num certo intervalo de tempo, sendo medida com recurso a um anemómetro em m/s ou km/h [16].

2.3. TIPOS DE ANOS CLIMÁTICOS DE REFERÊNCIA

De acordo com Bilbao *et al.* [17], Test Reference Year, Typical Meteorological Year ou Design Reference Year são as designações dadas aos conjuntos de dados que contêm uma sequência de 8670 valores de dados horários referentes a parâmetros climáticos. Em acréscimo, Lund [18] refere que os anos climáticos de referência são compostos por ficheiros com dados climáticos horários correspondentes a doze meses, cujo objetivo é a determinação através de simulações numéricas de consumos de energia em edifícios, climas interiores e sistemas de energia solar, entre outros sistemas que exijam grande número de parâmetros climáticos para a sua análise.

Por fim, Kalamees e Kurnitski [19] admitem que um ano de referência deve representar os valores médios das variáveis climáticas principais o mais próximo possível dos valores médios a longo prazo.

Neste capítulo definir-se-ão diferentes tipos de anos de referência, juntamente com o seu uso e objetivos, bem como os procedimentos para a sua obtenção.

2.3.1. TRY – TEST REFERENCE YEAR

Segundo Lund [18], os TRYs têm sido produzidos através de vários métodos diferentes e tido várias designações. Nos EUA, as denominações mais comuns são o Typical Meteorological Year (TMY) ou o Weather Year for Energy Calculations (WYEC).

De acordo com Al-Mofeez *et al.* [20], o TRY dos EUA é considerado um dos primeiros conjuntos de dados climáticos elaborado especificamente para simulações energéticas em edifícios. De acordo com o mesmo autor, o maior ponto negativo do TRY dos EUA é a metodologia seguida para a sua obtenção, que elimina os anos com temperaturas extremamente elevadas ou baixas, até que um ano médio seja encontrado. Outro inconveniente é o facto de os seus dados de base não incluírem a radiação solar. Ainda assim, Crawley [21] defende que para aplicações em simulações energéticas de edifícios, o programa de simulação deve calcular a radiação solar com base na informação que se encontra nos dados do TRY acerca do tipo de nuvens e da sua cobertura.

No trabalho desenvolvido por Crawley [21], é afirmado que na Europa um conjunto de dados foi compilado para localidades europeias, denominado de TRY Europeu, seguindo a mesma metodologia proposta pelo National Climatic Data Center (NCDC) e o Sandia National Laboratory (SNL) para a criação do Typical Meteorological Year (TMY) nos EUA. De notar que o TMY será abordado no § 2.3.2., no entanto, importa realçar que o processo de obtenção do TRY Europeu difere do método usado para obter o TRY dos EUA. Desta forma, a obtenção do TRY Europeu assemelha-se ao método proposto para criação do TMY dos EUA. Com o intuito de não existir dúvidas acerca da designação atribuída, a partir do capítulo 3, o ano climático de referência calculado denominar-se-á de TRY, uma vez que essa é a designação europeia e o método referido pela norma EN ISO 15927 [1], que será aplicado para seleccionar o TRY e será, portanto, abordado mais à frente, utiliza essa denominação.

Segundo Kalamees e Kurnitski [19], um dos métodos para escolher o TRY é o da American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), que elimina os anos que contêm meses com temperaturas extremamente altas ou baixas até que apenas permaneça um ano, o TRY da ASHRAE. Os meses são ordenados conforme a sua importância em termos energéticos, tendo em atenção que o Julho mais quente e o Janeiro mais frio terão mais relevância. Assim sendo, o TRY da ASHRAE representa um ano real.

2.3.2. TMY – TYPICAL METEOROLOGICAL YEAR

De acordo com Crawley [21], o conceito de TMY surgiu para contrariar os pontos negativos do TRY, principalmente a falta de dados de radiação solar, tendo sido criado a partir de uma união entre o National Climatic Data Center (NCDC) e o Sandia National Laboratory (SNL).

Conforme o observado no estudo de Kalamees e Kurnitski [19], o Typical Meteorological Year (TMY) é constituído por doze Typical Meteorological Month (TMM), seleccionados a partir de dados climáticos de vários anos. Estes meses são escolhidos através de uma análise e avaliação estatística de quatro variáveis climáticas, nomeadamente, radiação solar global, temperatura do ar, temperatura ponto de orvalho e velocidade do vento. No total, são utilizados nove parâmetros: médias diárias e médias diárias mínimas e máximas da temperatura do ar e da temperatura ponto de orvalho, médias diárias e média máxima diária da velocidade do vento e radiação solar global diária. Para relacionar os doze meses e

remover descontinuidades provocadas por utilizar meses de diferentes anos, pode optar-se por técnicas de aproximação linear, como sugerido por Al-Mofeez *et al.* [20]. Segundo Hui [22], o conceito do TMY parte do princípio que existem variações climáticas de ano para ano. Assim, para ultrapassar esta questão, os meses escolhidos devem pertencer a um período superior a 10 anos.

Al-Mofeez *et al.* [20] acrescenta que o processo de construção do TMY sofreu modificações, criando o TMY2 e o TMY3. Estas versões introduziram o peso relativo dos parâmetros climáticos para a escolha dos meses típicos, embora os resultados obtidos fossem similares. Esta evolução para o TMY2 e, mais tarde, TMY3 aconteceu pela necessidade e disponibilidade de dados a partir de estações meteorológicas.

Foram criados, com base no TMY, outros anos de referência para vários locais, entre os quais o Canadian Weather Year for Energy Calculation (CWEC) obtido para 145 localidades no Canadá e até 48 anos de registos climáticos, começando em 1953 e terminando em 2001 [23], e o Typical Weather Years for International Locations (IWEC) que contém ficheiros climáticos para simulações energéticas aplicadas em locais fora dos EUA e Canadá [24].

De acordo com Al-Mofeez *et al.* [20], a seleção dos dados para o TMY envolve várias considerações:

- Com base na radiação global horizontal, radiação normal direta, temperatura do ar, temperatura de ponto de orvalho e velocidade do vento, são escolhidos cinco meses para cada mês do calendário.
- Alguns meses podem ser estimados como típicos em relação a um parâmetro, mas não típicos para outro.
- No caso de existirem estações que não possuam dados de radiação, esta pode ser calculada.
- A estatística de FS com ponderação pode ser aplicada para se contabilizar a importância relativa dos índices climáticos.

Kalamees e Kurnitski [19] referem um método não paramétrico conhecido como estatística de Finkelstein-Schafer (FS) que é usado para determinar os meses candidatos, comparando a distribuição cumulativa anual à distribuição a longo prazo. No final, é selecionado o mês com menor valor de FS e menor desvio em relação à série total de dados. Para Rahman e Dewsbury [6] esta estatística mede a similaridade entre duas distribuições, e quando estas são idênticas, o seu valor tende para zero, por isso este processo é confiável para a escolha do mês mais próximo da média a longo prazo.

Existem diversas metodologias para construção do TMY, umas mais simples, outras mais complexas, com utilização de diferentes parâmetros e princípios. Um desses métodos, utilizado em vários estudos, é o da norma EN ISO 15927-4 [1], tal como descrito no estudo de Kalamees e Kurnitski [19], que irá ser explorado com mais detalhe no capítulo 3, baseado na estatística de FS. Outras metodologias incluem o método de Sandia National Laboratory, o método Danish e o método de Festa-Ratto.

De acordo com Hui [22], o método desenvolvido pelo Sandia National Laboratory nos EUA é o mais correntemente utilizado para obter anos típicos, nomeadamente no Canadá, Nigéria e Arábia Saudita, além dos EUA. Quando é adotado em países que não os EUA, poderão ser usados diferentes parâmetros climáticos e critérios de seleção que satisfaçam as necessidades particulares de cada local, além de se tratar de um método empírico para selecionar meses individuais a partir de anos diferentes num período de tempo disponível. Bilbao *et al.* [17] e Argiriou *et al.* [25] aplicaram variações a este método, mas tal não será aprofundado neste trabalho.

Tal como descreve Kalogirou [26], o processo original de seleção dos doze meses típicos consiste em, para cada mês do calendário e a partir de nove índices diários, nomeadamente temperatura e humidade relativa mínima, média e máxima, velocidade do vento média e máxima, e radiação global diária, escolher cinco meses candidatos de acordo com a sua proximidade aos dados de longo prazo. Tal é

conseguido através da avaliação de FS, em que as funções cumulativas distributivas de cada mês (CDF) são comparadas com as de longo termo. Seguidamente apresentam-se as expressões que são usadas para obter o valor de FS, um por parâmetro, de acordo com esta metodologia.

$$FS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CDF_{LT}(z_i) - CDF_{SM}(z_i)| \quad (2.1)$$

onde,

N	Número de dias do mês
z_i	Índice diário
CDF_{LT}	Período a longo prazo para a função de distribuição cumulativa do índice diário cada mês;
CDF_{SM}	Período a curto prazo para a função de distribuição cumulativa do índice diário para o mês específico.

Após o cálculo com utilizando a equação (2.1), é obtido o valor de WS, que é uma média das somas ponderadas, para cada ano e os cinco anos com menor valor de WS são selecionados como candidatos para a escolha final do ano de referência. Este valor é calculado com recurso à seguinte expressão:

$$WS = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M WF_j * FS_j \quad (2.2)$$

em que,

M	Número de parâmetros na base de dados
WF_j	Fatores de ponderação para cada índice diário.
FS	Calculado de acordo com a equação (2.1)

em que deve ser verificada a seguinte condição:

$$\sum_{j=1}^M WF_j = 1 \quad (2.3)$$

Os valores de WF podem variar consoante a importância relativa que se dá a cada parâmetro. Quanto menor for o valor de WS , melhor será a aproximação a um Typical Meteorological Month.

Bilbao *et al.* [17] e Argiriou *et al.* [25] fazem uma exposição do método Danish, em que, para cada mês, os valores médios mensais das variáveis (média diária e valor máximo da temperatura, humidade relativa, velocidade do vento, pressão, duração da luz solar e radiação solar global) são comparados com o valor do mês respetivo da média a longo termo e uma classificação é atribuída a cada mês. Se o valor médio mensal do parâmetro climático para cada mês candidato diferisse mais de um desvio padrão da média do mês respetivo a longo prazo, o mês teria a classificação de zero. Caso contrário, o mês valeria um. Assim, a avaliação final de cada mês consistia no somatório das pontuações obtidas para os diversos parâmetros, até um valor máximo de sete, uma vez que se trata do número de variáveis a avaliar. Um segundo passo eliminaria as variações sazonais de cada parâmetro climático dado que as variáveis meteorológicas são resultado de fenómenos estocásticos. Assim, os parâmetros meteorológicos diários são convertidos em valores residuais diários, de acordo com:

$$Y(y, m, d) = x(y, m, d) - \mu_x(m, d) \quad (2.4)$$

em que:

- $Y(y, m, d)$ Valor residual de $x(y, m, d)$ para o ano y , mês m e dia d , de acordo com $\mu_x(m, d)$, calculado ao longo dos anos disponíveis;
- $\mu_x(m, d)$ Média diária
- $x(y, m, d)$ Parâmetro

Cada mês individual seria caracterizado por dois parâmetros, a média normalizada, $f_\mu(y, m)$ e o desvio-padrão normalizado, $f_\sigma(y, m)$, e um terceiro passo consistia em avaliar as variáveis para cada mês da série de dados:

$$f(y, m) = \max\{f_\mu(y, m), f_\sigma(y, m)\} \quad (2.5)$$

Com base nos valores de $f(y, m)$, eram eleitos os três meses com menor valor de $f(y, m)$. Para se seleccionar o mês final de entre estes três meses, recorrer-se-ia ao primeiro passo do processo e o mês com maior classificação seria o mês final.

Segundo Argiriou *et al.* [25], o método de Festa-Ratto é uma modificação do método Danish e requer um tratamento dos dados mais complexo.

A sua metodologia envolve as seguintes variáveis: máxima diária e média diária da temperatura do ar, média diária da humidade relativa, velocidade do vento e radiação global. A escolha dos meses individuais passava por converter os valores dos dados meteorológicos em valores residuais normalizados respeitando a tendência base de longo prazo:

$$X(y, m, d) = \frac{x(y, m, d) - \mu_x(m, d)}{\sigma_x(m, d)} \quad (2.6)$$

em que,

- $x(y, m, d)$ Valor residual normalizado do parâmetro x para o ano y , o mês m e o dia d ;
- $\mu_x(m, d)$ Média dos anos disponíveis;
- $\sigma_x(m, d)$ Desvio padrão dos anos disponíveis.

De acordo com Bilbao *et al.* [17], os valores médios mensais, os desvios padrão e a distribuição das frequências acumuladas eram avaliadas e comparadas com os valores correspondentes obtidos para o período de dados completo.

Rahman e Dewsbury [6] ressaltam que no final da utilização do método escolhido e após rearranjar os meses por ordem de relevância por parâmetro climático, poder-se-á verificar que o TMY é diferente consoante as variáveis, e conforme a análise que se quer efetuar, o TMY final para o parâmetro temperatura pode não ser igual ao do parâmetro humidade, por exemplo. Estes TMYs podem ser usados em estudos de avaliação do impacto de um índice climático específico.

2.3.3. WYEC – WEATHER YEAR FOR ENERGY CALCULATIONS

Segundo Crawley [21], para que os padrões climáticos típicos estivessem representados convenientemente, em vez de um único ano representativo ou de um agrupamento de vários meses, a ASHRAE adotou o WYEC. Este conjunto de dados usa o formato do TRY, mas inclui dados de radiação solar. No início da década de 90, a ASHRAE começou a atualização dos dados do WYEC. Inicializando com o formato para os dados do TMY, os dados do WYEC foram ampliados para conter valores de luminosidade horária e dados de avaliação de qualidade. Outras mudanças abrangeram a atualização dos dados da radiação solar calculada e o ajustamento desses dados de hora solar para hora local. Estas modificações levaram à concepção do WYEC2.

No estudo de Kalamees e Kurnitski [19], a metodologia aplicada para determinar o WYEC passa por selecionar o mês com a temperatura média mais próxima da média mensal no período de anos disponível. Se a temperatura se encontrar dentro do intervalo de 0,1 °C da média a longo prazo, esse mês pode ser utilizado, desde que não existam padrões irregulares em termos climáticos nesse mês. Caso tiver ocorrido um evento fora do normal, o mês seguinte mais próximo seria examinado com o intuito de verificar que não apresenta variações incomuns, repetindo o processo até tal se observar. Se nenhum mês dentro do período disponível estiver no intervalo mencionado, o mês com a média mais próxima da média global, ou seja, de todos os anos, era eleito e alguns dos seus dias seriam substituídos por dias de outros meses até que a temperatura não transpusesse o limite de 0,1 °C em relação ao longo termo. Em geral, nenhum ficheiro de WYEC necessita de mais de três dias suplentes em cada mês para se aproximar da média a longo termo. Desta forma, o WYEC contém meses de anos diferentes e o mês designado pode incluir dados de outro mês de outro ano. De acordo com Crawley [21], o WYEC foi completado em 1983 para 51 locais, 46 nos EUA e 5 no Canadá.

2.3.4. MRY – MOISTURE REFERENCE YEAR

O Moisture Reference Year (MRY) é o ano de referência usado para cálculos higrotérmicos e deve refletir a variabilidade climática da localização do edifício. As diferenças principais entre o MRY e os anos de referência energéticos (TRY, TMY e DRY) é que estes últimos não incluem dados sobre a precipitação e são constituídos principalmente por valores médios dos parâmetros climáticos. O MRY deve ter em conta a carga crítica de humidade nos componentes do edifício para que sejam satisfeitos os níveis de segurança em relação à degradação pela humidade. Idealmente, as estruturas devem resistir à carga máxima higrotérmica que o edifício poderá sofrer em toda a sua vida útil.

Segundo Kalamees e Vinha [27], em alguns estudos, foi usado um critério de 10% para estabelecer o MRY, o que significa que certas condições higrotérmicas não são excedidas mais de 10% do tempo, ou seja, ocorrem com uma frequência não superior a um em cada 10 anos. Usando esta regra, apenas 10% dos anos seriam considerados como críticos, enquanto os restantes 90% não poderiam ser elegíveis para MRY. Um período crítico em cada 10 anos deveria permitir a secagem da humidade acumulada num ano pior e evitar a deterioração a longo prazo do edifício.

Existem dois métodos para a construção de um MRY:

- O método dependente da construção, que usa simulações higrotérmicas para calcular as condições de humidade.
- O método baseado apenas na análise de dados, independente da construção.

De acordo com Cornick e Djebbar [28], o primeiro método consiste no cálculo da resposta higrotérmica de uma parede, sendo o MRY selecionado conforme essa resposta. Os princípios associados a esta metodologia são a definição de um conjunto de paredes típicas para construção, escolha das condições

fronteira interiores, determinação da orientação construtiva mais crítica e a realização das simulações higrotérmicas para todos os anos em que existem dados climáticos horários. Por fim, é investigada a existência de um ano que apresente o pior comportamento em todos os elementos construtivos simultaneamente; se não houver nenhum, ordenam-se as comparações dos anos alvo de simulação e elege-se o pior ano em comum como MRY.

Cornick e Dalglish [29] descrevem outro método baseado no Moisture Index (MI), que pode ser definido como uma relação entre o potencial de secagem (drying) e o potencial de humidificação (wetting) de um clima. Assim, o Wetting Index (WI) pode ser definido como a média anual da chuva. O Drying Index (DI) é mais difícil de se determinar. Uma forma simples de o quantificar consiste em relacionar a secagem com a evaporação, surgindo então que o DI, para um certo tempo t , consiste na diferença entre o rácio da humidade de saturação e o rácio da humidade em condições ambiente. Para obter o MI, é necessário combinar o WI e o DI, e a opção mais simples é dividir WI por DI. Quanto maior for o valor de MI, maior o risco potencial de existir danos provenientes da humidade. Aplicando o Moisture Index é possível classificar os anos como secos, húmidos ou médios, o que permite seleccionar o MRY.

Segundo Cornick e Dalglish [29], não existe um MRY definitivo, isto é, conforme o problema a analisar devem ser escolhidos os critérios apropriados para a obtenção do MRY que melhor responda a essa dificuldade, e também não existe um método infalível para encontrar o MRY.

2.3.5. OUTROS

Além dos tipos de anos climáticos apresentados, existem outros que poderão ser utilizados por diversos motivos, tais como falta de dados ou limitações computacionais, ou por serem demasiado específicos por se adaptarem apenas a determinadas situações.

Al-Mofeez *et al.* [20] refere que o Design reference year (DRY) consistiu numa tentativa de modificar o TRY para que seja representativo da média anual de cada mês, ajustando os meses seleccionados. Os parâmetros principais, tais como a temperatura, a radiação solar e a humidade, excetuando a velocidade e direcção do vento, são controlados substituindo determinados dias por dias de outros anos, dentro do mesmo mês.

Finalmente, Argiriou *et al.* [25] refere que o Short Reference Year (SMY) foi criado devido a limitações computacionais, que eram relevantes no passado, e que corresponde a uma compilação de dados meteorológicos que abrangem alguns dias de cada mês.

2.3. OBSERVAÇÕES FINAIS

Após a definição dos parâmetros climáticos que serão utilizados para a escolha do ano climático de referência, resta ressaltar que estes podem entrar no cálculo do ano climático com um peso associado, por outras palavras, com fatores de ponderação.

De acordo com Kalamees e Kurnitski [19] os fatores de ponderação das variáveis têm uma influência diferente no que toca à eficiência energética. No entanto, não se pode afirmar que uma é mais importante do que outra. Exemplificando, a humidade não afeta os requisitos de aquecimento, mas interfere bastante na capacidade de refrigeração, enquanto a temperatura e a radiação solar influenciam os requisitos de aquecimento e arrefecimento. Mais ainda, é necessário ter em atenção o propósito a que se destina a análise, pois o efeito dos parâmetros é diferente para cada situação. No entanto, o ano climático de

referência não deve ser construído em específico para um edifício, por isso, deve estar possibilitada a sua utilização para todos os casos.

Por outro lado, Rahman e Dewsbury [6] defendem que para variáveis analisadas individualmente, poderiam ser obtidos piores resultados quando não se entrava com os fatores de ponderação, mas quando se observava o ano no seu todo, conclui-se que se obtinham melhores resultados para fatores de ponderação iguais em todas as variáveis. Não obstante, recomenda que se use igual ponderação para selecionar o TRY, a não ser que existam razões particulares para não o fazer.

Ainda assim, segundo Pernigotto *et al.* [30], não existe consenso entre os diferentes autores em termos da ponderação dos fatores e alguns afirmam que devem ser baseados no tipo de edifício a analisar.

Em todo o caso, neste trabalho optou-se por não se usar qualquer ponderação, tendo em conta o que foi anteriormente descrito.

3

**TRATAMENTO DOS DADOS E
METODOLOGIA APLICADA****3.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS**

3.1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente capítulo, pretende-se fazer uma descrição dos dados que irão ser utilizados no decorrer deste trabalho, a correção das falhas existentes nos mesmos e a explicação da metodologia usada para determinar os anos climáticos de referência. As variáveis climáticas utilizadas em todo o processo são a temperatura, medida em °C, a humidade relativa, a radiação solar global e difusa, medidas em W/m², a radiação atmosférica, também medida em W/m², a direção do vento, em graus, a velocidade do vento, em m/s, a pressão do ar, em hPa, e a chuva em l/m²h.

Nesta secção pretende-se descrever o clima estudado, caracterizando-o com base nos parâmetros meteorológicos medidos na estação meteorológica do LFC/FEUP. Utilizaram-se as principais medidas estatísticas para caracterizar o clima, sendo estas a média, o desvio-padrão, os valores mínimo e máximo, o coeficiente de variação e o coeficiente de assimetria, aplicados a cada parâmetro climático. Tendo em conta que o tratamento estatístico dos dados não é o ponto principal deste trabalho, não foi feita a sua caracterização exaustiva, no entanto, considerou-se que seria uma ferramenta útil e uma forma simplificada de descrever o comportamento dos dados. Assim sendo, a média representa a localização do centro da amostra, enquanto o desvio-padrão exhibe a dispersão dos valores observados em relação à média, significando que um resultado menor indica que os dados estão próximos da média e um desvio-padrão elevado indica uma amostra dispersa. Com os valores mínimo e máximo é perceptível qual o intervalo em que se encontram os dados, podendo auxiliar na determinação de valores incorretos. Quanto ao coeficiente de variação, este é utilizado para comparar a homogeneidade de diferentes distribuições e é calculado dividindo o desvio-padrão pela média. Por fim, o coeficiente de assimetria mede a forma como os valores se distribuem em relação ao centro, isto é, se os dados se estendem para a direita (assimetria positiva) ou para a esquerda (assimetria negativa) ou se apresentam uma distribuição simétrica.

Foram efetuadas, para cada parâmetro climático e para cada ano, representações gráficas da distribuição da amostra (*boxplot*), que permitiram auxiliar na caracterização da dispersão da mesma. Foi representado o *boxplot* da série total de dados, representativo do conjunto dos dados desse parâmetro climático ao longo do intervalo de anos a analisar. Na Figura 3.1 resume-se num esquema a informação retratada neste tipo de diagrama, em que o retângulo, que tem como extremos o 1º e o 3º quartil, representa os valores da amostra que correspondem aos 50% mais centrais, eliminando os 25% menores

valores e os 25 % maiores valores. O *boxplot* é também útil para detetar *outliers*, ou seja, dados muito diferentes do conjunto em análise.

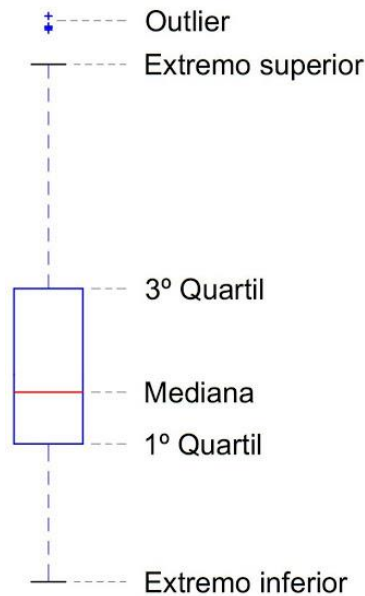


Figura 3.1 – Representação esquemática de um *boxplot* típico

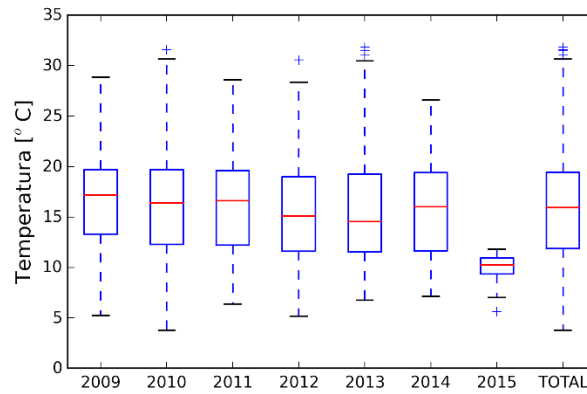
3.1.2. SCRIPT CRIADO

De forma a agilizar o processo de tratamento de dados e desenvolver uma ferramenta conceptualmente inovadora, recorrendo a procedimentos razoavelmente complexos, optou-se por concretizar a análise da distribuição estatística dos dados na forma de um *script*, conjunto de instruções em código programável. Foi selecionada a linguagem de programação Python [31], particular por facilitar a leitura do código e exigir menos linhas do mesmo para o mesmo fim que outras linguagens de programação, e por não ser um *software* comercial e dependente de licenças restritivas de utilização [32]. Mais ainda, foi utilizado um dos inúmeros interpretadores para esse fim, o Spyder, disponível, entre outros, na distribuição WinPython [33]. Assim, na construção da ferramenta *boxplot* utilizou-se esta linguagem de programação, sendo que o código associado se encontra no Anexo I.

3.1.3. BREVE DESCRIÇÃO DO CLIMA DO PORTO

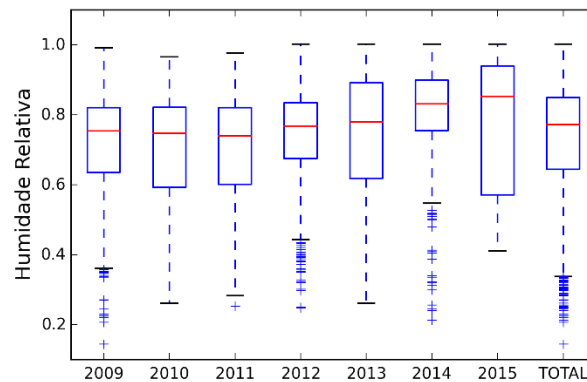
Para avaliar o clima do Porto foram utilizados os dados climáticos provenientes da estação meteorológica do LFC/FEUP entre 2009 e 2014. Esta série de dados foi analisada e foram apontadas falhas de medição. Calcularam-se as médias horárias a partir de dados de 10 em 10 minutos, e posteriormente obtiveram-se as médias diárias. Para a obtenção destas, e no sentido de otimizar o processo, utilizou-se um código em *Visual Basic*, que é uma linguagem de programação pertencente ao *Excel*. O código permite calcular automaticamente as médias diárias a partir dos dados horários, e encontra-se descrito em anexo. No entanto, verificou-se que os meses de janeiro e fevereiro do ano 2009 não poderiam ser incluídos na análise, visto que coincidiram com a montagem da estação meteorológica e, por este motivo, considerou-se que os dados poderiam não ser fiáveis. Optou-se por substituir esses meses pelos seus homólogos de 2015, embora o mês de janeiro acabasse por não poder ser utilizado uma vez que possuía várias falhas nos registos. Assim, como já foi referido, para cada parâmetro e para cada ano, foram calculados um conjunto de variáveis estatísticas descritivas que se apresentam de seguida, além dos *boxplot* correspondentes.

Na Figura 3.2 mostra para o parâmetro temperatura que, não existem grandes desigualdades para os diferentes anos, todos apresentando resultados de média, desvio-padrão, mínimo e máximo semelhantes, rejeitando a possibilidade de existir um ano fora da tendência normal. O ano 2015 é bastante diferente dos remanescentes, mas isso deve-se ao facto de apenas o mês de fevereiro se encontrar representado, como referido anteriormente. Atente-se igualmente no coeficiente de assimetria, que, excluindo o ano de 2013, é próximo de zero, o que significa que a distribuição dos dados é quase simétrica. O facto de 2013 ser o ano menos simétrico pode ser justificado pelo valor do seu desvio-padrão ser mais elevado do que o da maioria dos anos e o seu valor máximo ser o maior da série de anos. Na Figura 3.3 são apresentados os resultados para a humidade relativa, onde se observam algumas diferenças entre os diversos anos em relação à assimetria na distribuição dos dados, uma vez que o coeficiente de assimetria apresenta valores mais elevados do que para a temperatura, sendo que o ano de 2014 se destaca dos outros por apresentar uma assimetria negativa mais acentuada. Há também que realçar a presença de alguns outliers, que podem ser justificados pela presença elevada de dados com valores muito mais baixos do que o normal. Estes valores aberrantes podem ser responsáveis pelas diferenças verificadas na assimetria.



Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	16.80	16.21	16.26	15.31	15.64	15.67	9.88
Desvio-padrão	4.49	5.76	4.86	4.70	5.34	4.59	1.60
Mínimo	5.23	3.79	6.36	5.15	6.75	7.13	5.64
Máximo	28.85	31.58	28.56	30.56	31.82	26.58	11.78
Coefficiente de variação	26.7%	35.5%	29.9%	30.7%	34.1%	29.3%	16.2%
Coefficiente de assimetria	0.06	0.13	0.04	0.27	0.70	0.12	-1.16

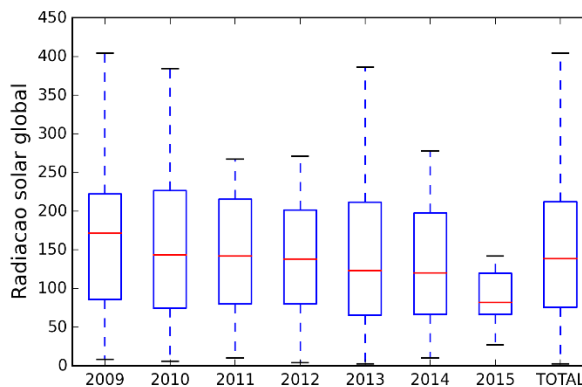
Figura 3.2 – Representação das medidas estatísticas referentes à temperatura, com base nas médias diárias [°C]



Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	0.71	0.70	0.70	0.74	0.74	0.80	0.78
Desvio-padrão	0.17	0.16	0.16	0.15	0.18	0.16	0.20
Mínimo	0.14	0.26	0.25	0.25	0.26	0.21	0.41
Máximo	0.99	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00
Coefficiente de variação	24.3%	22.8%	23.0%	20.9%	24.9%	19.4%	25.2%
Coefficiente de assimetria	-1.07	-0.78	-0.69	-0.98	-0.56	-1.55	-0.57

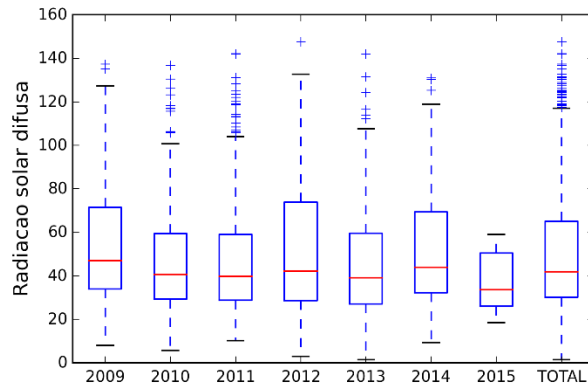
Figura 3.3 – Representação das medidas estatísticas referentes à humidade relativa, com base nas médias diárias

Relativamente à radiação solar global (Figura 3.4), excluindo o ano de 2015, os valores da média e do desvio-padrão apresentam-se idênticos de ano para ano, apresentando coeficientes de variação entre 50% e 60%. Apesar de ser um parâmetro bastante variável ao longo do dia, apresenta uma distribuição semelhante de ano para ano. No entanto, tanto os valores mínimos como os máximos não são tão próximos como os de outras variáveis climáticas, embora este facto possa ser justificado pelo que foi dito anteriormente em relação à variação ao longo do dia. Apesar disso, a assimetria das amostras não é elevada, sendo à esquerda nos anos de 2009 e 2015 e nos restantes, à direita. Considerando o coeficiente de variação, também não se verifica grandes diferenças entre as várias distribuições, sendo o ano de 2013 o menos homogéneo. No que diz respeito à radiação solar difusa (Figura 3.5) existe alguma semelhança entre as distribuições, e os seus valores mínimos e máximos são mais próximos do que na radiação global. Não obstante, existe maior assimetria na distribuição, embora sejam em todos os anos à direita e existem vários outliers que podem ser explicados pelo facto de haver uma grande distância entre as medidas centrais e os valores máximos. No parâmetro da radiação atmosférica (Figura 3.6), o retângulo definido pelo *boxplot* é idêntico entre os anos, i.e., pode-se afirmar que 50% dos valores da amostra são praticamente iguais nos vários anos, excetuando o ano de 2015. Todos os resultados das medidas estatísticas são próximos, o que quer dizer que as distribuições amostrais por ano são similares no que toca a este parâmetro.



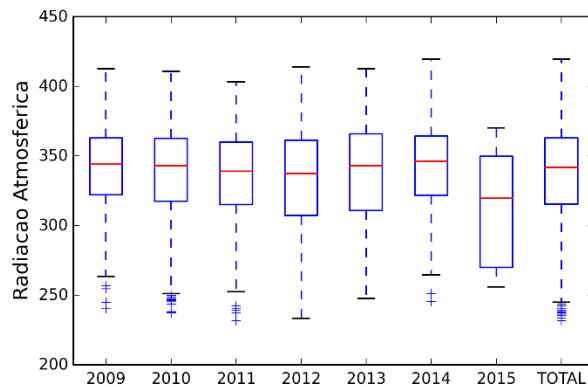
Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	156.19	144.53	144.80	139.87	136.32	131.33	88.55
Desvio-padrão	77.91	83.30	75.17	71.06	82.20	75.39	38.17
Mínimo	8.41	6.06	10.49	3.86	2.43	10.10	27.31
Máximo	404.06	384.52	267.38	270.93	386.38	277.78	141.90
Coeficiente de variação	49.9%	57.6%	51.9%	50.8%	60.3%	57.4%	43.1%
Coeficiente de assimetria	-0.22	0.12	0.04	0.06	0.21	0.25	-0.16

Figura 3.4 – Representação das medidas estatísticas referentes à radiação solar global, com base nas médias diárias [W/m²]



Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	54.44	46.70	47.90	51.73	45.68	51.58	37.91
Desvio-padrão	28.22	25.89	26.77	29.95	25.36	26.17	14.41
Mínimo	7.96	5.69	10.14	3.03	1.40	9.43	18.41
Máximo	137.34	136.78	142.20	147.74	141.93	131.05	59.05
Coeficiente de variação	51.8%	55.4%	55.9%	57.9%	55.5%	50.7%	38.0%
Coeficiente de assimetria	0.75	1.06	1.18	0.81	0.93	0.74	0.17

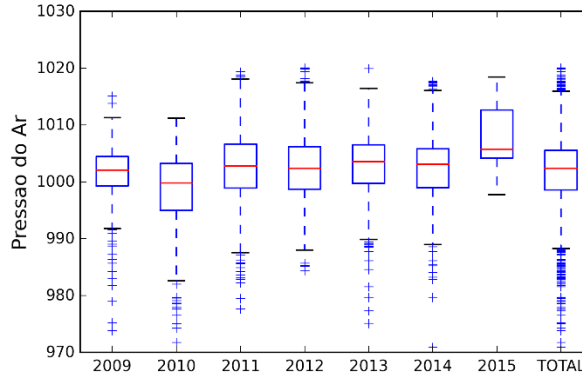
Figura 3.5 – Representação das medidas estatísticas referentes à radiação solar difusa, com base nas médias diárias [W/m²]



Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	340.70	337.09	334.28	332.99	337.25	343.03	315.08
Desvio-padrão	32.84	35.85	35.48	37.44	38.19	32.33	40.06
Mínimo	240.75	237.27	231.93	233.39	247.56	245.41	256.09
Máximo	412.85	410.81	403.40	413.97	412.77	419.59	370.18
Coeficiente de variação	9.6%	10.6%	10.6%	11.2%	11.3%	9.4%	12.7%
Coeficiente de assimetria	-0.37	-0.77	-0.57	-0.39	-0.35	-0.27	-0.27

Figura 3.6 – Representação das medidas estatísticas referentes à radiação atmosférica, com base nas médias diárias [W/m²]

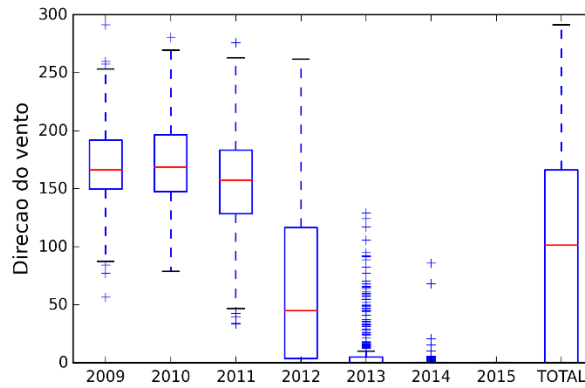
No que toca à pressão do ar (Figura 3.7) os valores da média, do desvio-padrão, dos mínimos e dos máximos não demonstram desigualdades relevantes entre os diferentes anos, sendo possível observar que o coeficiente de variação mostra que as distribuições têm homogeneidade semelhante. No entanto, o coeficiente de assimetria varia quer em termos de sinal quer em termos de grandeza, o que leva a que, principalmente dos anos de 2009 e 2010 haja uma maior concentração de valores abaixo da média, enquanto em 2012 a distribuição amostral é quase simétrica.



Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	1001.15	998.43	1002.55	1002.47	1002.73	1002.32	1007.93
Desvio-padrão	5.73	7.03	7.05	6.47	6.58	6.88	5.50
Mínimo	973.81	971.76	977.66	984.36	975.13	970.92	997.74
Máximo	1015.14	1011.23	1019.39	1020.10	1019.93	1017.72	1018.44
Coeficiente de variação	0.6%	0.7%	0.7%	0.6%	0.7%	0.7%	0.5%
Coeficiente de assimetria	-1.74	-1.13	-0.52	0.08	-0.83	-0.52	0.31

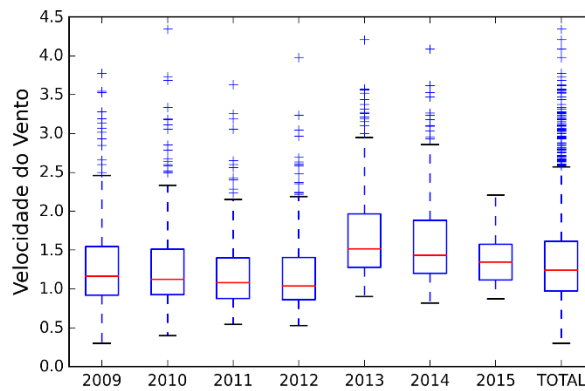
Figura 3.7 – Representação das medidas estatísticas referentes à pressão do ar, com base nas médias diárias [hPa]

Considerando a Figura 3.8, que expõe os efeitos do parâmetro direção do vento, verifica-se uma imensa variabilidade entre os anos, não só nos valores médios, desvio-padrão, mínimos e máximos, como também na assimetria e no coeficiente de variação. Este cenário pode ser explicado pela enorme imprevisibilidade desta variável, uma vez que não possui comportamentos típicos e a sua grandeza pode variar num intervalo relativamente grande, dos 0° aos 360°. Em suma, os primeiros três anos da amostra não demonstram diferenças relevantes na distribuição dos resultados, mas 2012, 2013 e 2014 tornam-se anos nada relacionados nem entre si nem com os três primeiros. No caso da velocidade do vento (Figura 3.9), apesar de ser um parâmetro em que é difícil de determinar uma tendência, os anos em análise acabam por ser mais semelhantes entre si do que no parâmetro anterior dado que o intervalo entre o qual se situam os registos é menor, como se pode perceber examinando os valores mínimos e máximos. As maiores desigualdades entre distribuições ocorreram nos anos de 2013 e 2014 em relação aos restantes, excluindo, uma vez mais, o 2015.



Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	169.84	171.65	156.46	65.33	10.10	0.96	0.11
Desvio-padrão	34.79	40.94	47.15	66.27	22.61	6.39	0.02
Mínimo	56.40	0.10	33.38	0.10	0.06	0.08	0.10
Máximo	291.51	280.80	275.78	261.87	129.03	86.05	0.17
Coefficiente de variação	20.5%	23.9%	30.1%	101.4%	223.9%	665.6%	20.5%
Coefficiente de assimetria	0.15	-0.06	-0.08	0.86	2.80	11.42	1.78

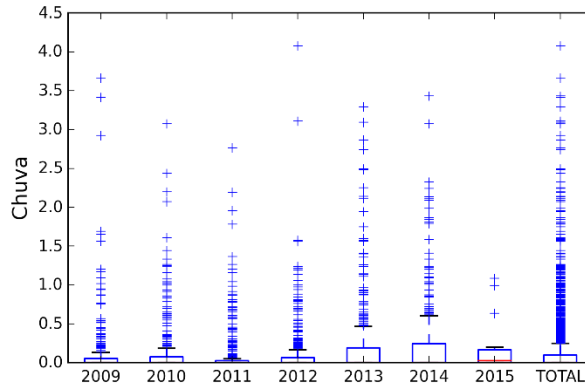
Figura 3.8 – Representação das medidas estatísticas referentes à direção do vento, com base nas médias diárias [°]



Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Média	1.30	1.30	1.19	1.18	1.69	1.59	1.41
Desvio-padrão	0.57	0.59	0.46	0.48	0.58	0.55	0.36
Mínimo	0.30	0.40	0.54	0.53	0.90	0.82	0.87
Máximo	3.77	4.34	3.63	3.98	4.20	4.08	2.21
Coefficiente de variação	43.7%	45.2%	38.5%	40.4%	34.1%	34.4%	25.8%
Coefficiente de assimetria	1.65	1.78	1.68	1.80	1.31	1.50	0.67

Figura 3.9 – Representação das medidas estatísticas referentes à velocidade do vento, com base nas médias diárias [m/s]

A chuva, que tal como a direção e velocidade do vento, não possui um comportamento típico, ou seja, de difícil comparação entre anos, pois apesar de o intervalo ser reduzido, já que o valor máximo observável é de 4.08 mm, as médias são próximas do valor mínimo, o que significa que a maior parte dos registos se encontram bastante acima da média, o que faz com exista uma grande assimetria à direita na distribuição dos resultados (Figura 3.10).



<i>Ano</i>	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<i>Média</i>	0.14	0.15	0.11	0.13	0.22	0.25	0.18
<i>Desvio-padrão</i>	0.43	0.39	0.32	0.37	0.51	0.51	0.32
<i>Mínimo</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Máximo</i>	3.67	3.08	2.77	4.08	3.29	3.43	1.08
<i>Coefficiente de variação</i>	302.7%	255.0%	282.4%	280.5%	228.2%	203.3%	180.9%
<i>Coefficiente de assimetria</i>	5.35	3.80	4.43	5.90	3.38	3.01	2.06

Figura 3.10 – Representação das medidas estatísticas referentes à chuva, com base nas médias diárias [l/m²h]

3.2. CORREÇÃO DE FALHAS DE MEDIÇÃO

Verificou-se durante a análise e tratamento dos dados que estes apresentavam falhas em diversos períodos para diferentes variáveis. Estas falhas resultaram de avarias e melhorias do equipamento ou de procedimentos de manutenção do mesmo, entre outros fatores pontuais. Decidiu-se proceder à colmatação dessas falhas para se selecionar um ano climático de referência com base nos dados completos, sendo o objetivo comparar estes com os dados originais em termos de construção do TRY. Deste modo, os parâmetros que foram sujeitos a colmatação de dados em falta foram a temperatura, a humidade relativa e a radiação solar global, visto que são estes os fatores que determinam a eleição do ano climático de referência. As restantes variáveis não sofrem quaisquer alterações, uma vez que os dados com colmatação de falhas serão aplicados apenas para a seleção do TRY, ou seja, nas simulações a realizar usar-se-ão os dados sem correções.

No processo de correção de falhas há que ter em atenção o facto de que não há certezas absolutas no preenchimento das mesmas, dado que o clima é inconstante e imprevisível, no entanto há certos comportamentos que se conseguem prever, partindo do princípio que não ocorreram fenómenos

meteorológicos invulgares que alteram a tendência normal. É importante realçar, no entanto, que as variáveis a corrigir, exceto a velocidade do vento, acabam por seguir um comportamento que não é totalmente aleatório, ao contrário, por exemplo, da chuva e da direção do vento.

As falhas foram corrigidas hora a hora, isto é, em vez de se retificar com recurso às médias diárias, que são utilizadas na metodologia de obtenção do TRY, aplicaram-se as médias horárias, dado que para a simulação no WUFI se empregam os registos por hora, e, além disso, para intervalos maiores é possível ter uma maior noção da variação dos parâmetros ao longo do dia. As falhas foram divididas em dois grupos, em que o primeiro diz respeito a períodos de algumas horas em falta até dois dias e o segundo que inclui intervalos em falta superiores a dois dias. No primeiro caso, o procedimento aplicado foi a interpolação linear entre o dia anterior e o seguinte. A Figura 3.11 pretende demonstrar esse procedimento. Na legenda da figura, o dia i e o dia n representam o dia anterior e o seguinte, respetivamente, e a linha identificada como o dia interpolado é o resultado dos valores calculados com recurso à interpolação.

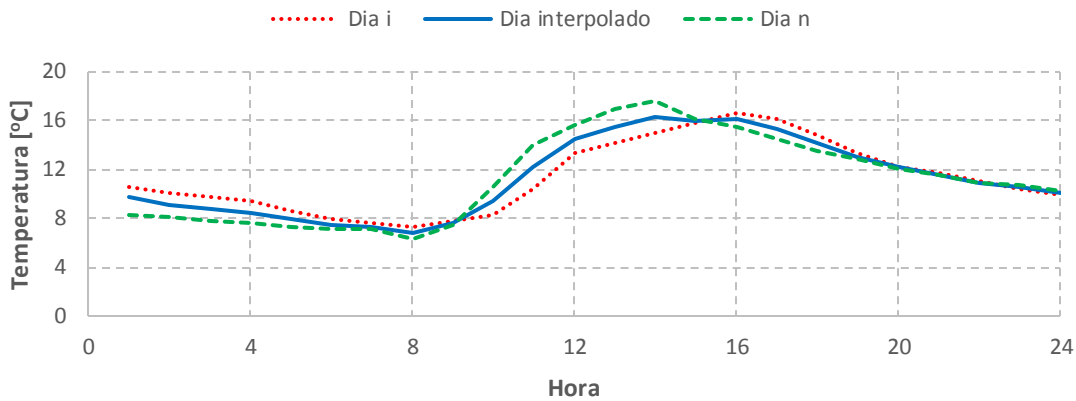


Figura 3.11 – Gráfico representativo da interpolação feita para o parâmetro temperatura

A Figura 3.12 caracteriza, tal como a anterior, a interpolação realizada para a humidade relativa. De notar que o dia em que havia falha de dados estava apenas incompleto, ou seja, faltavam apenas algumas horas no fim do dia, daí a linha que representa o dia interpolado que correspondem aos dados medidos desse dia, se encontram fora do intervalo dos valores dos dias anterior e seguinte para as primeiras horas do dia, já que apenas as últimas horas foram calculadas.

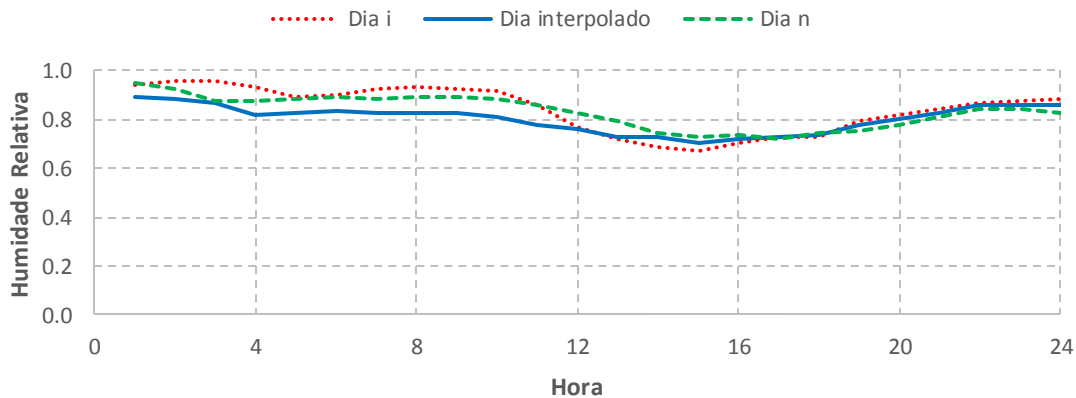


Figura 3.12 – Gráfico representativo da interpolação feita para o parâmetro da humidade relativa

De seguida, apresenta-se um exemplo de interpolação feita para o parâmetro radiação solar global, (Figura 3.13). No caso da radiação, como se pode analisar pela figura, os pontos estão praticamente sobrepostos, o que pode indicar que o cálculo dos valores em falta não é de todo incorreto ou improvável. No entanto, é fundamental entender que a realidade pode ser diferente.

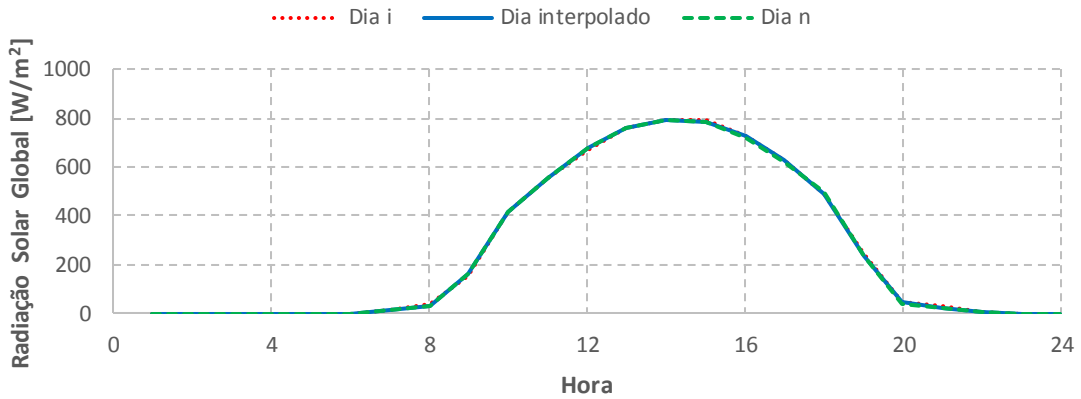


Figura 3.13 – Gráfico representativo da interpolação feita para o parâmetro da radiação solar global

Passando para a circunstância de se observarem falhas de mais do que dois dias seguidos, a metodologia adotada consistiu em recorrer a um número de dias, de pelo menos dez antes e depois da ocorrência dessas falhas, e calcular a média horária desses valores, adotando os mesmos como sendo os valores em falta (Figura 3.14 a Figura 3.16). Admitiu-se, portanto, que os dias em causa tinham um comportamento dentro da normalidade do mês ou meses em questão, correndo o risco de existirem acontecimentos fora da tendência observada.

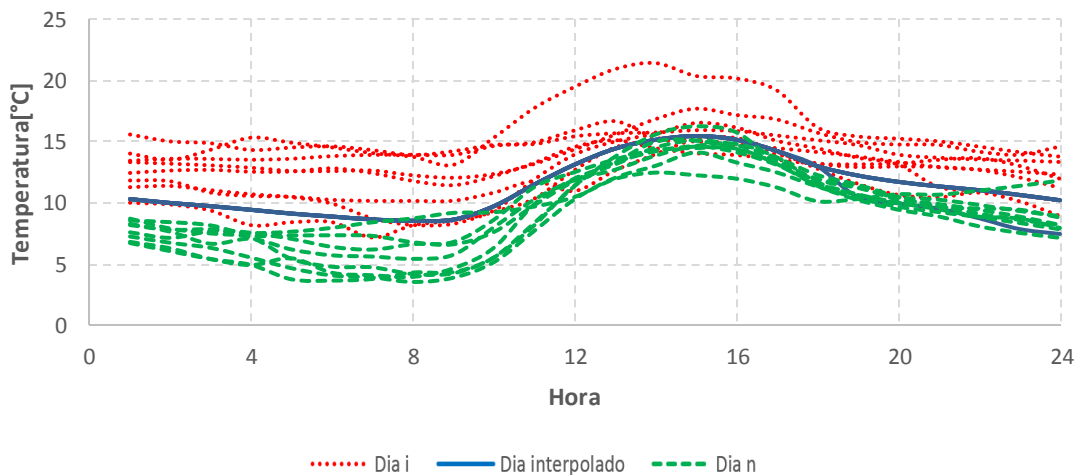


Figura 3.14 – Gráfico representativo da correção feita para o parâmetro temperatura

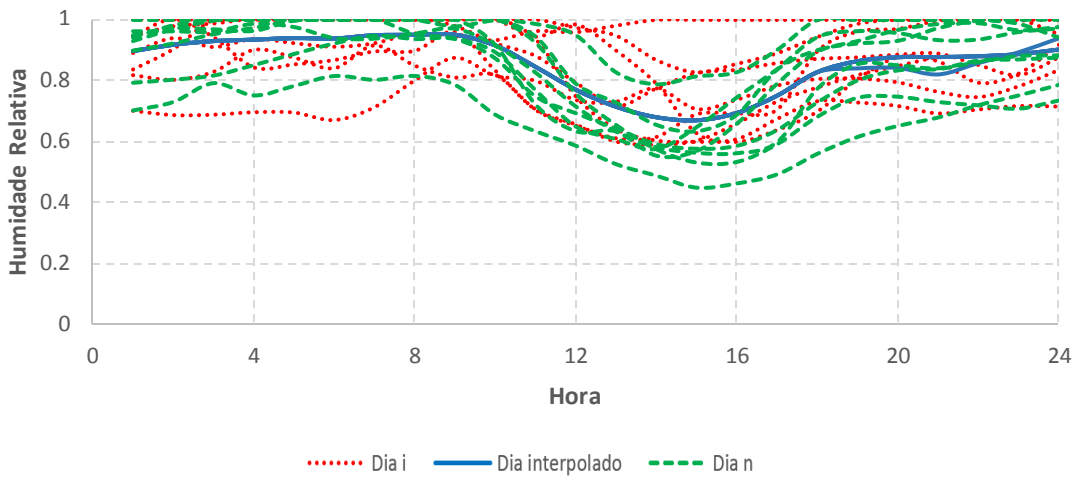


Figura 3.15 – Gráfico representativo da correção feita para o parâmetro humidade relativa

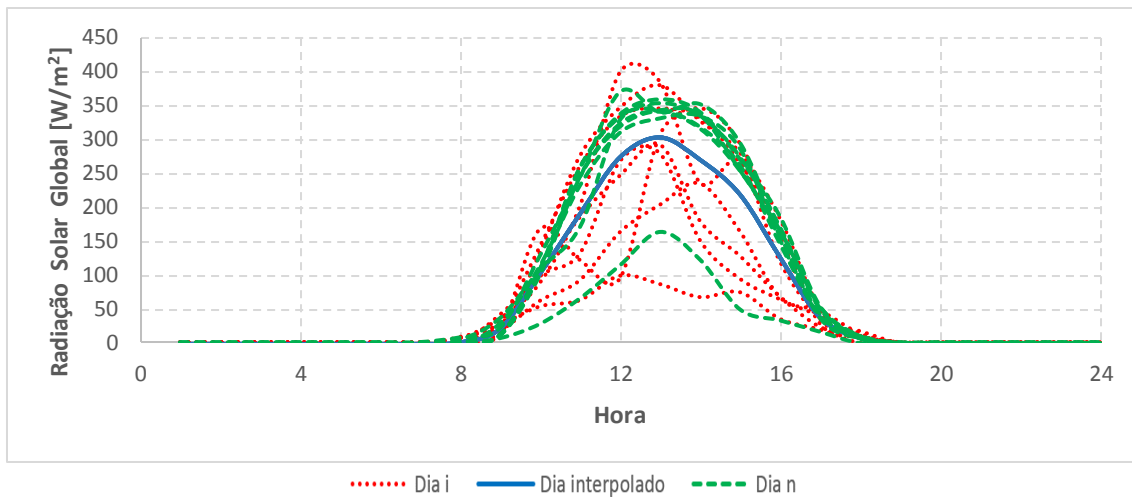


Figura 3.16 – Gráfico representativo da correção feita para o parâmetro radiação solar global

Atente-se que se escolheu não corrigir falhas nos períodos demasiado longos em relação à amostra total, neste caso, refira-se o caso do mês de março do ano 2010, que apresentava apenas três dias com dados, não se procedendo à colmatação de falhas neste período.

3.3. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia utilizada foi a da norma EN ISO 15927 [1] e tem como parâmetros climáticos principais a temperatura, a radiação solar e a humidade, sendo que a velocidade do vento entra como parâmetro secundário.

A construção do TRY segundo este procedimento implica que existam valores médios das variáveis climáticas e a distribuição de frequências individual. Após este requisito, é necessário calcular as médias diárias \bar{p} para cada parâmetro climático p , cada mês m e cada ano y da série de dados. Posteriormente, ordena-se todos os valores de \bar{p} de cada m e para todos os y por ordem crescente e calcula-se a função distributiva $\Phi(p, m, i)$ para cada parâmetro p e dia i .

$$\Phi(p, m, i) = \frac{K(i)}{N + 1} \quad (3.1)$$

onde,

$K(i)$ Ordem da posição por dia i ;

N Número total de dias em cada mês m .

Seguidamente, é necessário calcular a função distributiva cumulativa $F(p, y, m, i)$ para cada parâmetro e dia i , que corresponde a determinar a função cumulativa das médias diárias de cada mês para cada ano.

$$F(p, y, m, i) = \frac{J(i)}{n + 1} \quad (3.2)$$

onde,

$J(i)$ Ordem da posição por dia i ;

n Número de dias para um mês específico.

Com recurso às equações (3.1) e (3.2), é calculada a estatística de Finkelstein-Schafer para cada mês do calendário m e ano y do conjunto de dados:

$$Fs(p, y, m) = \sum_{i=1}^n |F(p, y, m, i) - \Phi(p, m, i)| \quad (3.3)$$

Para cada mês, ordenam-se, por valor crescente de $Fs(p, y, m)$, os anos da base de dados. O passo seguinte consiste em atribuir uma posição (de 1 a n , sendo n o número de anos em estudo), por parâmetro e mês, em que o ano que apresentar menor valor de FS será o melhor (posição 1) e assim sucessivamente.

Por fim, para cada mês e cada ano adicionam-se o número da posição em que se situam os anos para todos os parâmetros e para os três meses que obtiveram o menor valor dessa soma, determina-se o desvio entre a velocidade média do vento do mês m do ano y e a velocidade média do vento contabilizando todos os anos disponíveis. A seleção do melhor mês para construção do ano de referência traduz-se na escolha daquele que possui menor desvio no parâmetro da velocidade do vento.

De maneira a evitar descontinuidades, devem-se ajustar as últimas 8 horas de um mês e as primeiras horas do mês seguinte, por interpolação. Para que o ano de referência possa ser utilizado em simulações, também deverá ser efetuado um ajustamento entre as últimas 8 horas de dezembro e as primeiras 8 horas de janeiro.

De acordo com esta metodologia, obtiveram-se os TRYs, aplicando variações aos dados, isto é, procedeu-se ao cálculo do ano climático de referência usando a série de dados sem correção de falhas e a série de dados com correção de falhas. Apenas com intuito de ser utilizado na simulação e com a finalidade de se comparar com os TRYs obtidos, foi também calculado o ano médio que consistiu nas médias horárias dos seis anos para todos os parâmetros, ou seja, um acumulado da série de dados original.

4

CONSTRUÇÃO DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA

4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO

O método usado para obter o ano climático de referência, como já foi mencionado, é o da norma EN ISO 15927 [1]. Do capítulo 3 resultaram as médias diárias para cada mês, para cada ano de todos os parâmetros, apesar de neste processo só serem necessários os parâmetros temperatura, humidade relativa, radiação solar global e velocidade do vento. Depois de organizados todos os dados por mês, ano e parâmetro, o passo seguinte, de acordo com a norma, consiste no cálculo das frequências acumuladas, ou função cumulativa. Este passo foi conseguido utilizando a equação (3.1), tendo em conta todos os anos da amostra e a equação (3.2) aplicou-se para cada mês, em cada ano. Por outras palavras, em cada ano e para cada parâmetro, os valores do mês em questão foram ordenados do menor para o maior e, consoante o número de valores disponíveis em cada mês, as suas frequências acumuladas foram determinadas. Simultaneamente, e de forma análoga, as frequências acumuladas foram definidas por mês e por parâmetro, mas sem a separação por anos.

No fim deste processo, todas as condições estão reunidas para se poder aplicar a estatística de Finkelstein-Schafer, da qual resultam as diferenças entre as frequências acumuladas de cada mês, por parâmetro climático, com as frequências da série a longo prazo. Estas medidas são conseguidas utilizando a equação (3.3).

4.1.1. LIMITAÇÕES E FERRAMENTAS DISPONÍVEIS

Dado que, para um certo mês de um determinado ano, teriam de ser comparadas as frequências acumuladas desse mês com os valores da amostra total em cada ano, com recurso a procedimentos complexos e diferenciados de interpolações entre frequências acumuladas conhecidas que praticamente impossibilitam tal estratégia numa ferramenta tão limitada como o Excel.

De modo a ultrapassar as estas limitações, foi explorada a modelação das frequências acumuladas com recurso a um *spline*. Esta consiste em transformar os valores numéricos base em funções numéricas polinomiais, por troços entre os pontos, com suficiente grau de uniformização de tal forma que se conectam [34]. Efetivamente, o conjunto gerado de funções matemáticas não só modela os valores numéricos base como um todo, mas também assegura que os mesmos façam parte dessa modelação, tal como representa a Figura 4.1.

Da mesma forma que existem vários tipos de regressões não lineares, e.g. polinomial, exponencial ou logarítmica, também é possível recorrer a um conjunto vasto de modelações *spline*, como por exemplo linear, cúbica ou Akima [35]. As diferenças entre os métodos apenas é evidente numa análise mais aprofundada desta temática, onde é possível verificar, por exemplo, que um *spline* de tipologia linear

não é nada mais que unir todos os pontos do intervalo de dados base por troços retilíneos de funções lineares, ou que um interpolador Akima é bastante mais apropriado quando existem valores aberrantes no conjunto de dados, como demonstra a Figura 4.2, na qual é comparada um *spline* do tipo cúbico com os tipos linear e Akima.

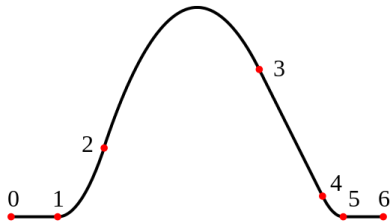


Figura 4.1 – Representação de um *spline* tipo (adaptada de [34])

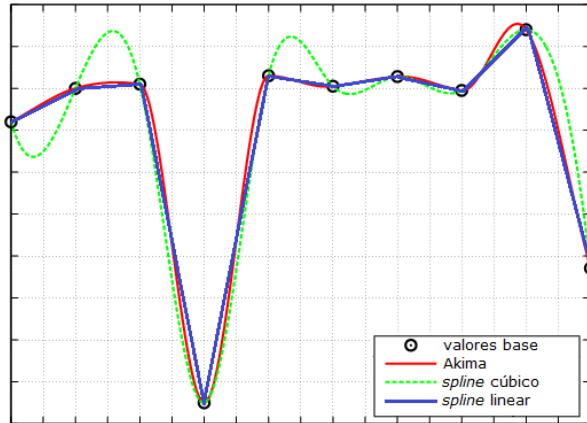


Figura 4.2 – Comparação entre modelações *spline* de diferentes tipos (adaptada de [36])

Recorrendo à Figura 4.1 é possível explicar a metodologia associada à obtenção de um *spline*. Este representa uma função $y(x)$, definida por ramos, ou seja, um conjunto de subfunções entre cada par de pontos, de tal modo que:

$$y(x) = \begin{cases} y_A(x) & , x \in [x_0, x_1] \\ y_B(x) & , x \in [x_1, x_2] \\ y_C(x) & , x \in [x_2, x_3] \\ y_D(x) & , x \in [x_3, x_4] \\ y_E(x) & , x \in [x_4, x_5] \\ y_F(x) & , x \in [x_5, x_6] \end{cases} \quad (4.1)$$

A função *spline* $y(x)$ é representativa do conjunto de dados base de partida, sendo possível calcular o valor da função para qualquer valor de x entre os limites definidos, x_0 a x_6 . Ao contrário de uma regressão, em que a função definida pode ser avaliada numa infinidade de abcissas, um *spline* apenas é definido entre os valores extremos que lhe deram origem. Particularmente a esta metodologia, para a sua concretização é imprescindível definir os dados em dois vetores de coordenadas, X e Y , em que X é obrigatoriamente um conjunto crescente de valores.

4.1.2. SCRIPT CRIADO

A organização de informação adotada para o presente trabalho, de forma a ser coerentemente analisada num procedimento automático de tratamento, consiste na divisão por ficheiros e respetivas folhas de Excel, em que, na presente ferramenta de análise de distribuição dos parâmetros climáticos, cada parâmetro climático tem um ficheiro próprio, cujas folhas representam os meses do ano, em que cada uma contém todos os anos com dados para esse mês, incluindo um ano TOTAL representativo do conjunto dos dados dessa variável ao longo do intervalo de anos a analisar.

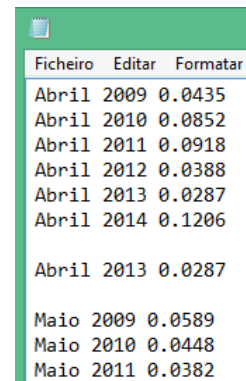
Tendo em mente a organização dos dados adotada, o *script* criado e parcialmente representado na Figura 4.3 atua, para cada parâmetro climático, em duas vertentes paralelas. Numa, gera um conjunto de gráficos que representam as distribuições das frequências acumuladas mensais para cada ano analisado. Efetivamente, para um dado mês de um dado parâmetro climático, i.e. para uma folha de um dos

ficheiros Excel, é criado um gráfico de linhas com as curvas de frequências acumuladas dos anos em estudo, i.e. a partir dos dados dessa folha. Sendo um procedimento repetido para várias folhas e ficheiros, o bloco de código de programação previamente conceptualizado recorre a condições de igualdade (*if*, *elif* e *else*) e é introduzido em ciclos (*for* e *while*). Paralelamente, ou seja, para um dado mês de um dado parâmetro climático, é avaliado num conjunto de frequências acumuladas, para o presente estudo definida como 100 pontos entre 0.0 e 1.0, o somatório das diferenças, normalizadas ao número de pontos adotado, entre a função *spline* referente ao ano em análise e o ano TOTAL. Este valor, que na realidade se trata da medida *FS*, é registado num ficheiro no qual é também gravado o ano que, para esse parâmetro e mês, apresenta a melhor correspondência em relação ao ano TOTAL, como retrata a Figura 4.4.

```
from __future__ import division
import pandas
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import os
from scipy.interpolate import Akima1DInterpolator

def by_month(ficheiro, anos, folha, plot_title, plot_x_label, \
            plot_y_label, save2file):
    # criar informacao para um dado mes para todos os anos
    excel = pandas.io.excel.read_excel(ficheiro, sheetname = folha, \
    header = None)
    dict_mes = {}
    ano_index = 0
    while ano_index <= anos * 5 - 5:
        info = []
        ano = excel[ano_index][1]
        variavel_ano = np.array(excel[ano_index + 2])
        freq_acum = np.array(excel[ano_index + 3])
        for i in np.arange(1, len(excel[0]), 1):
            if np.isnan(variavel_ano[i]) == False:
                info.append((variavel_ano[i], freq_acum[i]))
        dict_mes[ano] = info
        ano_index = ano_index + 5
```

Figura 4.3 – Excerto do *script* criado



Ficheiro	Editar	Formatar
Abril 2009	0.0435	
Abril 2010	0.0852	
Abril 2011	0.0918	
Abril 2012	0.0388	
Abril 2013	0.0287	
Abril 2014	0.1206	
Abril 2013	0.0287	
Maio 2009	0.0589	
Maio 2010	0.0448	
Maio 2011	0.0382	

Figura 4.4 – Excerto do ficheiro de texto com os valores de *FS* gerado pelo *script* criado

Foram produzidos gráficos para cada mês e cada parâmetro climático, com curvas anuais, em que o eixo das abcissas representa o parâmetro meteorológico em questão e o eixo das ordenadas, as frequências acumuladas. Como foi referido anteriormente, uma vez que o objetivo é escolher os meses que obtiverem menor valor de *FS*, significa que quanto mais próxima a curva de um determinado mês se encontrar da curva relativa ao total de anos, melhor será a compatibilidade dos resultados entre as curvas. De realçar, no entanto, que o ano com menor valor de *FS* para um dado mês duma dada variável, pode não ser o mesmo para outro mês ou outro parâmetro climático.

4.1.3. Resultados obtidos

4.1.3.1. Distribuição de frequências acumuladas

Para uma dada variável, a distribuição das frequências acumuladas, para um dado mês, nos diferentes anos em estudo, concretizada através de curvas anuais, pode igualmente ser traduzida numa mancha de valores. Esta representa, para cada valor da frequência acumulada, os extremos mínimo e máximo do

parâmetro climático em estudo, e é útil numa análise mais abrangente da variação da totalidade dos registos meteorológicos, como exemplifica a Figura 4.5.

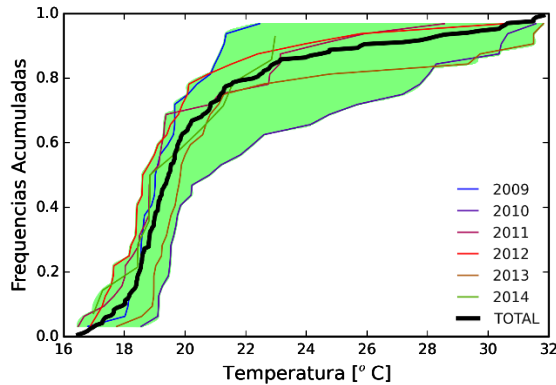
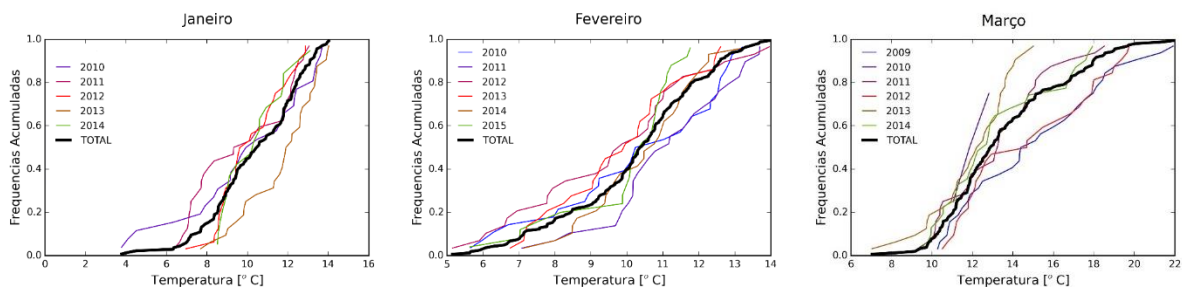


Figura 4.5 – Exemplo da distribuição anual de frequências acumuladas do parâmetro temperatura para um mês

No Anexo I encontram-se os algoritmos desenvolvidos com recurso à ferramenta *Python* e que foram utilizados nesta análise.

As curvas de distribuição de frequências acumuladas para o parâmetro da temperatura, tanto para os dados sem colmatção de falhas como para os registos com correção das mesmas, estão representadas nas Figuras 4.7 a 4.10.



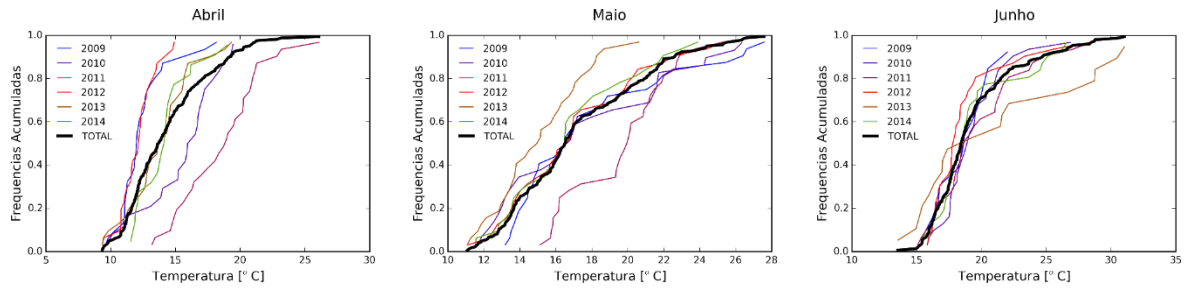


Figura 4.6 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (com falhas) (1º Semestre)

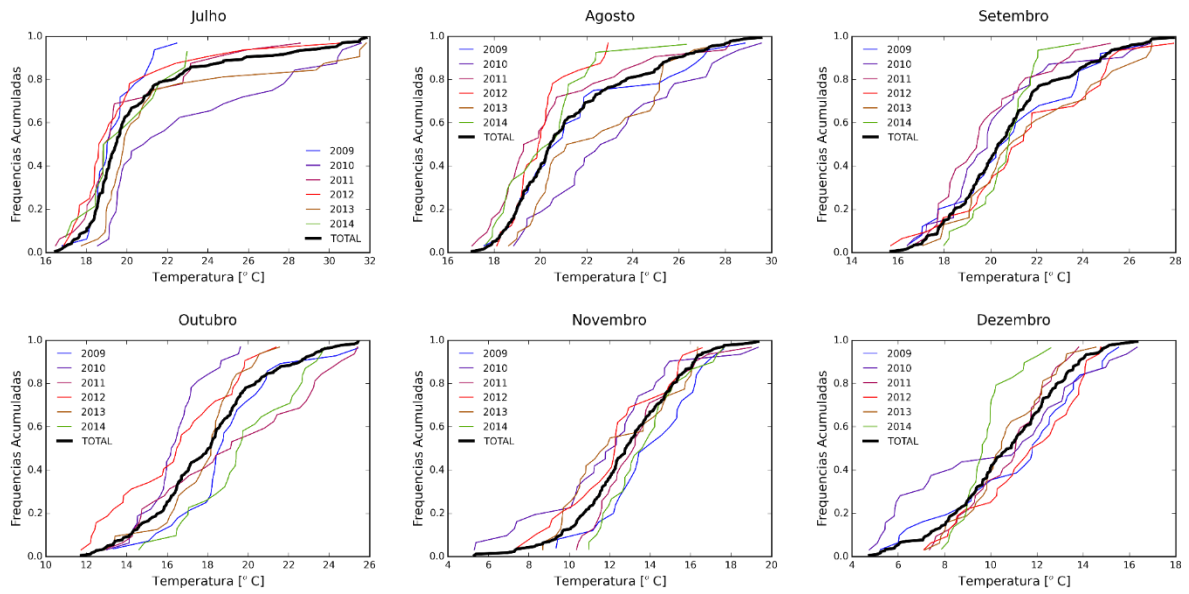
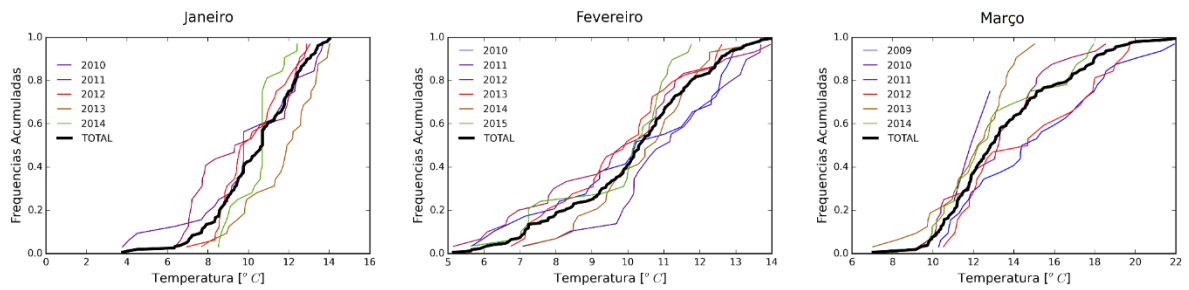


Figura 4.7 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (com falhas) (2º Semestre)



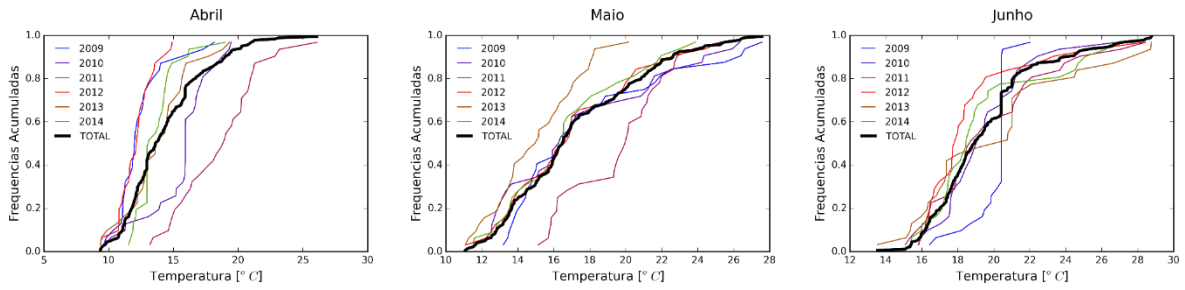


Figura 4.8 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (sem falhas) (1º Semestre)

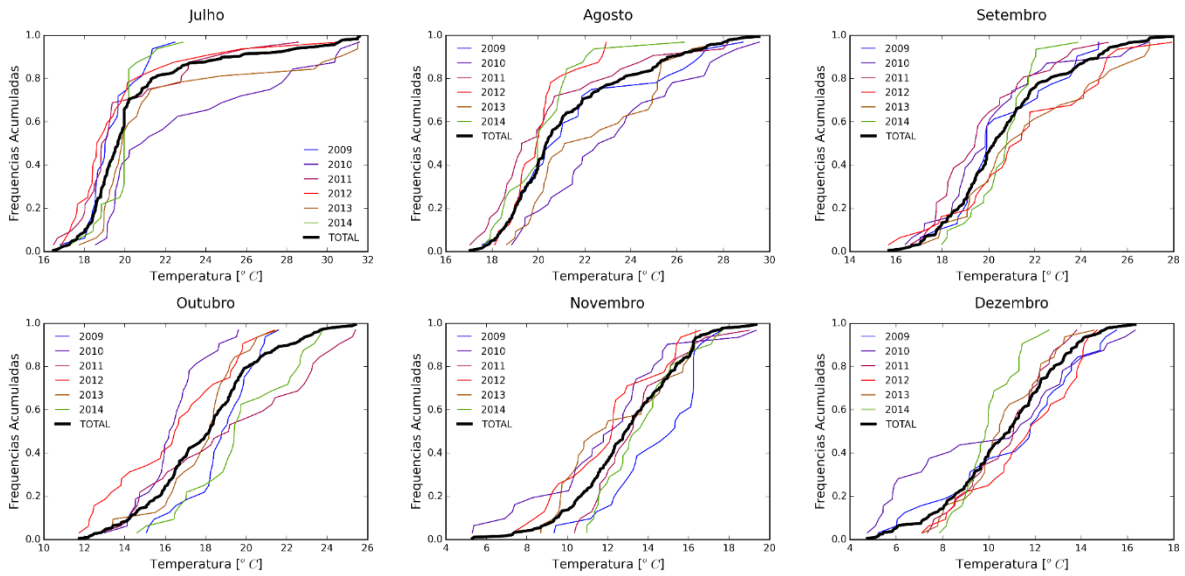
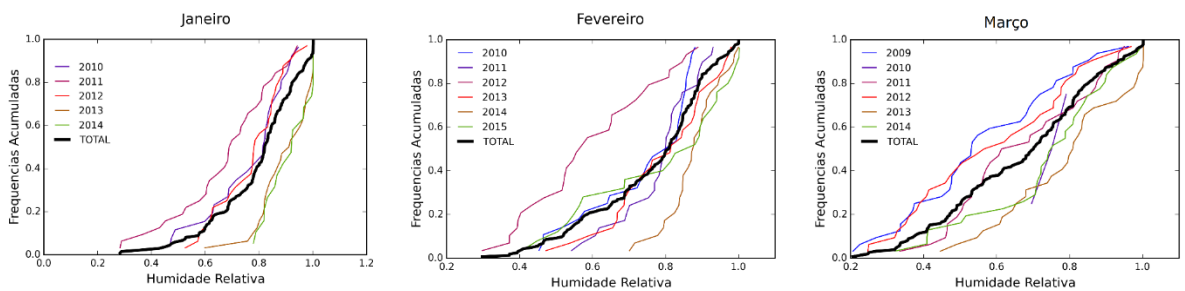


Figura 4.9 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à temperatura (sem falhas) (2º Semestre)

As figuras seguintes (Figura 4.10 a Figura 4.13) representam as curvas de distribuição de frequências acumuladas para a humidade relativa, com e sem falhas.



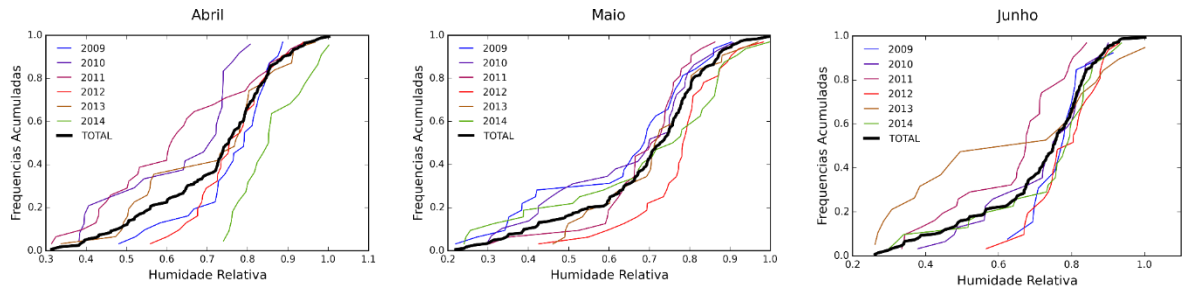


Figura 4.10 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (com falhas) (1º Semestre)

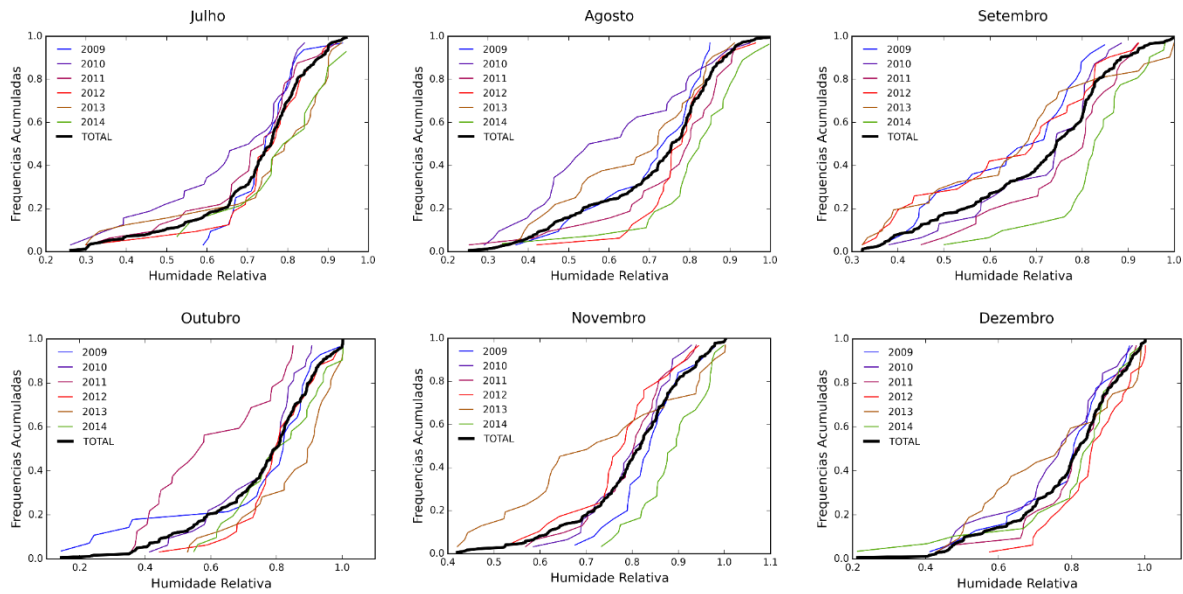


Figura 4.11 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (com falhas) (2º Semestre)

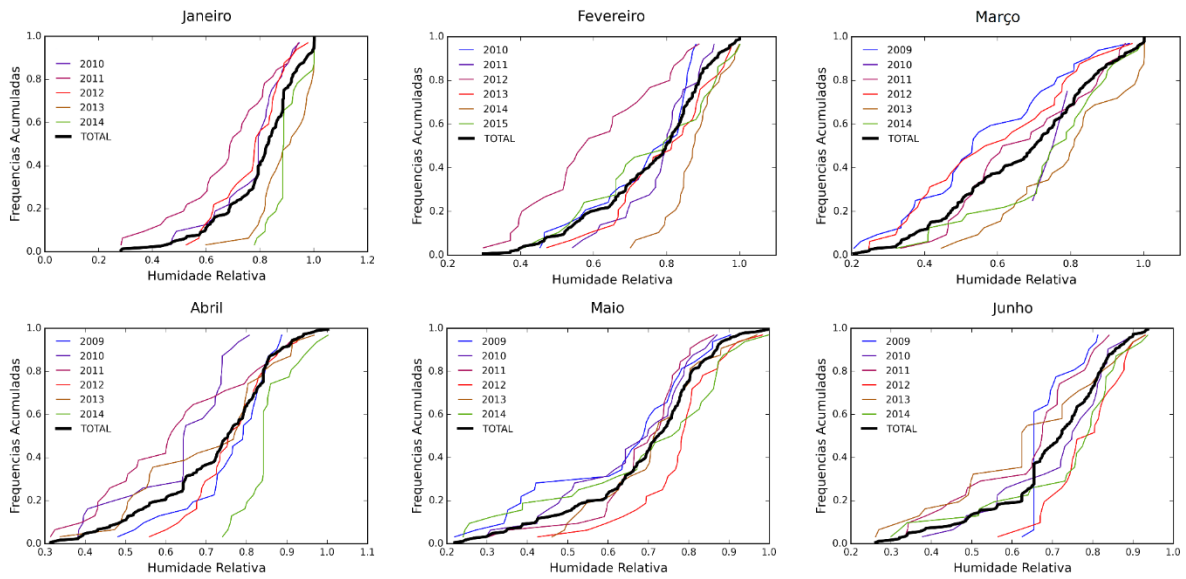


Figura 4.12 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (sem falhas) (1º Semestre)

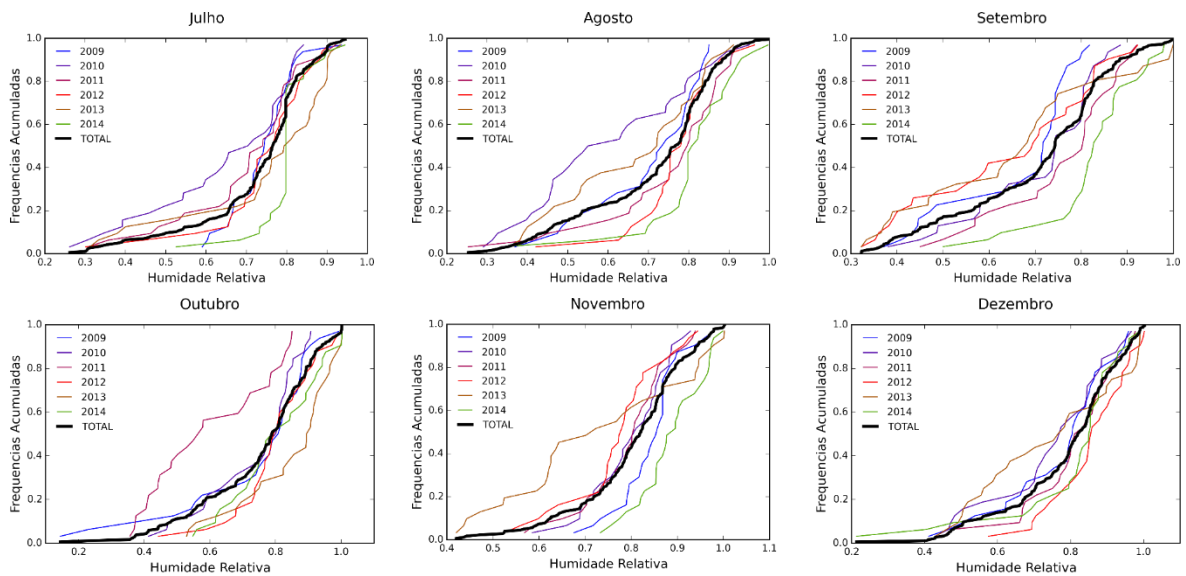


Figura 4.13 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à humidade relativa (sem falhas) (2º Semestre)

Recorrendo às Figura 4.12 a Figura 4.13, consegue-se perceber que junho de 2013 tem uma curva de distribuição de frequências bastante diferente no que toca ao caso com falhas e sem falhas, o que seria de esperar visto que este preciso ano sofreu um número significativo de correções de falhas. Já no mês de outubro, o ano 2009 também foi alvo de colmatação de registos, numa escala menor que o mês de junho, por isso as diferenças são menos visíveis. No entanto, o intervalo entre o qual estão inseridos os valores referentes a este parâmetro é o mesmo para as duas vertentes em análise.

Por fim, apresentam-se as curvas de distribuição de frequências acumuladas para o parâmetro radiação solar global (Figura 4.14 a Figura 4.17).

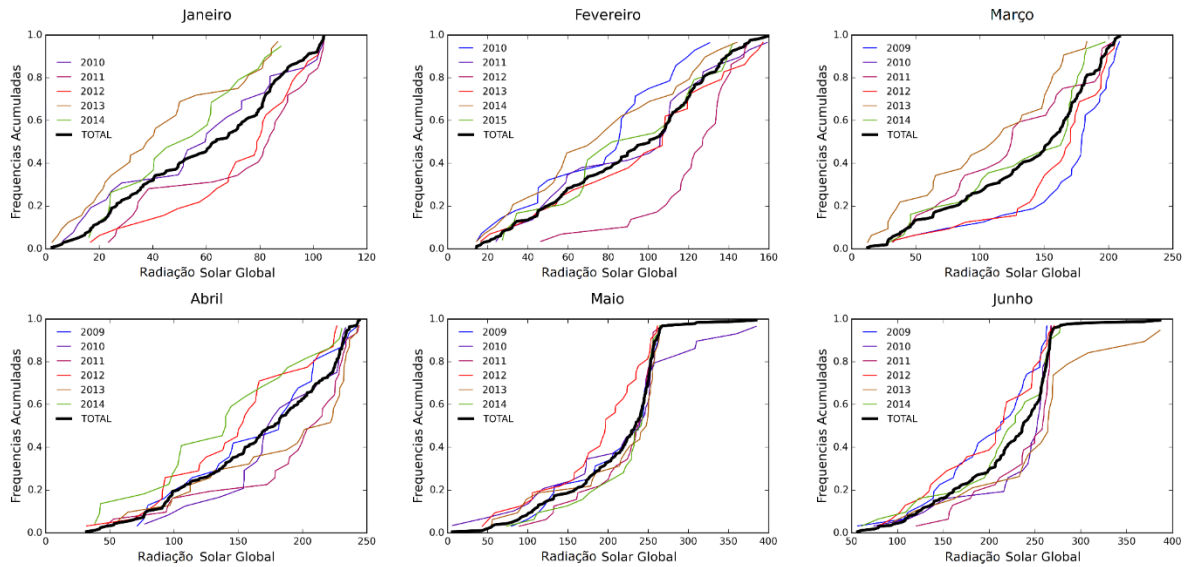


Figura 4.14 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (com falhas) (1º Semestre)

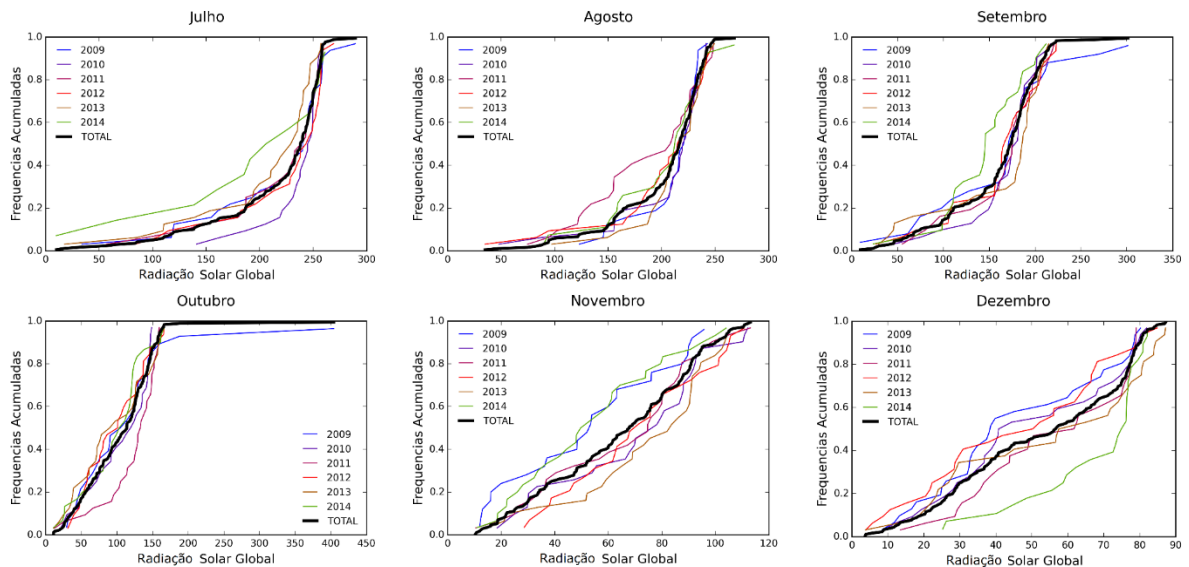


Figura 4.15 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (com falhas) (2º Semestre)

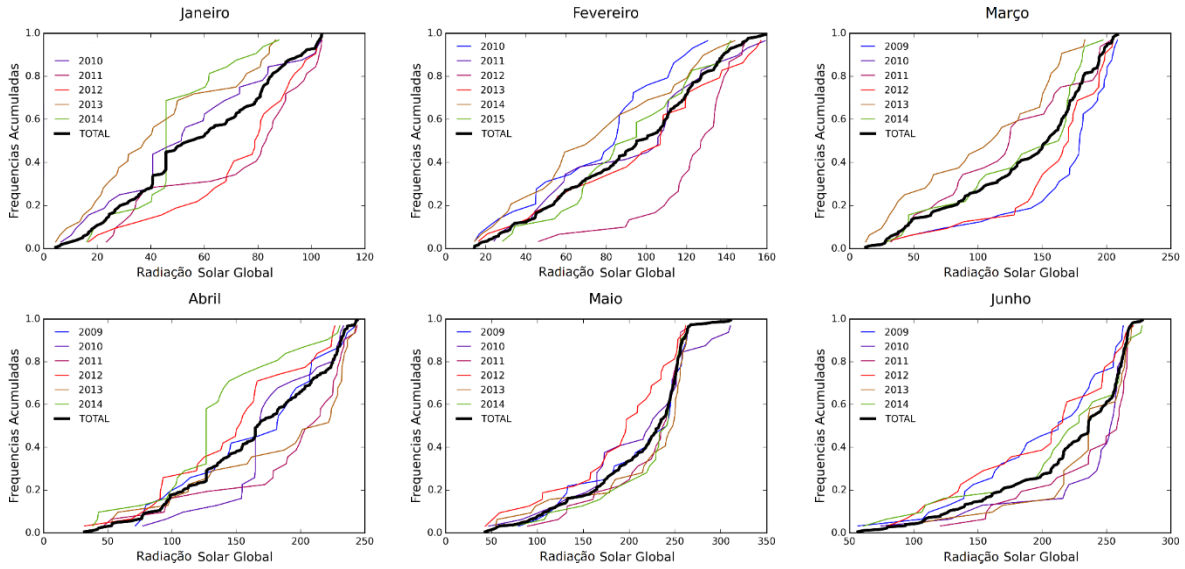


Figura 4.16 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (sem falhas) (1º Semestre)

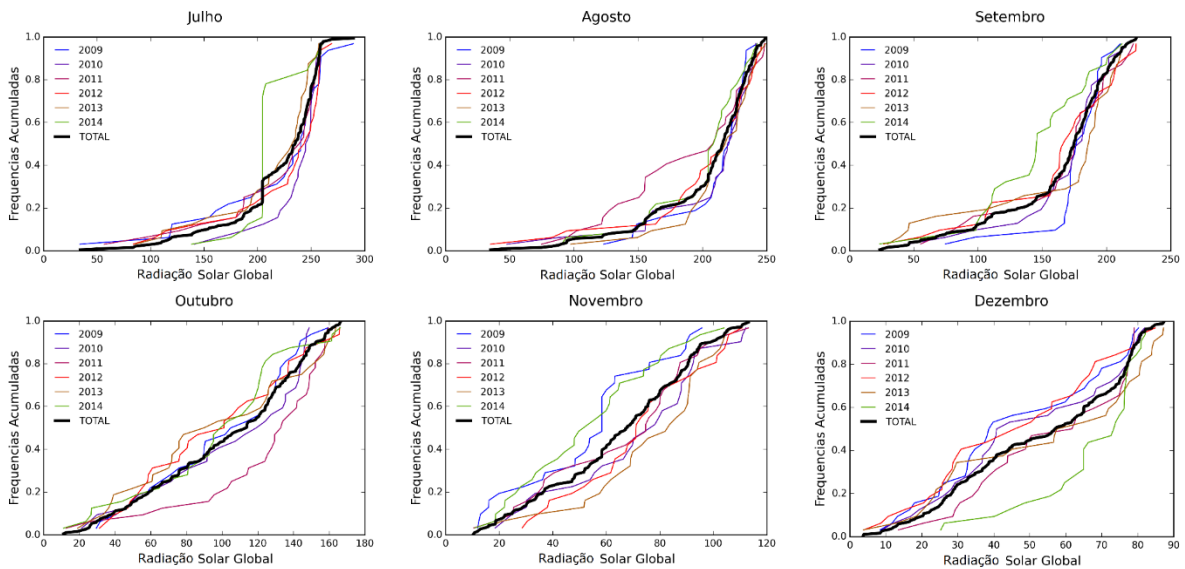


Figura 4.17 – Curvas de distribuição das frequências acumuladas relativamente à radiação solar global (sem falhas) (2º Semestre)

4.1.3.2. Parâmetro *FS*

Avaliando agora a medida *FS*, que será ilustrada através de representações gráficas, em que para cada mês estarão assinalados os valores de *FS*, identificando o respetivo ano, é possível verificar quais os menores valores dessa medida estatística por simples observação dos gráficos. No entanto, no Anexo II, encontram-se as tabelas com os valores da medida *FS*, organizados por ordem crescente e para todos os parâmetros climáticos.

Na Figura 4.18 estão assinalados todos os valores de *FS* para o parâmetro climático temperatura, nas vertentes com e sem falhas. A Figura 4.19 representa os valores da medida *FS* mensal, para o parâmetro humidade relativa com e sem falhas. Finalmente, na Figura 4.20, apresentam-se os valores da medida *FS* para o parâmetro climático radiação solar global.

No parâmetro temperatura é possível constatar que as diferenças existentes, no geral, não são relevantes, sendo mais notórias nos meses de junho, julho e novembro. Tal pode ser justificado pelo facto de esses meses terem sofrido mais correções de falhas relativamente aos outros. Nos restantes meses em que colmatou dados em falta, as diferenças não são tão visíveis. Além disso, o intervalo de variação dos valores de *FS* é muito semelhante entre os meses, existindo apenas um valor, que corresponde a abril de 2011, que sai desse intervalo que é explicado por esse ano em particular se afastar da série total de anos pelos valores registados, não havendo relação com a colmatção de falhas. De realçar que os valores mais elevados de *FS* se encontram predominantemente nos meses da primavera e do verão.

Tal como no parâmetro da temperatura, as diferenças não são notórias no parâmetro climático humidade relativa, sendo de realçar os meses de junho, julho e setembro, a que se atribui a mesma justificação do parâmetro anterior. No caso desta variável, o intervalo entre o qual variam os valores é idêntico em todos os meses, sendo que os valores mais baixos pertencem aos meses de maio, junho e julho.

Por fim, o parâmetro climático radiação solar global, tal como as duas anteriores, apresenta diferenças mínimas entre os valores de *FS*, sendo as maiores nos meses maio e julho. A amplitude do intervalo dos valores é praticamente constante entre os meses, e verifica-se a existência de um valor que sobressai desse conjunto, correspondente a março de 2010, que corresponde ao mês em que não foram colmatados os dados em falta. Acrescenta-se ainda que os valores mais elevados de *FS* dizem respeito aos meses da primavera.

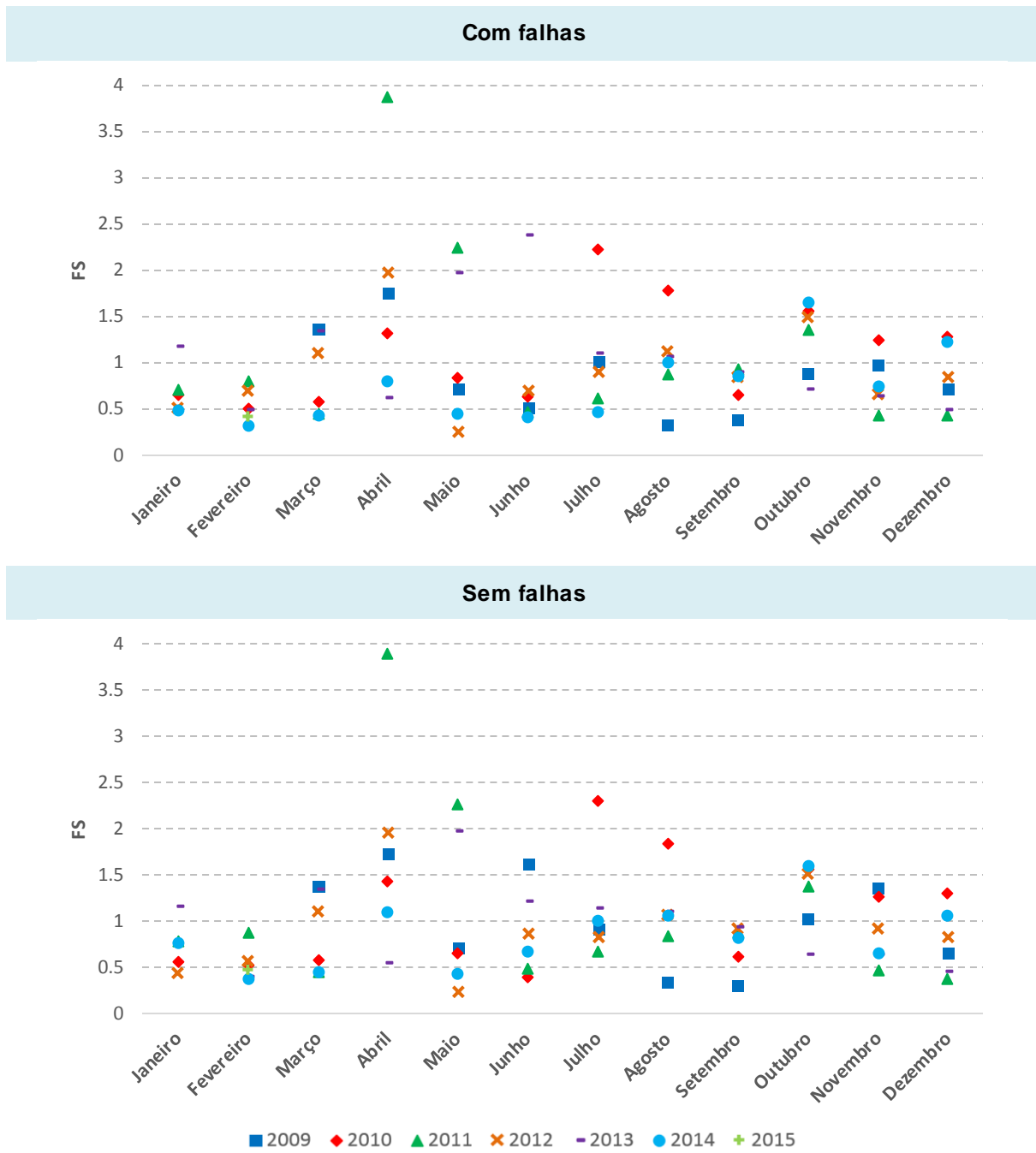


Figura 4.18 – Medida FS relativa à temperatura

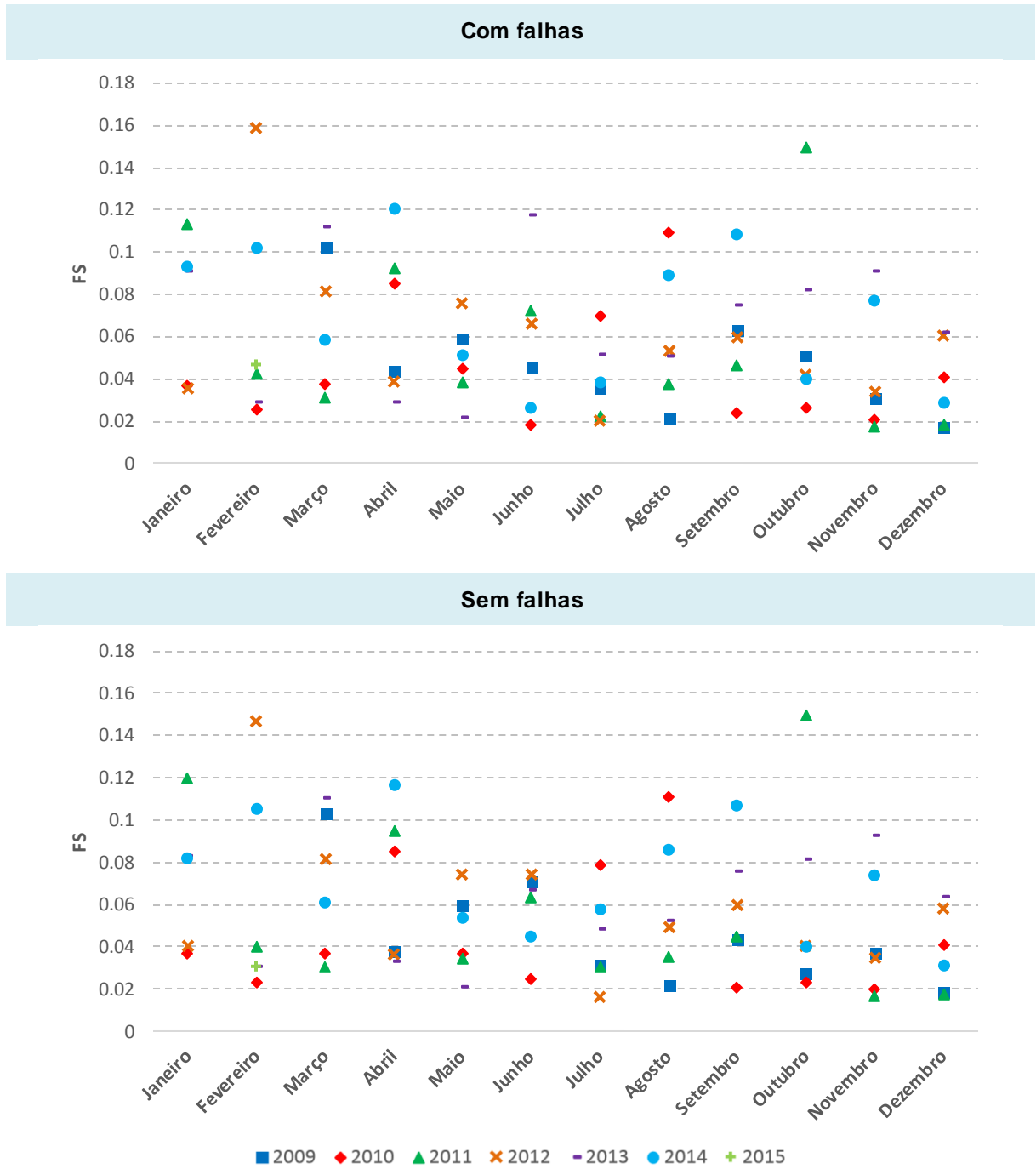


Figura 4.19 – Medida FS relativa à humidade relativa

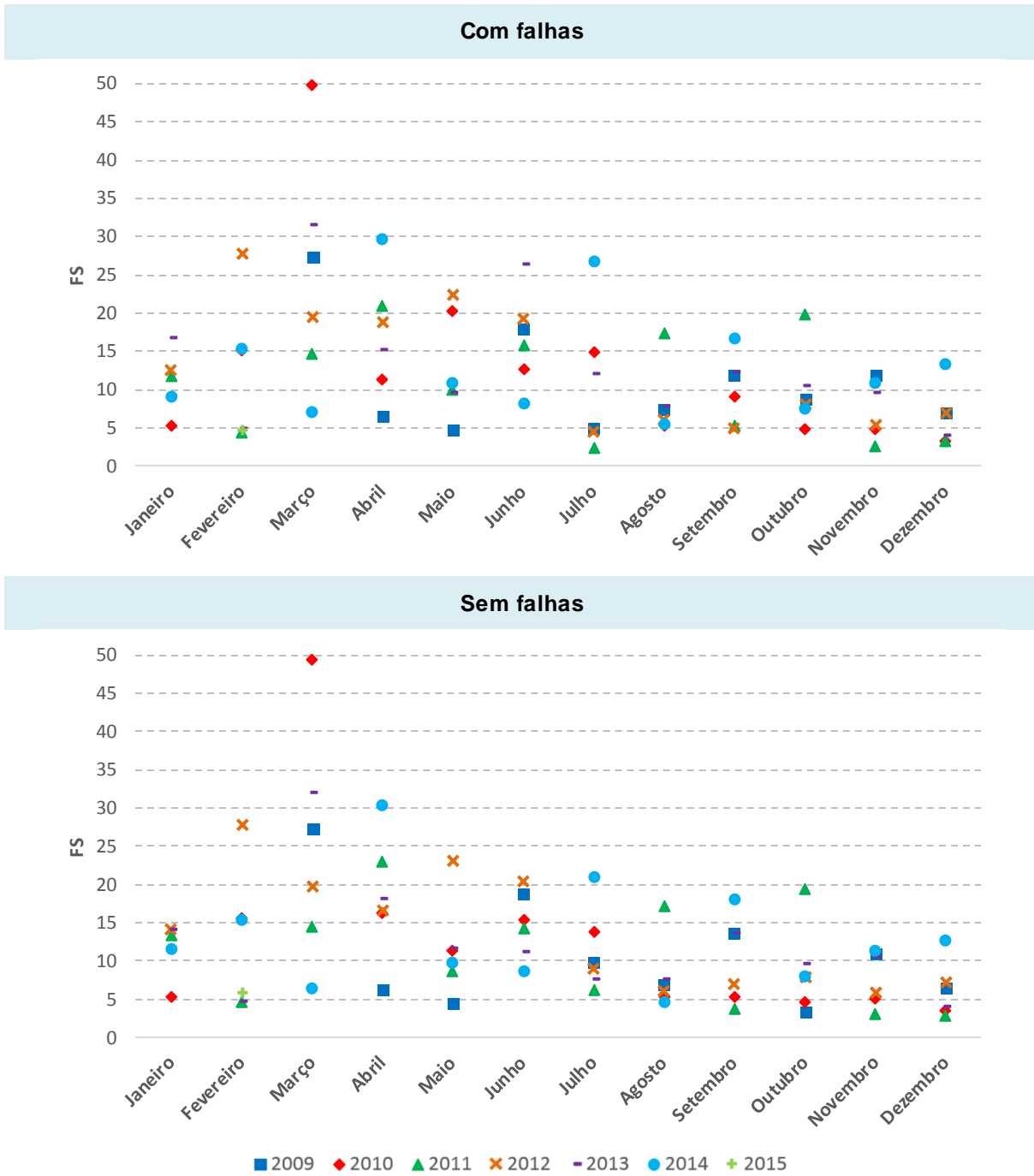


Figura 4.20 – Medida FS relativa à radiação solar global

4.2. SELEÇÃO DOS ANOS CLIMÁTICOS

Após a obtenção do valor de FS , por parâmetro climático e por mês, de cada ano, estão reunidas as condições para a construção do TRY, ou seja determinar os doze meses que constituem o TRY. Como referido no § 3.3, em cada mês, os três anos que obtiverem melhor posição serão avaliados com recurso ao parâmetro velocidade do vento, em que é comparada a média mensal do ano em análise com a média mensal dos anos da amostra, doravante denominado de desvio. No entanto, é de apontar que a

determinação dos três anos na melhor posição nem sempre é conseguida, uma vez que pode haver empate entre a soma das posições.

4.2.1. TRY COM FALHAS

Para o presente TRY, adotou-se como critério de desempate dos melhores anos a exclusão daquele com mais falhas de dados, como é o caso de março de 2010 e junho de 2009. No entanto, a aplicação deste critério não impede que, para alguns meses, tenham que ser avaliados os desvios para mais de três anos de estudo, como é exemplo o mês de outubro, dado que neste mês em específico não existiam dados em falta em grande escala.

Na Figura 4.21 são apresentados, para cada mês, os desvios em valor absoluto, dos anos com melhor posição no processo de seleção descrito anteriormente, sendo também identificado o ano com o menor desvio do conjunto analisado.

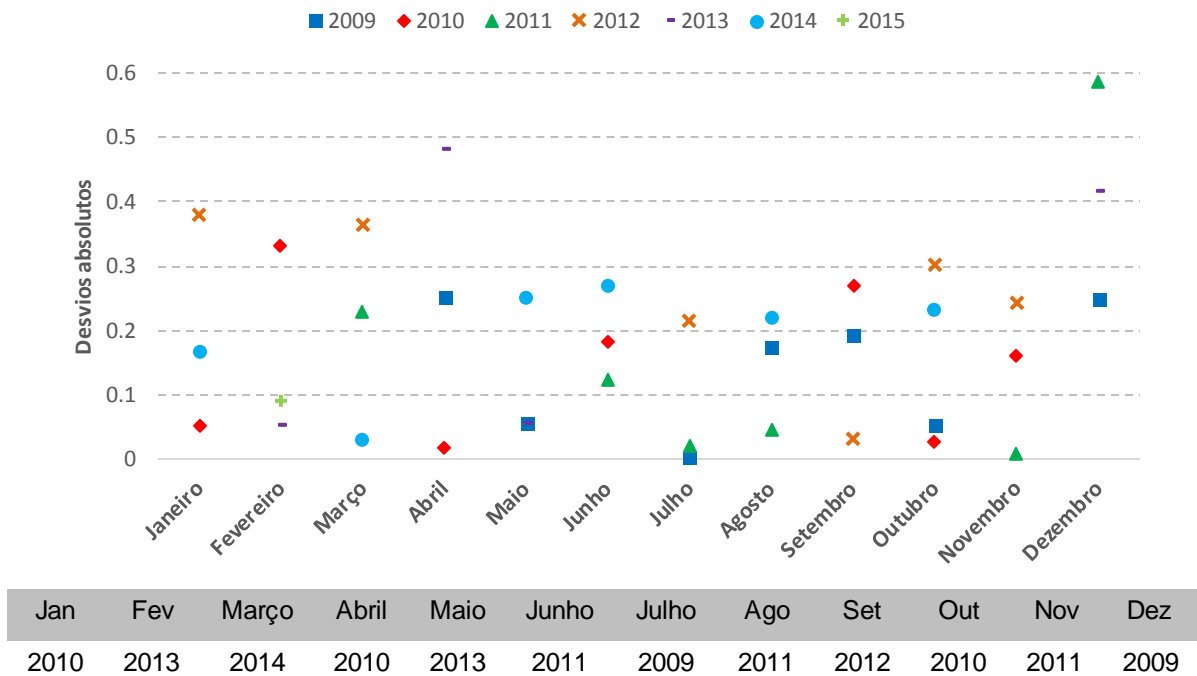
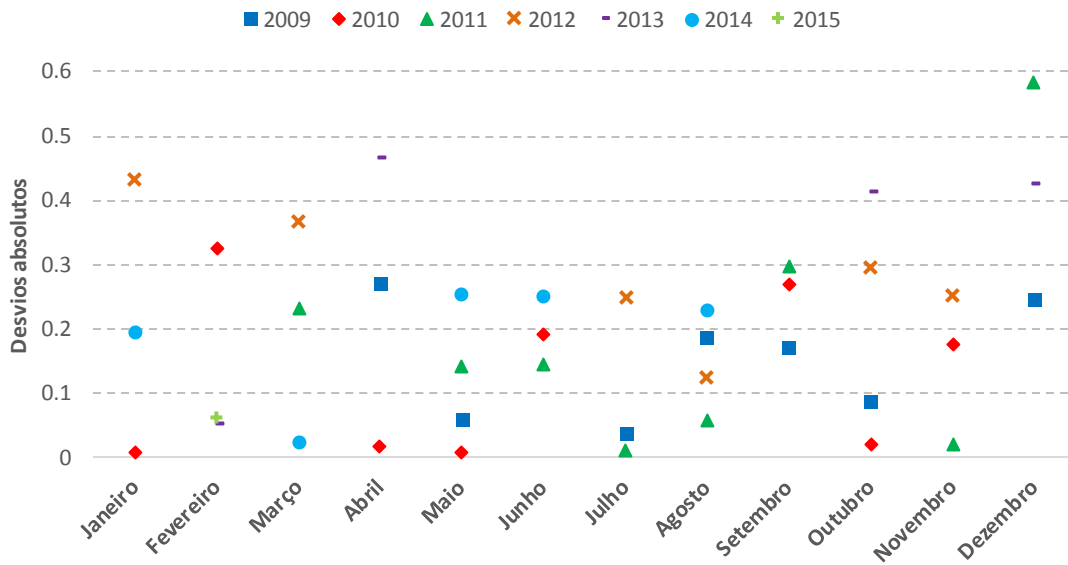


Figura 4.21 – Desvios anuais mensais (com falhas) e anos selecionados para cada mês

4.2.2. TRY SEM FALHAS

Para construção do TRY sem falhas, a metodologia seguida é análoga à exposta anteriormente. No entanto, neste caso, o critério de desempate indicado no § 4.2.1. TRY com falhas não pode ser aplicado, dado que como as falhas foram colmatadas, não fazia sentido excluir nenhum ano com base nesse critério. Deste modo, aceitaram-se como admissíveis mais anos além dos três previstos pela norma. O único caso em que se eliminou um ano foi, mais uma vez, março de 2010, pois, como referido no capítulo 3, não foram colmatadas as falhas desse mês.

A Figura 4.22 representa os desvios absolutos e os anos selecionados para cada mês.



Jan	Fev	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	2013	2014	2010	2010	2011	2011	2011	2009	2010	2011	2009

Figura 4.22 – Desvios anuais mensais (sem falhas) e anos selecionados para cada mês

4.2.3. ANO MÉDIO

Finalmente, o último ano climático que será abordado neste estudo é o ano médio. Como mencionado no capítulo 3, este ano climático resultou do cálculo das médias horárias dos seis anos disponíveis, de modo que no final do processo se obteve as 8760 horas que perfazem um ano completo. Não foram utilizadas as médias diárias neste processo, uma vez que o *software* WUFI, que será objeto de estudo no capítulo 5 e que foi aplicado para obtenção das simulações higrótérmicas, só aceita dados horários. Assim, o ano médio obtido não foi alvo de qualquer tipo de tratamento de dados suplementar, contrariamente ao que aconteceu com os dois anos climáticos anteriores. Para a sua construção e por motivos de agilização do processo, foi utilizado o mesmo código em Visual Basic descrito no capítulo 3.

No Anexo III mostra-se a variação horária dos diferentes parâmetros climáticos para os três anos climáticos.

4.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após o cálculo e obtenção dos três anos climáticos, toda a informação foi organizada de modo a ser introduzida no programa de simulação higrótérmica, WUFI, que, como referido, irá ser abordado no capítulo 5. É importante ressaltar que os TRYs são bastante semelhantes, diferindo apenas em três dos meses: maio, julho e setembro. É também interessante referir que em dois desses meses, não existia informação em alguns dias, pelo que foram colmatados e tal deu origem a que se aproximassem mais do ano TOTAL. Note-se, no entanto, que as correções nem sempre foram suficientes para que um determinado ano fosse escolhido em detrimento de outro. De qualquer forma, para a simulação no WUFI foram excluídas todas as falhas nos registos, tanto do TRY com falhas, como do TRY sem falhas e também do ano médio, para que o número de horas em todos fosse o mesmo.

Na norma, o último passo na construção de um TRY consistia na realização de uma interpolação entre as primeiras e as últimas oito horas de cada mês, incluindo de dezembro para janeiro, de forma a suavizar as discontinuidades que poderiam existir ao passar de um mês para o outro de anos diferentes. Este passo foi executado para as variáveis temperatura, humidade relativa e radiação atmosférica, quando tal se justificava, i.e., quando havia discrepâncias notáveis entre os valores de um mês para o seguinte. Este procedimento não foi feito para as restantes variáveis meteorológicas visto se tratarem de parâmetros com maior aleatoriedade, como é o caso da velocidade e da direção do vento e chuva, ou porque nessas horas o seu valor era nulo, como no caso da radiação solar global e difusa, ou porque simplesmente a variação não era relevante, como no caso da pressão do ar.

5

SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

5.1. PROGRAMA DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA WUFI

5.1.1. DADOS DE ENTRADA

Foi utilizado o *software* WUFI, na versão PRO 5.2, para a análise higrotérmica de um elemento construtivo aplicando diferentes climas exteriores, mais concretamente, os anos climáticos determinados no capítulo 4. Segundo Barreira [37], esta ferramenta permite o cálculo, em regime variável, da transferência de calor e humidade num elemento construtivo que pode ser constituído por várias camadas, com diferentes propriedades.

Para a simulação higrotérmica, é necessário introduzir os dados de entrada, que passam pela definição do elemento construtivo, dos coeficientes de transferência à superfície, das configurações numéricas de cálculo e das condições fronteira interiores e exteriores.

O elemento construtivo do caso em estudo é uma parede simples em tijolo rebocada, com isolamento térmico aplicado pelo interior associado a placas de gesso cartonado, cujas configuração e especificações serão apresentadas de seguida, respetivamente na Figura 5.1 e na Tabela 5.1.

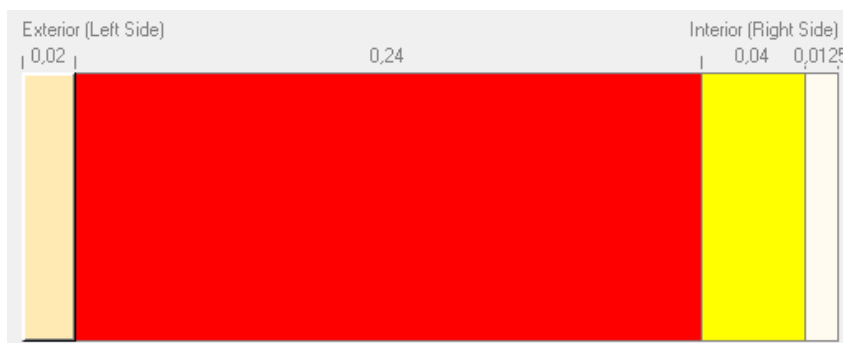


Figura 5.1 – Configuração do elemento construtivo

Tabela 5.1 – Propriedades do elemento construtivo

Camada	Espessura [m]	Massa volúmica [kg/m ³]	Porosidade [m ³ /m ³]	Calor específico do material seco [J/kgK]	Condutibilidade térmica do material seco [W/mK]	Fator de resistência à difusão de vapor de água
Reboco exterior	0.02	1900.0	0.24	850.0	0.8	25.0
Tijolo maciço	0.24	1900.0	0.24	850.0	0.6	10.0
Lã mineral	0.04	60.0	0.95	850.0	0.04	1.3
Placa de gesso cartonado	0.0125	850.0	0.65	850.0	0.2	8.3

Considerou-se o elemento construtivo orientado a Sul e adotaram-se os coeficientes de transferência à superfície, exteriores e interiores, indicados na Tabela 5.2. Como condições iniciais considerou-se uma humidade relativa de 80% e uma temperatura de 20 °C.

Tabela 5.2 – Coeficientes de transferência à superfície

Exterior	
Resistência Térmica [m ² K/W]	Dependente do vento
Coefficiente de absorção de onda curta	0.4
Emissividade da superfície	0.9
Coefficiente de refletividade do solo de onda curta	0.2
Fator de absorção da água da chuva	0.7
Interior	
Resistência Térmica [m ² K/W]	0.125

O clima interior foi admitido como constante, com uma temperatura de 20 °C e humidade relativa de 60%. O clima exterior variou nas três simulações higrótérmicas realizadas, sendo que na primeira se utilizou o TRY com falhas, na segunda o TRY sem falhas e na última o ano médio. Tendo em conta que todos os dados em falta foram eliminados independentemente do ano climático, para que no final o número de horas fosse o mesmo para os três casos em estudo, a simulação foi realizada para 15994 horas, o que corresponde a dois períodos com 7997 horas (número de horas de cada ano climático).

5.1.2. RESULTADOS

Após a realização das simulações higratérmicas, foram exportados os dados relativos à temperatura superficial exterior, à humidade relativa superficial exterior, aos teores de humidade das quatro camadas do elemento construtivo em análise e ao teor de humidade total. Para a discussão e análise dos resultados, apenas será utilizado o último ano de cada simulação, ou seja, as últimas 7997 horas, de forma a eliminar os efeitos das condições iniciais das simulações. Estes resultados foram alvo de uma análise estatística com recurso ao *software* IBM SPSS Statistics 21 [3].

A Figura 5.2 e a Figura 5.3 representam a humidade relativa e a temperatura superficial exterior, respetivamente. A observação destas figuras revela que o comportamento das três curvas é similar, o que seria de esperar, visto que os TRY apenas diferem em três meses e o ano médio resulta da compilação de todos os dados. É também possível observar três períodos de tempo em que os TRYs diferem por completo, que correspondem aos meses que são diferentes. Por outro lado, os resultados da simulação com o ano médio apresentam variações de temperatura e da humidade relativa mais pequenas ao longo do ano, tendo-se atenuado os extremos.

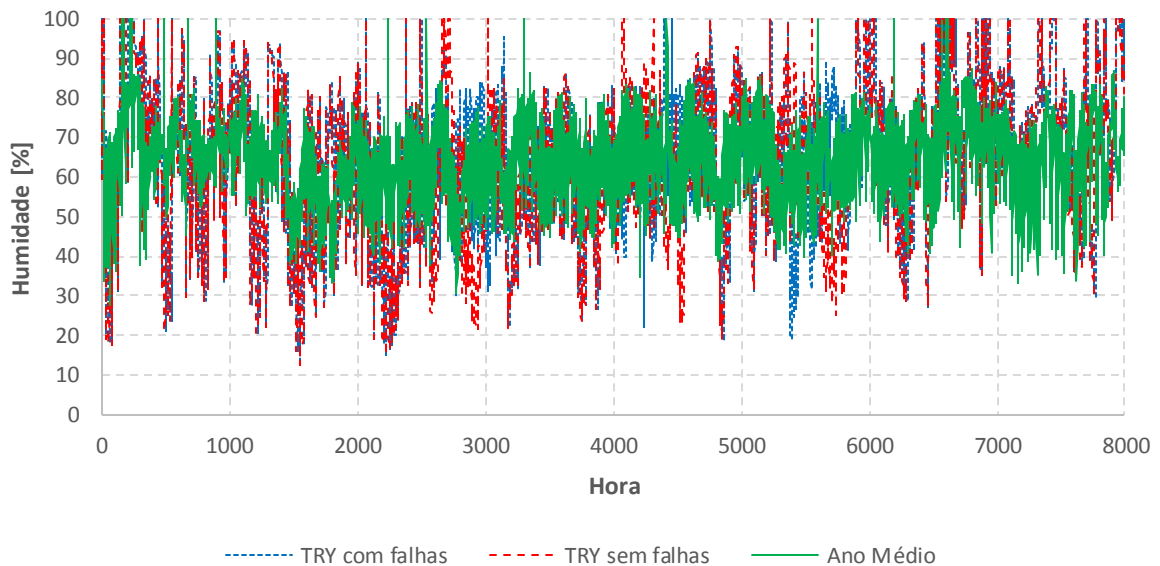


Figura 5.2 – Humidade superficial exterior

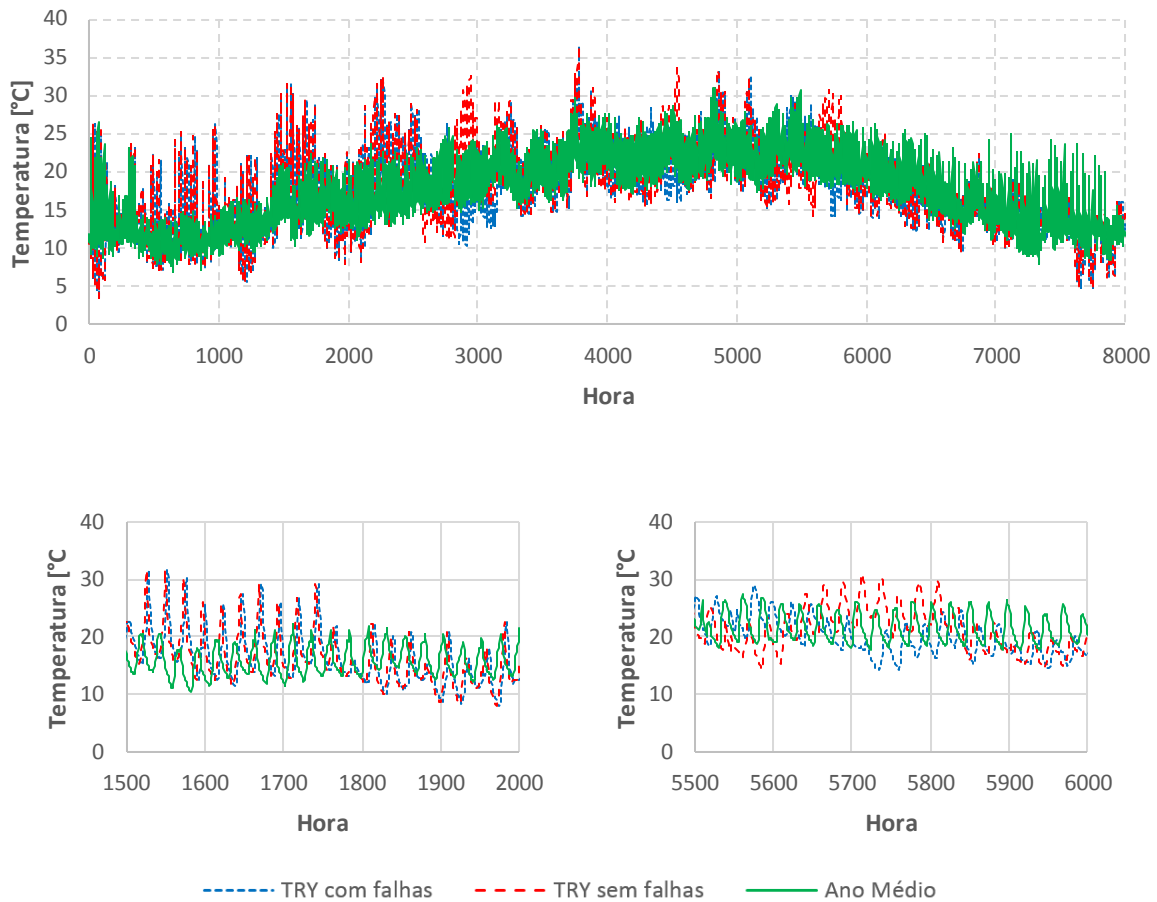
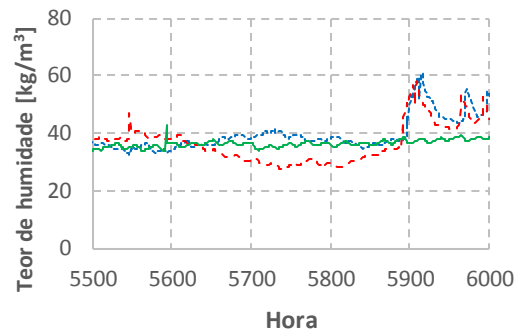
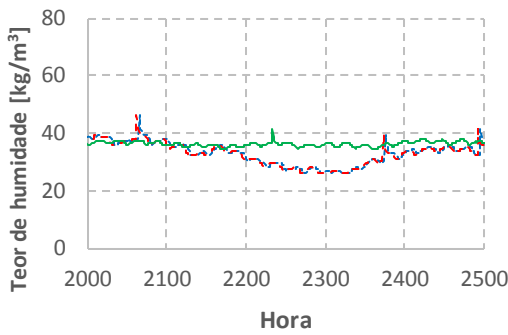
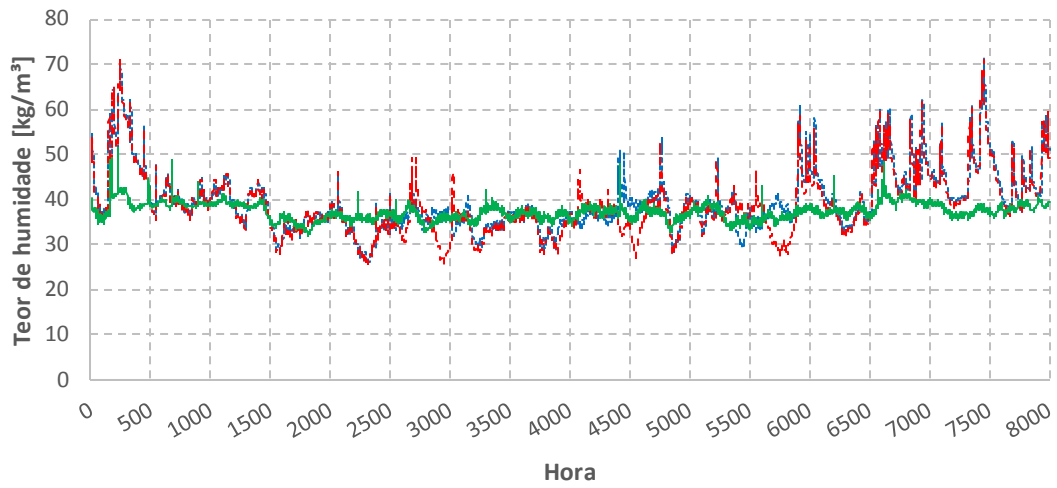


Figura 5.3 – Temperatura superficial exterior

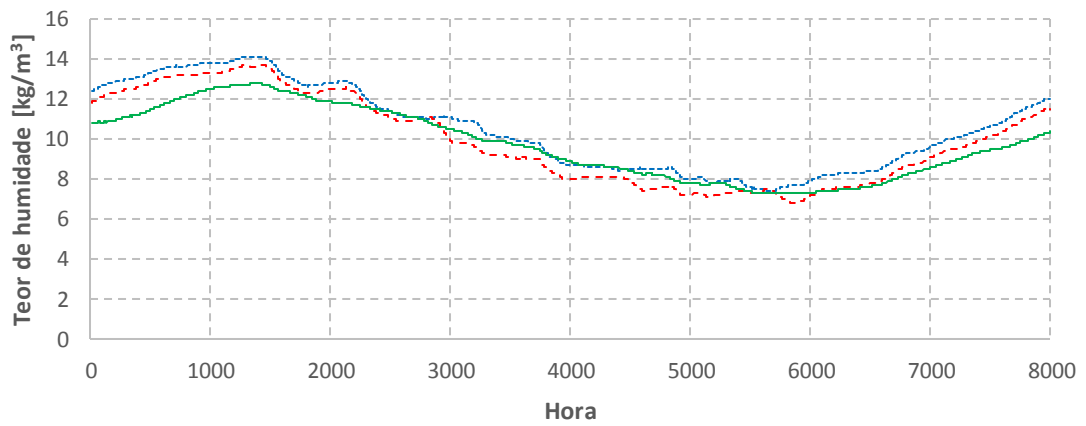
Analisando as camadas do elemento construtivo (Figura 5.4 a Figura 5.7), constata-se que a variação do teor de humidade é maior por intervalo de tempo nas camadas de reboco exterior e de gesso cartonado, enquanto nas camadas intermédias, essa variação é menor. Este facto está relacionado com as propriedades do material da camada.

De forma similar ao que acontece na temperatura e humidade superficial exterior, no caso do reboco exterior e do gesso cartonado (Figura 5.4 e Figura 5.7), as curvas dos diferentes TRY têm um comportamento semelhante, excetuando nos pontos referentes aos meses que foram seleccionados de anos diferentes. Para as camadas de tijolo e de isolamento térmico (Figura 5.5 e Figura 5.6) as curvas começam e acabam de forma semelhante, mas têm um comportamento distinto a meio do período de tempo, que coincide com os períodos em que o mês não é o mesmo nos dois TRY simulados. O facto de nestas camadas intermédias se verificarem diferenças em relação às camadas de reboco e gesso cartonado deve-se ao tipo de material, além de o clima já não ter tanta influência nestas camadas. Quanto ao ano médio, os resultados dos teores de humidade para todas as camadas variam entre intervalos de menor amplitude, tal como já tinha sido observado para a temperatura e humidade relativa.



--- TRY com falhas --- TRY sem falhas — Ano Médio

Figura 5.4 – Teor de humidade na camada de reboco exterior



--- TRY com falhas --- TRY sem falhas — Ano Médio

Figura 5.5 – Teor de humidade na camada de tijolo

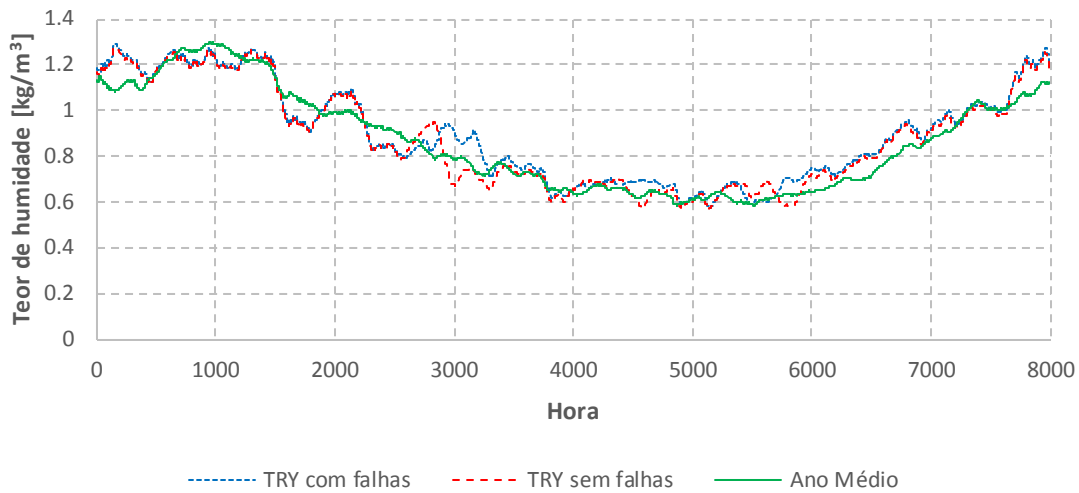


Figura 5.6 – Teor de humidade na camada de isolamento térmico

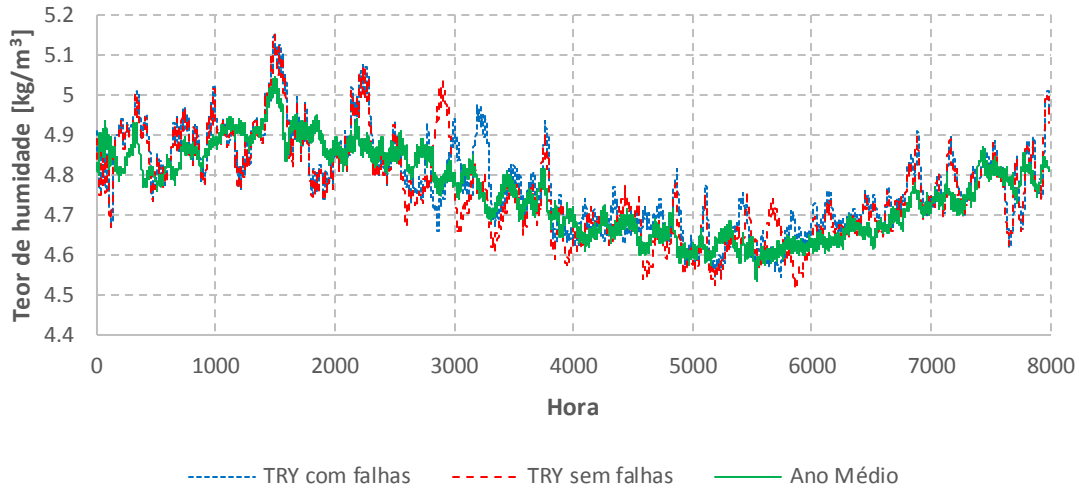


Figura 5.7 – Teor de humidade na camada de gesso cartonado

No caso do teor de humidade total (Figura 5.8), verifica-se que as curvas relativas aos diferentes TRYs se encontram bastante próximas, tanto no início como no final do período de tempo em análise, havendo um afastamento das curvas a meio do intervalo e que corresponde, como referido previamente, ao intervalo em que os meses diferem. No entanto, essas diferenças entre os dois anos não é muito acentuada. Já relativamente ao ano médio, uma vez mais a curva apresenta um comportamento mais homogéneo do que as curvas dos TRYs, não ultrapassando os picos máximos dos mesmos.

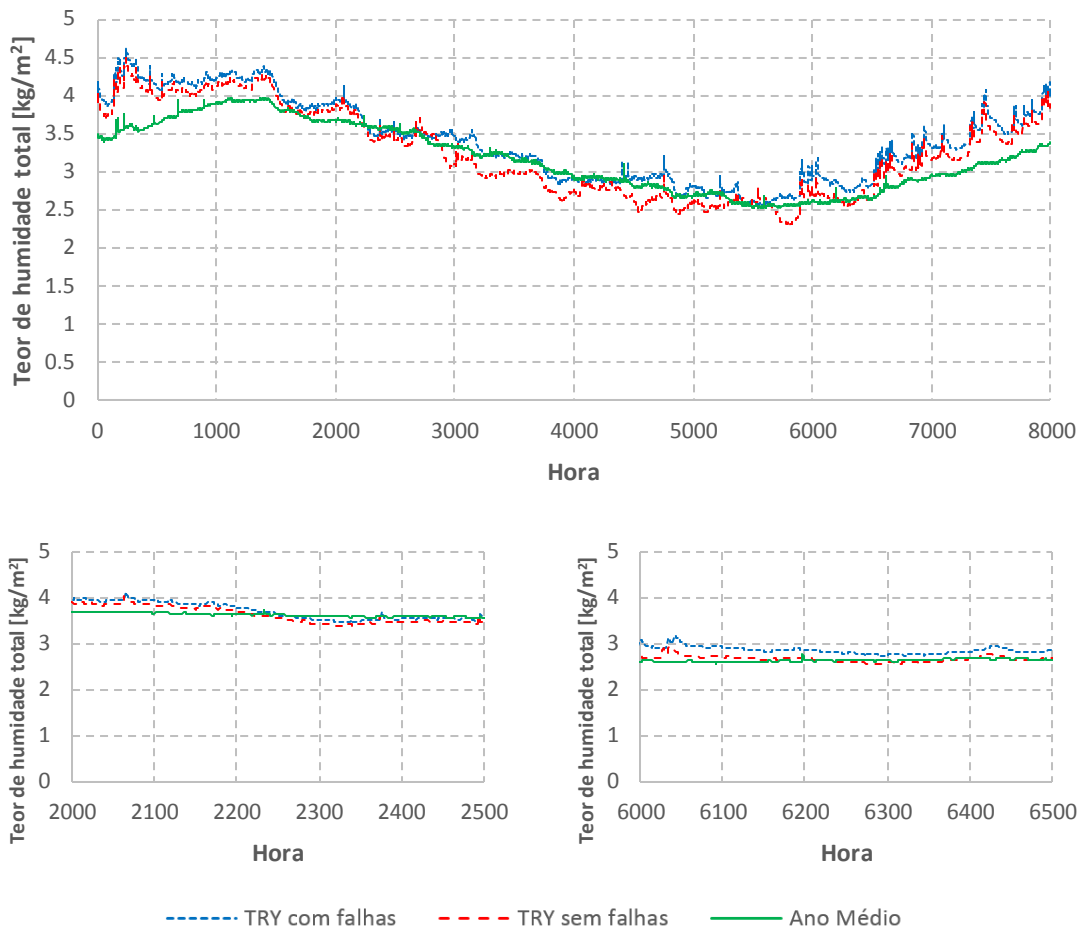


Figura 5.8 – Teor de humidade total

5.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como foi já referido, os dados extraídos do WUFI foram analisados recorrendo ao SPSS, sendo que cada parâmetro climático foi caracterizado por várias medidas estatísticas, além de ser realizado um teste à normalidade dos dados, teste de Kolmogorov–Smirnov, cujo objetivo é verificar-se um conjunto de dados (amostra) de uma determinada variável pode ser caracterizado por uma distribuição Normal ou não. De seguida, apresentam-se, para cada ano climático, as principais medidas estatísticas descritivas.

Tabela 5.3 – Medidas estatísticas relativas ao TRY com falhas

Parâmetro	Média	Desvio-padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Coefficiente de assimetria
Temperatura na Superfície Exterior [°C]	17.04	5.11	16.74	3.40	36.58	0.27
Humidade Relativa na Superfície Exterior [%]	66.26	18.43	68.09	12.42	100.00	-0.23
Teor de humidade na camada de reboco exterior [kg/m ³]	39.56	6.78	38.06	26.04	71.26	1.35
Teor de humidade na camada de tijolo [kg/m ³]	10.50	2.11	10.22	7.41	14.10	0.23
Teor de humidade na camada de isolamento térmico [kg/m ³]	0.90	0.21	0.87	0.58	1.29	0.34
Teor de humidade na camada de gesso cartonado [kg/m ³]	4.78	0.11	4.77	4.54	5.15	0.41
Teor de humidade Total [kg/m ²]	3.41	0.54	3.36	2.54	4.63	0.25

Tabela 5.4 – Medidas estatísticas relativas ao TRY sem falhas

Parâmetro	Média	Desvio-padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Coefficiente de assimetria
Temperatura na Superfície Exterior [°C]	17.34	5.35	17.01	3.40	36.60	0.30
Humidade Relativa na Superfície Exterior [%]	64.97	19.17	66.42	12.41	100.00	-0.14
Teor de humidade na camada de reboco exterior [kg/m ³]	38.77	7.00	37.56	25.66	70.87	1.21
Teor de humidade na camada de tijolo [kg/m ³]	9.93	2.20	9.51	6.78	13.68	0.26
Teor de humidade na camada de isolamento térmico [kg/m ³]	0.88	0.22	0.85	0.57	1.28	0.36
Teor de humidade na camada de gesso cartonado [kg/m ³]	4.76	0.12	4.75	4.52	5.15	0.40
Teor de humidade Total [kg/m ²]	3.25	0.57	3.17	2.30	4.50	0.26

Tabela 5.5 – Medidas estatísticas relativas ao Ano Médio

Parâmetro	Média	Desvio-padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Coefficiente de assimetria
Temperatura na Superfície Exterior [°C]	17.54	4.84	17.76	6.82	31.12	0.11
Humidade Relativa na Superfície Exterior [%]	65.36	10.84	66.33	27.91	99.99	-0.19
Teor de humidade na camada de reboco exterior [kg/m ³]	37.37	1.87	37.31	32.02	51.22	0.52
Teor de humidade na camada de tijolo [kg/m ³]	9.76	1.77	9.61	7.26	12.76	0.17
Teor de humidade na camada de isolamento térmico [kg/m ³]	0.87	0.22	0.83	0.58	1.30	0.40
Teor de humidade na camada de gesso cartonado [kg/m ³]	4.76	0.11	4.76	4.53	5.04	0.12
Teor de humidade Total [kg/m ²]	3.18	0.44	3.14	2.52	3.98	0.17

Após o estudo das medidas estatísticas, foi realizado um teste à normalidade das variáveis higrotérmicas e concluiu-se que a nenhuma poderia ser ajustada a distribuição Normal, em nenhum dos anos climáticos estudados.

Dado que as variáveis higrotérmicas não seguem uma distribuição Normal, não foi possível realizar o teste t de *Student*, para comparação de amostras, uma vez que este só deve ser aplicado em distribuições Normais. Assim, foram utilizados dois testes não paramétricos, o teste de Wilcoxon e o teste do Sinal, para comparar duas amostras emparelhadas. Estes testes foram utilizados para se comparar todos os parâmetros entre os três anos climáticos. Assim, a condição de que duas amostras emparelhadas são iguais corresponde à hipótese nula formulada. Para a tomada de decisão nestes testes é analisado o valor de p . Este parâmetro determina se estatisticamente, duas amostras podem ser consideradas iguais ou não (as diferenças existentes são devidas ao acaso), ou seja, se há rejeição da hipótese nula ou não. Para tal será usado um nível de significância de 5%. Assim, verificando que o valor de p é igual ou inferior ao nível de significância fixado, significa que existem evidências estatísticas sobre a diferença entre o par de amostras avaliado, i.e., a hipótese nula é rejeitada.

Seguidamente serão mostrados os resultados obtidos pela aplicação destes testes, apresentando em primeiro lugar o teste de Wilcoxon e por fim o teste do Sinal, para cada par de anos climáticos analisados (Tabela 5.6 a Tabela 5.8).

Tabela 5.6 – Testes de Wilcoxon e Sign para a comparação entre o TRY com falhas e o TRY sem falhas

		Temperatura na Superfície Exterior	Humidade Relativa na Superfície Exterior	Teor de humidade na camada de reboco exterior	Teor de humidade na camada de tijolo	Teor de humidade na camada de isolamento	Teor de humidade na camada de reboco interior	Teor de humidade Total
Wilcoxon	z	-2.340	-5.792	-31.958	-77.382	-53.053	-34.965	-76.147
	p	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sign	z	-8.856	-2.283	-29.209	-86.507	-67.520	-31.982	-80.268
	p	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabela 5.7 – Testes de Wilcoxon e Sign para a comparação entre o TRY com falhas e o Ano Médio

		Temperatura na Superfície Exterior	Humidade Relativa na Superfície Exterior	Teor de humidade na camada de reboco exterior	Teor de humidade na camada de tijolo	Teor de humidade na camada de isolamento	Teor de humidade na camada de reboco interior	Teor de humidade Total
Wilcoxon	z	-9.319	-4.486	-26.867	-74.683	-39.867	-22.390	-68.508
	p	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sign	z	-4.853	-3.891	-21.045	-70.270	-39.250	-18.138	-58.864
	p	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabela 5.8 – Testes de Wilcoxon e Sign para a comparação entre o TRY sem falhas e o Ano Médio

		Temperatura na Superfície Exterior	Humidade Relativa na Superfície Exterior	Teor de humidade na camada de reboco exterior	Teor de humidade na camada de tijolo	Teor de humidade na camada de isolamento	Teor de humidade na camada de reboco interior	Teor de humidade Total
Wilcoxon	z	-3.496	-2.615	-12.965	-20.217	-16.046	-4.893	-21,797
	p	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sign	z	-2.447	-2.415	-9.773	-13.419	-14.895	-2.169	-11.965
	p	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000

Facilmente se conclui que, dado que o valor de p é inferior a 0.05 em todas as situações comparadas, que se está perante amostras diferentes, ou seja, para nenhuma variável os anos climáticos poderão ser considerados idênticos. O facto dos resultados obtidos, por aplicação dos dois testes de hipóteses, levarem à mesma decisão, permite ter confiança nas conclusões tiradas. De notar que quanto menor for o valor de z , menor será a diferença que existe entre as amostras, logo maior será o valor de p . Conclui-se assim, que as maiores diferenças entre os TRY estão nas camadas de tijolo e de isolamento térmico, que afetam o teor de humidade total. Verifica-se que existe uma semelhança maior entre o TRY sem falhas e o ano médio do que entre este e o TRY com falhas.

Através das curvas das frequências acumuladas para os diferentes parâmetros avaliados, que se apresentam-se nas Figura 5.9 a Figura 5.11 percebe-se a evolução de cada parâmetro para um dado ano climático, observando-se com mais clareza as diferenças existentes entre os mesmos.

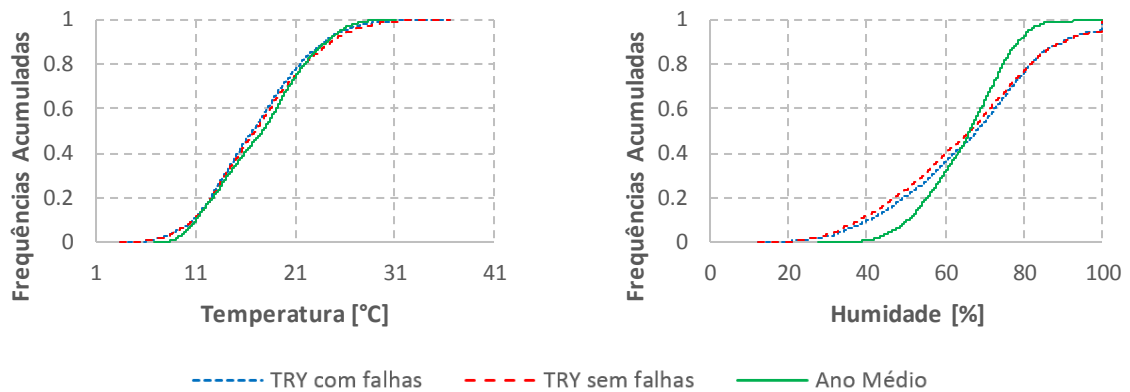


Figura 5.9 – Curvas de frequências acumuladas para a temperatura e humidade superficial exterior

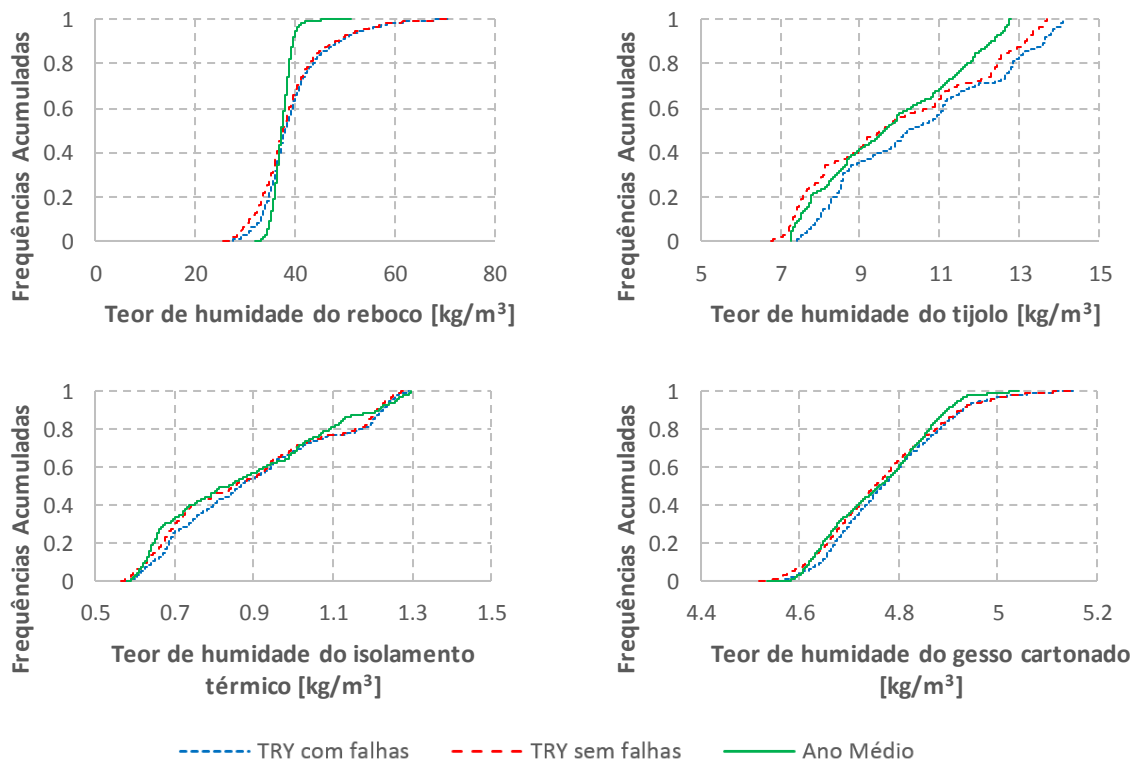


Figura 5.10 – Curvas de frequências acumuladas para as camadas do elemento construtivo

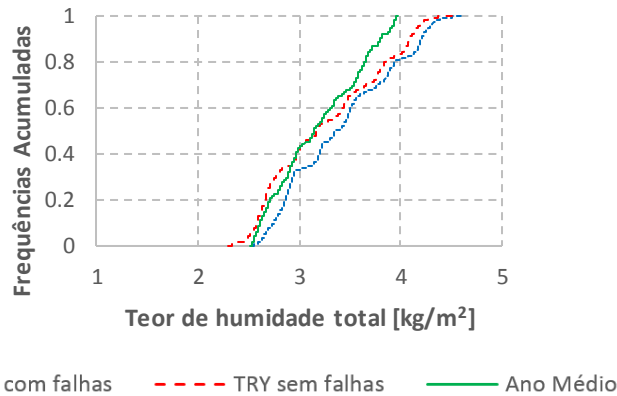


Figura 5.11 – Curvas de frequências acumuladas para o teor de humidade total

De notar que os testes estatísticos realizados para avaliar as semelhanças entre os três anos, além do resultado do valor de p , mostraram o valor de z , que mede as diferenças existentes entre cada ano climático, para uma dada variável. Quanto menor for o valor de z , mais proximidade existe entre as amostras, sendo que este facto pode ser comprovado através da observação simultânea deste com as curvas de frequências acumuladas.

Como se pode constatar analisando o valor de z e as curvas de distribuição, os resultados são coincidentes entre si, isto é, quando o valor de z é menor, as curvas tendem a ser mais semelhantes entre si e vice-versa.

5.3. SÍNTESE CRÍTICA

A partir da análise estatística realizada, podem retirar-se algumas conclusões. A principal é a de que os três anos climáticos são diferentes. Outro ponto a realçar é que em termos de medidas estatísticas, o TRY com falhas e o TRY sem falhas são bastantes similares, enquanto o ano médio apresenta valores diferentes dos outros, em termos de máximos, mínimos e coeficientes de assimetria, principalmente. Este facto era expectável devido à grande semelhança entre os dados do TRY com e sem falhas, que possuem apenas três meses diferentes, e a diferença para o ano médio que resultou da média de todos os dados. O ano médio é mais homogéneo que os outros anos. Nos TRYs verifica-se a aleatoriedade inata aos parâmetros climáticos, enquanto no ano médio a variabilidade dos parâmetros em estudo não é considerada.

Outro aspeto a realçar é que nas camadas intermédias do elemento construtivo, as diferenças entre os TRYs são maiores do que entre cada um dos TRY e o ano médio, o que se pode visualizar nas curvas de frequências acumuladas, em que a curva correspondente ao ano médio se encontra entre as curvas dos TRY, em certos períodos. Este aspeto pode ser justificado pelo facto de o ano médio ser o resultado das médias entre todos os anos, logo quando os TRY diferem, este acaba por tomar o valor médio entre os TRY.

Analisando cada um dos parâmetros considerados, verifica-se que para a temperatura e humidade relativa superficial exterior, os TRY são mais próximos um do outro do que entre o ano médio e qualquer um dos TRYs, enquanto para o teor de humidade, tanto o das camadas do elemento construtivo como o total, o ano médio aproxima-se mais do TRY sem falhas. No entanto, não se pode afirmar que o ano

médio tenha mais semelhanças com o TRY sem falhas do que este com o TRY com falhas, uma vez que existem períodos em que o ano médio se aproxima mais do TRY sem falhas, o que faz com que as diferenças sejam menores, mas volta a afastar-se, não acompanhando o comportamento deste, ao contrário do TRY com falhas.

Pode concluir-se que os resultados a nível estatístico são corroborados pelas curvas das frequências acumuladas para cada parâmetro. No entanto, existe uma exceção na camada de reboco exterior. Nesta camada, estatisticamente o TRY sem falhas encontra-se mais próximo do ano médio do que do TRY com falhas, dado que o valor de z entre estes dois anos é menor do que entre os dois TRY. Por análise da curva de frequências acumuladas referentes a essa variável, conclui-se que na realidade os TRY estão mais próximos entre si do que em relação ao ano médio. Este aspeto pode ser comprovado através das medidas estatísticas para cada ano climático, que são mais próximas comparando os TRY um com o outro do que comparando qualquer um desses anos com o ano médio. A justificação para esta aparente contradição é a de que o valor de z é calculado, como referido, a partir das diferenças entre as curvas e, como tal, neste caso particular, entre o TRY sem falhas e o ano médio existem um conjunto de diferenças positivas e negativas quase igual, como se pode observar na curva de distribuição relativa a essa variável. Deste modo, o valor de z é menor do que o que seria de esperar. Este facto pode ser explicado pelo facto de ser o único que apresenta uma grande variabilidade nos dados, o que pode ser verificado pelos valores máximos e mínimos.

Resta ressaltar que os TRY descrevem melhor a variabilidade inerente aos parâmetros climáticos, enquanto o ano médio têm menos variação, o que pode distorcer a análise higrotérmica. Este facto leva a que não sejam considerados períodos críticos, devido à pouca variação e à falta de picos, principalmente máximos, observada. Conclui-se que é importante a existência de anos climáticos de referência, ao invés de se utilizar anos médios, particularmente para amostras de períodos longos, pois a aplicação do ano médio acabará por eliminar quase toda a variabilidade existente nos parâmetros climáticos e poderá camuflar pontos críticos que nos anos de referência são visíveis e analisados.

Por fim, em relação aos dois TRY, verifica-se que em termos estatísticos existem diferenças significativas, no entanto, na simulação higrotérmica não são tão evidentes.

6

CONCLUSÃO

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que os edifícios apresentem um comportamento satisfatório a nível higrotérmico é necessário a existência de dados de clima exterior fiáveis e referentes ao local de interesse. Mais ainda, é fundamental o seu adequado tratamento e análise, para que os resultados sejam o mais próximo possível da realidade.

Deste modo, a construção de anos climáticos de referência é importante para caracterizar o clima exterior, sendo que poderão ser utilizados em simulações energéticas ou higrotérmicas. Uma vez que estes anos de referência pretendem retratar o comportamento normal do clima ao longo de vários anos, a metodologia para a sua elaboração depende apenas da existência de um número relativamente elevado de anos com dados referentes aos parâmetros climáticos envolvidos nas simulações.

Neste trabalho, foram construídos dois Test Reference Year, um a partir dos dados originais (sem colmatação de dados em falta) e outro com colmatação de falhas nos dados, seguindo a metodologia da norma EN ISO 15927 [1]. Os TRYs obtidos são constituídos por 9 meses em comum e 3 meses diferentes. Os resultados da simulação higrotérmica, realizada com recurso ao *software* WUFI, revelou que as diferenças entre esses dois anos são estatisticamente significativas, embora por observação gráfica essa diferenças não sejam muito notórias. É importante notar que todos os meses sofreram correções, uns em maior quantidade que outros, num ano apenas ou em vários. Numa amostra em que existam poucas falhas nos registos, o TRY deverá ser o mesmo após a sua colmatação, uma vez que as diferenças entre os dois anos obtidos ocorrem em meses em que existiam períodos de tempo mais longos sem registos.

A um nível mais minucioso, na escolha mensal do ano com o melhor ajuste à série de dados total, um conjunto mais limitado de anos pode ter sido responsável pela quantidade observada de empates nos valores da soma das posições para cada variável. De facto, na existência de vários anos de estudo, a probabilidade dessas posições serem tais que a sua soma culmina em empates é reduzida, uma vez que o universo probabilístico é maior. Enquanto no presente trabalho, por aplicação direta da norma, foram selecionados para cada mês os três melhores anos de um universo de seis anos, teoriza-se que mais anos de estudo reduziriam a ocorrência de posições no pódio tais, que se verifiquem empates na soma das posições para diferentes parâmetros. Esta observação pode estar relacionada com a ausência normativa de qualquer critério de desempate, uma vez que, embora obrigue a que seja escolhido apenas um trio dos anos com melhor aproximação ao ano total, a ocorrência de empates possa ser nula ou bastante improvável caso seja respeitado o critério de um mínimo de dez de amostra, daí ser ignorada tal situação.

Ainda no âmbito do trabalho foi construído um ano médio, resultante da média de todos os anos. Este ano climático foi analisado juntamente com os dois TRY e revelou ser o que tinha mais diferenças, sendo que o intervalo de variação dos valores dos parâmetros climáticos era mais reduzido

comparativamente aos dos TRY. Assim sendo, esta não será a melhor maneira de avaliar o clima exterior e as suas consequências em elementos construtivos dado que o clima é constituído por parâmetros climáticos que naturalmente têm um comportamento bastante variável ao longo do tempo, tornando-se fundamental analisar as situações mais críticas que um ano médio pode esconder ao possuir.

Destaca-se ainda o facto de que os TRY não são normalmente utilizados em simulações higrotérmicas mas, para obter resultados do ponto de vista energético. Neste trabalho optou-se por usar uma ferramenta de simulação e cálculo higrotérmico, o WUFI, para uma análise comparativa entre os três anos climático.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A presente dissertação é baseada em procedimentos para a construção do Test Reference Year e a sua repercussão na simulação higrotérmica, recorrendo a comparações dos anos climáticos obtidos. Seria interessante, no entanto, replicar a metodologia desenvolvida neste trabalho para uma maior amostra de dados, preferencialmente superior ao requisito mínimo de dez anos imposto pela norma EN ISO 15927. Embora não tenha sido possível ter acesso a dados climáticos dum conjunto de anos que respeitasse este critério, é pertinente ponderar sobre o impacto da sua consideração nas conclusões obtidas.

Em primeiro lugar, um conjunto de dados relativos a período mais longo (mais anos) conduzirá a um maior nível de fiabilidade nos resultados obtidos, não só porque o comportamento modelado do clima será mais fiel à realidade, mas também porque sua aplicação a simulações higrotérmicas de maior duração, e.g. igual ou superior ao número de anos do conjunto, é mais credível.

De forma complementar, o presente trabalho é focado na obtenção do ano climático TRY descartando outros tipos de anos climáticos, como o Moisture Reference Year. No entanto, a *framework* de organização de dados climatéricos de base desenvolvida no âmbito desta dissertação, assim como os algoritmos programáveis desenvolvidos, poderiam ser adaptados ao objetivo em mente, i.e. a escolha do MRY. Para além de ser replicável a avaliação dos procedimentos para a escolha do MRY, seria igualmente interessante avaliar o impacto da tipologia do ano de referência usado nas simulações higrotérmicas, por exemplo TRY e MRY, nos resultados numéricos obtidos.

Finalmente, deveria ser dado especial enfoque ao desenvolvimento de um processo centralizado de tratamento de dados climatéricos visando a obtenção de um ano de referência. Considera-se que as metodologias desenvolvidas na presente dissertação podem ser aproveitadas para trabalhos futuros na mesma temática, sendo de todo vantajoso que o sejam. Independentemente da área de estudo, e sendo particularmente elevada a repetição de procedimentos e passos a tomar na aplicação de qualquer método, a sua automatização não só reduz a probabilidade de erro humano, como permite aproveitar o tempo ganho noutras tarefas do estudo em causa, para um resultado final fica mais rico e abrangente. Na sequência do que já foi desenvolvido, o algoritmo final estaria apto a seguir as seguintes etapas:

- Receber os dados climatéricos horários de vários parâmetros
- Efetuar o tratamento de dados horários para diários
- Colmatar ou não falhas diárias de acordo com a opção do utilizador
- Aplicar os procedimentos de construção do ano de referência, para o tipo definido pelo utilizador (e.g. TRY ou MRY)
- Efetuar simulações higrotérmicas com o ano de referência construído
- Efetuar o tratamento dos resultados obtidos pelas simulações numéricas

Dada a versatilidade da linguagem de programação *python* usada no presente trabalho, a maior dificuldade encontrada na automatização deste processo estará certamente não na sua concretização, mas na conceptualização estrutural do algoritmo criado, uma vez que, sendo convenientemente

desenvolvido, a adição de novas funcionalidades complementares e/ou independentes (e.g. realizar e comparar simulações higtotérmicas para todas as tipologias de anos de referência disponíveis) estará inteiramente não condicionada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CEN - European Committee for Standardization (2002). *EN ISO 15927:2002 – Hygrothermal performance of building – Calculation and presentation of climatic data*. CEN, Bruxelas, Dezembro 2002.
- [2] <http://wufi.de/en/software/wufi-pro/>. maio 2015
- [3] <http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=swg24032236>. maio 2015
- [4] <http://www.ipma.pt>. abril 2015
- [5] Alberto, Q., Manjate, T., Maure, G., Mosquito, D. P. *Avaliação da vulnerabilidade dos parâmetros climáticos e projeção de cenários climáticos*. 2007.
- [6] Rahman, I.A., Dewsbury J., *Selection of typical weather data (test reference years) for Subang, Malaysia*. Building and Environment, 2007. **42**(10): p. 3636-3641.
- [7] Anacleto, A. *Temperatura e sua medição*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2007.
- [8] <http://www.ides-edu.eu/wp-content/uploads/2013/04/2-Meteorological-Quantities-and-Climate-Parameters.pdf>. abril 2015
- [9] Freitas, V., Pinto, P. *Nota de Informação Técnica - NIT 002 – LFC: Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção–Condensações Internas*, LFC–FEUP, 1998.
- [10] <http://www.fpcolumbofilia.pt/meteo/main063.htm>. abril 2015
- [11] <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>. abril 2015
- [12] <http://www.mundoeducacao.com/geografia/pressao-atmosferica.htm>. abril 2015
- [13] <http://solargis.info/doc/solar-and-pv-data>. abril 2015
- [14] <http://www.explainthatstuff.com/how-pyranometers-work.html>. abril 2015
- [15] http://www.citi.pt/citi_2005_trabs/antonio_carvalho/Precipitacao.htm. abril 2015
- [16] <http://www.cvtavira.pt/home/index.php?id=59>. abril 2015
- [17] Bilbao, J., Miguel, A., Franco, J. A., Ayuso, A. *Test Reference Year Generation and Evaluation Methods in the Continental Mediterranean Area*. Journal of Applied Meteorology, 2004. **43**(2): p. 390-400.
- [18] Lund, H., *Design Reference Years and test Reference years in Europe, Turkey and Israel*. 1996: Department of Buildings and Energy, Technical University of Denmark.
- [19] Kalamees, T., Kurnitski, J. *Estonian test reference year for energy calculations*. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng, 2006. **12**(1): p. 40-58.
- [20] Al-Mofeez, I.A., Numan, M. Y., Alshaibani, K. A. Al-Maziad, F. A. *Review of typical vs. synthesized energy modeling weather files*. Journal of Renewable and Sustainable energy, 2012.
- [21] Crawley, D.B., *Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings?* Transactions-American society of heating refrigerating and air conditioning engineers, 1998. **104**: p. 498-515.

- [22] Hui, C., *Energy performance of air-conditioned buildings in Hong Kong*. 1996, City University of Hong Kong.
- [23] http://datahub.io/dataset/canadian_weather_year_energy_calculation maio 2015.
- [24] Thevenard, D.J., Brunger, A. P. *The development of typical weather years for international locations: Part II, production/Discussion*. ASHRAE Transactions, 2002. **108**: p. 480.
- [25] Argiriou, A., Lykoudis, S., Kontoyiannidis, S., Balaras, C. A., Asimakopoulos, D., Petrakis, M., Kassomenos, P. *Comparison of methodologies for tmy generation using 20 years data for Athens, Greece*. Solar Energy, 1999. **66**(1): p. 33-45.
- [26] Kalogirou, S.A., *Generation of typical meteorological year (TMY-2) for Nicosia, Cyprus*. Renewable Energy, 2003. **28**(15): p. 2317-2334.
- [27] Kalamees, T., Vinha, J. *Estonian climate analysis for selecting moisture reference years for hygrothermal calculations*. Journal of Thermal Envelope and Building Science, 2004. **27**(3): p. 199-220.
- [28] Cornick, S., Djebbar, R., Dalglish, A. *Selecting moisture reference years using a Moisture Index approach*. Building and Environment, 2003. **38**(12): p. 1367-1379.
- [29] Cornick, S., Dalglish, A. *Moisture Management of Building Envelopes*. 2004.
- [30] Pernigotto, G., Prada, A., Cóstola, D., Gasparella, A., Hensen, J. L. M. *Multi-year and reference year weather data for building energy labelling in north Italy climates*. Energy and Buildings, 2014. **72**(0): p. 62-72.
- [31] <https://www.python.org/>. maio 2015
- [32] [https://en.wikipedia.org/?title=Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/?title=Python_(programming_language)). maio 2015
- [33] <https://winpython.github.io/>. maio 2015
- [34] [https://en.wikipedia.org/wiki/Spline_\(mathematics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spline_(mathematics)). maio 2015
- [35] <http://www.alglib.net/interpolation/spline3.php>. maio 2015
- [36] http://sosie.sourceforge.net/sosie_files/comp_event_1d.png. maio 2015
- [37] Barreira, E.S.B.M., *Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho higrótérmico*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 2012.

ANEXOS

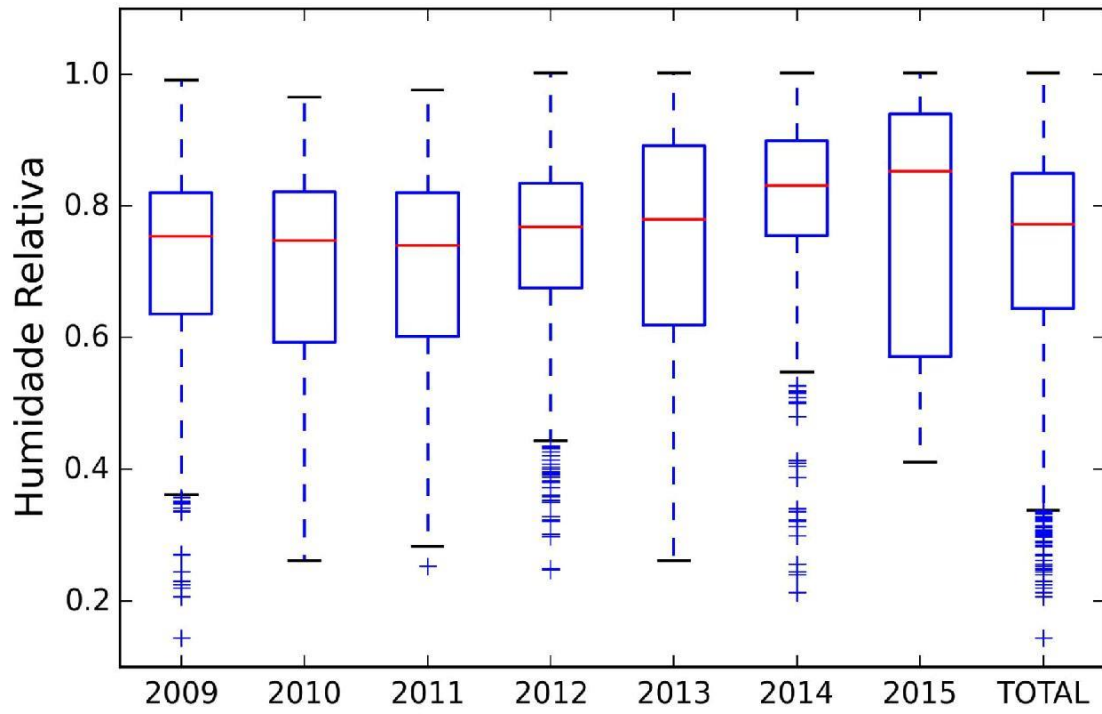
ANEXO I – ALGORITMOS DESENVOLVIDOS

ALGORITMO VBA

```
Sub Macro1()  
  Dim ws As Worksheet  
  For Each ws In Worksheets  
    ws.Range("F2:F7").FormulaR1C1 = "=AVERAGE(RC[-2]:R[143]C[-2])"  
    I = 1  
    j = 8  
    g = 13  
    h = 146  
    x = 289  
    Do While I < 186  
      Dim SelectRange As String  
      Dim MeanRange As String  
      Let SelectRange = "F" & j & ":" & "F" & g  
      Let MeanRange = "D" & h & ":" & "D" & x  
      ws.Range(SelectRange).Formula = "=AVERAGE(" & MeanRange & ")"  
      I = I + 1  
      j = j + 6  
      g = g + 6  
      h = h + 144  
      x = x + 144  
    Loop  
  Next ws  
End Sub
```


ALGORITMOS PYTHON

ALGORITMO A




```

from __future__ import division
import pandas
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import os

def boxplot(ficheiro, anos, plot_y_label, save2file):
    xx = []
    cc = []
    anos_labels = []
    fig = plt.figure()
    for i in np.arange(0, anos - 1, 1):
        zz = []
        anos_labels.append(str(2009 + i))
        ax = fig.add_subplot(111)
        excel = pandas.io.excel.read_excel(ficheiro, sheetname = i, \
            header = None)
        for xxx in np.asarray(excel[2][1:]).tolist():
            if np.isnan(xxx) == False:
                zz.append(xxx)
        for j in zz:
            cc.append(j)
        xx.append(zz)
    anos_labels.append('TOTAL')
    xx.append(cc)
    ax.boxplot(xx, whis = 1.5)
    ax.set_ylabel(plot_y_label, fontsize = 13)
    ax.set_xticklabels(anos_labels)
    plt.savefig(save2file, transparent = True, bbox_inches = 'tight', \
        pad_inches = 0.1, dpi = 300)

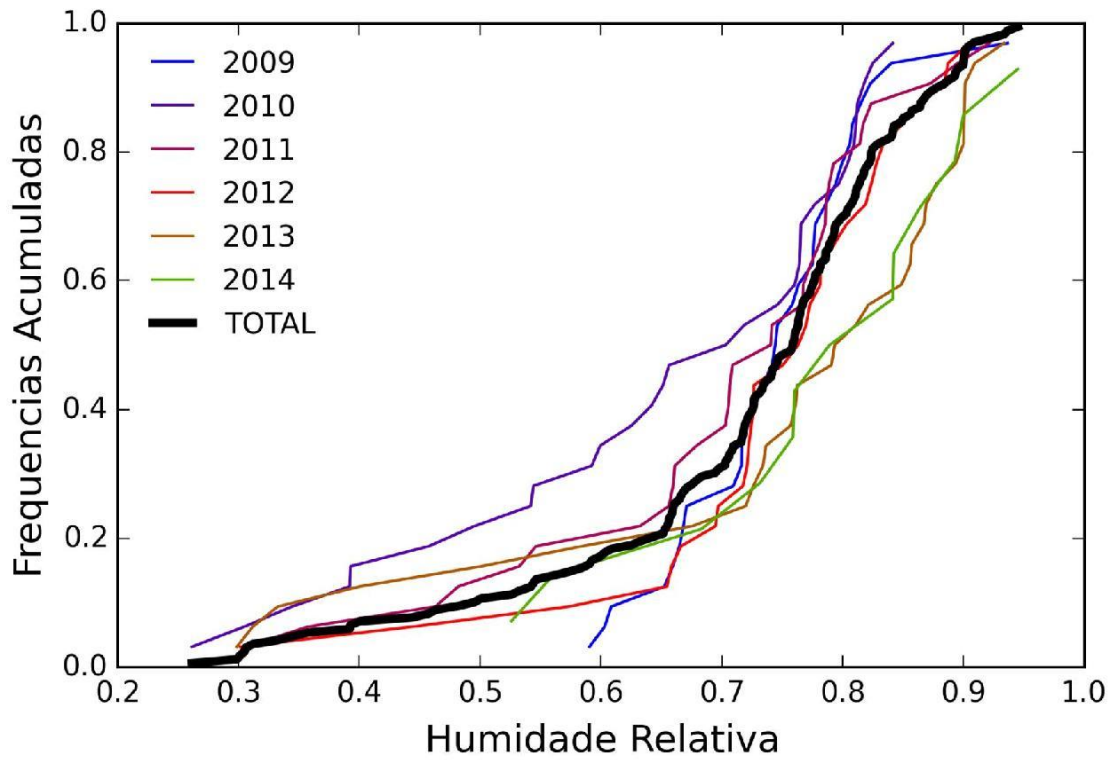
#####
## CONTROL ##
#####
nbrExcel_files = 9
for control in np.arange(1, nbrExcel_files + 1 ,1):
    if int(control) == 1:
        ficheiro = 'temperatura por ano.xlsx'
        anos = 8
        path = 'Temperatura\\'
        plot_y_label = 'Temperatura [°C]'
    if int(control) == 2:
        ficheiro = 'hr por ano.xlsx'
        anos = 8
        path = 'Humidade Relativa\\'
        plot_y_label = 'Humidade Relativa'
    if int(control) == 3:
        ficheiro = 'radsolarglobal por ano.xlsx'
        anos = 8
        path = 'Radiacao global\\'
        plot_y_label = 'Radiacao solar global'
    if int(control) == 4:
        ficheiro = 'radsolardifusa por ano.xlsx'
        anos = 8
        path = 'Radiacao difusa\\'
        plot_y_label = 'Radiacao solar difusa'
    if int(control) == 5:
        ficheiro = 'Dirvento por ano.xlsx'
        anos = 8
        path = 'Dir Vento\\'

```

```
    plot_y_label = 'Direcao do vento'
if int(control) == 6:
    ficheiro = 'Velvento por ano.xlsx'
    anos = 8
    path = 'Vel Vento\\'
    plot_y_label = 'Velocidade do Vento'
if int(control) == 7:
    ficheiro = 'Par por ano.xlsx'
    anos = 8
    path = 'Par\\'
    plot_y_label = 'Pressao do Ar'
if int(control) == 8:
    ficheiro = 'Ratm por ano.xlsx'
    anos = 8
    path = 'Ratm\\'
    plot_y_label = 'Radiacao Atmosferica'
if int(control) == 9:
    ficheiro = 'Chuva por ano.xlsx'
    anos = 8
    path = 'Chuva\\'
    plot_y_label = 'Chuva'
if not os.path.exists(path):
    os.makedirs(path)
save2file = str(path + 'boxplot.tiff')
a = boxplot(ficheiro, anos, plot_y_label, save2file)
```

ALGORITMO B

Julho




```

from __future__ import division
import pandas
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import os
from scipy.interpolate import Akima1DInterpolator

def by_month(ficheiro, anos, folha, plot_title, plot_x_label, \
plot_y_label, save2file):
    excel = pandas.io.excel.read_excel(ficheiro, sheetname = folha, \
header = None)
    dict_mes = {}
    ano_index = 0
    while ano_index <= anos * 5 - 5:
        info = []
        ano = excel[ano_index][1]
        variavel_ano = np.array(excel[ano_index + 2])
        freq_acum = np.array(excel[ano_index + 3])
        for i in np.arange(1, len(excel[0]), 1):
            if np.isnan(variavel_ano[i]) == False:
                info.append((variavel_ano[i], freq_acum[i]))
        dict_mes[ano] = info
        ano_index = ano_index + 5
    legend = []
    colormap = plt.cm.get_cmap('brg')
    plt.gca().set_color_cycle([colormap(i) for i in np.linspace(0, 1, \
len(dict_mes))])
    for i in list(sorted(dict_mes.keys())):
        x_val = np.asarray([x[0] for x in dict_mes[i]])
        y_val = np.asarray([y[1] for y in dict_mes[i]])
        if i != 'Average':
            legend.append(i)
            plt.plot(x_val, y_val)
        else:
            legend.append('TOTAL')
            plt.plot(x_val, y_val, color = 'k', linewidth = 3, linestyle = '-')
    plt.legend(legend, loc = 'best', frameon = False, prop = {'size':10})
    plt.title(plot_title, y = 1.05, fontsize = 15)
    plt.xlabel(plot_x_label, fontsize = 13)
    plt.ylabel(plot_y_label, fontsize = 13)
    plt.savefig(save2file, transparent = True, bbox_inches = 'tight', \
pad_inches = 0.1, dpi = 300)
    plt.figure()
    x_val_average = np.asarray([x[0] for x in dict_mes['Average']])
    y_val_average = np.asarray([y[1] for y in dict_mes['Average']])
    n_pts_to_control = 100
    x_for_y_average = np.asarray(Akima1DInterpolator(np.asarray(y_val_average)\
, np.asarray(x_val_average))(np.linspace(0, 1, n_pts_to_control)))
    fs_min = 1e10
    for i in list(sorted(dict_mes.keys())):
        if i != 'Average':
            fs = 0
            x_val = np.asarray([x[0] for x in dict_mes[i]])
            y_val = np.asarray([y[1] for y in dict_mes[i]])
            x_for_y = np.asarray(Akima1DInterpolator(np.asarray(y_val), \
np.asarray(x_val))(np.linspace(0, 1, n_pts_to_control)))
            for xx in np.linspace(0, n_pts_to_control-1, n_pts_to_control):
                a = x for v in t(x\y)

```

```

        np.isnan(x_for_y_average[xx]) != True:
            fs = fs + abs(a-b)
    if fs <= fs_min:
        fs_min = fs
        best_year = str(plot_title) + ' ' + str(i) + ' ' + \
            str(round(fs/n_pts_to_control, 4))
        year = str(plot_title) + ' ' + str(i) + ' ' + \
            str(round(fs/n_pts_to_control, 4))
        with open(path + 'best year.txt', 'a+') as myfile:
            myfile.write(year + '\n')
with open(path + 'best year.txt', 'a+') as myfile:
    myfile.write('\n')
with open(path + 'best year.txt', 'a+') as myfile:
    myfile.write(best_year + '\n')
with open(path + 'best year.txt', 'a+') as myfile:
    myfile.write('\n')

#####
## CONTROL ##
#####
nbrExcel_files = 6
for control in np.arange(1, nbrExcel_files + 1 ,1):
    if int(control) == 1:
        ficheiro = 'freq_temperatura por mes com falhas.xlsm'
        anos = 7
        path = 'Temperatura com falhas\\'
        plot_x_label = 'Temperatura [^oC]'
        plot_y_label = 'Frequencias Acumuladas'
    if int(control) == 2:
        ficheiro = 'freq_temperatura por mes sem falhas.xlsm'
        anos = 7
        path = 'Temperatura sem falhas\\'
        plot_x_label = 'Temperatura [^oC]'
        plot_y_label = 'Frequencias Acumuladas'
    if int(control) == 3:
        ficheiro = 'freq_hr por mes com falhas.xlsx'
        anos = 7
        path = 'Humidade Relativa com falhas\\'
        plot_x_label = 'Humidade Relativa'
        plot_y_label = 'Frequencias Acumuladas'
    if int(control) == 4:
        ficheiro = 'freq_hr por mes sem falhas.xlsx'
        anos = 7
        path = 'Humidade Relativa sem falhas\\'
        plot_x_label = 'Humidade Relativa'
        plot_y_label = 'Frequencias Acumuladas'
    if int(control) == 5:
        ficheiro = 'freq_radsolaarglob por mes com falhas.xlsx'
        anos = 7
        path = 'Radiacao Global com falhas\\'
        plot_x_label = 'Radiacao Solar Global'
        plot_y_label = 'Frequencias Acumuladas'
    if int(control) == 6:
        ficheiro = 'freq_radsolaarglob por mes sem falhas.xlsx'
        anos = 7
        path = 'Radiacao Global sem falhas\\'
        plot_x_label = 'Radiacao Solar Global'
        plot_y_label = 'Frequencias Acumuladas'
    if not os.path.exists(path):
        os.makedirs(path)

```



```
if os.path.isfile(path + 'best year.txt') == True:
    os.remove(path + 'best year.txt')
dd = {}
for folha in np.linspace(0, 11, 12):
    title = ['Janeiro', 'Fevereiro', 'Marco', 'Abril', 'Maio', 'Junho', \
            'Julho', 'Agosto', 'Setembro', 'Outubro', 'Novembro', 'Dezembro']
    save2file = str(path + str("%02d" % (folha + 1)) + '_' + \
                    title[int(folha)] + '.tiff')
    dd[title[int(folha)]] = by_month(ficheiro, anos, int(folha), \
                                    title[int(folha)], plot_x_label, plot_y_label, save2file)
```


ANEXO II – CÁLCULO DO PARÂMETRO FS

Tabela A 1 – Parâmetro FS para a temperatura (com falhas)

Jan	Fev	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2014	2014	2014	2013	2012	2014	2014	2009	2009	2013	2011	2011
0.4884	0.3192	0.4273	0.6078	0.2537	0.3966	0.4615	0.3133	0.3869	0.7078	0.4282	0.4151
2012	2015	2011	2014	2014	2011	2011	2011	2010	2009	2013	2013
0.5086	0.4133	0.4419	0.7896	0.4491	0.4637	0.6181	0.8755	0.6397	0.8868	0.6368	0.4731
2010	2013	2010	2010	2009	2009	2012	2014	2012	2011	2012	2009
0.6516	0.4781	0.5797	1.3212	0.7123	0.5143	0.8919	1.0003	0.8402	1.3582	0.658	0.7139
2011	2010	2012	2009	2010	2010	2009	2013	2014	2012	2014	2012
0.7022	0.4933	1.0913	1.7563	0.8291	0.6307	1.0078	1.0514	0.8529	1.4968	0.7313	0.8437
2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2010	2009	2014
1.1606	0.7008	1.3389	1.973	1.963	0.6996	1.0925	1.1097	0.8863	1.5555	0.9677	1.2268
-	2011	2009	2011	2011	2013	2010	2010	2011	2014	2010	2010
-	0.8029	1.3575	3.8671	2.2401	2.3661	2.2288	1.7829	0.9196	1.6471	1.2375	1.2685

Tabela A 2 – Parâmetro FS para a humidade relativa (com falhas)

Jan	Fev	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	2010	2011	2013	2013	2010	2012	2009	2010	2010	2011	2009
0.0356	0.0255	0.0307	0.0287	0.0215	0.0181	0.0199	0.021	0.0234	0.0264	0.0175	0.0172
2010	2013	2010	2012	2011	2014	2011	2011	2011	2014	2010	2011
0.0363	0.0289	0.0377	0.0388	0.0382	0.0258	0.0218	0.0378	0.0464	0.0402	0.0201	0.0182
2013	2011	2014	2009	2010	2009	2009	2013	2012	2012	2009	2014
0.0904	0.0426	0.0585	0.0435	0.0448	0.0452	0.0354	0.05	0.0592	0.0419	0.0305	0.0286
2014	2015	2012	2010	2014	2012	2014	2012	2009	2009	2012	2010
0.0927	0.0464	0.081	0.0852	0.0509	0.0657	0.0383	0.0529	0.0627	0.0507	0.0335	0.0406
2011	2014	2009	2011	2009	2011	2013	2014	2013	2013	2014	2012
0.1131	0.1022	0.1026	0.0918	0.0589	0.0722	0.0509	0.0886	0.0742	0.082	0.0771	0.0602
-	2012	2013	2014	2012	2013	2010	2010	2014	2011	2013	2013
-	0.1586	0.1117	0.1206	0.0755	0.1175	0.0699	0.1089	0.1079	0.1495	0.0904	0.0619

Tabela A 3 – Parâmetro *FS* para a radiação solar global (com falhas)

Jan	Fev	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	2011	2014	2009	2009	2014	2011	2010	2012	2010	2011	2011
5.158	4.2882	7.0381	6.4128	4.7424	8.1711	2.4088	5.2217	4.8925	4.7632	2.6198	3.2806
2014	2015	2011	2010	2013	2010	2012	2014	2011	2014	2010	2010
9.115	4.7667	14.669	11.351	9.5209	12.695	4.5675	5.4336	5.3305	7.412	4.8938	3.3353
2011	2013	2012	2013	2011	2011	2009	2012	2010	2012	2012	2013
11.739	4.813	19.532	15.080	9.8506	15.724	4.9985	6.0129	8.9865	7.9348	5.4048	3.9764
2012	2010	2009	2012	2014	2009	2013	2009	2009	2009	2013	2012
12.523	15.034	27.262	18.785	10.866	17.840	12.057	7.3278	11.809	8.6318	9.389	6.987
2013	2014	2013	2011	2010	2012	2010	2013	2013	2013	2014	2009
16.668	15.269	31.523	20.836	20.257	19.333	14.895	7.7617	12.185	10.401	10.854	6.9878
-	2012	2010	2014	2012	2013	2014	2011	2014	2011	2009	2014
-	27.664	49.815	29.701	22.345	26.300	26.753	17.245	16.543	19.726	11.945	13.202

Tabela A 4 – Parâmetro *FS* para a temperatura (sem falhas)

Jan	Fev	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2012	2014	2011	2013	2012	2010	2011	2009	2009	2013	2011	2011
0.4449	0.3659	0.4439	0.5343	0.2362	0.3889	0.6609	0.348	0.3037	0.6393	0.4608	0.3677
2010	2013	2014	2014	2014	2011	2012	2011	2010	2009	2013	2013
0.5572	0.3987	0.4512	1.095	0.4205	0.4766	0.8201	0.8323	0.6085	1.0239	0.6353	0.4478
2014	2015	2010	2010	2010	2014	2009	2014	2014	2011	2014	2009
0.7522	0.4653	0.566	1.4342	0.6557	0.6751	0.9161	1.0542	0.8181	1.3773	0.6486	0.6493
2011	2010	2012	2009	2009	2012	2014	2012	2011	2012	2012	2012
0.7701	0.5109	1.1073	1.7383	0.7117	0.8632	1.0022	1.0579	0.8767	1.5151	0.9116	0.816
2013	2012	2013	2012	2013	2013	2013	2013	2012	2010	2010	2014
1.1559	0.5628	1.3301	1.955	1.9559	1.2004	1.1395	1.0941	0.9125	1.5591	1.2685	1.0614
-	2011	2009	2011	2011	2009	2010	2010	2013	2014	2009	2010
-	0.8786	1.3735	3.8851	2.2689	1.6285	2.3006	1.8309	0.9294	1.5939	1.3588	1.3021

Tabela A 5 – Parâmetro *FS* para a humidade relativa (sem falhas)

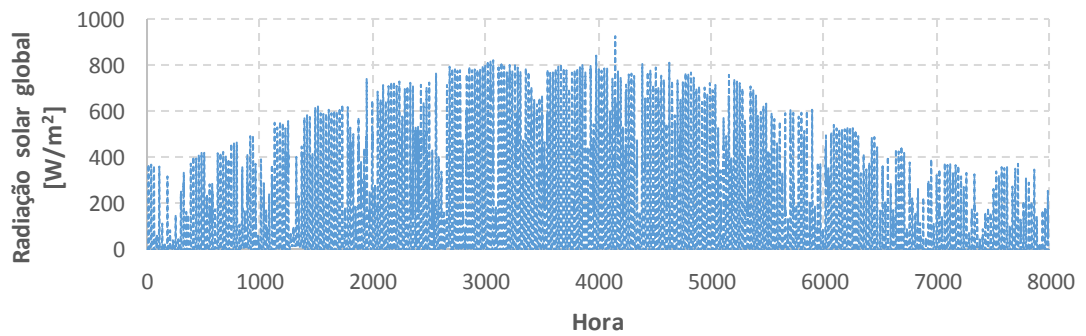
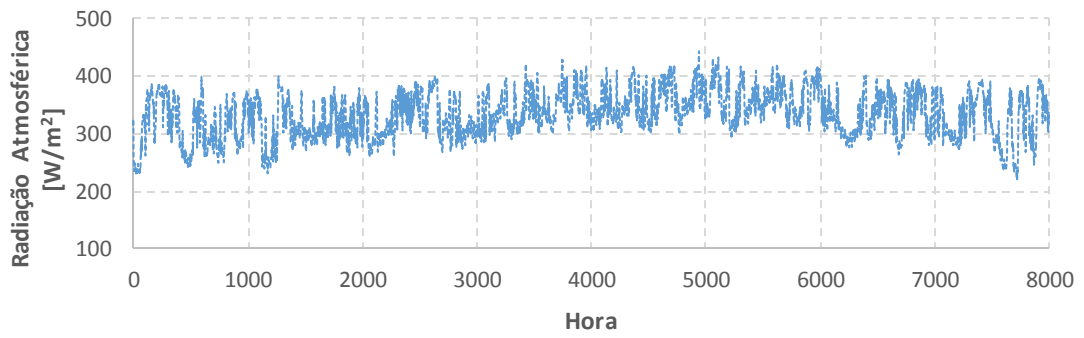
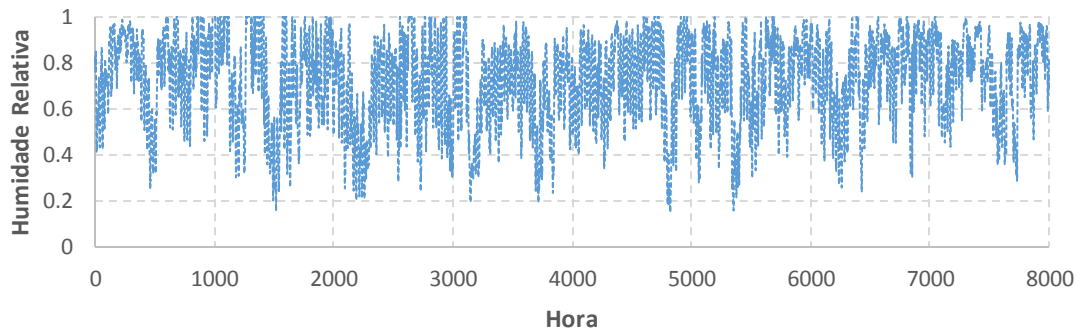
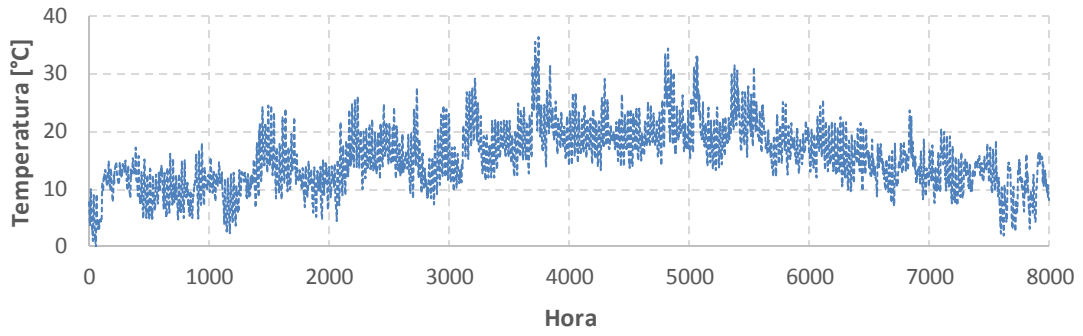
Jan	Fev	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	2010	2011	2013	2013	2010	2012	2009	2010	2010	2011	2011
0.0371	0.0234	0.0309	0.0333	0.0212	0.0251	0.0163	0.0221	0.0211	0.0234	0.0172	0.0177
2012	2013	2010	2012	2011	2014	2011	2011	2009	2009	2010	2009
0.0407	0.0308	0.0371	0.0364	0.0347	0.0453	0.0305	0.0355	0.0443	0.0277	0.0202	0.0193
2014	2015	2014	2009	2010	2011	2009	2012	2011	2014	2012	2014
0.0824	0.031	0.0615	0.0383	0.0371	0.0634	0.0316	0.0499	0.0455	0.0404	0.0354	0.0317
2013	2011	2012	2010	2014	2013	2013	2013	2012	2012	2009	2010
0.0832	0.0406	0.0822	0.0855	0.0539	0.0667	0.0485	0.0524	0.0599	0.041	0.0379	0.041
2011	2014	2009	2011	2009	2009	2014	2014	2013	2013	2014	2012
0.1203	0.1059	0.1038	0.0954	0.0601	0.0716	0.0581	0.0863	0.076	0.0813	0.0742	0.0582
-	2012	2013	2014	2012	2012	2010	2010	2014	2011	2013	2013
-	0.1474	0.1105	0.1167	0.0743	0.0743	0.0787	0.1114	0.1071	0.1495	0.0925	0.0637

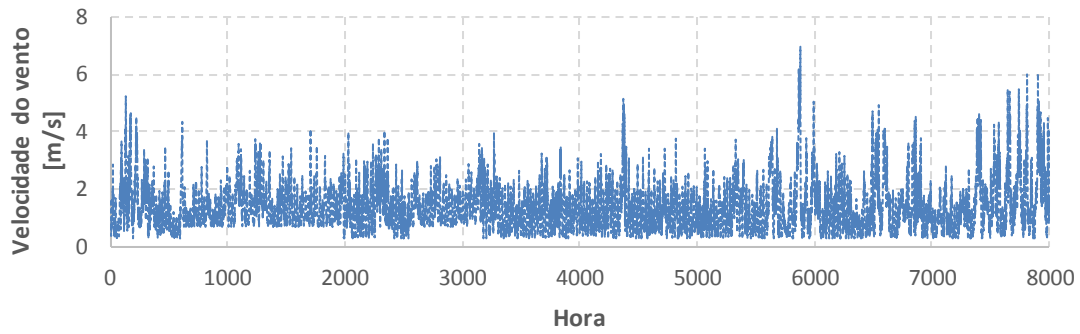
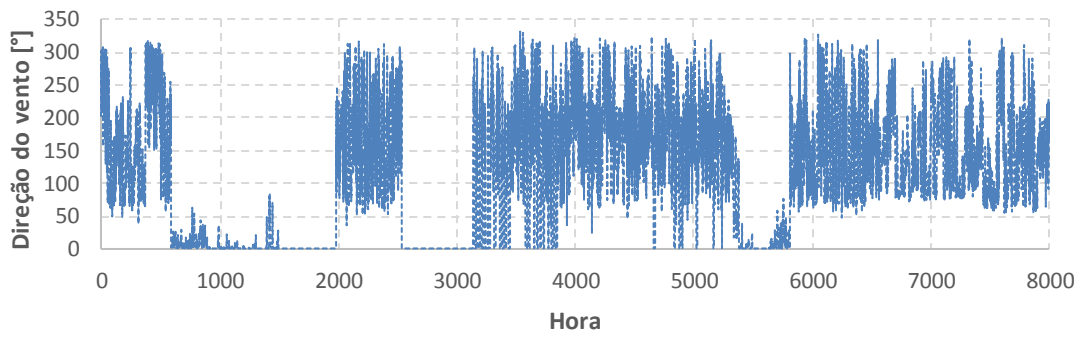
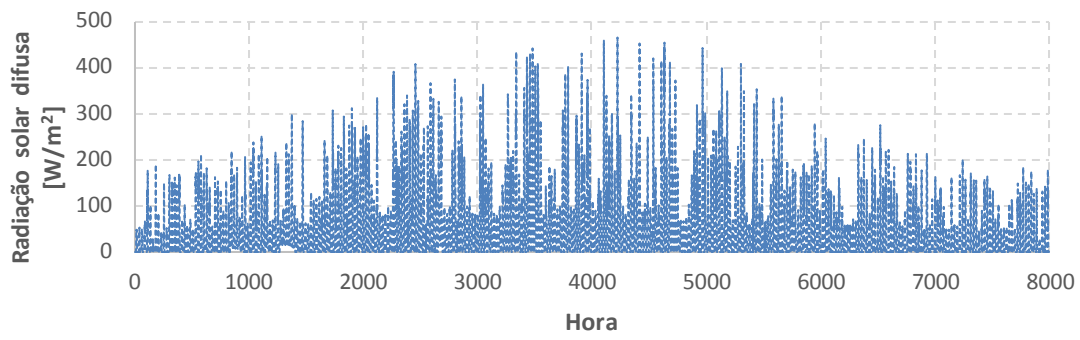
Tabela A 6 – Parâmetro *FS* para a radiação solar global (sem falhas)

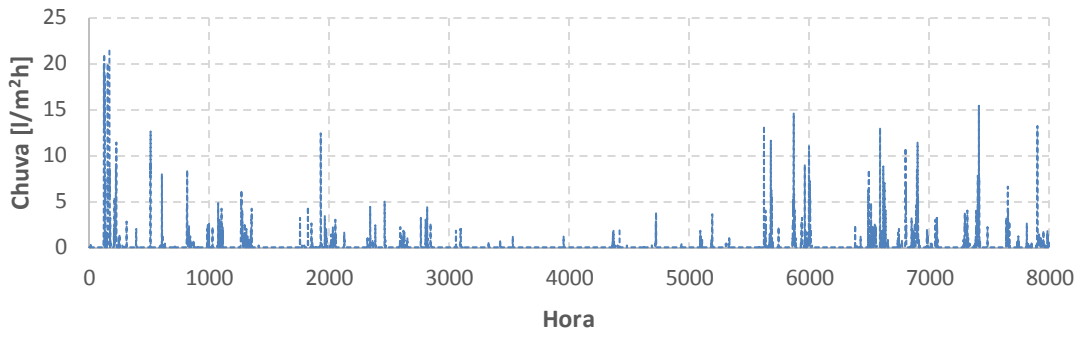
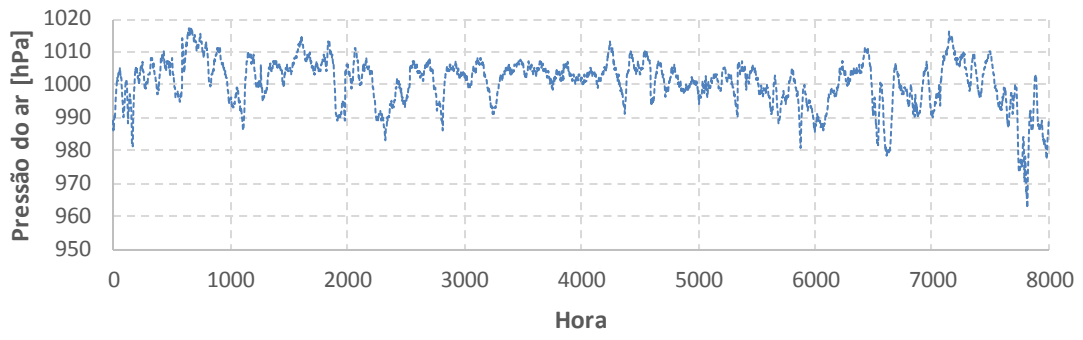
Jan	Fev	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	2011	2014	2009	2009	2014	2011	2014	2011	2009	2011	2011
5.3392	4.7607	6.5412	6.4547	4.6839	8.69	6.3054	4.6986	3.7592	3.5002	3.1521	3.025
2014	2013	2011	2010	2011	2013	2013	2010	2010	2010	2010	2010
11.64	4.816	14.505	16.325	8.7158	11.136	7.7262	5.4625	5.4184	4.6381	5.2432	3.678
2011	2015	2012	2012	2014	2011	2012	2012	2012	2012	2012	2013
13.536	5.8822	19.719	16.645	9.8262	14.350	9.0454	6.2143	7.102	7.9146	5.949	4.136
2013	2014	2009	2013	2010	2010	2009	2009	2013	2014	2013	2009
14.181	15.553	27.450	18.126	11.341	15.561	9.9482	7.1135	13.588	8.1489	10.551	6.665
2012	2010	2013	2011	2013	2009	2010	2013	2009	2013	2009	2012
14.283	15.592	32.081	23.061	11.559	19.033	13.986	7.6563	13.715	9.563	11.058	7.194
-	2012	2010	2014	2012	2012	2014	2011	2014	2011	2014	2014
-	27.964	49.533	30.350	23.088	20.549	21.097	17.325	18.228	19.485	11.402	12.715

ANEXO III – ANOS CLIMÁTICOS

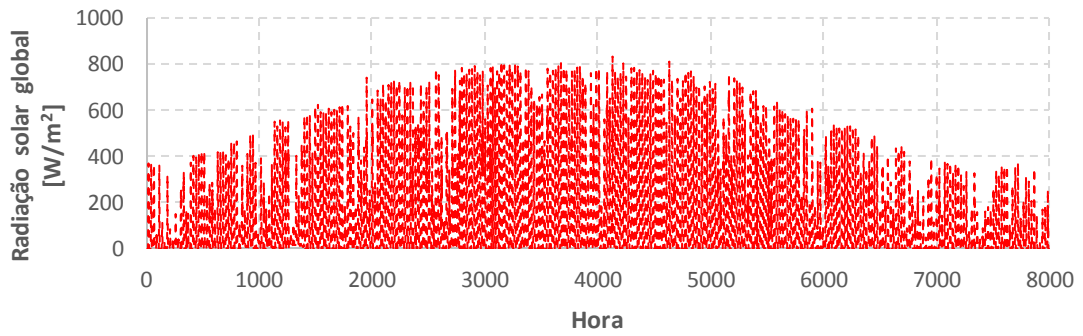
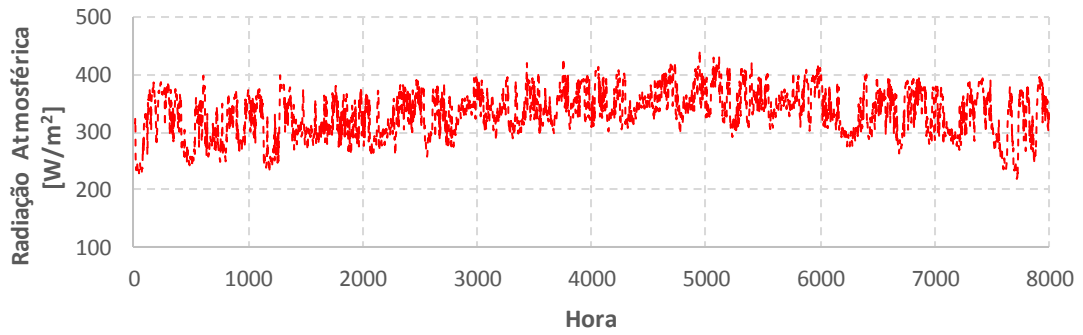
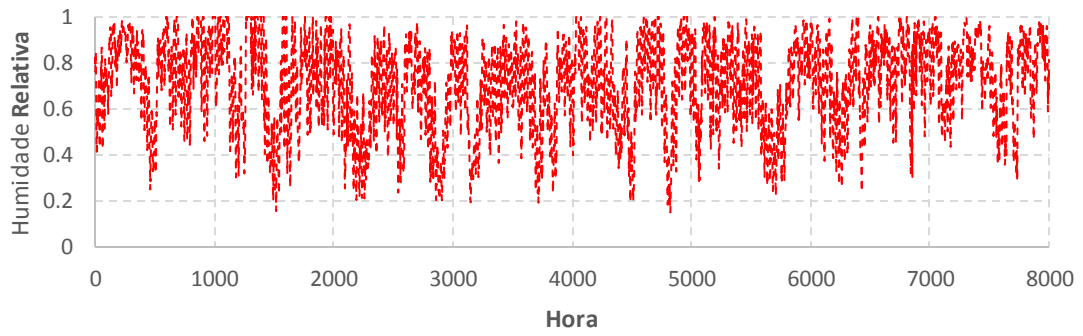
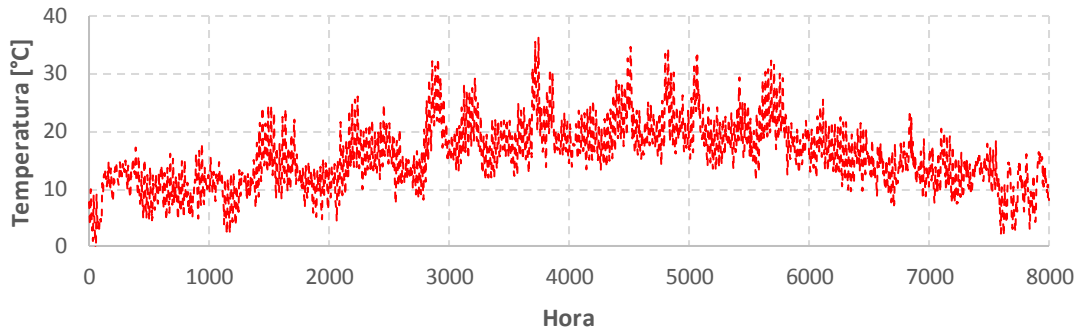
TRY COM FALHAS

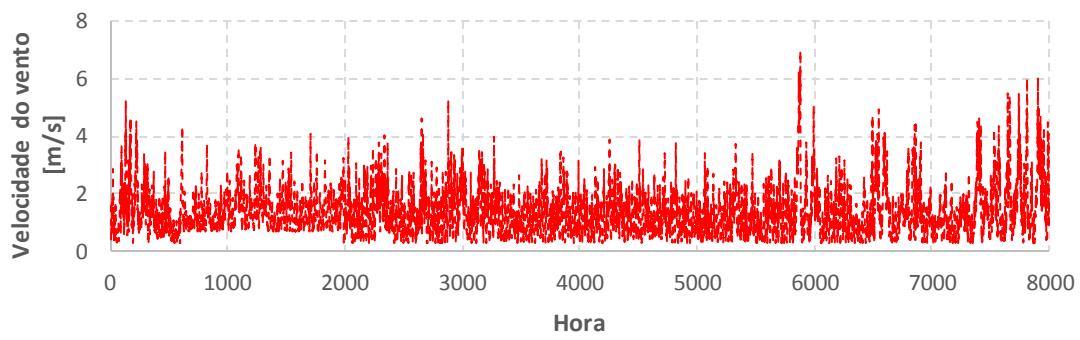
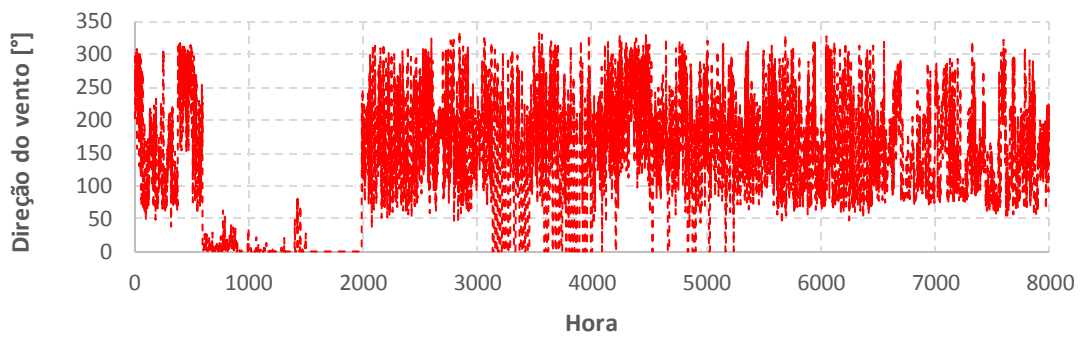
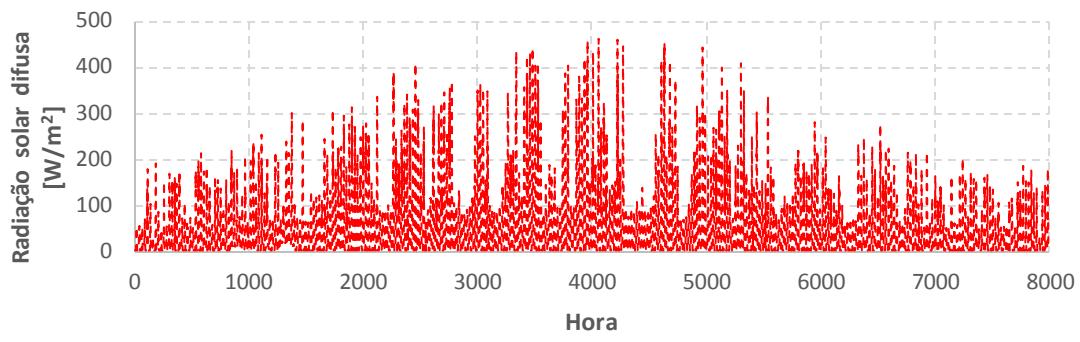


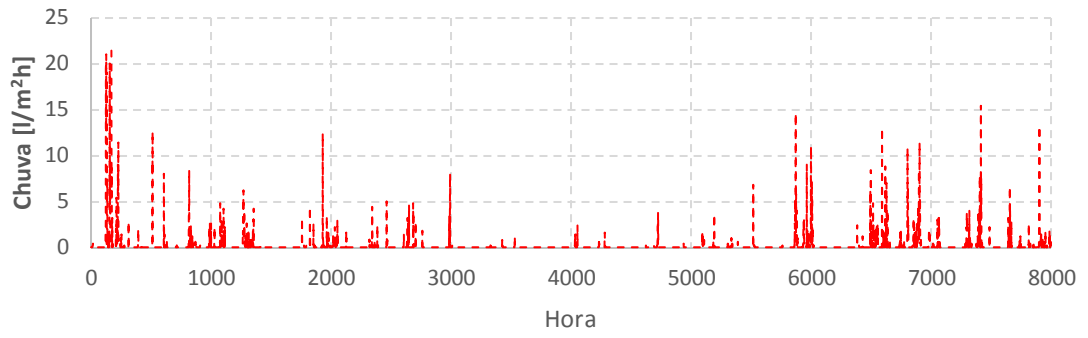
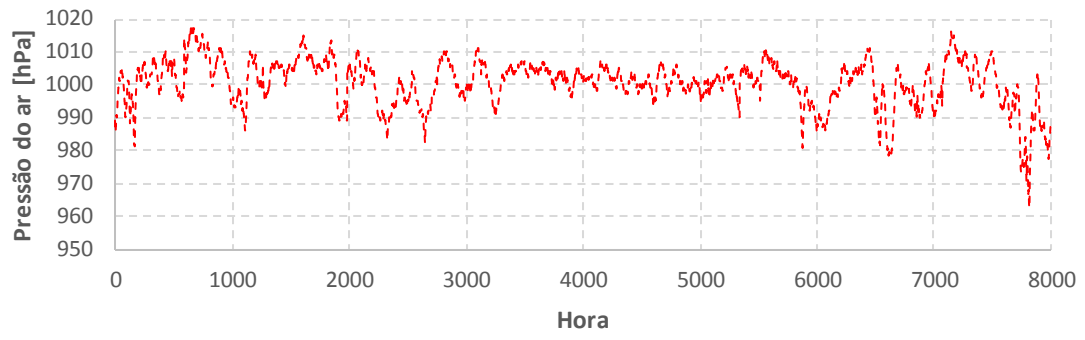




TRY SEM FALHAS







ANO MÉDIO

