

PARÂMETROS CLIMÁTICOS QUE CONDICIONAM O DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DOS EDIFÍCIOS – AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA DA FEUP

TIAGO FILIPE MORAIS RODRIGUES

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

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Co-Orientador: Professor Doutor José Augusto Coelho da Rocha e
Silva

JUNHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

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 - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo 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 electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais e à Ana.

“If you think education is expensive, try ignorance”

Derek Bok

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho deve-se ao apoio e a contribuição de várias pessoas, ao qual quero deixar aqui um profundo agradecimento.

À Professora Doutora Eva Barreira, minha orientadora, pela prontidão, disponibilidade e acompanhamento demonstrado e ao longo do desenvolvimento deste trabalho e ainda pelos conselhos efectuados e leitura atenta do trabalho.

Ao Professor Rocha e Silva, meu co-orientador, pelo apoio e a orientação científica sempre que necessário, principalmente na compreensão dos resultados estatísticos e na leitura dos textos.

Ao ENEAS, por facultar os dados meteorológicos da sua estação e pela disponibilidade para ajudar sempre que necessário.

Aos meus pais, por serem a base do meu sucesso.

À Ana, pela paciência, apoio e amor.

À minha família, principalmente ao meu primo Herculano, por toda ajuda prestada.

A todos os amigos criados nestes cinco anos de curso, pela força e a presença nos momentos mais difíceis.

RESUMO

“Lar doce lar” expressa a importância da nossa habitação, onde nos sentimos confortáveis e que muitas vezes funciona como refúgio dos nossos problemas. Para quem projecta um edifício um dos seus grandes objectivos é assegurar, aos ocupantes, ambientes interiores confortáveis.

As condições de conforto dependem de vários factores e um deles é o clima exterior. Existem variados climas, cada um com características próprias, que levou ao desenvolvimento de diversas estratégias para adaptar o edifício aos efeitos de cada clima. A “cópia” de um edifício para um local diferente pode originar patologias graves e desconforto dos ocupantes.

Actualmente a compreensão do clima ganha outro relevo devido às questões ambientais que hoje são tão relevantes. O conceito edifício sustentável assume cada vez maior importância na indústria da construção, cujos principais objectivos passam por adaptar os edifícios à solicitação climática do local onde se inserem e de diminuir os gastos energéticos através de soluções construtivas adequadas.

Os parâmetros que definem o clima exterior são a temperatura do ar, a humidade relativa, a precipitação, velocidade e direcção do vento, a radiação solar e radiação de onda longa. Estes parâmetros são fundamentais para a simulação numérica do comportamento higrotérmico dos edifícios, que permitem prever o seu desempenho considerando soluções construtivas específicas, um determinado tipo de utilização e uma solicitação climática adequada.

Na fase de dimensionamento das soluções construtivas, o clima a considerar deve ser um clima de referência, que resultou do tratamento estatístico de séries de dados relativamente longas para um determinado local. Infelizmente, no caso de Portugal, apenas para Lisboa existe um ano climático de referência.

Este trabalho corresponde a um primeiro passo para a criação do ano de referência para o clima da FEUP. Além das definições gerais de clima e da avaliação da sua importância no conforto higrotérmico no interior dos edifícios, apresenta também as principais características da Estação Meteorológica do LFC/FEUP e os dados climáticos por ela medidos, de acordo com as indicações da norma EN ISO 15927-1:2002, “*Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 1: Monthly means of single meteorological elements*”. Tenta também desenvolver uma solução para as falhas de dados, resultante de erros de leitura ou problemas na transferência do datalogger para o computador. Essa solução passa pela verificação da viabilidade de colmatar as omissões utilizando dados de outra estação meteorológica, também localizada na FEUP, considerando que as duas estão sujeitas a Climas Urbanos diferentes.

PALAVRAS-CHAVE: Clima, Ano Climático de Referência, EN ISO 15927, Tratamento Estatístico

ABSTRACT

“Home sweet home” expresses the importance of our housing, where we feel comfortable and often works as a refuge for our problems. For anyone who plans a building one of its main goals is to ensure its inhabitants a comfortable indoor environment.

The comfort conditions depend of several factors and one of them is the weather outside. There are several climates, each with its own characteristics, which led to the development of various strategies for adapting the building effects every climate. The "copy" of a building to a different location can cause building pathologies and serious discomfort to its occupants.

Now the understanding of the climate takes on new importance because of the environmental issue that is so relevant today. The sustainable building concept is increasingly important in the construction industry, whose main objectives are to adapt the buildings to the request of the climate where they belong and reduce energy costs through appropriate design solutions.

The parameters that define the climate outside are: the air temperature, relative humidity, precipitation, wind speed and direction, solar radiation and long wave radiation. These parameters are crucial for the numerical simulation of the hygrothermal behavior of buildings, which allow to predict its performance considering a specific design solutions, a particular type of use and a request an appropriate climate.

In the design phase of construction solutions, the climate to consider should be a reference climate, which resulted from the statistical treatment of relatively long data series for a given location. Unfortunately, in the case of Portugal, only one climate reference year exists for Lisbon.

This work is based on a first step toward the development of the creation of the reference year for the climate of FEUP. In addition to the general definitions of climate and its importance in the evaluation of hygrothermal comfort inside buildings, it also presents the main features of the meteorological station of the LFC / FEUP and climatic data measured by it, according to the indications of EN ISO 15927-1:2002, "Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of Climatic Data - Part 1: Monthly means of single meteorological elements". Also tries to develop a solution for gaps in data resulting from reading errors or problems in the transfer of datalogger to computer. This solution is for checking the feasibility of addressing the omission using data from another meteorological station, also located at FEUP, considering that both are subject to different urban climate.

KEYWORDS: Climate, Climate Reference Year, EN ISO 15927, Statistic Treatment

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO	1
1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO	2
1.3. DIVISÃO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
2. O CLIMA E OS EDIFÍCIOS	3
2.1. DEFINIÇÃO DE CLIMA	3
2.2. ESCALA DO CLIMA	4
2.3. CONFORTO HIGROTÉRMICO – A SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS CLIMÁTICOS	5
2.3.1. TEMPERATURA	7
2.3.2. HUMIDADE DO AR	8
2.3.3. PRECIPITAÇÃO	9
2.3.4. VENTO	10
2.3.5. PRESSÃO ATMOSFÉRICA	11
2.3.6. RADIAÇÃO SOLAR	11
2.4. O CLIMA NA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA DOS EDIFÍCIOS	13
2.4.1. HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO	13
2.4.2. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA	14
2.4.3. ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA	16
2.4.4. NORMA EN ISO 15927:2002	17
2.5. CLIMA DO PORTO	19
2.5.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CLIMA URBANO	19

2.5.2. DESCRIÇÃO DO CLIMA DO PORTO.....	23
---	----

3. CARACTERIZAÇÃO DO MICROCLIMA DA FEUP 27

3.1. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA FEUP/LFC 27

3.1.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA..... 27

3.1.2. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS 31

3.1.2.1. Piranómetro 31

3.1.2.2. Anemómetro e Cata-vento 32

3.1.2.3. Sensor de temperatura e humidade relativa 33

3.1.2.4. Pluviómetro..... 34

3.1.2.5. Pirgeómetro 34

3.1.2.6. Datalogger 35

3.2. NORMA EN ISO 15927-1 37

3.2.1. TERMOS E DEFINIÇÕES 37

3.2.2. PERÍODO DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS..... 38

3.2.3. TEMPERATURA DO AR..... 38

3.2.4. HUMIDADE ATMOSFÉRICA 39

3.2.5. VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO 40

3.2.6. PRECIPITAÇÃO 41

3.2.7. RADIAÇÃO SOLAR..... 42

3.2.8. RADIAÇÃO DE ONDA LONGA..... 43

3.3. DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO LFC/FEUP 43

3.3.1. NOTA INTRODUTÓRIA..... 43

3.3.2. TEMPERATURA DO AR..... 44

3.3.3. HUMIDADE ATMOSFÉRICA 46

3.3.4. VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO 48

3.3.5. PRECIPITAÇÃO 52

3.3.6. RADIAÇÃO SOLAR..... 53

3.3.7. RADIAÇÃO DE ONDA LONGA..... 57

4. COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR ENTRE DUAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS 61

4.1. NOTA INTRODUTÓRIA..... 61

4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA	64
4.2.1. ANÁLISE DESCRITIVA	66
4.2.2. ANÁLISE INFERENCIAL	74
4.2.2.1. Nota introdutória	74
4.2.2.2. Teste <i>t</i> de Student	75
4.2.2.3. Quociente da variância.....	77
4.2.3. BEHRENS-FISHER	78
4.3. SÉRIES TEMPORAIS	78
4.3.1. NOTA INTRODUTÓRIA	78
4.3.2. MÉDIA MÓVEL	79
4.4. SÍNTESE CRÍTICA	87
5. CONCLUSÕES	89
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
5.2. TRABALHOS A DESENVOLVER	90
BIBLIOGRAFIA	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Três domínios que constituem o clima (adaptado de Henderson-Sellers e McGuffie, 2005) ..4	4
Figura 2 - Carta Bioclimática de Givoni (Gonçalves e Graça, 2004)6	6
Figura 3 – Diagrama psicrométrico (Rodrigues <i>et al</i> , 2009)9	9
Figura 4 – Velocidade e altura gradiente nas áreas urbanas, suburbana e não urbanas (Rodrigues <i>et al</i> , 2009).....10	10
Figura 5 – Distribuição espectral da radiação solar (adaptado de Global Warming Art, 2011).....11	11
Figura 6 – Radiação solar (Rodrigues <i>et al</i> , 2009)12	12
Figura 7 – Distribuição da temperatura em diferentes áreas (adaptado de EPA, s.d.)20	20
Figura 8 – Absorção da radiação solar em espaços abertos (a), áreas com relação altura distância de edifício aproximadamente 1 (b), áreas de grande densidade (c) (Givoni, 1998).....21	21
Figura 9 – Localização geográfica do Porto (Monteiro, 2008)23	23
Figura 10 – Normal climatológica da temperatura do ar para os anos 1971/2000.....24	24
Figura 11 – Normal climatológica da precipitação para os anos 1971/200024	24
Figura 12 – Estação meteorológica em Cedofeita (Góis, 2005)27	27
Figura 13 – Localização da estação meteorológica do LFC/FEUP (Google Maps, 2011)28	28
Figura 14 – Envolvente da estação meteorológica do LFC/FEUP28	28
Figura 15 – Estação meteorológica do LFC/FEUP29	29
Figura 16 – Página inicial do sítio da estação meteorológica do LFC/FEUP (LFC/FEUP, 2011)29	29
Figura 17 – Página “Histórico” do sítio da estação meteorológica do LFC/FEUP (LFC/FEUP, 2011) ..30	30
Figura 18 – Software da estação meteorológica do LFC/FEUP30	30
Figura 19 – Piranómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP.....31	31
Figura 20 – Anemómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP.....32	32
Figura 21 – Cata-vento da estação meteorológica do LFC/FEUP.....32	32
Figura 22 – Abrigo com sensor de temperatura e humidade relativa da estação meteorológica do LFC/FEUP33	33
Figura 23 – Pluviómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP34	34
Figura 24 – Pirgeómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP.....35	35
Figura 25 – Datalogger da estação meteorológica do LFC/FEUP.....35	35
Figura 26 – Distribuição de frequência acumulada para o ano 200949	49
Figura 27 – Distribuição de frequência acumulada para o ano 201050	50
Figura 28 – Distribuição de frequência acumulada para o ano 201151	51
Figura 29 – Localização da estação meteorológica do ENEAS (Google Maps, 2011)62	62

Figura 30 – Envolvente da estação meteorológica ENEAS (Google Maps, 2011).....	62
Figura 31 – Estação Vaisala do ENEAS (Vaisala, 2011).....	63
Figura 32 – Intervalo de confiança em função da temperatura (Vaisala, 2010)	63
Figura 33 – Janelas principais (MINITAB, 2011).....	64
Figura 34 – Medidas estatísticas (MINITAB, 2011).....	64
Figura 35 – Separador Basic Statistics (MINITAB, 2011)	65
Figura 36 – Separador Time Series (MINITAB, 2011)	65
Figura 37 – Temperatura em Agosto e Setembro em intervalos de 10 minutos.....	66
Figura 38 – Temperatura de 27 de Agosto a 1 de Setembro em intervalos de 10 minutos	66
Figura 39 – Diferença da temperatura entre as duas estações nos meses de Agosto e Setembro.....	67
Figura 40 – Diferença da temperatura entre as duas estações entre 4 de Setembro e 7 de Setembro.....	68
Figura 41 - Correlação entre as duas estações para os meses de Agosto e Setembro	69
Figura 42 – Diferença das temperaturas das duas estações em função da temperatura da estação LFC/FEUP	70
Figura 43 - Temperatura em Fevereiro e Março em intervalos de 10 minutos	70
Figura 44 - Temperatura de 26 de Fevereiro a 3 de Março em intervalos de 10 minutos.....	71
Figura 45 – Diferença da temperatura entre as duas estações nos meses de Fevereiro e Março	72
Figura 46 – Diferença da temperatura entre as duas estações entre 28 de Fevereiro e 3 de Março ..	72
Figura 47 – Correlação entre as duas estações para os meses de Fevereiro e Março	73
Figura 48 – Diferença das temperaturas das duas estações em função da temperatura da estação ENEAS.....	74
Figura 49 – Duas populações independentes (Montgomery <i>et al</i> , 2004)	75
Figura 50 – Separação das componentes que constituem as séries temporais (adaptado de Trochim, 2006).....	79
Figura 51 – Cálculo das médias móveis (Faria <i>et al</i> , 2008).....	80
Figura 52 – Gráfico considerando período igual a 6 e 144 para estação LFC/FEUP em Fevereiro e Março	82
Figura 53 – Média móvel para estação LFC/FEUP em Agosto e Setembro.....	82
Figura 54 – Média móvel para estação ENEAS em Agosto e Setembro.....	83
Figura 55 – Média móvel para estação LFC/FEUP em Fevereiro e Março	83
Figura 56 – Média móvel para estação ENEAS em Fevereiro e Março	84
Figura 57 – Média móvel para estação LFC/FEUP e ENEAS entre 30 de Agosto e 3 de Setembro... ..	84
Figura 58 – Média móvel para estação LFC/FEUP e ENEAS entre 2 de Fevereiro e 5 de Fevereiro .	85
Figura 59 – Resíduos para estação ENEAS em Agosto e Setembro	85
Figura 60 – Resíduos para estação LFC/FEUP em Fevereiro e Março	86

Figura 61 – Resíduos para a estação ENEAS entre 20 de Agosto e 24 de Agosto.....	86
Figura 62 – Resíduos para estação LFC/FEUP entre 6 de Fevereiro e 10 de Fevereiro	87

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 1 – Classificação da precipitação (Ribeiro, 1987).....	9
Quadro 2 – Programas e condições fronteiras (Ramos <i>et al</i> , 2010).....	16
Quadro 3 – Albedo de algumas superfícies (Oke, 1987).....	22
Quadro 4 – Informações dos equipamentos.....	36
Quadro 5 – Definições de parâmetros pela norma EN ISO 15927.....	37
Quadro 6 – Precisão e unidade em que se expressam as médias.....	40
Quadro 7 – Valores de temperatura para o ano 2009 (°C).....	44
Quadro 8 - Valores de temperatura para o ano 2010 (°C).....	45
Quadro 9 - Valores de temperatura para o ano 2011 (°C).....	45
Quadro 10 - Valores de pressão e humidade relativa para o ano 2009.....	47
Quadro 11 - Valores de pressão e humidade relativa para o ano 2010.....	47
Quadro 12 - Valores de pressão e humidade relativa para o ano 2011.....	48
Quadro 13 - Valores de velocidade do vento para os três anos em estudo (m/s).....	49
Quadro 14 – Distribuição de frequências da velocidade por direcção do vento para o ano 2009.....	49
Quadro 15 – Distribuição de frequências da velocidade por direcção do vento para o ano 2010.....	50
Quadro 16 – Distribuição de frequências da velocidade por direcção do vento para o ano 2011.....	51
Quadro 17 – Valores de precipitação para o ano 2009.....	52
Quadro 18 – Valores de precipitação para o ano 2010.....	52
Quadro 19 – Valores de precipitação para o ano 2011.....	53
Quadro 20 – Radiação global no ano 2009 (MJ/m ²).....	54
Quadro 21 – Radiação difusa no ano 2009 (MJ/m ²).....	54
Quadro 22 – Radiação directa no ano 2009 (MJ/m ²).....	54
Quadro 23 – Radiação global no ano 2010 (MJ/m ²).....	55
Quadro 24 – Radiação difusa no ano 2010 (MJ/m ²).....	55
Quadro 25 – Radiação directa no ano 2010 (MJ/m ²).....	56
Quadro 26 – Radiação global no ano 2011 (MJ/m ²).....	56
Quadro 27 – Radiação difusa no ano 2011 (MJ/m ²).....	57
Quadro 28 – Radiação directa no ano 2011 (MJ/m ²).....	57
Quadro 29 - Radiação de onda longa no ano 2009 (MJ/m ²).....	58
Quadro 30 - Radiação de onda longa no ano 2010 (MJ/m ²).....	58
Quadro 31 - Radiação de onda longa no ano 2011 (MJ/m ²).....	59

Quadro 32 – Análise estatística de Agosto e Setembro.....	69
Quadro 33 – Análise estatística de Fevereiro e Março	73
Quadro 34 – Resultados para teste t emparelhado	76
Quadro 35 - Resultados para o teste F	77
Quadro 36 – Valores dos erros da estação LFC/FEUP	81
Quadro 37 – Valores dos erros da estação ENEAS	81

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

θ_{dm} – temperatura média diária [°C]

θ_h – temperatura horária [°C]

θ_i – temperatura de superfície interior do elemento [°C]

θ_{mm} – temperatura média mensal [°C]

θ_{ym} – temperatura média anual [°C]

θ_{sdm} – desvio padrão das temperaturas médias diárias em relação às médias mensais [°C]

φ – humidade relativa [%]

d_y – número de dias do ano observados

d_m – número de dias do mês observados

f – frequência do vento [Hz]

G_s – irradiância [W/m²]

G_l – irradiância de comprimento de onda longo [W/m²]

$\overline{H_l}$ – radiação de comprimento de onda longo [MJ/m²]

$\overline{H_s}$ – radiação [MJ/m²]

h_i – resistência térmica superficial interior [°C/W]

h_m – número de horas observadas

K - coeficiente de transmissão térmica [W/m²°K]

L – radiação [W/m²]

n_d – número de horas observadas

n_m – número de leituras mensal do vento

n_y – número de leituras anual do vento

p_{dm} – pressão parcial de vapor de água média diária [hPa]

p_{mm} – pressão parcial de vapor de água média mensal [hPa]

p_{ym} – pressão parcial de vapor de água média anual [hPa]

p_{sat} – pressão de saturação [hPa]

R_d – precipitação diária [mm]

R_h – precipitação horária [mm]

R_m – precipitação mensal [mm]

T – temperatura [K]

t_e – temperatura exterior do ar [°C]

t_i – temperatura interior do ar [°C]

v_N – velocidade do vento [m/s]

v_{m_m} – velocidade média mensal do vento [m/s]

v_{y_m} – velocidade média anual do vento [m/s]

ARHAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

ENEAS – European Network for Environmental Assessment and Services

FEUP – Faculdade De Engenharia da Universidade do Porto

IP - Internet Protocol

ISO - International Organization for Standardization

LFC – Laboratório de Física das Construções

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

WMO - World Meteorological Organization

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

O desempenho higrotérmico dos edifícios tem vindo a ganhar cada vez mais notoriedade entre a comunidade científica e na indústria de construção, sendo objecto de estudo cada vez mais frequente pelas implicações que tem, quer ao nível económico quer ao nível da satisfação do utilizador.

O desempenho higrotérmico é influenciado por vários factores, entre os quais o clima exterior. Os critérios construtivos não podem ter um carácter global, sendo necessário interligá-los com a solicitação climática exterior para que o ambiente interior seja o mais próximo possível das condições de conforto e se previnam a degradação dos elementos construtivos, a insalubridade no interior e custos energéticos elevados. Os problemas que advêm de não se considerar o clima do local na concepção dos edifícios podem ser bastantes graves e a sua resolução pode corresponder a trabalhos com custos significativos.

No início e meados século XX, os edifícios eram projectados para terem uma aparência muito semelhante, recorrendo a técnicas construtivas similares independentemente das regiões climáticas onde se iriam inserir. Como consequência, para que fosse garantido conforto térmico a utilização de aparelhos de ar-condicionado em clima quente, ou equipamentos de aquecimento em climas frios provocou um enorme consumo de energia. Para ultrapassar este problema, foram construídas inúmeras centrais termoeléctricas e nucleares, o que originou degradação acentuada do meio ambiente. Isto fez que fosse dada mais importância a fontes alternativas de energia e fossem projectados edifícios com maior eficiência energética, que aproveitem os recursos naturais e sejam adequados ao clima local.

A importância do conhecimento do clima do local para a concepção dos edifícios já é mencionada há muitos anos. O Arquitecto romano Vitruvius já referia no seu livro que o projecto de um edifício deve ser adequado ao clima em que se insere, afirmando que é irrefutável a diferença que tem que existir entre os edifícios em Roma e no Egipto.

Os programas de simulação higrotérmica garantiram um avanço significativo nesta área. A verificação da existência de humidades, de pontes térmicas ou a comparação de elementos construtivos para encontrar a melhor solução é muito mais rápida e prática. Estes programas têm como “input” o clima exterior do local, que quanto mais se aproximar do real mais viável torna a simulação.

Estudos foram e continuam a ser feitos para a criação de um ano climático de referência, de extrema importância para as simulações. A norma ISO 15927 apresenta um modelo de tratamento de dados climáticos de maneira a ser obtido um ano de referência para a concepção e avaliação do desempenho higrotérmico dos edifícios.

1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO

Este trabalho corresponde a um primeiro passo para a criação de um ano climático de referência utilizando os dados climáticos fornecidos pela estação meteorológica do LFC/FEUP. Os principais objectivos são:

- Conhecer as diferentes definições utilizadas na área de climatologia e avaliar qual a importância dos parâmetros climáticos no desempenho higrotérmico dos edifícios;
- Explorar as potencialidades da estação meteorológica do LFC/FEUP;
- Estudar a norma EN ISO 15927:2002 – “*Higrothermal performance of building – Calculation and presentation of climate data*”;
- Tratar os dados fornecidos pela estação meteorológica do LFC/FEUP, relativos a três anos, de acordo com a EN ISO 15927-1:2002;
- Comparar os valores obtidos por duas estações meteorológicas localizadas na FEUP (LFC/FEUP e ENEAS) e verificar se existe uma relação entre ambas, para no caso de falhas ou de erros de medição, poderem ser substituídos os dados inexistentes.

1.3. DIVISÃO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho é dividido em cinco capítulos:

- O capítulo 1 expõe o enquadramento, os objectivos e a estrutura do trabalho;
- O capítulo 2 define os conceitos envolvidos nos estudos do clima urbano, a sua influência no conforto higrotérmico e da sua importância nos programas de simulação. Por fim, caracteriza o clima do Porto;
- O capítulo 3 descreve a estação meteorológica do LFC/FEUP e os seus equipamentos. São também apresentados os dados climáticos por ela registados, de acordo com a norma EN ISO 15927-1:2002;
- O capítulo 4 descreve a estação meteorológica do ENEAS e o seu equipamento. Posteriormente é feita a comparação entre os parâmetros medidos pelas duas estações recorrendo a vários métodos estatísticos;
- O capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e sugerem-se perspectivas de investigação futura.

2

O CLIMA E OS EDIFÍCIOS

2.1. DEFINIÇÃO DE CLIMA

Clima, meteorologia e tempo são expressões usadas considerando que o seu significado é igual, mas na realidade correspondem a conceitos diferentes.

Segundo Givoni (1978) o clima define-se pelas variações dos seus parâmetros isolados e pela sua interação. Os elementos que usamos para definir o clima são os que afectam mais o nosso quotidiano e o nosso bem-estar: temperatura do ar, humidade, precipitação, radiação solar e vento. Alguns autores definem clima como o tempo meteorológico médio para uma dada região e período de tempo (em geral de trinta anos).

O tempo é definido pelo estado passageiro da atmosfera num determinado momento e lugar que é caracterizado por diferentes elementos (Foucault, 1996). De modo sintético, o meteorologista L.F. Richardson rapidamente diferencia as duas expressões afirmando “Clima é o que tu esperas, tempo é o que obténs” (Taylor, 2005).

Meteorologia, segundo Góis (2002), é a sucessão dos estados termo-hidrodinâmicos instantâneos da atmosfera considerados isoladamente (condições meteorológicas). Tal como Foucault (1996) afirma “meteorologia é a ciência que estuda o tempo que faz e prevê as suas modificações”.

O que torna tão complexo o clima e os ambientes meteorológicos não são apenas a complexidade dos parâmetros e a sua variedade, mas também as interações entre eles. É importante compreender os parâmetros quer individualizados quer englobados no seu conjunto, para interpretar a importância de cada um dentro do sistema e perceber quais os factores que estabilizam ou que alteram o clima (Taylor, 2005). Por isso é que para a compreensão do clima e para a sua previsão é necessário ter grandes conhecimentos nas áreas da Física e Estatística.

Os estudos do clima privilegiam a relação com a actividade humana e com os elementos do meio natural. Estes estudos foram-se alterando com o tempo. No século XVIII a “teoria dos climas” foi largamente aceite pelos cientistas. Esta teoria relacionava o clima com as aptidões dos povos. Climas quentes favoreceriam a sensualidade, a indolência e a preguiça, enquanto os climas frios a coragem e o trabalho (Baud *et al*, 1999). Na actualidade o estudo do clima baseia-se em dois grandes temas: interação entre o clima e os seres humanos e mudanças climáticas.

O clima altera-se conforme a posição geográfica. Esta variação do clima deve-se aos factores geográficos específicos desse local, que o diferenciam de outros. A latitude, a longitude, a distância ao mar, a vegetação, a altitude são exemplos desses factores. O tempo também provoca variações no clima, como as mudanças de estação, de ano, de décadas ou ainda numa escala de tempo mais longo.

As variações estatísticas mais significativas das médias do clima ou a sua variabilidade, persistente durante décadas ou mais, são referidas como “mudanças climáticas” (IPCC, 2001).

A previsão do tempo para um lugar e para uma escala de tempo de poucos dias é complexa; envolve grandes recursos, mas hoje em dia as previsões fenomenológicas “correctas” a cinco dias são habituais. Existe uma imprecisão considerável nestas previsões, mas cada vez mais existe um grande esforço para a contrariar: modelos melhorados, dados com tratamento mais adequados e computadores com processadores mais rápidos. Contudo, a previsão a longo prazo para um lugar é impossível devido à forte não-linearidade dos fenómenos, podendo apenas ser dadas tendências (Taylor, 2005).

2.2. ESCALA DO CLIMA

A escala de abordagem é um aspecto fundamental. Para definir o clima é necessário estabelecer a área, o período de abrangência e as técnicas e métodos utilizados no estudo. Henderson-Sellers e McGuffie (2005) associaram o clima a três domínios essenciais: domínio espacial, temporal e da percepção humana, mas os seus intervalos são arbitrados e podem-se fazer subdivisões (figura 1). Estas divisões não têm o objectivo de criar limites rígidos, mas realçar a importância da relação entre os vários domínios.

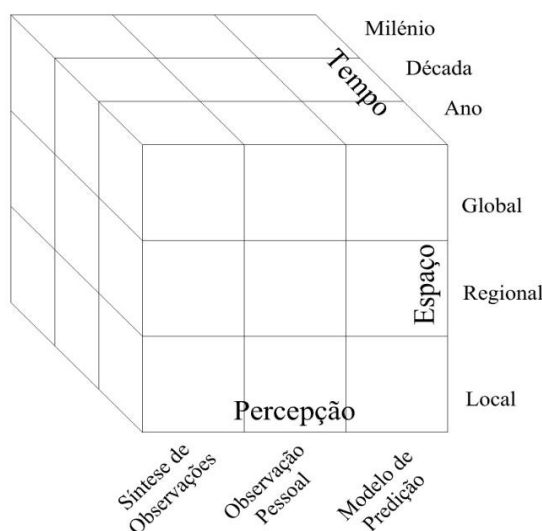


Figura 1- Três domínios que constituem o clima (adaptado de Henderson-Sellers e McGuffie, 2005)

Apesar de ser um aspecto importante verificam-se divergências na literatura sobre este assunto. A classificação dos climas no domínio espacial tem divergido ao longo do tempo, tornando-se importante em cada estudo distinguir e caracterizar cada nível. Neste momento existe um consenso alargado em relação às definições das escalas de análise fundamentais - macroclima, mesoclima, topoclima e microclima - dependente da área e/ou condições físico-geográficas em estudo (Góis, 2002):

- O macroclima, também designado por clima zonal ou sinóptico, refere-se aos valores médios do conjunto das condições meteorológicas que ocorrem numa área de vários Km².
- O mesoclima, ou clima regional, é o clima gerado por influência de um acidente geográfico de grandes dimensões, por exemplo montanhas.

- O topoclíma, ou clima local, é definido para áreas que variam entre uma centena de m² e a escassa dezena de Km². As condições do relevo local condicionam o clima. O uso de solos, a presença ou a proximidade de cursos de água, a orientação da encosta são características topográficas que definem o topoclíma.
- O microclima abrange áreas reduzidas e reflecte a influência dos elementos urbanos e do seu ordenamento: edifícios, ruas ou mesmo uma divisão da casa.

Este trabalho tratará do clima urbano e, em particular, do microclima urbano. Fala-se em clima urbano quando o conjunto das observações climáticas respeita a uma determinada zona urbanizada.

2.3. CONFORTO HIGROTÉRMICO – A SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS CLIMÁTICOS

Rodrigues *et al* (2009) afirma que a noção de conforto térmico é subjectiva, mas que se pode definir como sendo o estado do indivíduo que não experimenta desagrado ou irritação que o distrai das suas actividades. Esta condição verifica-se quando há o equilíbrio entre o ambiente e o sistema termo-regulador do organismo. A subjectividade da definição torna impossível especificar um ambiente térmico que satisfaça todos os indivíduos. Face a esta dificuldade a norma ISO 7730:2005 considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando pelo menos 90% dos ocupantes se sente confortável. Por isso os edifícios devem satisfazer os critérios de conforto, tal como qualquer outro produto, cujo o objectivo final deve ser visar a satisfação do cliente (Santos, 1989).

O equilíbrio entre o ambiente e o sistema termo-regulador resulta de um balanço térmico que depende de factores pessoais: actividade metabólica e vestuário; e factores ambientais: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade relativa. Os factores ambientais estão dependentes da qualidade da envolvente dos edifícios.

Na concepção de um edifício, certas estratégias influenciam significativamente o desempenho em termos de conforto térmico no seu interior. O edifício tem que se adaptar ao clima para o consumo energético ser menor, pois este depende das condições de conforto pretendidas pelos ocupantes. As estratégias que tiram partido das condições climáticas de cada local para a concepção do edifício, adaptando correctamente o edifício ao clima, designam-se por Estratégias Bioclimáticas (Gonçalves e Graça, 2004).

A temperatura e a humidade relativa são dois factores importantes no conforto. A temperatura devido ao seu papel nos fluxos energéticos e a humidade relativa devido à intensidade da evaporação depender largamente da diferença entre a pressão de vapor na superfície da pele e da pressão de vapor no ar.

A Carta Bioclimática de Givoni (figura 2) é o primeiro passo na definição de estratégias para garantir o conforto interior através do conhecimento dos valores da temperatura e humidade relativa verificadas no exterior. A área em que este conjunto de valores se insere dá indicação do tipo de clima do local e do tipo de estratégias mais adequadas.

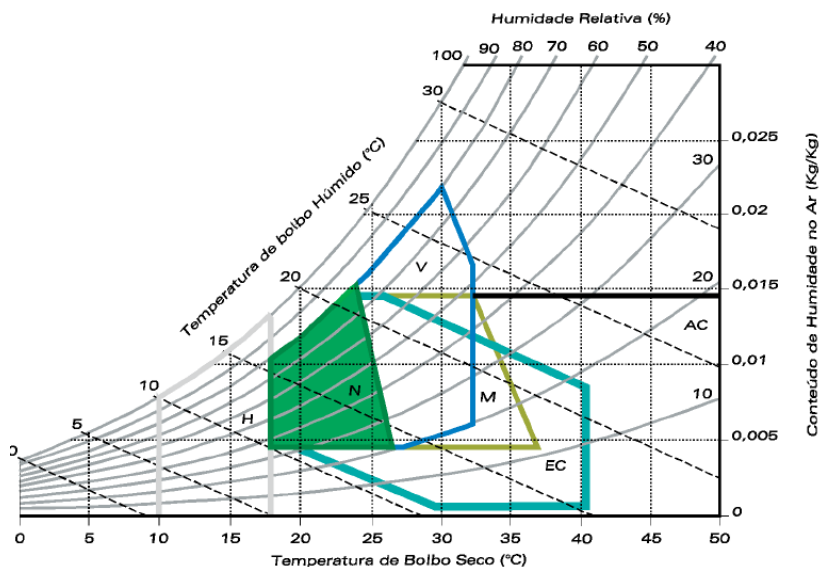


Figura 2 - Carta Bioclimática de Givoni (Gonçalves e Graça, 2004)

A zona H corresponde a climas de Inverno agressivo e as estratégias usadas para garantir o conforto interior são de aquecimento: restringir a perdas por condução com a aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos e restringir as perdas por infiltração e o efeito da acção do vento com a adopção de caixilharias de janelas com uma vedação mais eficiente, uma protecção aos ventos dominantes através de vegetação e com a escolha de uma boa localização.

A zona V, EC, AC e M são climas que necessitam de arrefecimento, sendo necessário restringir os ganhos solares. Na zona V, que corresponde a climas de tipo tropical e equatorial ou temperado de influência marítima, a estratégia é promover a ventilação natural. A zona EC corresponde a climas temperados secos e de regiões desérticas áridas e muito secas, devendo promover-se o arrefecimento por evaporação. Na zona M a estratégia passa por promover o arrefecimento por radiação e corresponde a climas quentes de influência continental de elevadas amplitudes térmicas.

A zona N é a zona de conforto, em que as condições do clima exterior se aproximam das condições de conforto. É necessário ter em atenção à existência de ganhos solares excessivos. Na zona AC não é possível obter conforto térmico sem recurso à utilização de meios mecânicos não passivos.

Mahoney, Koenigsberger e Evans (ONU, 1970) no Método dos Quadros de Mahoney, adoptaram um conceito adaptativo de zona de conforto, no qual as temperaturas desejáveis diferem do dia para a noite, dependendo da humidade relativa média mensal e da temperatura média anual do ar exterior. Anos mais tarde os estudos de campo de Humphreys (1978) concluíram que as temperaturas ideais no interior dos edifícios dependem significativamente das temperaturas médias mensais exteriores. Actualmente existem normas internacionais relativas ao conforto térmico. As mais utilizadas são a ASHRAE 55-2004 (ANSI/ASHRAE, 2004) e a ISO 7730 (CEN, 2005).

Este trabalho ir-se-á focar nas condições climáticas exteriores, que se baseiam nos dados meteorológicos registados no local e que definem o tempo meteorológico. Estes dados são indispensáveis na fase do projecto para se assegurar um desempenho correcto das funções do edifício (Rodrigues *et al*, 2009).

As condições climáticas no interior serão sempre condicionadas pelo exterior. O facto de um edifício apresentar um desempenho excepcional num local não significa que terá o mesmo resultado noutra,

sendo, por isso, obrigatório o estudo do clima do local. Os parâmetros climáticos que mais influenciam o desempenho higrotérmico dos edifícios para Rodrigues *et al* (2009) são a temperatura, a humidade, a velocidade do ar e a radiação solar. Givoni (1978) acrescenta a precipitação à lista anterior. Iremos abordar ainda a pressão atmosférica e a direcção do vento.

O Instituto de Meteorologia e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil têm vindo a desenvolver estudos nesta área e estabeleceram dados climáticos de referência para o projecto dos edifícios. Outra base de valores “normalizados” para dados climáticos é o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, que estabelece requisitos de qualidade para edifícios sem sistema de climatização, ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos (Rodrigues *et al*, 2009).

2.3.1. TEMPERATURA

A temperatura apresenta variações diárias, mensais, anuais ou mesmo sazonais. Em Portugal a escala mais utilizada é a escala Celsius (°C). Segundo Peixoto (1987) este é o parâmetro climático mais usado para descrever o clima devido à sua importância, mas devem-se incluir outros parâmetros para classificação dos climas. A temperatura influencia todas as actividades humanas, processos biológicos, e os seus valores extremos condicionam a vida animal e vegetal.

Sendo Portugal um país de clima temperado com duas estações bem marcadas, os dados de Inverno e de Verão devem ser tratados em separado. Para as duas estações devem ser analisadas as temperaturas exteriores de projecto, acrescentando, no Inverno, o número de graus-dias de aquecimento e, no Verão, o valor médio da amplitude térmica para o mês mais quente (Rodrigues *et al*, 2009).

Rodrigues *et al* (2009) apresenta as seguintes definições para estes parâmetros:

- Amplitude térmica é a diferença entre a temperatura máxima e mínima durante o intervalo de tempo em questão. Normalmente a temperatura apresenta o seu máximo duas horas depois do meio-dia solar e o seu mínimo pouco antes de o sol nascer;
- Temperatura exterior de projecto no Inverno é a temperatura exterior que não é ultrapassada inferiormente, em média, durante mais do que 2,5% do período correspondente à estação de aquecimento, sendo portanto a temperatura convencionada para o dimensionamento corrente das instalações de aquecimento;
- Temperatura exterior de projecto no Verão é a temperatura exterior que não é excedida, em média, durante mais que 2,5% do período correspondente à estação de arrefecimento, sendo portanto a temperatura convencionada para o dimensionamento corrente das instalações de arrefecimento;
- Graus-dias de aquecimento (base de 20°C) é o número que caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento e que é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base, 20°C na regulamentação térmica existente, e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento.

A temperatura é medida com termómetros ou com sensores. Nas estações é necessário garantir o bom contacto do equipamento de medição com o ar e protegê-lo das influências directas do exterior, por exemplo, de radiações. Por este motivo, o aparelho é colocado em abrigos (Foucault, 1996).

Na definição apresentada pela norma EN ISO 15927:2002 descrita no §2.4.3, abrigo corresponde a um recipiente com paredes em camadas duplas, projectado para proteger o aparelho de medição da incidência directa da radiação solar, da precipitação e condensação, do solo e de outros objectos

circundantes, proporcionando uma eficaz circulação do ar. A cor deve ser branca para minimizar a absorção de radiação e aumentar a reflectividade (CEN, 2002).

2.3.2. HUMIDADE DO AR

Apresenta-se como um factor importante na sensação de conforto térmico. O teor de humidade baixo aumenta a electricidade estática, aumenta a desidratação da pele e das mucosas e cria uma sensação de frio, com a temperatura a parecer inferior à real, devido ao aumento da condutibilidade térmica do ar.

A humidade do ar no comportamento higrotérmico de edifícios em climas quentes e húmidos assume mais importância do que em climas temperados, mas a sua consideração não deixa de ser fundamental, devido à sua relação com a ocorrência de condensações e para o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar em período de Verão (Rodrigues *et al*, 2009).

Humidade absoluta do ar é a quantidade de vapor de água que um determinado volume de ar contém. Esta quantidade atinge o seu limite superior quando iguala o valor máximo que a mistura pode conter à temperatura em questão e entra num estado designado por saturação. Um acréscimo desse valor leva à mudança de estado com a formação de gotículas de água.

Na prática considera-se que a massa de ar seco normalmente não varia. Há vantagens em apresentar a relação entre a quantidade de vapor de água existente num m^3 de ar húmido e o máximo que poderia conter à mesma temperatura e pressão. Esta relação designa-se por humidade relativa. A humidade relativa varia conforme a temperatura. A humidade relativa máxima obtém-se para a temperatura mínima diária e a humidade relativa mínima para a temperatura máxima. Para medição do valor da humidade os dois aparelhos mais usados são o higrómetro e o psicómetro (Foucault, 1996).

O higrómetro é constituído por materiais com a capacidade de absorver a humidade do ar, variando o seu comprimento em função da humidade, quanto maior a humidade mais este se alonga. O material é ligado a uma agulha por intermédio dum aparelho de amplificação que dá a indicação da humidade. O higrómetro também pode ser constituído por um material cuja resistência eléctrica varia com a humidade. Normalmente utilizam-se eléctrodos metálicos revestidos por materiais muito higroscópicos, o que permite determinar as variações de humidade (Foucault, 1996).

O psicómetro é constituído por dois termómetros, um seco e outro húmido. O termómetro de bolbo seco é um termómetro sensível e vulgar, que indica a temperatura real do ar no momento da observação. No termómetro de bolbo húmido, a evaporação da água que humedece o tecido que envolve o reservatório que o contém, provoca a saturação e a consequente diminuição da temperatura até um valor de equilíbrio, a que se designa temperatura de bolbo húmido. Quanto mais seco se encontrar o ar, mais rápida será a evaporação da água do termómetro molhado. A diferença entre a temperatura do termómetro seco e a do molhado possibilita o cálculo da humidade relativa. Isto é explicado porque a evaporação da água consome calor, provocando uma descida de temperatura (Foucault, 1996).

A humidade relativa do ar pode ser obtida a partir de diagramas psicrométricos (figura 3), que permitem determinar, para um dado estado, os valores das grandezas que definem o ar húmido. A partir do conhecimento de duas grandezas permite determinar as variações nas grandezas causadas por transformações no ar húmido. Por exemplo, conhecendo-se a temperatura seca e húmida é possível obter a humidade relativa, o teor de humidade, a temperatura de ponto de orvalho e a pressão do vapor de água.

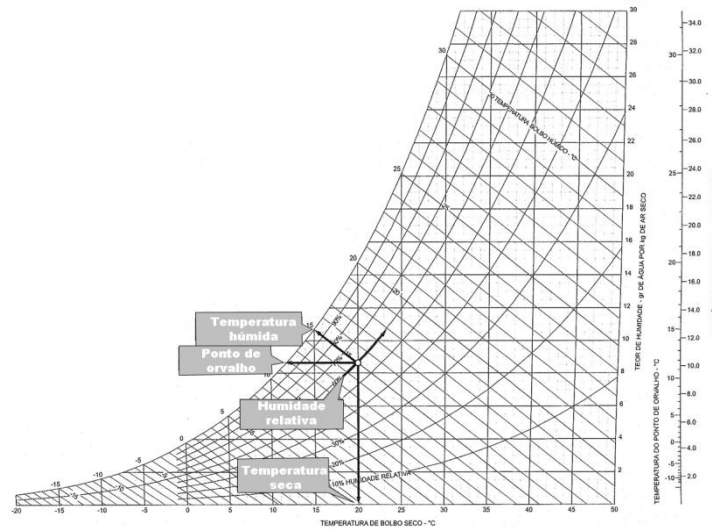


Figura 3 – Diagrama psicrométrico (Rodrigues *et al*, 2009)

2.3.3. PRECIPITAÇÃO

Segundo Ribeiro (1987) precipitações são todas as águas meteorológicas que caem sobre a Terra, independentemente do seu estado, sendo classificadas dependendo da sua velocidade e intensidade (quadro 1).

Quadro 1 – Classificação da precipitação (Ribeiro, 1987)

Tipo de precipitação	Intensidade (mm/h)	Diâmetro médio (mm)	Velocidade de queda para o diâmetro (m/s)
Orvalhada	0,25	0,2	-
Chuva ligeira	1 a 5	0,45	2,0
Chuva forte	15 a 20	1,5	5,5
Tempestade violenta	100	3,0	8,0

Intensidade de precipitação é a relação entre a altura de precipitação e o intervalo de tempo em que ocorreu; exprime-se em mm por hora ou por minuto (Lencastre e Franco, 1992). A altura de precipitação é a altura relativamente a um dado tempo, medida na vertical, da lâmina da água horizontal que se acumularia na superfície se não houvessem perdas de qualquer natureza. Se o tempo considerado for de um ano o valor designa-se por pluviosidade da região.

A precipitação é medida por udómetros ou pluviómetros. Um recipiente com uma dada superfície de recepção pode ser considerado um pluviómetro se reter a água da chuva, mas para poder fazer comparações é necessária a utilização de pluviómetros normalizados.

O pluviómetro é constituído por um dispositivo de captação onde é recolhida a precipitação. A água é depois conduzida a uma câmara cilíndrica, onde a sua altura é registada. A água no fim deve ser recolhida para um recipiente graduado para controlo de dados globais, devido aos erros que ocorrem em precipitações de grande intensidade (Lencastre e Franco, 1992).

Para uma boa medição é necessário: garantir o nivelamento da abertura do pluviómetro - cada grau de inclinação incrementa um erro de medida de 1% - e minimizar a acção do vento, sendo esta a principal causa de erro das medições - o aumento da velocidade do ar e a formação de turbilhões na vizinhança do udómetro altera a trajectória das partículas, originando um erro por defeito na altura de precipitação (Ribeiro, 1987).

2.3.4. VENTO

O vento é o movimento do ar em relação à Terra, criado por diferenças de pressões na atmosfera devido ao aquecimento solar diferencial à sua superfície (Holmes, 2001).

A rugosidade da superfície é o parâmetro que mais influencia a velocidade do vento (figura 4). Junto ao solo a velocidade do vento é menor, aumentando com o aumento da altura ao solo. A área acima do solo onde a influência do atrito contribui para a redução da velocidade do vento designa-se camada limite atmosférica e a sua dimensão vertical designa-se altura gradiente (Dyrbye e Hansen, 1997).

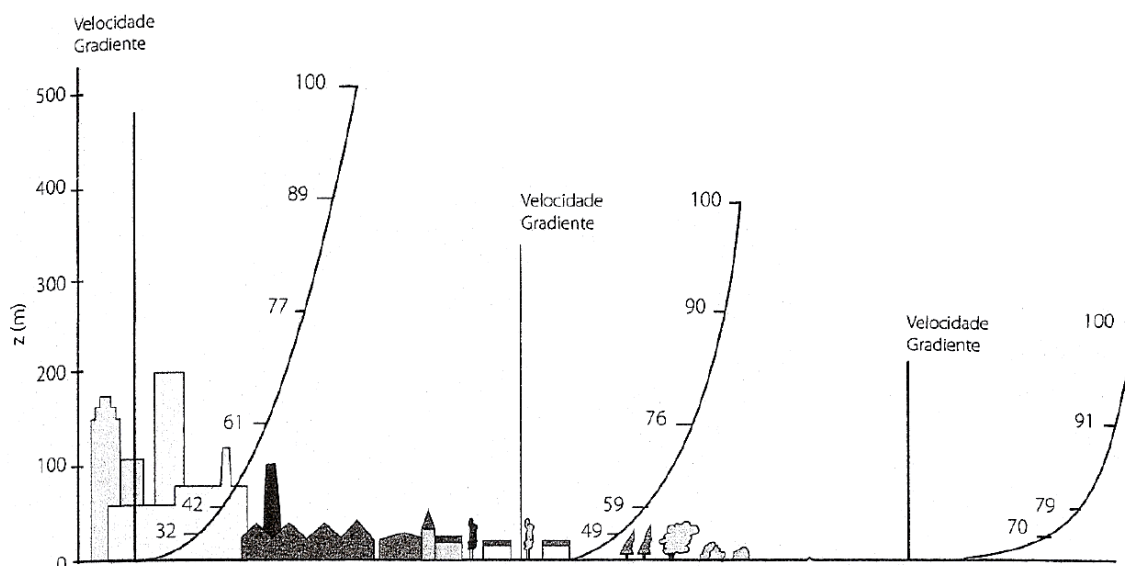


Figura 4 – Velocidade e altura gradiente nas áreas urbanas, suburbana e não urbanas (Rodrigues *et al*, 2009)

Além deste parâmetro outros factores condicionam a velocidade e orientação do vento, como a proximidade do mar e a topografia o que torna difícil obter de modo indirecto os parâmetros exigidos para a criação de um projecto. As medições de campo, posteriormente tratadas estatisticamente, são por isso indispensáveis (Rodrigues *et al*, 2009).

A velocidade do vento e sua direcção têm importância considerável na fase de projecto, porque influenciam na escolha do tipo de ventilação dos edifícios, no seu comportamento térmico, no controle de humidades e nas solicitações que a estrutura sofre (Rodrigues *et al*, 2009).

A medição da velocidade é feita através de anemómetros, constituídos por hélices ou molinetes de conchas que rodam conforme a velocidade do vento e exprime-se em m/s, km/h ou em nós. Também pode ser medido com sensores de ultra-sons.

A direcção do vento é medida por um catavento e pode exprimir-se em oito, dezasseis ou trinta e dois rumos da rosa-dos-ventos ou em graus a partir do Norte Geográfico.

2.3.5. PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Pressão atmosférica é o peso de uma coluna de ar. O peso do ar, devido aos gases que compõem a atmosfera, varia na vertical diminuindo à medida que se sobe em altitude, uma vez que a massa de ar sobrejacente é menor, diminuindo a quantidade de moléculas e átomos a exercer peso e a comprimir. É incorrecto comparar pressões atmosféricas medidas a altitudes diferentes (Foucault, 1996).

O barómetro é o equipamento para a medição da pressão atmosférica. O princípio de funcionamento do aparelho consiste no equilíbrio do peso da coluna de ar atmosférico com o peso da coluna de mercúrio ou de outro líquido. A preferência pelo mercúrio deve-se ao facto da sua massa volúmica ser mais elevada do que a dos outros líquidos, o que torna o aparelho mais compacto.

No barómetro aneróide a coluna de mercúrio é substituída por uma caixa metálica, vazia e estanque, que se distende ou comprime, por acção da pressão atmosférica. Este barómetro é menos preciso que o barómetro de mercúrio, mas apresenta vantagens no seu transporte por apresentar mais robustez e ser mais compacto.

2.3.6. RADIAÇÃO SOLAR

Radiação solar é a designação dada à radiação electromagnética emitida pelo Sol, a maior fonte primária de energia do nosso planeta. A radiação solar ocupa uma gama espectral que varia entre um comprimento de onda de 100nm até aos 3000nm (3 μ m) podendo dividir-se em três tipos de radiação: os raios ultravioletas, de pequeno comprimento de onda, de 100nm a 400nm; os raios visíveis, com comprimentos de onda entre 400nm e 700nm; os raios infravermelhos, os de maior comprimento de onda, de 700nm a 3 μ m (Foucault, 1996).

No exterior da atmosfera o comportamento do Sol aproxima-se de um corpo negro a uma temperatura de 5250°C. Designa-se corpo negro o corpo que absorve a energia que nele incide sem reflectir nenhuma percentagem. Contudo, o modelo do corpo negro deixa de ser válido já que a radiação emitida pelo sol ao atravessar a atmosfera sofre absorção parcial, difusão e difracção. Por isso o padrão da radiação que atinge a superfície da Terra, a partir do corpo negro que é o sol, é profundamente modificado na sua distribuição (figura 5).

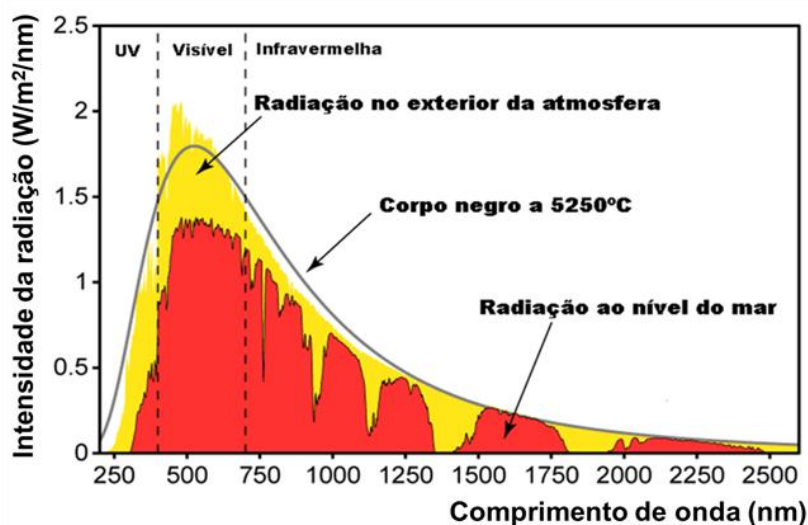


Figura 5 – Distribuição espectral da radiação solar (adaptado de Global Warming Art, 2011)

A radiação solar global que atinge a superfície da Terra pode ser dividida em radiação directa e difusa (figura 6). A radiação directa é aquela que atravessa a atmosfera unidireccionalmente e a difusa é a que é re-emitada pelos gases atmosféricos depois de absorverem a radiação primária (Rodrigues *et al*, 2009).

A radiação solar que é reflectida por toda a superfície da Terra é designada por albedo, e corresponde a cerca de 30% da energia total recebida (Taylor, 2005). A fracção dessa radiação incidente que é reflectida pela superfície terrestre designa-se por radiação terrestre e apresenta comprimentos de onda maiores que a radiação solar, situados na região infravermelha, entre 1 μ m e 30 μ m.

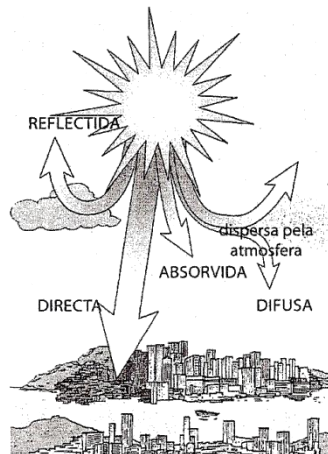


Figura 6 – Radiação solar (Rodrigues *et al*, 2009)

O comportamento estrutural dos edifícios constituído por estruturas metálicas ou de betão, e o seu comportamento higrotérmico é influenciado pela radiação solar. É um importante contributo para superar as exigências de Inverno, enquanto, que no Verão é o que mais perturba as exigências de conforto (Rodrigues *et al*, 2009).

A radiação solar varia conforme a estação do ano. Os valores mais elevados apresentam-se para a estação de Verão, porque o número de horas de Sol é maior. Durante o dia, o ângulo de incidência da radiação também provoca variação na radiação recebida: quanto maior a inclinação maior a concentração da intensidade da radiação incidente e menor o albedo (Foucault, 1996).

A radiação solar à superfície é medida com recurso ao piranómetro. O sensor é protegido por uma cúpula de vidro, diminuindo a influência do vento e permitindo que a água da chuva não se acumule. O campo de visão do aparelho é de 180° (Woodford, 2001).

O sistema de funcionamento deste equipamento baseia-se na conversão da energia solar em corrente eléctrica: quanto mais sol, mais o sensor aquece gerando mais corrente eléctrica, sendo linear a variação entre as duas grandezas. Quanto melhor a resposta aos vários comprimentos de onda, luz visível, ultravioleta e infravermelha, melhor é o equipamento., quando se pretende medir a radiação global total.

2.4. O CLIMA NA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA DOS EDIFÍCIOS

2.4.1. HUMIDADE NA CONSTRUÇÃO

As paredes exteriores dos edifícios, devido à sua exposição directa aos agentes atmosféricos estão sujeitas às suas acções, funcionando como interface entre o exterior e o interior. As principais solicitações, por vezes causa de degradação, são à chuva, o vento, a amplitude térmica diária e mesmo momentâneas com valores significativos, a influência da luz solar e a humidade do ar.

A acção da humidade nos edifícios tem sido reconhecida como o principal factor à ocorrência de anomalias. Um número elevado de problemas existentes nos edifícios deve-se à presença de humidade, que provoca a deterioração dos materiais de construção, debilitando o desempenho dos elementos construtivos em questões de durabilidade, estanquidade e degradação do aspecto (Henriques, 2001).

A humidade nos edifícios tem origem em diversas causas, que são definidas através de um conjunto de indícios detectados por observação visual ou por ensaios “in situ”. No entanto, vários dos sintomas observados não são específicos de um dado tipo de anomalia. As formas de manifestação da humidade são (Henriques, 2001):

- Humidade de construção;
- Humidade ascensional;
- Humidade de precipitação;
- Humidade de condensação;
- Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade;
- Humidade de causas fortuitas.

Infelizmente é normal que duas ou mais manifestações apareçam associadas, quer por existirem condições propícias ou por umas serem consequência das outras. Esta conjunção complica o processo de diagnóstico.

A humidade de construção ocorre devido à maioria dos elementos construtivos, ao serem executados, necessitarem de água. Deste modo, a quantidade de água num edifício é significativa e muitas vezes é menosprezada. A secagem desta água demora algum tempo. Enquanto que, a água superficial dos materiais evapora rapidamente, a água nos poros de menores dimensões pode demorar vários anos.

No caso da humidade de construção, a temperatura do ar e a humidade relativa influenciam as condições de secagem. As anomalias deste tipo de humidade são as variações dimensionais e os destaques de alguns materiais com a evaporação da água, bem como o aparecimento de manchas de humidade.

A humidade ascensional verifica-se quando as paredes estão em contacto com a água ou com o solo húmido e os materiais apresentam elevada capilaridade ou não existe corte hídrico. Neste caso a temperatura, a humidade relativa e a insolação influenciam a altura de progressão da frente húmida. Por exemplo, no Inverno a humidade relativa do ar é mais elevada e está mais próxima da saturação, provocando uma cota mais elevada da humidade ascensional. As anomalias associadas a este tipo de humidade são manchas de humidade nas zonas das paredes junto ao solo, acompanhadas, em alguns casos, por eflorescências ou criptoflorescências e manchas de bolor ou vegetação parasitária.

Humidade de precipitação tem origem na acção da chuva associada ao vento, que garante a componente horizontal da precipitação e favorece a molhagem, o que constitui um factor de risco de humedecimento dos paramentos interiores das fachadas.

As anomalias surgem quando as gotas de água têm uma penetração directa na parede, através de fissuras ou juntas mal vedadas, ou devido à acção contínua da precipitação sobre a parede, que cria uma cortina de água que, ao escorrer pela superfície, pode entrar nela por gravidade. As anomalias associadas a este tipo de humidade são aparecimento de manchas de humidade de dimensões variáveis nos paramentos interiores das paredes exteriores, sendo o teor de humidade da parede decrescente ao longo da sua espessura, do exterior para o interior. A acção da chuva, ao provocar o humedecimento das paredes, aumenta a humidade relativa podendo originar anomalias associadas a outro tipo de humidades. A estanqueidade à chuva de uma fachada depende de dois factores: das características da obra e do grau de severidade do clima a que está exposta.

A humidade de condensação ocorre quando uma diminuição de temperatura implica um acréscimo de humidade relativa até à saturação, originando a condensação do vapor de água junto aos paramentos interiores das paredes exteriores. É necessário garantir que a temperatura de superfície interior do elemento seja maior que a temperatura de ponto de orvalho, que corresponde à saturação. A temperatura da superfície interior é dependente da temperatura exterior como mostra a equação 1.

$$\theta_i = t_i - \frac{K}{h_i} (t_i - t_e) \quad (1)$$

As condensações superficiais são a causa do aparecimento de fungos e bolores nos revestimentos interiores. Humidades relativas superiores a 80% e temperaturas entre 0 e 40°C são propícias ao aparecimento de fungos e bolores, sendo também necessário garantir a existência de certos nutrientes para o seu desenvolvimento.

Humidade devido a fenómenos de higroscopicidade é causada pelos sais solúveis em água constituintes dos materiais de construção. Um dos problemas associados aos sais é o humedecimento das paredes e a sua degradação devido ao aumento do volume com a cristalização. Outro problema passa pela dissolução dos sais na água, que percorre as paredes até à superfície, onde cristalizam sob a forma de eflorescências ou de criptoflorescências, degradando os revestimentos.

2.4.2. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

A avaliação do desempenho higrotérmico dos edifícios começou a ser uma preocupação dos intervenientes da construção em Portugal na década de 90 do século XX, com a entrada em vigor do RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, resultado da transposição obrigatória das normas europeias. Por outro lado, também aumentou a exigência dos utilizadores face ao conforto higrotérmico e desenvolveu-se a consciência que existe uma ligação estreita entre as patologias das construções e o comportamento higrotérmico.

As soluções para o tratamento das patologias relacionadas com a humidade são, em geral, complexas. Nos anos cinquenta surgiram investigações para quantificar a humidade e o calor ao longo das diferentes camadas dos elementos construtivos, com base em mecânica de fluidos e utilizando as leis de difusão de massa (fase líquida – Darcy e fase de vapor – Fick) e de difusão de calor (Fourier). Mais tarde, os estudos Luikov e Philip-De-Vries definem modelos para simular a transferência conjunta da humidade e calor nas fachadas dos edifícios, sendo os primeiros a estabelecer esta relação de grande importância nos estudos do desempenho higrotérmico (Freitas *et al*, 2008). Compreender as relações físicas envolvidas no comportamento higrotérmico permite prever o comportamento da construção

face aos parâmetros climáticos e possibilita uma selecção da solução construtiva mais adequada (Ramos *et al.*, 2010).

O desenvolvimento de modelos para simular o desempenho higrotérmico tornou esta área de estudo mais sistemática. Os modelos higrotérmicos na construção são de grande importância na simulação dos processos de transporte conjunto de calor e humidade e apresentam a possibilidade de considerar uma ou mais componentes da envolvente do edifício.

A modelação do desempenho higrotérmico dos edifícios é um grande passo para a física das construções. Rapidamente é avaliada e quantificada a humidade em diferentes fachadas para obter a melhor solução construtiva. A quantidade de programas higrotérmicos disponíveis é elevada. A diferença na escolha entre os vários modelos está na importância dada aos vários parâmetros: fenómeno de transferência de humidade, o tipo de fluxo (estacionário, quase-estático ou dinâmico) e a qualidade e disponibilidade das informações (propriedades dos materiais, clima, qualidade, etc).

A análise higrotérmica dos edifícios requer, regra geral, a definição prévia da geometria do espaço, das propriedades dos materiais e das condições fronteiras. Na geometria do espaço define-se o detalhe do estudo, se se considera a evolução, ao longo do tempo, do movimento do ar, da temperatura e da humidade no interior de um volume ou se se admitem características uniformes para todo o edifício; nas propriedades dos materiais é normalmente necessário definir a densidade aparente, porosidade, calor específico, condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor de água, coeficiente de absorção de água e curva de armazenamento de humidade; nas condições fronteiras define-se o ambiente interior e o exterior, com destaque para temperatura e humidade relativa.

As condições fronteiras influenciam o comportamento das construções, nomeadamente o teor de humidade ao longo do elemento construtivo, que pode ser um agente perturbador de um desempenho higrotérmico adequado. No caso do clima exterior, a definição de um clima ideal para a simulação higrotérmica carece ainda de maior estudo, sobretudo no que diz respeito à análise estatística da ocorrência conjunta dos diversos parâmetros climáticos, da qual resultam os efeitos mais desfavoráveis para os edifícios. No caso da humidade, a hipótese de sobreposição de acções é fundamental para se definirem, para cada local, as situações de maior severidade a que as construções são sujeitas.

Apresentam-se no quadro 2 alguns programas higrotérmicos mais utilizados e as condições fronteiras exteriores que são necessárias definir para os utilizar.

Quadro 2 – Programas e condições fronteiras (Ramos *et al*, 2010)

Programa	Condição fronteira exterior						
	Temperatura	Humidade relativa	Pressão do ar	Radiação solar	Velocidade e direcção do vento	Precipitação horizontal	Onda Longa
1D-HAM	X	X	X	X			X
BSim2000	X	X	X	X	X		X
DELPHIN 5	X	X	X	X	X	X	X
EMPTIED	X	X	X				
GLASTA	X	X		X			X
hygIRC-1C	X	X		X	X	X	
HAMLab	X	X			X		X
HAM-Tools	X	X	X	X	X	X	X
IDA-ICE	X	X	X	X	X		X
MATCH	X	X		X	X*	X	X
MOIST	X	X		X	X		
MOIST-EXP.	X	X	X	X	X	X	X
UMIDUS	X	X		X	X		
WUFI	X	X		X	X	X	X

* Este programa só pede a introdução da velocidade, desprezando a direcção do vento

2.4.3. ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA

Os resultados das simulações de avaliação do desempenho higrotérmico dos edifícios dependem fortemente da sua localização geográfica. A necessidade de obter os dados climáticos para a localidade onde o edifício se encontra inserido é, por isso, fundamental (Ramos, 2007).

O ano de referência é um ano de dados climáticos horários (8760 horas), seleccionados para representar a série de padrões climáticos que normalmente seriam encontradas num conjunto de dados de vários anos, ou seja, é um ano médio ou típico de um determinado local e período de tempo (University of Exeter, 2011).

O ano climático de referência é vantajoso em relação à utilização de apenas um dia típico de Verão e de Inverno porque as simulações podem representar variações sazonais do ciclo anual. Os dados relativos a um intervalo de tempo de um ano permitem a visão global das variações que ocorrem na

simulação e garantem a estabilização do método dinâmico de interações nas simulações em regime transitório para qualquer estação, mês, dia ou hora do ano que se queira simular.

Os dados dos parâmetros climáticos inseridos devem ser valores horários com qualidade, de pelo menos 10 anos, e de períodos recentes. Estes são obtidos a partir das estações meteorológicas que existem, mas para os usar correctamente em simulações é necessário tratá-los de forma a obter anos de referência ajustados aos estudos climáticos realizados.

O requisito base dos anos climáticos de referência é que correspondam a um ano médio, em relação aos valores médios mensais, sazonais e ocorrência e persistência de períodos quentes, frios, com sol ou sem sol. Associado a este requisito base estão três princípios: os valores representativos têm que ser o mais próximo possível das médias reais durante um período longo, as situações climáticas devem ter uma duração e sucessão similar a outras situações verificadas para a localização e é necessário que os diferentes parâmetros apresentem correlações verdadeiras entre si. A verificação do primeiro princípio pode ser efectuada a partir das médias e dos desvios padrões, mas os outros dois princípios são difíceis de verificar porque as relações entre certos parâmetros não podem ser descritas matematicamente (Lund, 1995).

As bases de dados de referência existentes seguem estes princípios e são baseadas em métodos como o “Test Reference Years” na Europa ou “Typical Meteorological Years” na América. A norma ISO 15927-4 introduz um novo método, mais avançado e mais rigoroso, que se aproxima da proposta de um “Design Reference Year” de Lund. Em Portugal, infelizmente, existe apenas o ano de referência para Lisboa (Ramos, 2007).

Segundo a norma EN ISO 15927:2002, o ano de referência deve apresentar os dados horários das 8760 horas do ano referentes a temperatura do ar, pressão do vapor de água, ou outro parâmetro da humidade, radiação solar, velocidade do vento ou outro parâmetro climático (CEN, 2002). Assume, por isso, como parâmetros principais a temperatura do ar, radiação solar e humidade para a selecção dos “melhores” meses para definir o ano de referência e a velocidade do vento como parâmetro secundário.

Os meses que definem o ano de referência são escolhidos com base nas funções de distribuição acumulada dos valores médios diários dos parâmetros principais. Estes são determinados a partir dos valores horários de cada um dos parâmetros para todos os meses no ano. O método de Finkelstein-Schafer é utilizado para comparar funções de distribuição acumulada, isto é, compara o somatório das diferenças absolutas entre os valores da distribuição acumulada da média diária correspondente ao mês e da distribuição acumulada da média diária durante todos os anos. O mês com o menor valor de Finkelstein-Schafer é escolhido para definir o ano de referência. Este processo é seguido para cada mês do ano e para cada parâmetro, por sua vez (CEN, 2002).

Se, por exemplo, quiser analisar um edifício no Porto, para onde ainda não foi definido um ano de referência baseados em dados medidos, podem gerar-se dados climáticos por métodos estocásticos. Um programa que cria anos climáticos sintéticos é o METEONORM (Meteotest, 2011).

Deve ter-se em atenção que este ano de referência é apenas para simulações de desempenho higrotérmico, sendo errado descrever o clima da localidade a partir dele (Lund, 1995).

2.4.4. NORMA EN ISO 15927:2002

A norma ISO 15927:2002 – *Higrothermal performance of building - Calculation and presentation of climatic data*, apresenta uma metodologia para definir, a partir de dados climáticos medidos, um ano

de referência a utilizar para o cálculo e avaliação do desempenho higrotérmico dos edifícios. A norma é dividida em seis partes (CEN, 2002):

- Parte 1: Médias mensais e anuais dos parâmetros meteorológicos;
- Parte 2: Dados de projecto da capacidade de arrefecimento e risco de aquecimento;
- Parte 3: Cálculo da chuva incidente sobre uma superfície vertical a partir de dados horários da chuva e do vento;
- Parte 4: Dados para avaliação da energia anual necessária para o sistema de arrefecimento e aquecimento;
- Parte 5: Temperatura exterior do ar no Inverno e dados do vento relacionados para o dimensionamento higrotérmico;
- Parte 6: Diferenças acumuladas da temperatura para a avaliação da energia usada no espaço aquecido.

Na parte 1 é exposto o procedimento de cálculo e a forma de apresentação dos valores das médias mensais ou totais, a partir dos dados climáticos necessários para a avaliação do desempenho higrotérmico dos edifícios.

Os elementos meteorológicos são tratados isoladamente e são os seguintes:

- Temperatura do ar
- Humidade atmosférica
- Velocidade do vento
- Precipitação
- Radiação solar
- Radiação de comprimento de onda longa

Esta parte da norma será exposta mais exhaustivamente no §3.2..

Na parte 2 é especificado o método de cálculo e de apresentação dos resultados para determinar o clima exterior a ser utilizado num projecto para definir a capacidade de arrefecimento do edifício. Parâmetros climáticos, como temperatura do ar, a diferença entre a temperatura máxima e mínima do ar num dia, a radiação total solar e a velocidade do vento, são usados para definir dias específicos de dados horários ou de três em três horas em cada mês, que impõem que a capacidade de arrefecimento seja excedida em 5%, 2% e 1% dos dias. Esta parte da norma serve para minimizar custos no projecto do sistema de arrefecimento sem prejudicar as necessidades de conforto.

Na parte 3 são apresentados dois procedimentos para análise dos dados das observações horárias do vento e da chuva, para estimar a quantidade de água que será projectada contra a parede, tendo em consideração a topografia, obstáculos e o tipo de construção.

- O primeiro método, baseado na norma britânica, a partir dos dados horários do vento e da chuva define o método de cálculo do índice da média anual, que influencia o teor de humidade de uma superfície, e o índice do período, o que influencia a probabilidade de penetração da chuva através de alvenaria e juntas.
- O segundo método, a partir da média do vento e do registo qualitativo da presença e intensidade da chuva, define o cálculo do período em que a alvenaria é humedecida, com 10% de probabilidade de ser excedida em qualquer ano.

Os métodos não se aplicam nas zonas montanhosas, como penhascos e desfiladeiros profundos, em áreas nas quais mais de 25% da precipitação anual é originada por tempestades severas e em zonas e em períodos em que um número significativo da precipitação é neve ou granizo.

Na parte 4 é indicada a selecção apropriada dos dados meteorológicos para avaliação da energia para o aquecimento e arrefecimento dos edifícios. A simulação do desempenho do edifício para ser o mais fiável possível depende dos valores médios, da distribuição de frequência individual de cada parâmetro e das suas correlações. Para a construção do ano de referência é preferível ter dados de um período longo, de pelo menos 10 anos, sendo contudo aconselháveis mais anos. Não se verificando esta condição a norma define um método para a construção do ano de referência a partir de dados horários adequados para avaliar a energia média anual necessária para aquecimento e arrefecimento. Os procedimentos expostos não são adequados para a construção de anos extremos ou semi-extremos para simulação de, por exemplo, danos causados pela humidade ou gastos de energia no ano de mais frio.

A parte 5 especifica o método de cálculo e de apresentação dos dados climáticos para determinar a capacidade de aquecimento dos edifícios: o modelo da temperatura exterior no Inverno e da velocidade e direcção do vento. A definição de modelo da temperatura exterior no Inverno incide na interacção entre o edifício e o ambiente exterior. Existe um tempo de resposta dos edifícios às mudanças climáticas, este tempo de resposta é influenciado pelo tipo de construção e pelo sistema de aquecimento. O vento tem que ser analisado devido à sua influência na perda de calor. A entrada do ar exterior é causa de grandes perdas de calor, principalmente quando temperaturas baixas estão associadas a ventos fortes.

A parte 6 clarifica o método de cálculo e de apresentação dos resultados das diferenças acumuladas da temperatura, que tem interesse na avaliação da energia usada nos espaços aquecidos dos edifícios. Os métodos baseiam-se na média horária ou diária da temperatura. A diferença acumulada da temperatura é simples de se obter e muito útil para indicar a severidade climática e como esta afecta a energia usada. Este cálculo permite definir uma temperatura base, que corresponde ao limite a partir do qual o edifício necessitará de ser aquecido para manter temperaturas internas aceitáveis. Esta diferença poderá ser usada também para prever as consequências económicas dos diferentes níveis de eficiência energética, para o edifício ou para partes do edifício.

2.5. CLIMA DO PORTO

2.5.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CLIMA URBANO

O crescimento descontrolado das cidades baseado em critérios económicos, políticos, sociais, culturais e estéticos provocou grandes alterações na sua morfologia. As cidades tornaram-se selvas de betão, onde concentrações de edifícios, automóveis e gases poluentes não param de aumentar. Em consequência o clima sofreu alterações, estabelecendo-se um novo clima: o clima urbano. As diferenças principais entre o clima urbano e de áreas não urbanizadas estão na temperatura do ar e na velocidade do vento ao nível das ruas (Givoni, 1998).

A geometria das superfícies urbanizadas, a forma e a orientação dos edifícios, as propriedades térmicas dos diversos materiais utilizados, a impermeabilização do solo ou o calor libertado pelas diversas actividades realizadas pelo Homem contribuem para a alteração do balanço energético das cidades, ou seja, define o seu clima (Monteiro, 1994).

O estudo do clima urbano é um aspecto importante no planeamento urbanístico mas, apesar da concordância de muitos autores acerca da sua importância, ainda continua a ser frequentemente ignorado (Andrade, 2005).

A temperatura da superfície e do ar variam consoante a área: urbana, suburbana rural ou outras. A temperatura da superfície apresenta variações maiores do que a do ar durante o dia, mas à noite o

comportamento da temperatura é similar entre ambas (figura 7). Sobre lagos a temperatura apresenta picos e depressões devido à capacidade da água absorver calor durante o dia e libertá-lo à noite. Nas zonas industriais, durante o horário laboral, existe uma quantidade elevada de libertação de poluentes e de energia dos processos de trabalho que aumentam a temperatura. Nos parques, que são espaços verdes de grande área, a temperatura da superfície diminui durante o dia devido à evapotranspiração das plantas.

A temperatura da superfície nas áreas urbanas é maior do que nas circundantes. A diferença de temperaturas da superfície entre as duas áreas é maior durante o período nocturno, podendo-se verificar diferenças entre 3 a 5°C. No período diurno a diferença é de 1 a 2°C e, em períodos com vento, a diferença poderá ser insignificante. O aumento da temperatura da superfície nas áreas urbanas em relação às áreas rurais designa-se por ilha de calor (Givoni, 1998). Durante o dia as superfícies urbanas aquecem mais rápido do que as circundantes, devido à capacidade térmica dos materiais ser maior. À noite, a ausência de radiação solar provoca uma descida de temperatura, mas na área urbana há retenção do calor, fazendo com que a temperatura estabilize num valor, enquanto em outras áreas a descida da temperatura verifica-se até ao aparecimento dos raios solares.

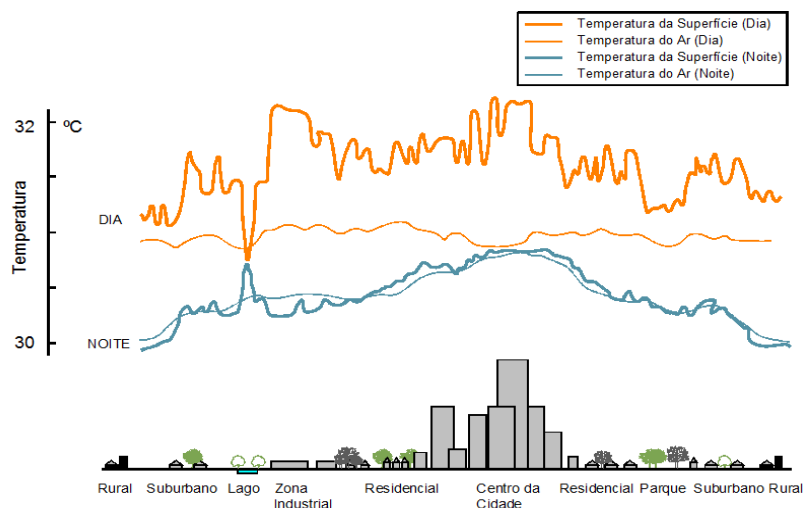


Figura 7 – Distribuição da temperatura em diferentes áreas (adaptado de EPA, s.d.)

A temperatura da superfície é afectada por dois tipos de factores. Um que se relaciona com a meteorologia e outro com a estrutura da cidade, como o seu tamanho em área, a densidade de construção e a relação entre a altura dos prédios e distância entre eles. Exemplos da influência da estrutura da cidade na temperatura de superfície são:

- A energia libertada durante o período nocturno devido à capacidade de armazenamento de energia solar do material, recebida durante o período diurno;
- As actividades industriais, de transporte, etc, que libertam energia;
- A velocidade de evaporação do solo e da vegetação;
- As fontes sazonais de calor, no Inverno os equipamentos de aquecimento dos edifícios e no Verão os de ar-condicionado.

Como já foi referido anteriormente, a relação entre a altura dos prédios e a distância entre eles influencia a temperatura (figura 8). Em áreas onde a relação altura e distância entre edifícios assume valor unitário considera-se que existe absorção ao nível do solo, mas a quantidade de radiação absorvida pelo edifício é maior; em áreas de grande densidade, em que a relação assume valor 4 ou

superior, a absorção da radiação solar é quase nula a nível do solo. Este fenómeno influencia a temperatura de duas maneiras distintas: por um lado, ao reduzir a percentagem de radiação absorvida pelo solo diminui a temperatura, por outro, a radiação é absorvida e reflectida pelas paredes sem nunca conseguir “escapar” para o espaço contribuindo para a diminuição do albedo total e para o aumento da temperatura local (EPA, s.d.).

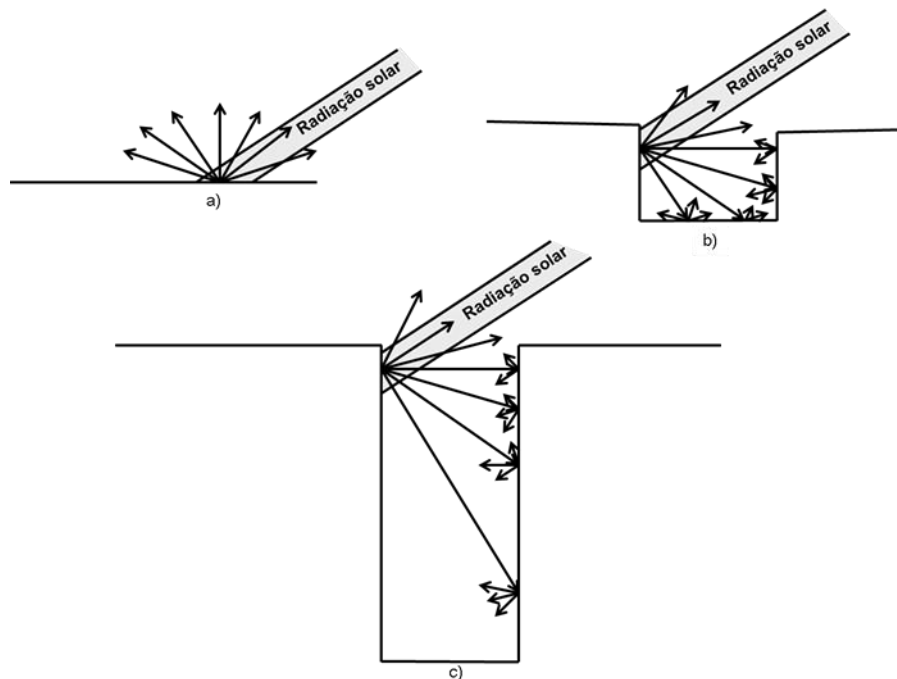


Figura 8 – Absorção da radiação solar em espaços abertos (a), áreas com relação altura distância de edifício aproximadamente 1 (b), áreas de grande densidade (c) (Givoni, 1998)

O tipo de solo também provoca variações na temperatura. Um solo com um albedo maior aumenta a temperatura do ar, porque reflecte mais radiação, enquanto se tiver um albedo menor aumenta a temperatura da superfície. O solo também provoca variações na quantidade de humidade do ar, uma vez que se este for constituído por materiais impermeabilizantes o escoamento das águas é mais rápido e reduz o índice de evapotranspiração, diminuindo a humidade relativa do ar (EPA, s.d.).

O albedo é um factor muito importante a considerar nos climas urbanos. No quadro 3 apresenta-se valores de albedo para algumas superfícies. Uma casa que aumente o seu albedo de 0,30 para 0,90 reduz 20% o custo do ar-condicionado. Numa escala de microclima, por cada 0,01 que o albedo aumente há uma poupança de energia de 3 a 5% em sistemas de refrigeração. Diferenças de 3°C na temperatura do ar podem ser provocadas pela mudança do valor de albedo (EPA, s.d.).

Quadro 3 – Albedo de algumas superfícies (Oke, 1987)

Superfície	Albedo (%)
Neve fresca	80 – 95
Neve antiga/suja	42 - 70
Água límpida	3 – 6
Areia seca	35 – 45
Areia húmida	20 – 30
Erva cortada (0,02m)	26
Erva comprida (1m)	16
Floresta (Primavera)	20
Floresta (Outono)	15
Asfalto	5 – 20
Betão	10 – 35
Tijolo	20 – 40
Vidro (janela)	8 – 52
Branco puro	100
Negro absoluto	0

Os espaços verdes, como já foi referido, apresentam temperaturas mais baixas devido à presença de plantas, contribuindo para um ambiente mais agradável. Indirectamente, a partir da evapotranspiração, e directamente, a partir da criação de sombra e do controlo do vento, influencia a temperatura, a radiação e a humidade. A evapotranspiração diminui a temperatura do local entre 2 a 8°C em relação às circundantes. A vegetação actua como filtro das radiações solares, serve para reduzir a incidência de precipitação no solo e modifica a concentração da humidade na atmosfera e na superfície adjacente.

A conjugação de espaços verdes e de materiais com um valor elevado de albedo apresentam poupança de energia considerável e reduzem o efeito de ilha de calor nos espaços urbanos.

O vento, mais que outro parâmetro climático, pode ser controlado e alterado pelo desenho urbano. A distribuição da cidade em blocos cria corredores de vento, onde a velocidade diminui com o efeito da rugosidade mas, em consequência, existe um aumento das variações de velocidade e da turbulência (Givoni, 1998).

As diferenças existentes nas áreas urbanas, como a morfologia, a volumetria da área ocupada, a cor, os materiais de construção utilizados e o tipo de pavimento da rua geram climas diferentes (Monteiro, 1994). Por isso, a análise dos regimes climáticos médios e de situações climáticas extremas terá que ser objecto de estudo para cada área urbana, de maneira a melhorar a gestão da energia, e a própria qualidade de vida urbana (Góis, 2002).

A caracterização do clima de um local depende do período de tempo analisado. Os valores médios dos parâmetros analisados variam conforme se considera um ano, dez anos ou um século. Considerar um período de tempo longo é fundamental para o estudo das variações e das tendências do clima.

Normal climatológica de um parâmetro climático de um local é o valor médio correspondente a um período de tempo suficientemente longo para se admitir que ele representa o valor predominante daquele parâmetro no local considerado.

O período de tempo de referência para o cálculo das normais climatológicas é de trinta anos, podendo também calcular-se normais de intercalares, em que o período de tempo é de pelo menos dez anos. Através das normais climatológicas, a Organização Meteorológica Mundial tentou assegurar que a comparação entre valores medidos por diferentes estações meteorológicas fosse fiável e facilmente descrita em termos estatísticos (WMO, 1989). Mas o principal objectivo da normal climatológica é ser um indicador de futuras condições climáticas e fornecer um valor de referência para o cálculo de anomalias (diferença entre a normal climatológica e o clima de um mês, estação do ano ou ano em estudo) (WMO, 2007).

Segundo Arguez e Vose (2010) as normais climatológicas não são adequadas numa época de mudanças climáticas, na medida em que as condições climáticas não são estacionárias e as normais tem que ser frequentemente actualizadas. Os valores de anomalias variam consideravelmente com as actualizações. Arguez e Vose (2010) e a WMO (2007) percebem que a definição da normal climatológica estagnou, não acompanhando as mudanças climáticas e incentivam ao desenvolvimento de uma nova definição.

2.5.2. DESCRIÇÃO DO CLIMA DO PORTO

A cidade do Porto é a segunda cidade mais importante do país. Localiza-se no extremo ocidental da Europa e no norte de Portugal (figura 9) sendo uma cidade atlântica.

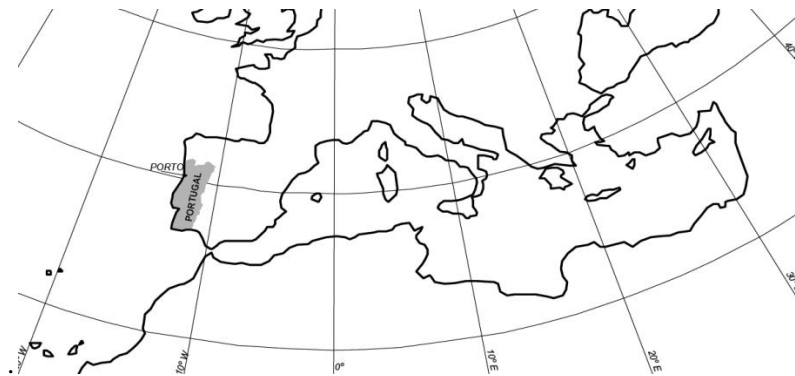


Figura 9 – Localização geográfica do Porto (Monteiro, 2008)

Com uma área de 41,5 km², a cidade é limitada a Sul pelo rio Douro, a Oeste pelo Oceano Atlântico, enquanto que a Este e a Norte faz fronteiras com os concelhos de Gondomar, Maia e Matosinhos. Apresenta uma superfície inclinada para o oceano Atlântico, com a altitude a variar entre os 0 m e os 160 m, na Areosa (Monteiro, 1998).

Existem diferenças notórias na morfologia da cidade. A zona sul apresenta grande densidade em relação às outras zonas, edifícios muito antigos e altos e ruas estreitas. As zonas ocidentais e orientais apresentam diferenças na tipologia de ocupação do espaço urbano, em resultado das diferenças de cota

de cada uma. A zona oriental apresenta cotas mais elevadas e é mais acidentada, ao contrário da zona ocidental, mais baixa, regular e extensa.

O Porto oferece uma imagem de grande compacidade, que a torna cinzenta, húmida e sombria, parecendo que os espaços verdes se extinguíram, mas esta imagem é errada. Muitos jardins continuam intactos, existindo estratégias de manutenção e dinamização destes espaços, principalmente do Parque da Cidade e do Parque de S. Roque.

Para a análise geral do clima do Porto pode ter-se como base a normal climatológica para os anos 1971-2000, apresentada pelo Instituto Português de Meteorologia (figuras 10 e 11) (Instituto de Meteorologia, 2011).

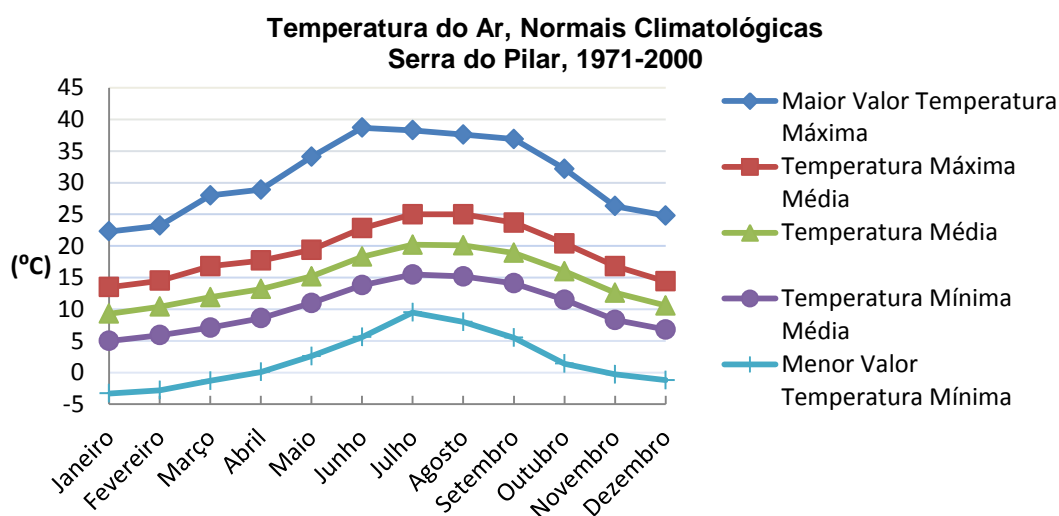


Figura 10 – Normal climatológica da temperatura do ar para os anos 1971/2000

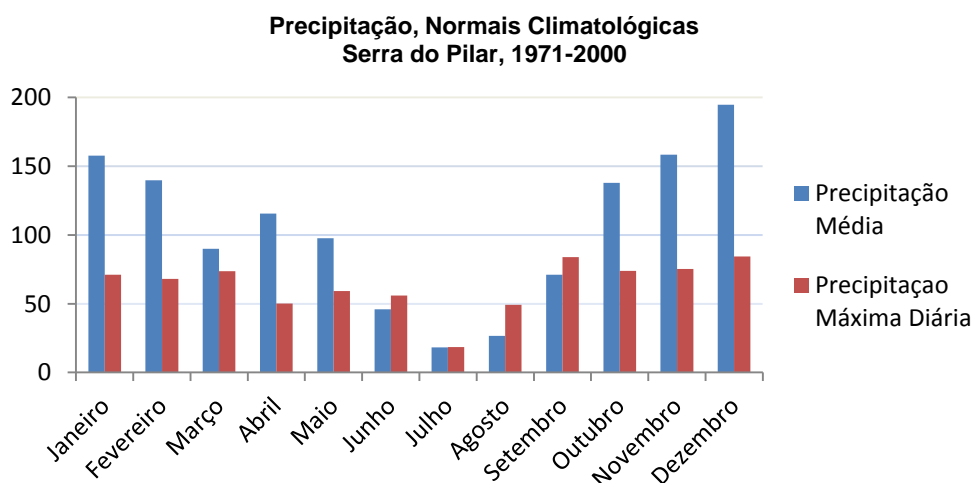


Figura 11 – Normal climatológica da precipitação para os anos 1971/2000

Verificam-se temperaturas médias nos meses mais frios, Dezembro e Janeiro, de aproximadamente 10°C. A temperatura cresce de Janeiro até Julho, onde atinge a temperatura média mais alta, 20°C, que se mantém em Agosto.

A curva da média mensal da temperatura máxima e mínima apresentam um comportamento igual, com a ocorrência dos valores extremos mais baixos e mais elevados a coincidirem. As temperaturas médias mínimas oscilam entre 5°C em Janeiro e 15,5°C em Julho. As temperaturas médias máximas variam entre 13,5°C em Janeiro e 25°C em Julho.

A temperatura mínima diária regista o seu valor mais baixo em Janeiro e Dezembro, -3,3°C, mas apenas cinco dias por ano registam temperaturas negativas, e o seu máximo em Julho, 9,5°C. A temperatura máxima diária mais elevada é 38,7°C, em Junho, e a mais baixa é 22,3°C em Janeiro. 63 dias por ano apresentam temperaturas superiores à temperatura média máxima mais elevada.

A amplitude térmica anual (a diferença entre os meses mais frios e os mais quentes) é em média de 10°C. A localização junto ao mar influencia o seu clima, tornando-o temperado. No Verão, como o mar apresenta temperaturas menores arrefece as áreas litorais e no Inverno verifica-se o oposto, o oceano com temperaturas mais altas aquece as áreas litorais.

A precipitação total anual é de 1253,5mm. Os meses frios apresentam valores mais elevados de precipitação, superiores a 150mm, destacando-se Dezembro em 194,7mm. Em Julho e Agosto a precipitação é muito reduzida, em Julho com 18,3mm e Agosto com 26,7mm. Em relação ao número médio de dias em que a precipitação é maior que 10mm, verifica-se que em Julho é de 0,5 dias e em Agosto 0,9 dias, enquanto em Dezembro e Janeiro é superior a 6 dias.

Estes valores elevados para a precipitação são causados pelo relevo. O relevo do Porto favorece a subida das massas de ar oriundas do Oceano Atlântico, que arrefecem em altitude e condensam. Mesmo nas áreas de baixa altitude pode ocorrer a subida das massas de ar em consequência das turbulências provocadas pela rugosidade da superfície terrestre (Góis, 2002).

Usando a classificação de Köppen-Geiger identifica-se o clima do Porto como sendo temperado com Verão seco e suave (Instituto de Meteorologia, 2011).

3

CARACTERIZAÇÃO DO MICROCLIMA DA FEUP

3.1. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO LFC/FEUP

3.1.1. INTRODUÇÃO HISTÓRICA

A estação meteorológica que forneceu os dados climáticos referidos neste capítulo pertence ao Laboratório de Física das Construções, que se encontra integrado na Secção de Construções Cíveis do Departamento de Engenharia Civil da FEUP.

A primeira estação foi implantada em 1993 (figura 12) com o propósito de contribuir para a caracterização do clima urbano do Porto, servindo assim de apoio a trabalhos de investigação na área do comportamento higrotérmico de edifícios. Por diversas razões atravessou um longo período de inactividade. A estação meteorológica do LFC/FEUP estava implantada em pleno centro urbano da cidade do Porto, na freguesia de Cedofeita. Uma torre servia de suporte aos diferentes aparelhos de registo e um pequeno edifício anexo, onde se localizava a unidade de aquisição e o PC gestor de todo o *software*, servia de apoio.



Figura 12 – Estação meteorológica em Cedofeita (Góis, 2002)

Em Setembro de 2001, quando a Faculdade de Engenharia mudou para as novas instalações na Asprela a estação meteorológica também mudou de localização, tendo sido instalada na cobertura do copo que liga o edifício G ao edifício I, ao nível do primeiro piso. As figuras 13 e 14 mostram a

localização da estação meteorológica assinalada pelo círculo vermelho. A estação é constituída por um piranómetro, um anemómetro, um cata-vento, um sensor de humidade relativa e temperatura, um pluviómetro, dois pirgeómetros, um barómetro e um *Datalogger* (figura 15), registando a cada 10 minutos os seguintes parâmetros climáticos: temperatura, velocidade e direcção do vento, pressão atmosférica, humidade relativa, radiação solar directa e difusa, radiação atmosférica e terrestre e precipitação.



Figura 13 – Localização da estação meteorológica do LFC/FEUP (Google Maps, 2011)



Figura 14 – Envolvente da estação meteorológica do LFC/FEUP



Figura 15 – Estação meteorológica do LFC/FEUP

Os dados são guardados numa base de dados para futura utilização e são disponibilizados na página de internet da estação meteorológica do LFC/FEUP, <http://experimenta.fe.up.pt/estacaometeorologica>, em três línguas: português, inglês e húngaro. A página inicial apresenta a informação dos parâmetros climáticos, actualizados a cada seis minutos, e a imagem de vídeo em tempo real da estação captada por uma câmara IP (figura 16).

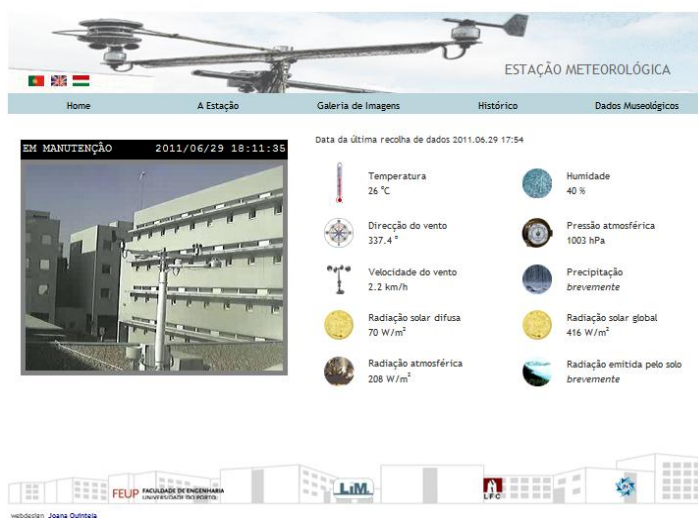


Figura 16 – Página inicial do sítio da estação meteorológica do LFC/FEUP (LFC/FEUP, 2011)

A zona de menus permite aceder às seguintes páginas: “A Estação”, que explica os objectivos da estação; “Galeria de Imagens”, que permite o acesso a fotografias detalhadas dos diferentes sensores; “Histórico”, que permite ao utilizador retirar a informação sobre parâmetros climáticos escolhidos para datas especificadas pelo utilizador (figura 17); e “Dados Museológicos”, que disponibiliza informação de antigos equipamentos usados para medição dos parâmetros climáticos.



Figura 17 – Página “Histórico” do sítio da estação meteorológica do LFC/FEUP (LFC/FEUP, 2011)

Para a introdução dos dados climáticos na página de internet foi necessário desenvolver um *software* em LabVIEW 8.5. Este *software* permite também o envio dos dados por correio electrónico, sincronizar a data e hora do *logger* com a do computador e recomeçar automaticamente o ciclo de medição. A figura 18 mostra uma janela do *software*. Nesta janela define-se o nome do programa de medição, o número de canais do *logger* que estão a ser utilizados e a transmitir dados, a duração da medição, o intervalo entre cada observação e o tipo de valor que se pretende: média, valor instantâneo, máximo, etc.

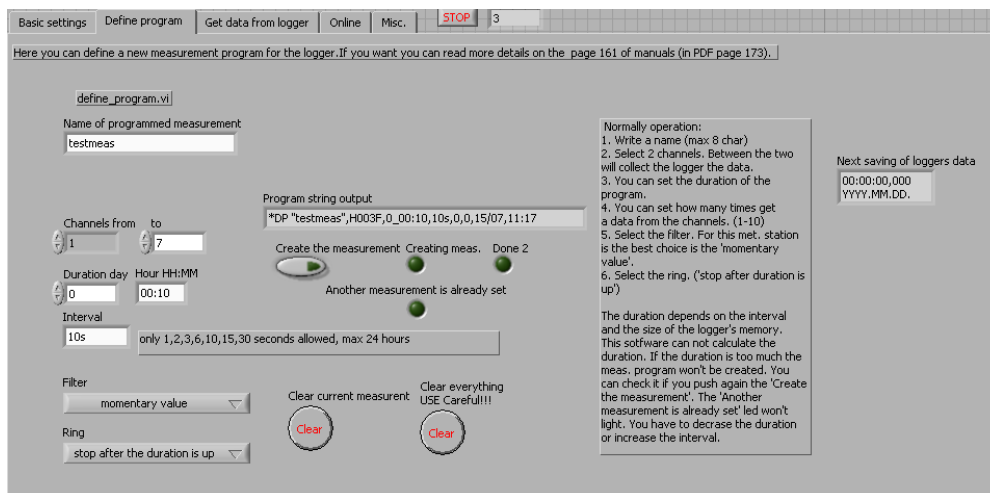


Figura 18 – Software da estação meteorológica do LFC/FEUP

3.1.2. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

3.1.2.1. Piranómetro

O piranómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP é da Delta-T Devices Lta. modelo SPN1 (figura 19) (Wood, 2007).



Figura 19 – Piranómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP

O sensor regista 3 parâmetros climáticos, a radiação solar global, difusa e o tempo diurno, permitindo estudar e monitorizar a energia solar. Regista valores de radiação de comprimentos de onda entre 400nm e 2700nm, convertendo-as em $W.m^{-2}$, ou seja, permite registar radiações maiores que $2000W.m^{-2}$ com um erro de medida para as medições instantâneas de $\pm 8\% \pm 10W.m^{-2}$, para médias horárias de $\pm 5\% \pm 10W.m^{-2}$ e para valor diário de $\pm 5\%$. A resolução que o sensor permite é de $0,6W.m^{-2}$.

A determinação da radiação é feita através de variações de tensão. Pelo sensor passa uma corrente contínua (100% estabilizada), sendo realizadas as leituras através da medição das variações de tensão. A cada mV corresponde a $1 W.m^{-2}$.

O modelo recebeu a classificação de “boa qualidade” dada pela Organização Mundial de Meteorologia. Não requer o anel de sombreamento para a medição da radiação difusa e não é necessário conhecer a latitude e altitude da sua localização, já que o sensor reconhece automaticamente o Norte, desde que colocado na horizontal.

O registo é feito para temperaturas entre o $-20^{\circ}C$ e $70^{\circ}C$. Para evitar erros nas medições quando as temperaturas são mais baixas tem instalado um aquecedor interior, controlado por um termóstato, que evita o congelamento e as condensações. Para velocidades do vento de 2m/s, até aos $-10^{\circ}C$ não há risco de congelamento, enquanto que para velocidades de 0m/s o risco diminui até aos $-20^{\circ}C$.

Erros de difícil compensação podem aparecer em condições específicas.

- i. Em dias de céu muito limpo ou em altitudes elevadas a radiação difusa apresenta valores mais baixos do que o real, devido à gama de comprimentos de onda registados começar nos 400nm, excluindo as ondas visíveis de cor azul.
- ii. Quando o nível do sol é baixo, ao amanhecer e anoitecer, o erro da resposta do coseno aumenta. Em tempo limpo e com o sol 10° abaixo do horizonte acresce um erro de 5%. A resposta do coseno é a resposta do sensor em que a sensibilidade ao raio é proporcional ao coseno do ângulo de incidência desse raio, medido sobre a perpendicular à superfície.
- iii. Durante a noite alguns piranómetros exibem radiações negativas devido ao arrefecimento do ar. Este modelo foi construído para que estes erros fossem minimizados, programando os

sensores para medirem só valores positivos. Assim, em noites escuras, poderão ser registados dados positivos devido ao ruído do sistema.

Para minimizar erros é necessária manutenção. Esta consiste na verificação do dessecante de 3 em 3 meses, e em renová-lo, quando a humidade indicada no painel é de 50% ou quando o indicador do dessecante apresentar cor rosa, e em limpar a abóbada de vidro. A calibração do aparelho deve ser feita em cada 2 anos pela empresa fabricante.

3.1.2.2. Anemómetro e Cata-vento

O anemómetro (figura 20) regista a velocidade do vento horizontal e o cata-vento, figura 21, a sua direcção horizontal. Os dois são da marca Thies Clima. O anemómetro é do modelo compact 4312900.0000 (Thies Clima, s.d.a) e o cata-vento do modelo compact 4312900.1610 (Thies Clima, s.d.b).



Figura 20 – Anemómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP



Figura 21 – Cata-vento da estação meteorológica do LFC/FEUP

A amplitude de velocidades que o anemómetro regista é de 0,5 a 50m/s. Para velocidades superiores a integridade do equipamento é garantido por períodos de tempo curto, sendo que acima de 80m/s o

anemómetro só mantém a sua integridade durante trinta minutos. A sua resolução é de 0,1m/s e seu intervalo de confiança é $\pm 0,5$ m/s ou 3% de medição. No Inverno em que as temperaturas baixas intensificam o risco de congelamento é possível colocar um dispositivo de aquecimento para contrariar esta tendência.

O anemómetro roda conforme a velocidade do vento, quanto mais elevada for a velocidade maior é a frequência, f . Esta frequência é convertida em velocidade. 2Hz correspondem a 0,5m/s e 573Hz a 50 m/s. Para as restantes frequências a velocidade é calculada pela equação:

$$v_n(m/s) = 0,07881 \times f(Hz) + 0,32 \quad (2)$$

O cata-vento roda indicando a direcção do vento. A direcção do vento é registada em graus, de 0 a 360°, com um intervalo de confiança $\pm 5^\circ$, estabelecendo-se como referências geográfica: 0° para o Norte, 90° para Este, 180° para Sul e 270° para Oeste.

Os dois equipamentos são feitos de materiais resistentes à corrosão e apresentam protecção contra a precipitação. A localização dos equipamentos deve ser a uma altura de 10 metros ao solo, em terreno plano e a uma distância aos obstáculos dez vezes superior a altura do obstáculo. Quando não é possível cumprir os requisitos, deve assegurar-se que as medições não são influenciadas pelos obstáculos. Quando colocados em telhados, os equipamentos devem ser localizados a meio e não nos bordos onde existem ventos preferenciais numa direcção.

Se for bem montado o equipamento é livre de manutenção, excepto se for montado em locais muito poluídos, devendo ser limpo periodicamente o encaixe entre a parte estacionária e a rotativa.

3.1.2.3. Sensor de temperatura e humidade relativa

Os sensores da temperatura e humidade relativa encontram-se dentro de um abrigo (figura 22) para não estarem expostos aos elementos climáticos, tendo integrado um sistema de ventilação forçado (Rotronic, 2011).



Figura 22 – Abrigo com sensor de temperatura e humidade relativa da estação meteorológica do LFC/FEUP

O sensor que regista a temperatura do ar é um Transdutor ROTRONIC em resistência de platina do tipo PT100 1/3, registando temperaturas entre -40°C a 85°C , com uma precisão de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ a uma temperatura de 23°C .

O sensor da humidade relativa é um Transdutor ROTRONIC, que regista valores entre 0% a 100%, com uma precisão de $\pm 1\%$.

A temperatura e a humidade relativa são determinadas através de variações de tensões, como no piranómetro. É possível estabelecer a relação de uma tensão de 0 a 1 volt para uma humidade relativa compreendida entre 0 e 100%. Fica assim definido que, por cada 1% de humidade relativa, a tensão de saída varia de 0,01 volts. Para a temperatura a relação corresponde a uma variação de 0 a 1 volt para uma temperatura compreendida entre -40 a 60°C .

3.1.2.4. Pluviómetro

Da marca Pronamic e modelo Raion-o-matic, o pluviómetro (figura 23) consiste num colector de precipitação ligado a um registador das medições. Tem um mecanismo de auto esvaziamento quando atinge um peso predefinido e o seu material é resistente à radiação solar e às várias condições climatéricas (Promanic, 2011).



Figura 23 – Pluviómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP

O pluviómetro deve estar localizado a uma altura inferior a 1,5 metros do solo e protegido de ventos fortes. A precipitação é recolhida por um funil que encaminha a água por um filtro em direcção a uma colher com suspensão controlada por um íman, que minimiza o tempo de esvaziamento e o retorno à posição de nova recolha. O colector tem 200cm^2 de área com 159,6mm de diâmetro e apresenta capacidade para registar até 2,4mm por minuto, equivalente a 12 colheres. A discriminação que o sensor permite é de 0,2mm.

3.1.2.5. Pirgeómetro

O pirgeómetro (figura 24), da marca Kipp e Zonen e modelo CGR 3, mede a perda de calor, por radiação, da atmosfera e da superfície terrestre. É constituído por uma janela de silicone com um filtro de radiação solar, de maneira a não a considerar nos seus registos, e por um termómetro interior, para não a considerar radiação de comprimento de onda longa que tenham sentido oposto. A colocação de

dois pirgeómetros, um virado para cima e outro virado para baixo permite calcular o balanço de radiação, isto é, a diferença entre que é absorvido e reflectido (Kipp e Zonen, 2011).



Figura 24 – Pirgeómetro da estação meteorológica do LFC/FEUP

Se houver algum obstáculo próximo, o seu afastamento ao equipamento deve ser superior a uma distância dez vezes maior que a altura do obstáculo. O pirgeómetro deve ser montado a uma altura de um metro e meio do solo. Deve ser calibrado, no máximo, de dois em dois anos.

O sinal eléctrico produzido no aparelho é proporcional à radiação recebida. Regista radiação com comprimentos de onda entre os 4,5 e os 42 μ m e funciona para temperaturas entre -40 e 80°C. O seu raio de visão é de 150°, e tem uma sensibilidade de 5% para temperaturas entre -40°C a 40°C e 10% para temperaturas entre 40°C a 80°C. Por ano acresce 1% de erro se não for calibrado.

3.1.2.6. Datalogger

Da marca Technetics, modelo Mikromec Logbox, o *datalogger* (figura 24) é um registador das medições dos sensores em intervalos seleccionáveis entre 1 segundo até 24 horas. O modelo não necessita de nenhum adaptador especial para a ligação dos sensores e não incorpora ecrã, sendo a configuração e manuseamento feita através de PC (Technetics, 2001).



Figura 25 – Datalogger da estação meteorológica do LFC/FEUP

Tem 8 canais analógicos e 2 em frequência/impulsos, memória para 128000 leituras expansível a 512000 com cartão de memória.

O modelo não é submersível, não resistindo à pressão e à circulação de água. Deve garantir-se que a presença de humidade é mínima, para permitir que a água seque e que não ocorram condensações. O local de armazenamento do *logger* deve ser ventilado e protegido de grandes variações de temperaturas.

O quadro 4 apresenta um resumo dos equipamentos ligados ao *logger*, onde se indica o parâmetro climático, a unidade em que é medido, o tipo de sensor, a escalagem efectuada e eventuais observações. Nas observações é indicado como se convertem os valores registados pelo *logger* para os valores pretendidos.

Quadro 4 – Informações dos equipamentos

Parâmetro	Unidade	Tipo de sensor	Escalagem	Obs.
Temperatura	° C	U_1.25V	X1=0V Y1=-40,0 X2=1V Y2=60,0	-
Humidade relativa	%	U_1.25V	X1=0V Y1=0,0 X2=1V Y2=100,0	-
Radiação atmosférica	W/m ²	Is_20mA	X1=4mA Y1=-300,0 X2=20mA Y2=100,0	$L_{emitida} = L_{medida} + 5,67 \times 10^{-8} \times T^4$
Radiação terrestre	W/m ²	Is_20mA	X1=4mA Y1=-300,0 X2=20mA Y2=100,0	$L_{emitida} = L_{medida} + 5,67 \times 10^{-8} \times T^4$
Pressão atmosférica	hPa	U_50mV	X1=0mV Y1=6 X2=37,5mV Y2=1040	-
Direcção do vento	°	U_10V	X1=0V Y1=0.0 X2=10V Y2=360,0	Norte – 0° Rotação no sentido dos ponteiros do relógio.
Radiação solar difusa	W/m ²	U_2.5V	X1=0V Y1=0 X2=2,5V Y2=2000	-
Radiação solar global	W/m ²	U_2.5V	X1=0V Y1=0 X2=2,5V Y2=2000	-
Precipitação	mm	Nieders	-	É necessário multiplicar o valor obtido por 2, já que o <i>datalogger</i> para cada impulso acumula 0,1 mm e o equipamento mede por impulso 0,2 mm.
Velocidade do vento	m/s	Frequen	X1=-2Hz Y1=0,5 X2=630Hz Y2=50,0	-

3.2. NORMA EN ISO 15927-1

3.2.1. TERMOS E DEFINIÇÕES

No quadro 5 apresentam-se as definições de alguns parâmetros indicados na norma EN ISO 15927:2002 (CEN, 2002).

Quadro 5 – Definições de parâmetros pela norma EN ISO 15927

Humidade absoluta do ar	Relação entre a massa de vapor de água e a massa do ar seco Símbolo: x ; Unidade: g/Kg
Pressão parcial do vapor de água	Parte da pressão atmosférica exercida pelo vapor de água Símbolo: p ; Unidade: hPa
Pressão de saturação	Pressão exercida pela máxima quantidade de vapor de água que o ar pode conter Símbolo: p_{sat} ; Unidade: hPa
Humidade relativa	Relação entre a pressão parcial do vapor de água e a pressão de saturação Símbolo: φ ; Unidade: -
Velocidade do vento de referência	Velocidade do vento medido a uma altura de 10m acima do nível do solo, num espaço aberto e sem obstáculos próximos Símbolo: v_r ; Unidade: m/s
Velocidade da rajada	Maior velocidade instantânea medida durante o período em que a média é calculada Símbolo: \hat{v} ; Unidade: m/s
Irradiância solar	Fluxo de radiação emitida pelo sol, por unidade de área, que incide num plano com qualquer inclinação e orientação Símbolo: G_s ; Unidade: W/m^2
Irradiância global solar	Irradiância solar que incide sobre um plano horizontal
Irradiância solar directa	Irradiância solar que incide num plano horizontal a partir dum ângulo cónico que circunda concentricamente o disco solar aparente
Irradiância solar difusa	Irradiância solar que reflectida pelo céu que incide num plano horizontais, com a excepção do ângulo sólido usado para medir a radiação directa
Irradiância solar reflectida	Irradiância solar reflectida por um plano horizontal
Radiação solar	Energia radiante, por área, recebida numa superfície com uma determinada inclinação e orientação durante um período de tempo Símbolo: H_s ; Unidade: MJ/m^2
Radiação de onda longa	Radiação com um comprimento de onda maior que $3\mu m$ emitida pelo solo ou pela atmosfera durante um período de tempo Símbolo: H_l ; Unidade: MJ/m^2

3.2.2. PERÍODO DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS

Os métodos especificados na norma ISO 15927-1 são usados para calcular médias mensais ou totais a partir dum mês individual (por exemplo, Janeiro dum ano específico) ou um mesmo mês para vários anos sucessivos (por exemplo, Janeiro num período de 30 anos). O desvio padrão das médias diárias ou totais relativamente à média mensal ou anual ou total deve referir-se a um mês ou ano específico. O ano específico ou o período de vários anos sobre os quais os parâmetros são calculados devem ser citados sempre que se usam os valores dos parâmetros.

3.2.3. TEMPERATURA DO AR

A média mensal é calculada a partir da temperatura horária, que pode ser a média das medições contínuas durante essa hora ou uma medição instantânea num dado momento dessa hora, por exemplo 12h00.

A expressão de cálculo da média diária e mensal é a habitual:

$$\theta_{d_m} = \frac{\sum_{h=1}^{h_m} \theta_h}{n_d} \quad (3)$$

$$\theta_{m_m} = \frac{\sum_{h=1}^{h_m} \theta_h}{h_m} \quad (4)$$

O desvio padrão das médias diárias em relação as médias mensais é calculado pela expressão:

$$\theta_{sd_m} = \sqrt{\frac{d_m \sum_{d=1}^{d_m} \theta_{d_m}^2 - (\sum_{d=1}^{d_m} \theta_{d_m})^2}{d_m(d_y - 1)}} \quad (5)$$

Para se obter a temperatura média anual consideram-se as médias diárias e usa-se a expressão:

$$\theta_{y_m} = \frac{\sum_{d=1}^{d_y} \theta_{d_m}}{d_y} \quad (6)$$

O desvio padrão das médias diárias em relação as médias anuais é calculado pela expressão:

$$\theta_{sd_y} = \sqrt{\frac{d_y \sum_{d=1}^{d_y} \theta_{d_m}^2 - (\sum_{d=1}^{d_y} \theta_{d_m})^2}{d_y(d_y - 1)}} \quad (7)$$

Para a apresentação dos resultados da temperatura há que considerar que o valor das médias mensais da temperatura exterior deve ser expresso com uma precisão de 0,1°C e a data (i.e. hora, dia, etc) dos registos usados para o cálculo da média mensal deve ser especificada.

Para cada mês devem ser expressos os seguintes parâmetros:

- As observações a partir das quais os parâmetros são calculados;
- A média mensal da temperatura;
- O desvio padrão das médias diárias da temperatura em relação as médias mensais;
- O valor máximo da temperatura horária;
- O valor mínimo da temperatura horária;
- O valor da temperatura horária para os percentis 1%, 5%, 10%, 90%, 95% e 99%.

3.2.4. HUMIDADE ATMOSFÉRICA

Os dados da humidade usados para o cálculo das médias mensais devem ser obtidos a partir de:

- Termómetros de bolbo seco e húmido com ventilação mecânica;
- Sensores;
- Higrómetros.

Os dados das temperaturas do ar obtidos a partir de termómetros sem ventilação mecânica ou de higrómetros de cabelo são muitos imprecisos para serem usados no cálculo das médias mensais.

Existe uma relação entre a temperatura e a humidade, sendo possível tirar a pressão de saturação a partir da temperatura através da expressão:

$$p_{sat}(\theta) = 6,105 \exp\left(\frac{17,269 \theta}{237,3 + \theta}\right); \theta \geq 0 \quad (8)$$

$$p_{sat}(\theta) = 6,105 \exp\left(\frac{21,875 \theta}{265,5 + \theta}\right); \theta < 0 \quad (9)$$

A humidade relativa e a pressão parcial do vapor de água podem ser quantificadas por sensores ou calculados, sabendo um dos parâmetros anteriores e conhecendo a temperatura do ar exterior obtêm-se o outro parâmetro pela expressão:

$$\varphi = \frac{p}{p_{sat}(\theta)} \quad (10)$$

A pressão parcial do vapor de água pode ser obtida a partir dos dados horários, médias horárias ou valores medidos num dado momento durante a hora, através da expressão:

$$p_{m_m} = \frac{\sum_{h=1}^{h_m} p_h}{h_m} \quad (11)$$

A relação entre a pressão de saturação e a temperatura é não linear. O cálculo da média mensal da pressão parcial do vapor de água a partir da humidade relativa e da temperatura leva a erros significativos, especialmente em climas quentes.

A média anual da pressão de vapor de água calculada pela expressão:

$$p_{y_m} = \frac{\sum_{d=1}^{d_y} p_{d_m}}{d_y} \quad (12)$$

Os valores médios devem ser apresentados com a precisão indicada no Quadro 6.

Quadro 6 – Precisão e unidade em que se expressam as médias

Parâmetros	Precisão	Unidades
Temperatura	0,1	°C
Pressão de vapor de água	0,1	hPa
Humidade absoluta do ar	0,1	g/kg
Humidade relativa	0,01	-

Na apresentação dos cálculos da humidade devem constar:

- As observações a partir dos quais os parâmetros são calculados;
- A média da temperatura, pressão parcial do vapor de água e humidade relativa;
- Quando os dados horários estão disponíveis, os percentis 1%, 5%, 10%, 90%, 95% e 99% e o máximo e o mínimo absoluto da pressão de vapor de água, humidade absoluta do ar ou humidade relativa.

3.2.5. VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO

A velocidade do vento é medida com o anemómetro e a direcção com o cata-vento. A média da velocidade do vento, \bar{v}_T , é calculada para períodos compreendidos entre 10 min e 1h. A velocidade instantânea é a média da velocidade num período aproximado de 2s dependendo do aparelho usado, e em condições de referência para um período médio de 10min a rajada de vento é $\hat{v} = 1,54\bar{v}_T$ e para um período médio de 1 hora é $\hat{v} = 1,65\bar{v}_T$.

A média mensal ou anual da velocidade do vento pode ser calculada a partir de valores medidos continuamente ou em intervalos não excedendo 3 horas.

A média mensal da velocidade do vento deve ser calculada pela expressão:

$$v_{m_m} = \frac{\sum_{N=1}^{n_m} v_N}{n_m} \quad (13)$$

A média anual da velocidade do vento deve ser calculada pela expressão:

$$v_{ym} = \frac{\sum_{N=1}^{n_y} v_N}{n_y} \quad (14)$$

A distribuição estatística das frequências das médias do vento, definidas em função da direcção e velocidade, devem ser dadas por tabelas, por mês e para o ano todo. A presença de qualquer obstáculo que possa falsear a distribuição deve ser registada.

Estes dados estatísticos podem ser representados graficamente através de uma “rosa-dos-ventos”: o comprimento da barra para qualquer uma das direcções é proporcional à frequência acumulada da velocidade do vento.

A apresentação do cálculo deve ser reportada para cada mês ou ano e deve conter:

- As observações a partir dos quais os parâmetros são calculados;
- A localização do anemómetro que efectuou as medições;
- A frequência com que os dados brutos são registados;
- A média da velocidade mensal ou anual;
- A distribuição de frequência acumulada mensal ou anual;
- A tabela da distribuição de frequência da velocidade por direcção durante o mês ou ano.

3.2.6. PRECIPITAÇÃO

A chuva deve ser medida através de um pluviómetro com um *design* e uma localização de acordo com a norma No. 8 1996 da WMO. A precipitação pode ser obtida através dos valores horários pela expressão 15, ou através dos valores diários pela expressão 16. Nos dois casos a precipitação sólida derretida deve ser totalizada para a precipitação mensal.

$$R_m = \sum_{h=1}^{N_m} R_h \quad (15)$$

$$R_m = \sum_{d=1}^{d_m} R_d \quad (16)$$

A apresentação dos dados da precipitação deve conter:

- As observações a partir dos quais os parâmetros são calculados;
- A frequência com que os dados brutos da precipitação são registados;
- A precipitação mensal aproximada a 1mm;
- Número de dias do mês em que a precipitação é 0,1mm ou mais;
- O valor máximo diário de precipitação durante o mês aproximado a 1mm;
- Se os dados são horários, o valor máximo horário de precipitação durante o mês, aproximado a 0,1mm;
- Se os dados são horários, o número de horas no mês em que a precipitação excedeu 0,1mm.

3.2.7. RADIAÇÃO SOLAR

A medição da radiação tem que estar de acordo com as orientações da norma No. 8 1996 da WMO.

A quantificação da radiação é expressa em energia em vez de potência. A radiação é o somatório da irradiância que incide sobre uma superfície de qualquer inclinação, ic , durante um intervalo de tempo Δt no momento i . A radiação global, g , directa, d , e difusa, b , é dada pelas expressões:

$$\bar{H}_{s,g,ic} = \sum_{i=1}^{N_m} G_{s,g,ic,i} \Delta t \quad (17)$$

$$\bar{H}_{s,d,ic} = \sum_{i=1}^{N_m} G_{s,d,ic,i} \Delta t \quad (18)$$

$$\bar{H}_{s,b,ic} = \sum_{i=1}^{N_m} G_{s,b,ic,i} \Delta t \quad (19)$$

Se os valores de irradiância forem diários a radiação mensal global, directa e difusa é calculada pela expressão:

$$\bar{H}_{s,g,ic} = \sum_{d=1}^{N_m} G_{s,g,ic,d} \quad (20)$$

$$\bar{H}_{s,d,ic} = \sum_{d=1}^{N_m} G_{s,d,ic,d} \quad (21)$$

$$\bar{H}_{s,b,ic} = \sum_{d=1}^{d_m} G_{s,b,ic,d} \quad (22)$$

A apresentação dos resultados deve conter:

- As observações a partir dos quais os parâmetros são calculados;
- A frequência com que os dados brutos são registados;
- Radiação solar total mensal;
- Se a radiação mensal tiver como base valores horários, o valor mínimo, percentil 10%, a mediana, percentil 90% e o máximo da radiação.

3.2.8. RADIAÇÃO DE ONDA LONGA

Ondas com comprimento maior que $3\mu\text{m}$ são designadas de ondas longas. A sua medição tem que estar de concordância com as orientações da norma No. 8 1996 da WMO.

A radiação pode ser medida através de várias observações durante um intervalo de tempo, Δt , no momento i , ou através de uma radiação total diária.

$$\bar{H}_l = \sum_{i=1}^{N_m} G_{l,i} \Delta t \quad (23)$$

$$\bar{H}_l = \sum_{d=1}^{d_m} G_{l,d} \quad (24)$$

A apresentação dos resultados deve conter:

- Os dados das observações;
- O intervalo entre cada observação;
- A radiação de onda longa total mensal;
- Se a radiação mensal tiver como base valores horários, o valor mínimo, percentil 10%, a mediana, percentil 90% e o máximo da radiação.

3.3. DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO LFC/FEUP

3.3.1. NOTA INTRODUTÓRIA

O objectivo deste estudo é o começo da criação do ano de referência para o microclima da FEUP. Infelizmente os dados disponibilizados iniciam-se apenas em Março de 2009 e apresentam muitas falhas. Apesar das falhas poderem ser corrigidas por interpolação linear ou por estimativa, foram deixados em branco os valores em falta.

Os dados utilizados estão afectados de erros de medições, consequência dos equipamentos não cumprirem os requisitos de localização dos fabricantes. Os equipamentos não cumprem as distâncias mínimas aos obstáculos, estando localizados no meio de dois edifícios e distando de cada um aproximadamente dezoito metros, e estando apenas a uma cota de dois metros acima da superfície da cobertura.

Os valores apresentados foram calculados a partir de dados medidos pela estação meteorológica do LFC/FEUP entre Março de 2009 e Maio de 2011 em intervalos de dez minutos. Com os valores medidos foram calculadas as médias horárias, com as quais foram efectuados os cálculos indicados nos parágrafos seguintes.

3.3.2. TEMPERATURA DO AR

Os quadros 7 a 9 apresentam para os anos de 2009 (de Março até Dezembro), 2010 e 2011 (de Janeiro até Maio) os valores mensais e anuais da média, do desvio padrão, os mínimos, os máximos e os percentis 1%, 5%, 10%, 90%, 95% e 99%.

A média mensal apresenta um comportamento semelhante ao longo de cada ano. A temperatura média mensal mais alta ocorre no mês de Agosto e diminui ao longo dos meses até Dezembro ou Janeiro.

Quadro 7 – Valores de temperatura para o ano 2009 (°C)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
θ_{m_m}	-	-	15,0	12,4	17,8	19,3	19,4	21,5	21,0	19,1	13,9	11,0	17,0
θ_{sd_m}	-	-	3,4	1,9	4,3	2,7	1,1	3,1	2,7	2,4	2,1	3,0	4,5
θ_{min}	-	-	5,5	6,3	7,6	13,7	13,3	13,4	11,5	10,6	6,0	2,0	2,0
θ_{p1}	-	-	6,5	7,0	9,1	14,2	14,0	14,3	13,1	11,6	6,4	2,9	5,5
θ_{p5}	-	-	8,8	8,2	11,1	15,0	14,9	15,4	15,1	13,9	8,7	4,3	8,9
θ_{p10}	-	-	9,8	8,8	12,5	15,4	15,7	16,4	16,2	15,0	10,6	5,7	10,4
θ_{p90}	-	-	22,1	16,2	25,6	24,2	23,6	28,0	27,0	23,4	17,3	15,2	23,7
θ_{p95}	-	-	24,1	17,7	28,7	26,2	24,8	30,6	28,9	25,6	17,8	15,8	25,9
θ_{p99}	-	-	25,8	23,3	32,3	29,5	26,6	33,0	30,6	29,0	18,8	16,8	30,7
θ_{max}	-	-	28,1	24,8	34,9	32,3	29,2	35,9	32,3	31,4	19,1	18,4	35,9

Em 2009, para mês de Agosto é observada uma temperatura média mensal de 21,5°C, sendo que foi neste mês que foi observada a temperatura horária mais elevada, 35,9°C. Para o mês de Dezembro é obtida uma temperatura média mensal de 11,0°C, sendo que o valor horário mais baixo obtido nesse ano foi observada em Dezembro e corresponde a temperatura diária mais baixa, 2°C.

Quadro 8 - Valores de temperatura para o ano 2010 (°C)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
θ_{mm}	10,1	10,2	11,7	15,5	17,5	19,3	22,9	23,2	20,2	16,3	11,7	10,1	16,1
θ_{sdm}	2,9	2,3	0,9	2,8	4,6	2,4	4,3	3,1	2,6	1,6	3,3	3,7	5,8
θ_{min}	-0,9	2,3	9,0	4,5	7,5	12,2	8,0	15,6	10,9	9,7	0,4	-0,2	-0,9
θ_{p1}	1,3	3,4	9,3	6,4	8,4	13,8	14,5	16,0	12,6	10,1	2,4	1,1	2,9
θ_{p5}	3,7	4,9	9,9	8,4	10,0	14,7	16,2	16,7	15,3	11,9	4,9	2,8	5,9
θ_{p10}	4,7	5,8	10,2	10,0	11,5	15,1	16,8	17,4	16,1	12,7	6,6	3,8	8,0
θ_{p90}	13,9	13,9	13,7	20,7	25,7	24,7	31,3	29,9	25,3	20,4	16,1	15,3	24,5
θ_{p95}	14,4	14,6	14,0	22,2	28,2	25,8	33,1	31,4	27,9	21,2	17,9	16,3	27,7
θ_{p99}	15,4	16,2	15,3	25,0	31,2	29,8	35,7	34,9	31,4	23,3	24,0	17,8	32,6
θ_{max}	17,3	17,6	15,6	26,1	32,7	32,9	38,0	37,1	34,5	25,6	26,1	18,6	38,0

Em 2010, também Agosto apresenta a temperatura média mensal mais elevada, 23,2°C, mas no mês de Julho são registadas temperaturas mais altas durante o dia, uma vez que os valores dos percentis 90%, 95% e 99% são maiores, tal como a temperatura máxima horária, que é 38,0°C. Janeiro e Dezembro apresentam uma temperatura média mensal de cerca de 10°C, sendo em Janeiro que se regista a temperatura mínima mais baixa do ano, -0,9°C.

Quadro 9 - Valores de temperatura para o ano 2011 (°C)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
θ_{mm}	10,3	11,1	13,1	18,5	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{sdm}	2,6	1,7	2,4	3,1	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{min}	1,4	2,9	4,7	8,5	10,6	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{p1}	2,6	3,7	5,8	10,7	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{p5}	4,4	5,7	7,2	12,6	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{p10}	5,5	6,5	8,9	13,3	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{p90}	14,0	15,4	17,9	24,8	25,6	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{p95}	14,5	16,4	19,8	26,5	27,1	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{p99}	16,0	18,2	23,7	29,5	29,7	-	-	-	-	-	-	-	-
θ_{max}	16,6	21,5	25,4	31,1	31,9	-	-	-	-	-	-	-	-

No ano 2011 apenas foram estudados 5 meses, pelo que não é possível fazer grandes comparações com os anos anteriores. Ainda assim, verifica-se que Janeiro apresenta-se como mês com a temperatura média mais baixa, 10,3°C, e Maio com a mais alta, 19,5°C. A temperatura horária mais alta foi 31,9°C, em Maio, e a mais baixa 1,4°C, em Janeiro.

A maior variação térmica mensal ocorreu para o mês de Maio, em 2009 e 2010, e em Abril, em 2011, Em 2009 foi de 17,1°C, em 2010 de 25,3°C e em 2011 de 22,6°C. Agosto e Setembro são os únicos meses que apresentam valores de desvio padrão semelhantes para os diferentes anos em estudo.

Os vários meses apresentam, de ano para ano, variações nas suas temperaturas médias mensais. De 2009 para 2010, só em Abril, Julho e Agosto houve um aumento dos valores e em Junho mantiveram-se iguais. De 2010 para 2011 todos os meses apresentam subida de temperatura média mensal. De realçar a subida da temperatura média em Abril que aumentou de 2009 para 2011 aproximadamente de 6°C.

Em relação às temperaturas horárias máximas o mês de Março sofreu a maior variação, com uma diminuição de 12,5°C, de 2009 para 2010, e de 2010 para 2011 um aumento de 9,7°C. Em relação aos outros meses verifica-se que as temperaturas máximas aumentam ao longo dos anos, excepções a Março e Outubro de 2010 e Janeiro de 2011.

As temperaturas horárias mínimas não apresentam variações tão acentuadas. Março continua apresentar variações elevadas, mas Julho e Novembro apresentam uma variação maior, com 2009 a registar temperaturas mínimas horárias mais elevadas, em relação a 2010, de 5,4 e 5,6°C, respectivamente. As temperaturas mínimas horárias diminuem de 2009 para 2010, à excepção de Março e Agosto. De 2010 para 2011, nos 5 meses observados, registou-se o oposto, com Março a contrariar a tendência.

A comparação anual não é possível de efectuar porque faltam meses em 2009 e em 2011. O ano 2009 apresenta temperatura mais elevada que 2010, mas é compreensível visto que dois dos meses mais frios, Janeiro e Fevereiro, não apresentam registos para 2009.

De realçar que, apesar de 2010 apresentar média anual menor do que 2009, verifica-se que registou temperaturas máximas mais altas e temperaturas mínimas mais baixas. Consequentemente o desvio padrão é maior.

3.3.3. HUMIDADE ATMOSFÉRICA

Os quadros 10 a 12 apresentam os valores mensais e anuais da temperatura do ar, da pressão de vapor e da humidade relativa, para os anos de 2009 a 2011. Verifica-se que a pressão anual ronda os 13hPa, e a humidade relativa os 70% para 2009 e 2010. A média anual para 2011 não foi calculada por faltarem mais de metade dos meses.

Quadro 10 - Valores de pressão e humidade relativa para o ano 2009

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
θ_{m_m} (°C)	-	-	15,0	12,4	17,8	19,3	19,4	21,5	21,0	19,1	13,9	11,0	17,0
p_{m_m} (hPA)	-	-	8,9	10,7	11,9	15,6	16,5	17,3	15,1	15,5	13,4	10,5	13,5
φ_{m_m} (%)	-	-	0,56	0,76	0,62	0,71	0,74	0,70	0,64	0,72	0,84	0,77	0,71
φ_{min} (%)	-	-	0,12	0,23	0,15	0,15	0,34	0,18	0,23	0,12	0,49	0,29	0,12
φ_{p1} (%)	-	-	0,13	0,32	0,17	0,19	0,42	0,27	0,26	0,14	0,55	0,36	0,13
φ_{p5} (%)	-	-	0,22	0,43	0,22	0,40	0,48	0,37	0,31	0,16	0,60	0,43	0,19
φ_{p10} (%)	-	-	0,26	0,51	0,28	0,49	0,53	0,44	0,36	0,26	0,66	0,50	0,26
φ_{p90} (%)	-	-	0,90	0,93	0,89	0,90	0,92	0,93	0,93	0,96	0,97	0,96	0,96
φ_{p95} (%)	-	-	0,96	0,94	0,93	0,92	0,94	0,94	0,96	0,98	0,98	0,97	0,98
φ_{p99} (%)	-	-	0,99	0,96	0,97	0,94	0,97	0,97	0,98	1,00	1,00	0,99	1,00
φ_{max} (%)	-	-	1,00	0,98	0,98	0,96	0,99	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00

Em 2009 Março apresenta o menor valor médio de pressão mensal e a menor média para a humidade relativa, apesar de não apresentar o menor valor médio da temperatura, o que pode estar relacionado com o facto dos valores se referirem a médias mensais e não valores horários.

A pressão mais elevada ocorreu como esperado no mês com maior temperatura, Agosto, e o valor é de 17,26hPa. A humidade relativa mais elevada ocorre em Novembro, 84%, mas é em Dezembro que a temperatura atinge o mínimo, sendo neste mês a humidade relativa de 77%.

Quadro 11 - Valores de pressão e humidade relativa para o ano 2010

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
θ_{m_m} (°C)	10,1	10,2	11,7	15,5	17,5	19,3	22,9	23,2	20,2	16,3	11,7	10,1	16,1
p_{m_m} (hPA)	9,7	9,3	10,1	10,7	12,4	15,5	17,0	15,9	16,2	13,6	11,1	9,5	12,9
φ_{m_m} (%)	0,77	0,73	0,74	0,63	0,64	0,71	0,65	0,60	0,71	0,74	0,80	0,75	0,70
φ_{min} (%)	0,25	0,32	0,55	0,21	0,21	0,28	0,17	0,18	0,17	0,24	0,40	0,33	0,17
φ_{p1} (%)	0,33	0,34	0,56	0,23	0,22	0,30	0,19	0,19	0,28	0,29	0,45	0,36	0,19
φ_{p5} (%)	0,43	0,43	0,59	0,29	0,28	0,37	0,27	0,23	0,37	0,40	0,53	0,42	0,25
φ_{p10} (%)	0,53	0,48	0,62	0,36	0,33	0,45	0,33	0,29	0,43	0,47	0,60	0,47	0,33
φ_{p90} (%)	0,95	0,93	0,84	0,88	0,89	0,93	0,92	0,96	0,93	0,95	0,95	0,97	0,96
φ_{p95} (%)	0,96	0,95	0,88	0,91	0,92	0,95	0,95	0,98	0,94	0,97	0,96	0,99	0,98
φ_{p99} (%)	0,98	0,96	0,91	0,96	0,95	0,97	0,97	1,00	0,97	1,00	0,99	1,00	1,00
φ_{max} (%)	0,99	0,97	0,92	0,97	0,98	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Em 2010 ao mês de Agosto, com temperatura média mais alta, corresponde a humidade relativa média mais baixa, 60%, e uma pressão média alta, 15,88hPa, apesar da pressão mensal máxima ser no mês de Julho, 16,99hPa. Novembro apresentou a humidade relativa mensal mais elevada, 80%, e Fevereiro o valor mensal da pressão mínimo, 9,35hPa.

Quadro 12 - Valores de pressão e humidade relativa para o ano 2011

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
θ_{m_m} (°C)	10,3	11,1	13,1	18,5	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-
p_{m_m} (hPa)	9,6	10,3	9,9	12,5	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{m_m} (%)	0,74	0,78	0,67	0,62	0,68	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{min} (%)	0,19	0,25	0,13	0,22	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{p1} (%)	0,22	0,36	0,21	0,24	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{p5} (%)	0,30	0,47	0,35	0,29	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{p10} (%)	0,38	0,54	0,39	0,33	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{p90} (%)	0,99	0,96	0,95	0,91	0,90	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{p95} (%)	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{p99} (%)	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-
φ_{max} (%)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-

No ano 2011 verifica-se que a pressão mensal é menor em Janeiro, 9,63hPa, e a humidade relativa mensal é maior em Fevereiro, 78%, meses com as temperaturas médias mais baixas. O valor mais alto da pressão mensal é em Maio, 14hPa, e a humidade relativa mensal mais baixa ocorre em Abril, 62%.

Da comparação do mesmo mês em diferentes anos nota-se que os valores nos anos 2011 e 2010 são mais semelhantes do que em 2009. Entre 2010 e 2009 os meses mais quentes apresentam diferenças de humidade relativa de 10%, exemplo de Julho e Agosto, mas é em Março e Abril que a diferença é maior, 18 e 13%, respectivamente. A pressão apresenta diferenças máximas de aproximadamente 2hPa.

Nos anos em estudo, verificou-se em que o valor máximo mensal da humidade relativa era sempre maior do que 96%, menos no mês de Março de 2010, em que o máximo foi 92%. 90% dos valores horários da humidade relativa para cada mês dos três anos estudados são, por norma, superiores a 90%. Aumentando o intervalo de tempo de análise para um ano, 90% dos valores da humidade relativa são superiores a 96%.

3.3.4. VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO

No quadro 13 apresentam-se os valores médios mensais da velocidade do vento para 2009, 2010 e 2011. Verifica-se que apesar da velocidade a não apresentar grandes variações ao longo do ano, nos meses de verão o valor é menor do que nos meses de inverno.

Os quadros 14 a 16 apresentam a distribuição de frequências de velocidade por direcção do vento e nas figuras 26 a 28 a distribuição de frequência acumulada para 2009, 2010 e 2011.

Quadro 13 - Valores de velocidade do vento para os três anos em estudo (m/s)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
$v_{m,2009}$	-	-	1,27	1,10	1,32	1,38	1,23	1,02	1,16	1,42	1,35	1,81	1,31
$v_{m,2010}$	1,39	1,80	1,82	1,34	1,40	1,20	1,12	1,10	1,00	1,41	1,16	1,55	1,31
$v_{m,2011}$	1,37	1,23	0,10	1,19	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 14 – Distribuição de frequências da velocidade por direcção do vento para o ano 2009

Velocidade (m/s)	Direcção (°)												Total	
	345 a 15	15 a 45	45 a 75	75 a 105	105 a 135	135 a 165	165 a 195	195 a 225	225 a 255	255 a 285	285 a 315	315 a 345		
>10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8 a 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
6 a 8	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%
4 a 6	0,1%	0,1%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%	0,2%	0,5%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	2,5%
2 a 4	0,8%	0,6%	2,5%	2,0%	1,1%	1,5%	1,6%	3,0%	0,7%	0,5%	0,9%	1,2%	1,2%	16,4%
0 a 2	6,0%	4,6%	10,3%	9,8%	5,8%	6,4%	6,0%	6,4%	4,1%	5,4%	6,9%	8,9%	8,9%	80,6%
Total	6,9%	5,3%	13,3%	12,2%	7,2%	8,4%	7,9%	10,0%	4,9%	6,0%	7,9%	10,1%	10,1%	100,0%

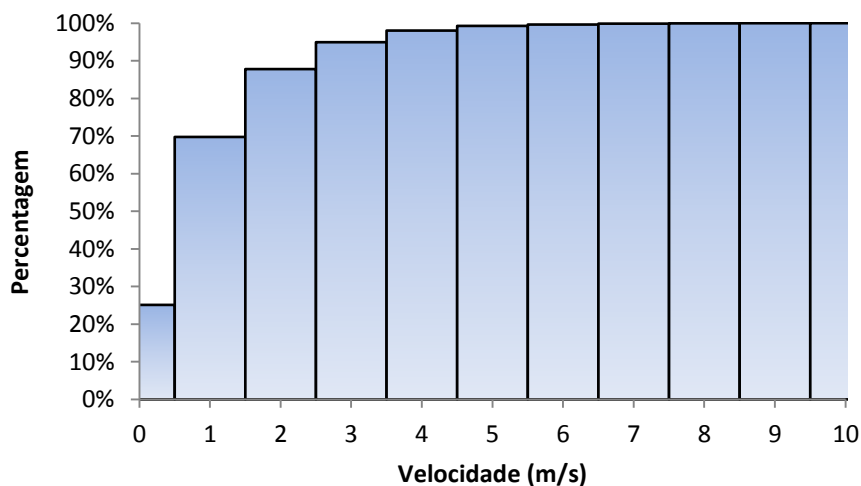


Figura 26 – Distribuição de frequência acumulada para o ano 2009

Em 2009, a velocidade mensal do vento é máxima em Dezembro, 1,81m/s, sendo este valor mais elevado para os três anos. Em Agosto a velocidade média mensal atingem o seu valor mais baixo, 1,02m/s. 80,6% dos valores de velocidade registados pertenciam a um intervalo de 0 a 2m/s e só 3%

atingiu velocidades maiores que 4m/s. Há predominância de ventos na direcção entre Nordeste e Este, a direcção Sudoeste é a que apresentava menos percentagem.

Quadro 15 – Distribuição de frequências da velocidade por direcção do vento para o ano 2010

Velocidade (m/s)	Direcção (°)												Total	
	345 a 15	15 a 45	45 a 75	75 a 105	105 a 135	135 a 165	165 a 195	195 a 225	225 a 255	255 a 285	285 a 315	315 a 345		
>10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8 a 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
6 a 8	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
4 a 6	0,0%	0,0%	0,4%	0,4%	0,2%	0,4%	0,2%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	2,4%
2 a 4	0,8%	0,6%	3,0%	2,6%	1,0%	1,3%	1,2%	2,3%	0,7%	0,7%	1,3%	1,3%	16,6%	
0 a 2	5,6%	4,6%	11,0%	10,3%	5,5%	5,5%	5,5%	5,6%	3,8%	6,2%	8,1%	8,8%	80,4%	
Total	6,4%	5,2%	14,3%	13,2%	6,8%	7,3%	6,9%	8,4%	4,7%	7,0%	9,5%	10,2%	100,0%	

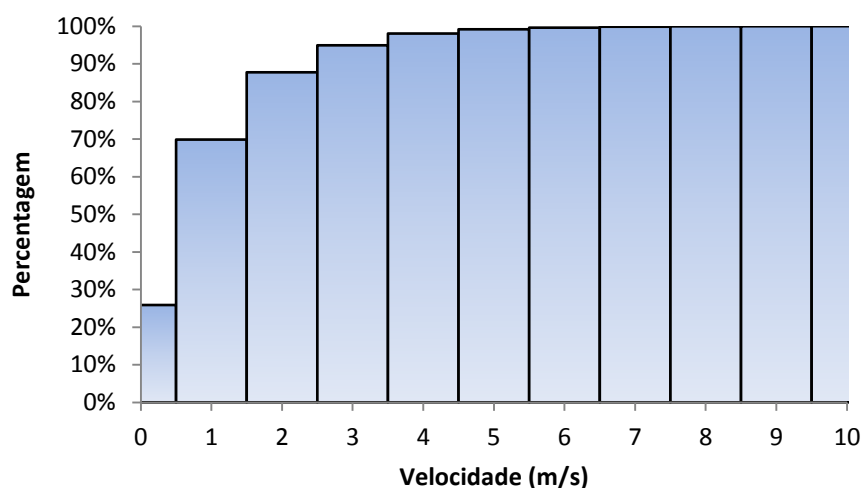


Figura 27 – Distribuição de frequência acumulada para o ano 2010

Em 2010, a velocidade média atingiu o seu máximo em Março, 1,82m/s, e em Setembro apresentou o menor valor, 1m/s. As velocidades entre 0 e 2m/s são as mais registadas, 80,4% das observações efectuadas, e superiores a 4m/s apenas foram registadas em 3% dos casos. Em semelhança com o anterior, a direcção predominante dos ventos é entre Nordeste e Este e a direcção com menos percentagem é a Sudoeste.

Quadro 16 – Distribuição de frequências da velocidade por direcção do vento para o ano 2011

Velocidade (m/s)	Direcção (°)												Total	
	345 a 15	15 a 45	45 a 75	75 a 105	105 a 135	135 a 165	165 a 195	195 a 225	225 a 255	255 a 285	285 a 315	315 a 345		
>10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8 a 10	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6 a 8	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
4 a 6	0,1%	0,0%	0,2%	0,3%	0,1%	0,3%	0,2%	0,3%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	2,0%
2 a 4	1,3%	0,4%	2,5%	2,1%	0,9%	1,3%	1,1%	2,2%	0,6%	0,7%	1,2%	1,0%	1,0%	15,2%
0 a 2	12,6%	4,1%	11,9%	11,0%	5,6%	4,9%	4,5%	4,3%	3,5%	5,7%	6,9%	7,7%	7,7%	82,5%
Total	14,0%	4,5%	14,6%	13,4%	6,6%	6,5%	5,7%	6,8%	4,3%	6,5%	8,2%	8,8%	8,8%	100,0%

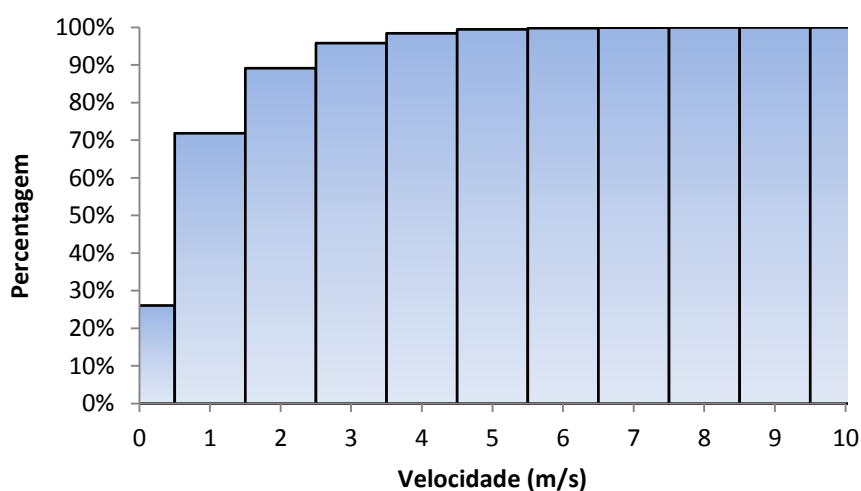


Figura 28 – Distribuição de frequência acumulada para o ano 2011

Em 2011 Janeiro apresentou o valor mais alto, 1,37m/s, e Março, com um valor que poderá corresponder a erros de medição, apresentou a menor velocidade desse ano e dos três anos estudados, 0,10m/s. Apesar da quantidade de valores ser menor que nos outros anos, o intervalo de velocidades de 0 a 2m/s apresenta uma percentagem semelhante aos outros anos, 82,5%, e a percentagem de observações de velocidade superior a 4m/s é de 2,2%. Também a direcção mais observada é entre Nordeste e Este e a menos observada é Sudoeste.

Os anos 2009 e 2010 apresentam o mesmo valor anual para a velocidade 1,31m/s. Em 2011 esse valor é mais baixo, 1,01m/s, contribuindo, para isso, o valor muito baixo obtido em Março e a falta de resultados a partir de Maio. O ano 2010 apresenta para os meses iniciais velocidades maiores do que os outros anos, mas esta superioridade é invertida nos meses quentes, com o ano 2009 a apresentar velocidades maiores.

3.3.5. PRECIPITAÇÃO

Os quadros 17 a 19 mostram os valores mensais da precipitação em 2009, 2010 e 2011. Nos três meses de Verão verifica-se a quase ausência da precipitação, a contrastar com os meses de Inverno e Outono.

Quadro 17 – Valores de precipitação para o ano 2009

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
R_m (mm)	-	-	28	94	20	53	11	0	9	121	287	260
Número de dias em que $R_d > 0,1\text{mm}$	-	-	4	14	6	11	5	0	7	13	26	18
$R_{d_{\max}}$ (mm)	-	-	18	23	5	13	8	0	3	40	88	70
$R_{h_{\max}}$ (mm)	-	-	3,2	7,0	2,8	9,2	1,8	0	1,4	9,6	14,0	15,4
Número de horas em que $R_h > 0,1\text{mm}$	-	-	40	83	29	55	21	0	17	78	183	170

Em 2009 o mês de Dezembro foi o que apresentou uma precipitação mensal maior, 260,4 mm, mas foi a Novembro que houve mais dias com uma precipitação maior que 1 mm, 26 dias. Em número de horas, também, foi o que apresentou mais horas com precipitação maior que 1 mm, 183 horas. O valor máximo diário de precipitação ocorreu em Novembro, 88mm, mas o valor máximo numa hora foi em Dezembro, 15,4mm. Em termos de valores mais baixos, para os parâmetros descritos anteriormente, aconteceram em Agosto, apresentando valores nulos para todos, o que mesmo para Verão, é um valor pouco normal.

Quadro 18 – Valores de precipitação para o ano 2010

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
R_m (mm)	-	157	21	41	54	63	3	7	28	254	227	178
Número de dias em que $R_d > 0,1\text{mm}$	-	10	3	11	7	4	4	3	4	13	18	18
$R_{d_{\max}}$ (mm)	-	30	7	9	22	28	2	4	14	74	50	53
$R_{h_{\max}}$ (mm)	-	9,4	3,6	5,0	8,0	6,6	2,2	2,4	6,8	14,6	20,6	9,2
Número de horas em que $R_h > 0,1\text{mm}$	-	85	19	46	25	36	7	12	11	118	154	152

Em 2010, durante o mês de Janeiro ocorreu um problema com o pluviómetro, pelo que não foram considerados os registos. Dos restantes meses, o que apresentou maior valor acumulado mensal foi Outubro, que também apresentou a maior precipitação diária, 258,8mm e 73,8mm, respectivamente. O maior valor de precipitação ocorre em Novembro, 20,6mm. O maior número de dias em que a precipitação é maior que 0,1mm ocorreu em Novembro e Dezembro, 18 dias; em termos de horas o mês de Novembro é o que apresenta maior valor, 154 horas em que a precipitação é maior que 0,1mm. Neste ano é em Julho que a precipitação é menor, 3,4mm, que também apresenta o menor máximo de precipitação para um dia e para uma hora, 2,4 e 2,2mm. É neste mês que o número de horas com a

precipitação é mais baixo, 7 horas, mas é em Agosto que ocorrem menos dias com precipitação maior que 0,1mm, apenas 3 dias.

Quadro 19 – Valores de precipitação para o ano 2011

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
R_m (mm)	188	1845	75	49	34	-	-	-	-	-	-	-
Número de dias em que $R_d > 0,1\text{mm}$	11	13	12	9	8	-	-	-	-	-	-	-
$R_{d_{\max}}$ (mm)	95	33	21	20	14	-	-	-	-	-	-	-
$R_{h_{\max}}$ (mm)	32,2	12,0	7,2	7,6	9,0	-	-	-	-	-	-	-
Número de horas em que $R_h > 0,1\text{mm}$	79	92	75	42	29	-	-	-	-	-	-	-

Em 2011, Janeiro apresentou o valor mais elevado de precipitação, 188mm. O dia e a hora com maior precipitação foi também neste mês, 95 e 32mm respectivamente. No entanto, é Fevereiro que apresenta mais dias e mais horas com precipitação maior que 0,1mm, 13 dias e 92 horas, respectivamente. Neste ano o mês com menor precipitação mensal, 33,6mm e menor precipitação máxima num dia, 13,8mm, é Maio. Neste mês apenas 8 dias apresentam precipitação maior que 0,1mm, e em horas, esse valor de precipitação só é ultrapassado em 29 horas. O valor máximo mais baixo da precipitação durante uma hora é 7,2mm e aconteceu em Março.

A precipitação apresentou variações acentuadas considerando o mesmo mês em anos diferentes. A maior variação ocorreu para Março, em que em 2011, o valor é superior três vezes em relação aos anos anteriores. Setembro, Outubro e Dezembro também apresentam variações elevadas, em que os dois primeiros meses de 2009 apresentam uma precipitação cerca de duas vezes superior a 2010 e no último mês a precipitação diminui para cerca metade.

3.3.6. RADIAÇÃO SOLAR

Nos quadros 20 a 28, o valor da radiação vem expresso em MJ/m². Tendo em conta que os valores medidos vinham expressos em W/m² e correspondiam a valores horários, os valores apresentados resultaram da aplicação da conversão $\text{MJ} = 3600 \times 10^{-6}\text{W}$ aos valores medidos. A conversão serve para reduzir a ordem de grandeza do valor do somatório mensal da radiação, mas em consequência desta conversão, os valores da radiação mínima horária e o percentil 10 apresentam valores nulos.

A radiação global apresenta uma variação esperada para os três anos em estudo, sendo maior nos meses mais quentes do que nos meses mais frios (quadros 20, 23 e 26).

Quadro 20 – Radiação global no ano 2009 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,g,ic}$	-	-	2643	2531	3342	3105	3460	3357	1842	1641	767	722
$\bar{H}_{s,g,ic,h_{min}}$	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,g,ic,p_{10}}$	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,g,ic,mediana}$	-	-	7	5	6	5	6	8	6	4	1	2
$\bar{H}_{s,g,ic,p_{90}}$	-	-	13	14	16	15	16	15	13	10	6	6
$\bar{H}_{s,g,ic,h_{max}}$	-	-	15	17	20	18	20	16	15	14	10	8

Quadro 21 – Radiação difusa no ano 2009 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,d,ic}$	-	-	634	1118	1156	1320	1029	893	524	679	480	394
$\bar{H}_{s,d,ic,h_{min}}$	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,d,ic,p_{10}}$	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,d,ic,mediana}$	-	-	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
$\bar{H}_{s,d,ic,p_{90}}$	-	-	3	6	6	6	5	4	4	4	3	3
$\bar{H}_{s,d,ic,h_{max}}$	-	-	7	10	9	10	10	8	7	8	5	4

Quadro 22 – Radiação directa no ano 2009 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,b,ic}$	-	-	2009	1413	2186	1784	2431	2464	1318	962	287	328
$\bar{H}_{s,b,ic,h_{min}}$	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,b,ic,p_{10}}$	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,b,ic,mediana}$	-	-	5	1	2	1	2	5	4	1	0	0
$\bar{H}_{s,b,ic,p_{90}}$	-	-	11	10	13	12	13	12	10	8	4	4
$\bar{H}_{s,b,ic,h_{max}}$	-	-	13	14	16	15	15	14	13	11	8	7

Em 2009, a radiação global de Maio a Agosto apresenta valores elevados, atingindo o valor mais elevado, 3460MJ/m², em Julho. Novembro e Dezembro apresentaram os valores mais baixos, com a radiação mensal mais baixa, 722MJ/m², em Dezembro. A mediana apresenta o valor mais elevado para Agosto, 8 MJ/m², o mais baixo, 1 MJ/m², em Novembro. O percentil 90 e a radiação horária máxima seguem o comportamento do somatório da radiação mensal, com valores máximos em Julho de 16 e 20 MJ/m² respectivamente. O valor mais baixo dos dois parâmetros ocorrem em Dezembro, 6 e 8MJ/m², respectivamente.

Os valores da radiação difusa e directa apresentam o mesmo desenvolvimento que a radiação global. A radiação mensal directa é maior que a difusa, excepto nos meses de Novembro e Dezembro, correspondente eventualmente a meses mais encobertos. A maior diferença entre elas verifica-se em Agosto, 1571MJ/m², que terá apresentado mais dias com céu limpo. A radiação difusa mensal apresenta o seu valor mais elevado em Junho, 1320MJ/m² e o seu valor mais baixo em Dezembro, 394MJ/m². A radiação directa mensal é maior em Agosto, 2464MJ/m², e menor em Novembro, 287MJ/m². A mediana, o percentil 90 e o máximo horário têm também valores mais elevados para a radiação directa. A radiação difusa máxima horária é 10MJ/m², em Abril, Junho e Julho, ocorrendo a seu valor mais baixo, 4MJ/m², em Dezembro, e a radiação directa máxima horária é de 16MJ/m², em Maio, e o valor mais baixo verifica-se em Dezembro, 7MJ/m².

Quadro 23 – Radiação global no ano 2010 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,g,ic}$	860	1105	139	2104	2578	3525	3770	3298	2590	1675	1060	781
$\bar{H}_{s,g,ic,h_{min}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,g,ic,p_{10}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,g,ic,mediana}$	2	2	3	6	6	8	9	8	6	4	2	2
$\bar{H}_{s,g,ic,p_{90}}$	7	8	9	14	16	16	16	15	13	11	8	6
$\bar{H}_{s,g,ic,h_{max}}$	9	12	11	16	17	17	18	16	15	13	10	8

Quadro 24 – Radiação difusa no ano 2010 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,d,ic}$	403	576	96	787	815	1021	912	856	776	601	425	371
$\bar{H}_{s,d,ic,h_{min}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,d,ic,p_{10}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,d,ic,mediana}$	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
$\bar{H}_{s,d,ic,p_{90}}$	3	4	6	6	5	5	4	4	4	4	3	3
$\bar{H}_{s,d,ic,h_{max}}$	5	7	9	9	8	8	10	9	8	6	5	4

Quadro 25 – Radiação directa no ano 2010 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,b,ic}$	456	529	42	1317	1764	2504	2858	2442	1814	1075	634	411
$\bar{H}_{s,b,ic,h_{min}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,b,ic,p_{10}}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\bar{H}_{s,b,ic,mediana}$	0	0	0	2	2	3	5	5	4	1	1	0
$\bar{H}_{s,b,ic,p_{90}}$	6	6	3	12	14	13	14	13	11	9	6	5
$\bar{H}_{s,b,ic,h_{max}}$	8	9	7	14	15	16	16	14	13	11	9	7

A radiação global mensal, em 2010, apresenta o seu valor mais baixo em Dezembro, 781MJ/m², atingindo o seu valor mais elevado em Julho, de 3770MJ/m². Não se considerou Março como valor mínimo devido às falhas nas leituras durante este mês terem sido demasiado elevadas. A radiação horária máxima é 18MJ/m², em Julho e o seu valor mais baixo é 8MJ/m², em Dezembro. O valor da radiação horária máxima decresceu relativamente ao ano anterior, mas o percentil 90 manteve-se igual, 16MJ/m². Em Dezembro, o mês mais frio, verifica-se que o percentil 90 e a radiação horária máxima são iguais a 2009.

A radiação directa foi maior que a difusa, com excepção de Fevereiro e Março. A maior diferença entre os seus valores ocorreu em Junho, com a radiação directa a ser superior á difusa em 1946MJ/m². A radiação difusa apresenta, em Junho, o acumulado mensal máximo, 1021MJ/m² e em Dezembro o valor mais baixo 371MJ/m². A radiação directa tem o acumulado mensal máximo no mês de Julho, 2442MJ/m², e o valor mais baixo em Dezembro, 411MJ/m².

Quadro 26 – Radiação global no ano 2011 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,g,ic}$	915	1310	1962	2914	3488	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,g,ic,h_{min}}$	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,g,ic,p_{10}}$	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,g,ic,mediana}$	2	3	4	6	7	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,g,ic,p_{90}}$	8	9	12	15	16	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,g,ic,h_{max}}$	9	12	15	16	18	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 27 – Radiação difusa no ano 2011 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,d,ic}$	363	490	776	880	1056	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,d,ic,h_{min}}$	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,d,ic,p_{10}}$	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,d,ic,mediana}$	1	1	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,d,ic,p_{90}}$	3	3	4	4	5	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,d,ic,h_{max}}$	4	6	7	8	9	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 28 – Radiação directa no ano 2011 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\bar{H}_{s,b,ic}$	552	820	1186	2034	2432	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,b,ic,h_{min}}$	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,b,ic,p_{10}}$	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,b,ic,mediana}$	0	1	1	3	2	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,b,ic,p_{90}}$	7	8	10	12	13	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{s,b,ic,h_{max}}$	8	11	13	15	16	-	-	-	-	-	-	-

Em 2011, o acumulado da radiação global mensal evolui do seu valor mínimo, 915MJ/m², em Janeiro, até ao valor máximo, 3488MJ/m², em Maio. Maio apresenta o maior valor de radiação máxima horária, 18MJ/m² e Janeiro menor valor, 9MJ/m². A radiação difusa é menor que a directa em todos os meses, com a maior diferença a verificar-se em Maio, 1376MJ/m². O acumulado da radiação difusa e directa mensal é maior em Maio, 1056MJ/m² e 2432MJ/m², respectivamente. O valor mensal mais baixo ocorre no mês de Janeiro, com a radiação difusa a ter um valor de 363MJ/m² e a directa um valor de 552MJ/m².

Março e Maio são meses com variações consideráveis, apresentando um valor muito baixo em 2010 relativamente a 2009 e 2011. A mediana, o percentil 90 e a radiação máxima horária apresentam valores semelhantes nos 3 anos. A radiação directa apresenta, por norma, valores mensais mais elevados que a radiação difusa, com a diferença nos meses mais quentes a ser maior que nos meses mais frios.

3.3.7. RADIAÇÃO DE ONDA LONGA

Nos quadros 29 a 31 o valor da radiação de onda longa vem expresso em MJ/m². Tendo em conta que os valores medidos vinham expressos em W/m² e que correspondiam a valores horários, os valores apresentados resultaram da aplicação da conversão MJ = 3600 × 10⁻⁶W aos valores medidos.

Quadro 29 - Radiação de onda longa no ano 2009 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
\bar{H}_l	-	-	6983	6676	8166	2508	8937	9875	6676	9513	8123	7279
$\bar{H}_{l_{min}}$	-	-	6	7	7	4	9	9	2	8	8	5
$\bar{H}_{l_{p10}}$	-	-	8	8	9	10	10	11	12	11	9	7
$\bar{H}_{l_{mediana}}$	-	-	9	9	11	12	12	13	13	13	11	10
$\bar{H}_{l_{p90}}$	-	-	12	11	13	14	14	16	15	15	13	12
$\bar{H}_{l_{max}}$	-	-	18	13	21	15	16	21	18	17	14	14

No ano 2009, a radiação de onda longa mensal é maior no mês de Agosto, com um valor de 9875MJ/m² e menor no mês de Junho, com um valor de 2508MJ/m². Este valor é bastante mais baixo que os valores dos meses antecessor e sucessor, pelo que poderá incluir algum erro. As radiações horárias mínimas e máximas apresentam valores mais elevados para os meses quentes, tal como a mediana. Agosto apresenta radiação máxima de 21MJ/m², mínima de 9MJ/m² e mediana de 13MJ/m², enquanto em Dezembro a máxima é 14MJ/m², mínima 5MJ/m² e a mediana é 10MJ/m². No entanto é em Abril que a radiação horária máxima e a mediana apresentam valores mais baixos, 13 e 9MJ/m², respectivamente.

Quadro 30 - Radiação de onda longa no ano 2010 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
\bar{H}_l	7138	6352	638	6546	6692	9413	11035	11143	10264	9718	7387	7355
$\bar{H}_{l_{min}}$	5	3	9	2	5	10	10	11	5	9	2	5
$\bar{H}_{l_{p10}}$	7	7	10	10	9	11	12	13	12	11	8	7
$\bar{H}_{l_{mediana}}$	10	10	11	12	11	13	15	15	14	13	11	10
$\bar{H}_{l_{p90}}$	12	11	12	14	15	15	17	17	16	15	12	12
$\bar{H}_{l_{max}}$	13	13	13	16	18	18	22	19	19	16	17	13

No ano 2010, Agosto é o mês com o valor mais alto para a radiação de onda longa mensal, 11143MJ/m² e Março o mês com o valor mais baixo, de apenas 638MJ/m². Este valor é bastante mais baixo do que o ocorrido nos restantes meses. Julho apresenta radiação horária máxima mais elevada e os meses de Inverno apresentam a mais baixa, respectivamente 22MJ/m² e 13MJ/m². A radiação horária mínima mais baixa ocorre nos meses de Novembro e Abril, 2MJ/m² e a mais elevada no mês de Agosto, 11MJ/m².

Quadro 31 - Radiação de onda longa no ano 2011 (MJ/m²)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
\bar{H}_l	2292	3477	4384	5211	5496	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{l_{min}}$	1	1	3	4	3	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{l_{p10}}$	2	3	4	6	6	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{l_{mediana}}$	3	5	6	7	7	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{l_{p90}}$	4	7	7	9	9	-	-	-	-	-	-	-
$\bar{H}_{l_{max}}$	6	8	9	10	10	-	-	-	-	-	-	-

No ano 2011, os valores da radiação são mais baixos em comparação com os dois anos anteriores. Maio apresenta a radiação mensal maior, 5496MJ/m² e Janeiro a menor, 2292MJ/m². A radiação horária máxima apresenta valores entre 6 e 10MJ/m², com o menor registado em Janeiro e o maior em Maio. A radiação horária mínima apresenta o valor mais baixo, 2MJ/m², em Janeiro e o valor mais alto, 4MJ/m², em Abril.

O ano 2010 apresenta radiações de onda longa mais elevadas para os meses de Verão que os outros anos. Nos restantes meses de realçar a variação de Maio ao longo dos 3 anos, de um valor de 8166MJ/m² em 2009 desce para um valor de 5496MJ/m² em 2011. Novembro é dos meses mais frios que maior variação sofre do ano 2009 para 2010, 736MJ/m². Para o ano 2011 todos os meses apresentam descidas notórias da radiação, principalmente em Janeiro, em que a radiação mensal diminui 4846MJ/m². Os outros parâmetros também sofreram uma diminuição de valores, com os valores do percentil 90 em 2011 a serem aproximadamente iguais aos valores do percentil 10 dos outros anos.

4

COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR ENTRE DUAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

4.1. NOTA INTRODUTÓRIA

As falhas de dados e erros de medição da estação meteorológica do LFC/FEUP levam a valores com um erro difícil de quantificar. Pôs-se a possibilidade de avaliar a qualidade das medidas através de uma outra estação meteorológica a registar os mesmos parâmetros a uma distância inferior a 100m.

Pretende-se aferir o conjunto dos dados de duas estações meteorológicas, a do Laboratório de Física das Construções e a do ENEAS (European Network for Environment Assessment and Services) de modo a: determinar variabilidades, qualidade da medida e identificar os factores que influenciam as variações, nomeadamente os que se relacionam com as suas localizações específicas.

A estação do Laboratório de Física das Construções já foi descrita no §3.1..

O ENEAS é uma rede de Escolas Secundárias, Universidades e outras entidades. Tem como objectivo fundamental a obtenção de dados cientificamente válidos nos domínios da atmosfera, hidrologia, solos e cobertura dos terrenos para serem tratados e disponibilizados ao público em geral utilizando equipamento de baixo custo. Uma das áreas em que o ENEAS adquire dados é na geofísica atmosférica. Uma parte dos dados é adquirida analogicamente e a outra parte, de maior volume, é obtida com uma rede de estações meteorológicas que vão desde Bragança, até Lagos e Lagoa no Algarve. Os dados são enviados manualmente ou automaticamente para uma base de dados MySQL contida num dos servidores da FEUP. São disponibilizados à comunidade na página de internet do projecto, www.eneas.com.pt.

Como as estações meteorológicas distribuídas pelo País são de baixo custo e portanto de precisão baixa, é necessária uma avaliação cuidadosa dos erros de medida em que incorrem. Por isso na FEUP foram montadas três estações que permitem uma avaliação sistemática dos erros operacionais.

Na FEUP as estações são três e localizam-se no topo do Edifício B: uma de baixo custo, de marca OREGON, igual a todas as outras que estão montadas em Escolas Secundárias e Básicas. Serve para controlar, em conjunto com as estações mais precisas, a qualidade das medidas que são feitas no conjunto da rede. Outra estação, de marca Vaisala, foi montada com o intuito de aferir a qualidade da anterior. Adicionalmente existe uma estação portátil WeatherHawk de qualidade considerável. Finalmente durante o mês de Julho de 2011 vai ser montada uma nova estação Oregon, para

confirmação da variância associada às medidas desta marca. As estações foram montadas no topo do edifício B para que as medidas da direcção e velocidade do vento sejam o menos perturbadas possível.

Os dados utilizados para estabelecer uma relação entre as estações meteorológicas do LFC/FEUP e ENEAS são os da temperatura, por se considerar que são os que apresentam menores problemas de fiabilidade. A estação do ENEAS escolhida para retirar os dados da temperatura do ar é a estação Vaisala, a sua localização é assinalada na figuras 29 e 30.



Figura 29 – Localização da estação meteorológica do ENEAS (Google Maps, 2011)

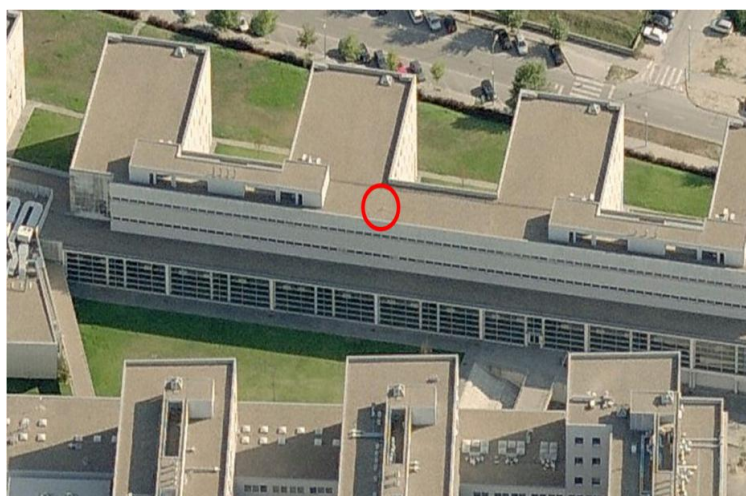


Figura 30 – Envolvente da estação meteorológica ENEAS (Google Maps, 2011)

A estação Vaisala (figura 31) é constituída por um transmissor WXT520 de pequenas dimensões e leve, capaz de registar seis parâmetros climáticos directos: velocidade e direcção do vento, precipitação, pressão atmosférica, temperatura e humidade relativa (Vaisala, 2010).



Figura 31 – Estação Vaisala do ENEAS

As instruções do fabricante indicam que o aparelho deve ser colocado num local aberto e sem obstáculos num raio de 150m, para que não interfiram nas medições. Caso não seja possível verificar esta condição aconselha-se a que a estação se situe a uma distância mínima equivalente a dez vezes a altura do obstáculo. Caso seja montada no topo de um edifício, para eliminar tanto quanto possível as interferências, a estação deve ser colocada a uma altura que seja no mínimo de uma vez e meia a altura do edifício. Deve-se dizer que a estação não cumpre na íntegra com estas condicionantes. A altura acima da cobertura a que se deveria encontrar é sensivelmente 18m e, na realidade, encontra-se a 2m. As razões para este procedimento prendem-se com considerações arquitectónicas.

Como se vê na figura 32 para os regimes de temperatura medidas entre 0 e 35°C o intervalo de confiança tem uma amplitude de $\pm 0,25^\circ\text{C}$ a $\pm 0,35^\circ\text{C}$. Para o sensor utilizado a precisão diminui com o aumento da temperatura, aparentemente seguindo uma função quadrática. A precisão de base que o sensor da temperatura permite é de $0,1^\circ\text{C}$.

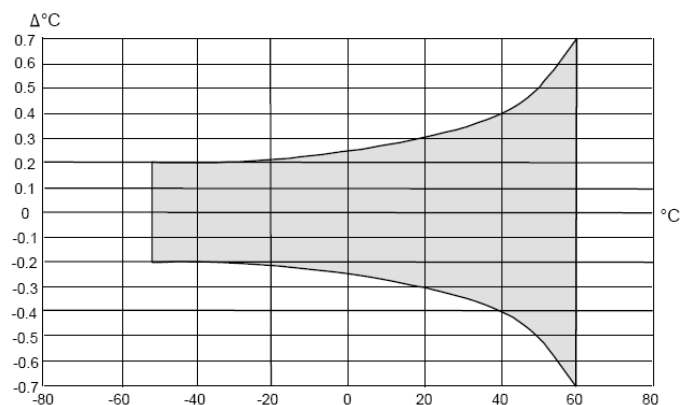


Figura 32 – Intervalo de confiança em função da temperatura (Vaisala, 2010)

Os meses escolhidos para a comparação das duas estações foram Agosto e Setembro de 2010 e Fevereiro e Março de 2011, isto é: dois meses sucessivos representativos do Verão e do Inverno. A escolha destes meses deve-se ao facto de serem os mais interessantes do ponto de vista higrotérmico.

4.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Uma abordagem estatística é fundamental na área experimental e muito mais em problemas de qualidade de medida. A isso acresce o facto de os dados meteorológicos deverem sempre ser objecto de uma descrição e análise estatística muito específica – análise em séries temporais.

A análise estatística pode ser dividida em análise descritiva e inferencial. A análise inferencial consiste em tirar conclusões sobre a população, a partir de amostras aleatórias representativas, e tem como base conjuntos de técnicas para identificar relações entre variáveis que representem ou não relações de causa e efeito.

Neste estudo o programa utilizado para analisar e realizar os testes estatísticos foi o MINITAB, na sua última versão, MINITAB 16 Statistical Software (MINITAB, 2011).

Este programa apresenta-se com uma interface intuitiva, para que o utilizador possa rapidamente compreender os conceitos estatísticos, facilitando a análise dos dados (Ryan *et al*, 2005) . O programa é composto por duas janelas principais: janela *Session*, que exhibe os resultados das análises em formato texto e a janela *Data*, que é uma folha de cálculo onde são apresentados os dados (figura 33).

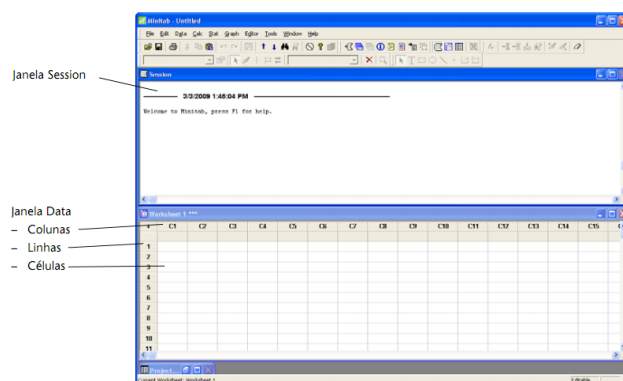


Figura 33 – Janelas principais (MINITAB, 2011)

A análise estatística de dados é rapidamente retirada através do comando *Stat > Basic Statistics > Display Descriptive Statistic*. Seleccionam-se as colunas com os dados que se quer analisar e escolhem-se as medidas estatísticas que se pretende obter (figura 34). Os valores das medidas serão exibidos na janela *Session*.

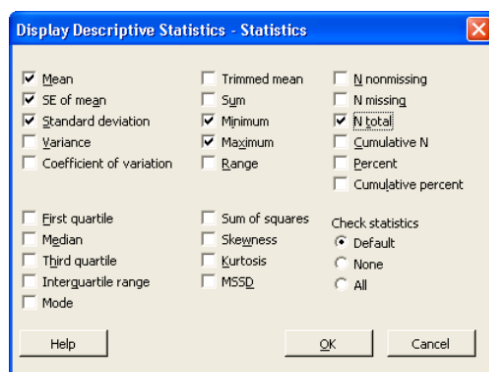


Figura 34 – Medidas estatísticas (MINITAB, 2011)

Para se obterem os gráficos necessários para analisar os dados e avaliar os relacionamentos das variáveis, recorre-se ao separador *Graph*. Neste separador podem-se obter histogramas e gráficos de dispersão com a recta de correlação entre as duas variáveis, entre outros possíveis. Para se obter a equação de correlação e o respectivo coeficiente de correlação usa-se o comando *Stat* ➤ *Regression* ➤ *Regression*.

Para efectuar os testes T e de quociente da variância utiliza-se o separador *Stat* ➤ *Basic Statistics* ➤ *Paired t*, ou *2 Variances*, conforme o teste que se pretende (figura 35). Outro comando utilizado foi o *Stat* ➤ *Time Series* ➤ *Moving Average* (figura 36), para obter os gráficos e os valores das médias móveis e dos respectivos resíduos.

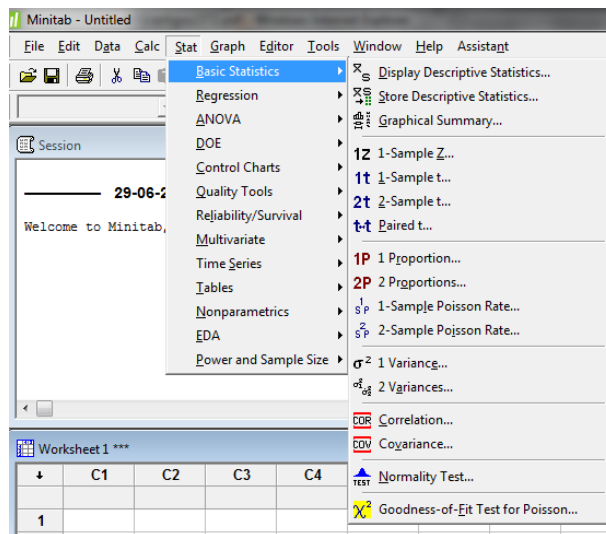


Figura 35 – Separador Basic Statistics (MINITAB, 2011)

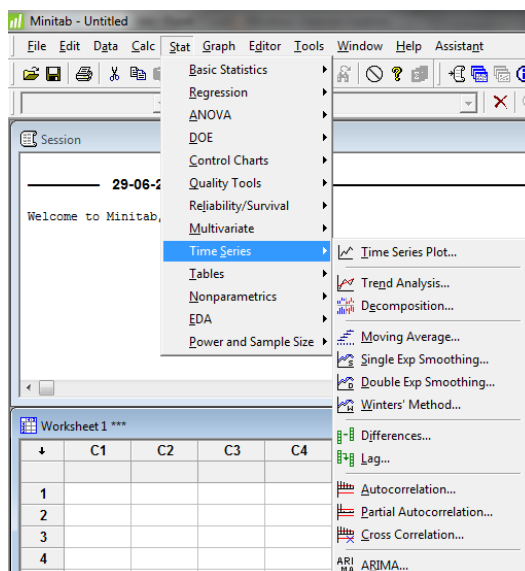


Figura 36 – Separador Time Series (MINITAB, 2011)

4.2.1. ANÁLISE DESCRITIVA

O primeiro passo numa análise estatística consiste na simples inspeção visual e comparação das representações gráficas dos dados. Os meses de Agosto e Setembro serão analisados primeiro.

Na figura 37 são apresentados os valores registados pelas duas estações, em intervalos de dez minutos, e na figura 38 é feita a mesma representação para um intervalo de tempo menor, de 27 de Agosto a 1 de Setembro, de modo a que se torne mais perceptível a diferença no modo de comportamento das duas estações. Refira-se que foi necessário corrigir a diferença horária entre as duas estações. A estação do ENEAS não altera a hora quando se passa do horário de Inverno para Verão, que obriga a uma translação do gráfico do ENEAS de uma hora para a esquerda.

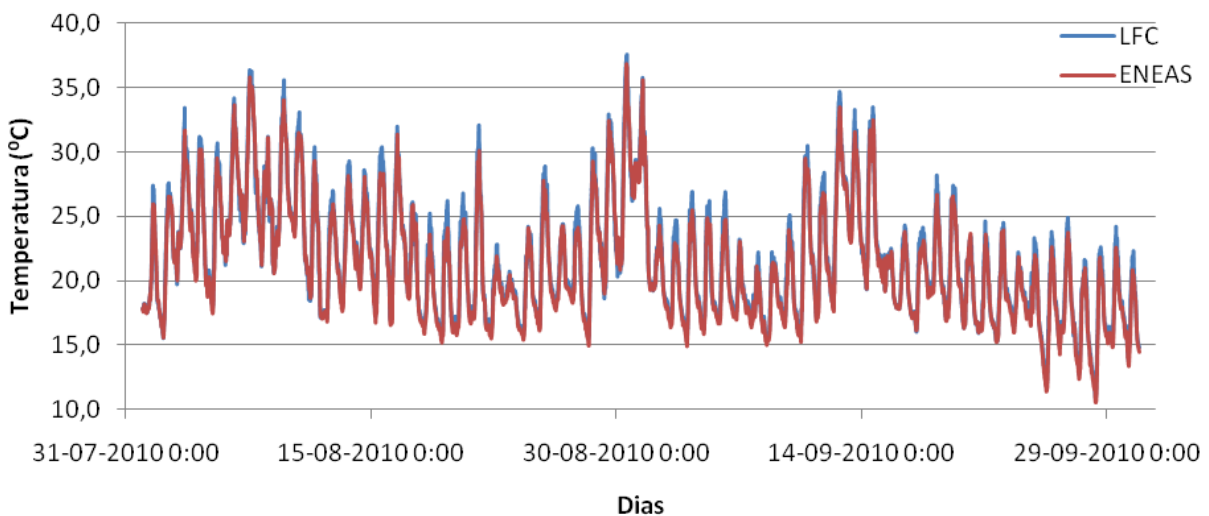


Figura 37 – Temperatura em Agosto e Setembro em intervalos de 10 minutos

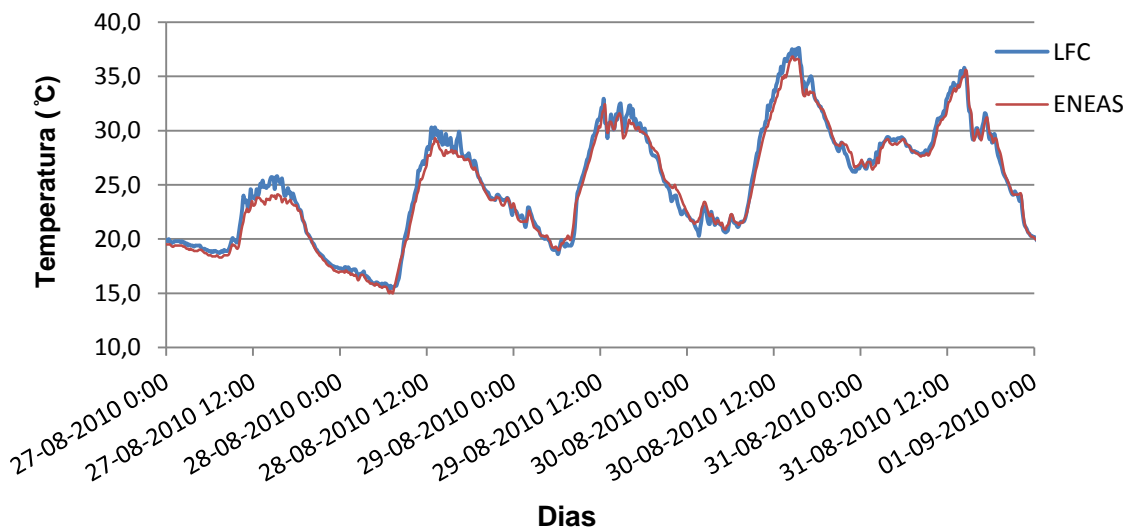


Figura 38 – Temperatura de 27 de Agosto a 1 de Setembro em intervalos de 10 minutos

Os perfis temporais das curvas das temperaturas medidas pelas duas estações são muito semelhantes. Verifica-se uma variação cíclica diária, com a temperatura a subir no período diurno e a decrescer no

período nocturno. As curvas apresentam amplitudes térmicas diárias, diferença entre a temperatura máxima e mínima diária, que ultrapassam os 10°C.

São dois meses com temperaturas altas, com a temperatura em Agosto superior aos 30°C durante muitos dias e em Setembro apenas em 3, mas sempre com temperaturas máximas rondando os 25°C. As temperaturas mínimas, por norma, estão acima dos 15°C, excepção feita aos finais de Setembro. As temperaturas máximas diárias são registadas sempre no início ou durante a tarde (meio dia solar) e as mínimas durante a madrugada e início da manhã.

A temperatura tende a diminuir no final do mês de Setembro, que apresenta temperaturas máximas e mínimas mais baixas que as anteriores, registando temperaturas mínimas próximas de 10°C.

A figura 39 apresenta a diferença entre as temperaturas das duas estações (temperatura do LFC/FEUP menos a temperatura do ENEAS) e a figura 40 mostra a mesma diferença mas para um intervalo de tempo menor para melhor visualização e leitura de dados. A estação do LFC/FEUP regista normalmente temperaturas maiores do que a do ENEAS. Isso é, sobretudo, visível quando ocorrem as temperaturas máximas diárias. Verifica-se, por norma, que os picos locais correspondentes a cada zona de temperatura mais alta coincidem em ambas as estações no que ao tempo diz respeito. Contudo a amplitude dos picos é bastante mais acentuada para a estação do LFC/FEUP. No total a estação do LFC/FEUP regista 6310 temperaturas mais altas do que as do ENEAS, enquanto que esta última tem 1873 valores mais altos do que a sua congénere. Apenas 589 das medidas são iguais. Note-se que na larga maioria dos casos as diferenças entre as temperaturas não superam os limites dos intervalos de confiança do equipamento. Por isso se pode dizer que não há diferenças apreciáveis na maior parte do conjunto de dados. Há sim diferenças assinaláveis, como se pode ver na Fig. 38, nas zonas de pico positivo, onde as diferenças entre ambas podem passar de 1°C.

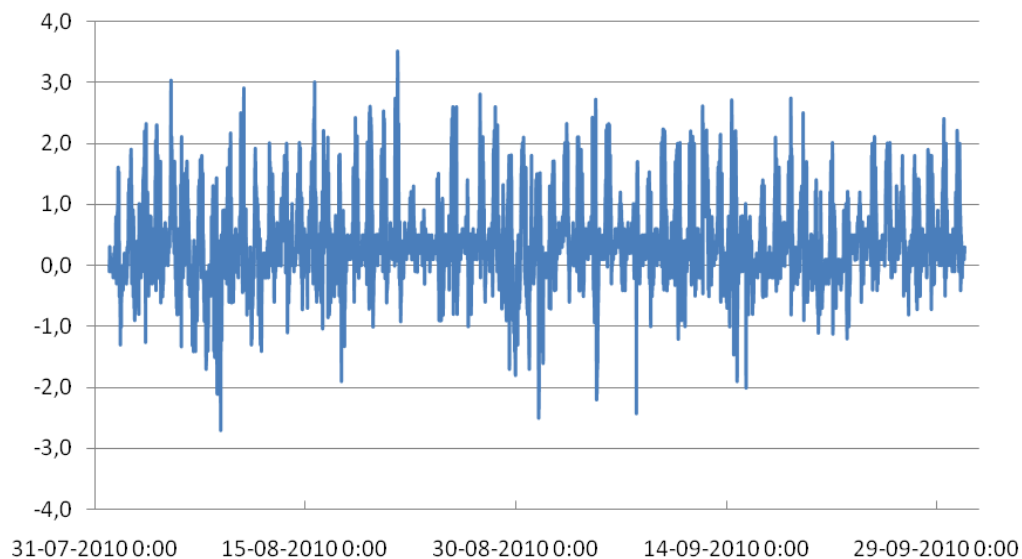


Figura 39 – Diferença da temperatura entre as duas estações nos meses de Agosto e Setembro

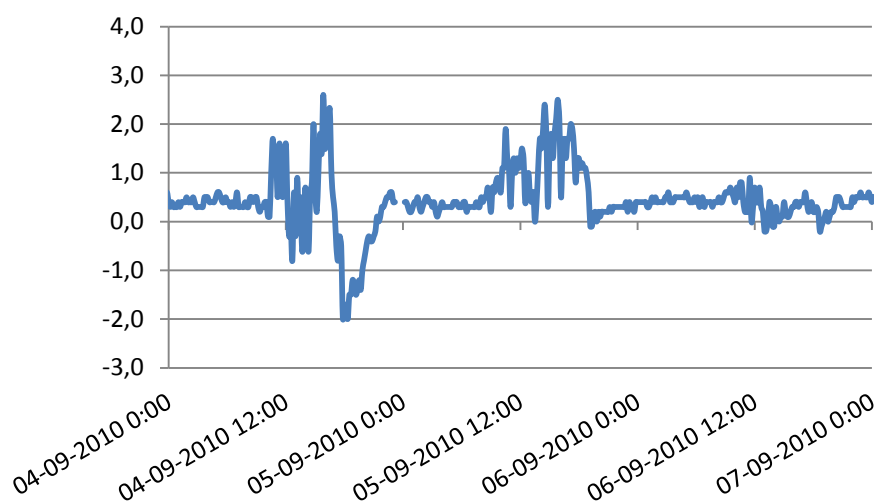


Figura 40 – Diferença da temperatura entre as duas estações entre 4 de Setembro e 7 de Setembro

A moda do valor da diferença entre as duas estações é 0,3°C, atingindo um valor 2°C para a maioria dos dias. A diferença máxima, em módulo, é 3,5°C, no dia 21 de Agosto às 13:20. As diferenças maiores ocorrem no período diurno, fim da manhã e início da tarde. As diferenças negativas (registos da estação ENEAS maiores do que do LFC/FEUP) e as diferenças próximas de zero ocorrem durante o fim da tarde e durante a noite. É visível na figura 40 a falha de valores no dia 5 de Setembro. Portanto pode-se dizer que nas diferenças emparelhadas há quase sempre um viés positivo a favor da estação do LFC/FEUP.

Na figura 41 apresenta-se a correlação simples e do primeiro grau entre a temperatura do ENEAS em ordem à temperatura do LFC/FEUP. A relação entre as temperaturas das duas estações é dada pela função:

$$\theta_{ENEAS} = 0,256 + 0,971\theta_{LFC} \quad (25)$$

O coeficiente de correlação linear igual a 98,8%, o que significa uma correlação quase perfeita entre ambas. É de assinar o valor da ordenada na origem, de 0,256, que reflecte o viés positivo que se identificou atrás. Sob o ponto de vista de comportamento médio este valor tem significado, mas deve ser analisado com detalhe em relação a cada um dos picos positivos das temperaturas (meio-dia solar).

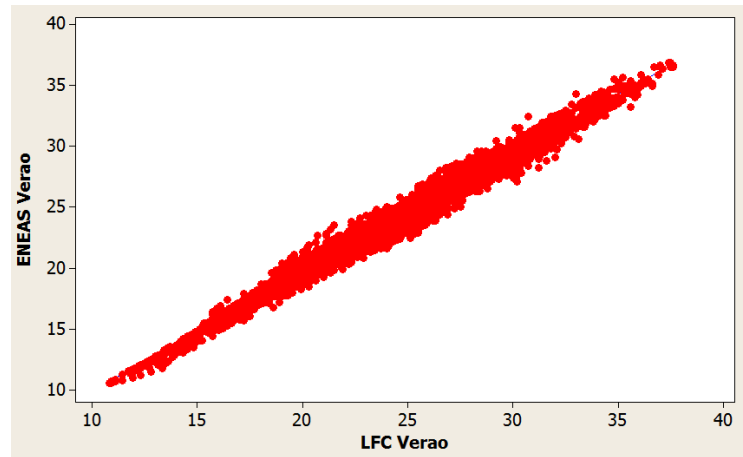


Figura 41 - Correlação entre as duas estações para os meses de Agosto e Setembro

Pelo quadro 32 verifica-se que a média é maior na estação LFC/FEUP, o que coincide com os resultados dos gráficos das figuras 37 a 40. O dia 30 de Julho regista a temperatura mais elevada, mas com as duas estações discordantes no valor e no momento em que ocorre. A do LFC/FEUP a registar 37,6°C às 15:10 e às 15:20, e a do ENEAS a registar 36,8°C às 14:30 e às 14:40. O dia 28 de Setembro regista a temperatura mais baixa, com a estação do LFC/FEUP a registar 10,8°C às 7:10 e do ENEAS a registar 10,6 entre às 7:10 e às 7:40.

A dispersão, evidente através do desvio-padrão, é semelhante nas duas estações, 4,6°C na estação do LFC/FEUP e 4,5°C na estação do ENEAS. Ao analisar a amplitude do intervalo de variação, que é também uma medida de dispersão, esta apresenta diferenças maiores para as duas estações: a estação do LFC/FEUP com uma amplitude de 26,8°C e a estação do ENEAS com 26,2°C. Este valor está de novo em concordância com os resultados anteriormente expostos.

Quadro 32 – Análise estatística de Agosto e Setembro

Estação	Média	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Quartil 25	Mediana	Quartil 75	Máximo
LFC/FEUP	21,7	4,6	21,2	10,8	18,1	20,9	24,5	37,6
ENEAS	21,3	4,5	20,3	10,6	17,8	20,6	24	36,8

Na figura 42 apresenta-se a correlação entre a diferença entre os pares homólogos das temperaturas medidas pelas duas estações e a temperatura medida pela estação do LFC/FEUP nos meses de Agosto e Setembro. Este gráfico é muito semelhante ao equivalente da temperatura medida pela estação do ENEAS.

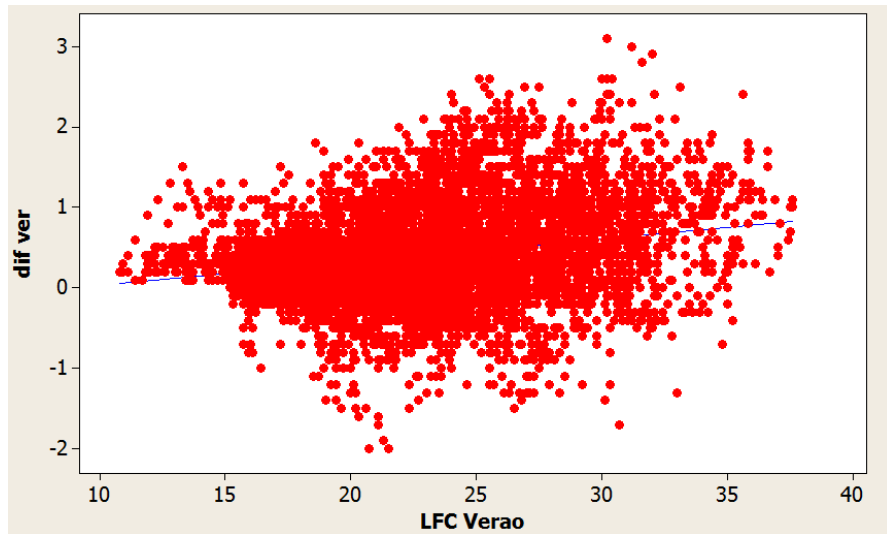


Figura 42 – Diferença das temperaturas das duas estações em função da temperatura da estação LFC/FEUP

É possível verificar pela imagem que a correlação entre os dois parâmetros é praticamente nula, o que é confirmada pelo coeficiente de correlação linear, que é apenas 6,5%. A relação é expressa pela seguinte equação:

$$\theta_{LFC-ENEAS} = -0,256 + 0,0288\theta_{LFC} \quad (26)$$

A ordenada na origem indica a relação maioritariamente negativa entre os valores das temperaturas medidas na estação do LFC/FEUP e as diferenças entre pares de valores.

Para os meses frios, Fevereiro e Março, as temperaturas registadas em intervalos de 10min estão indicadas na figura 43 e 44.

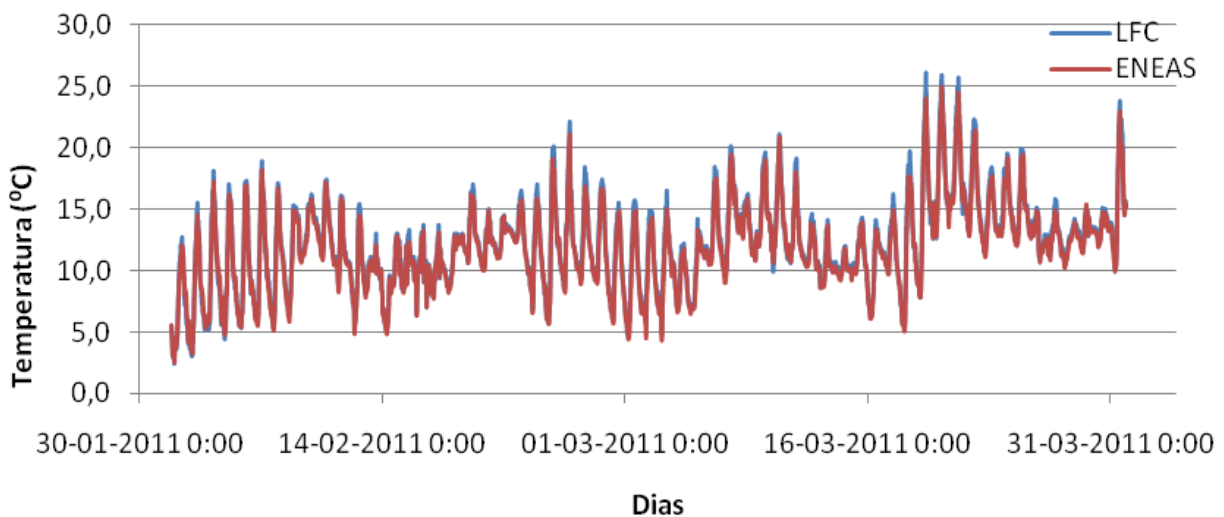


Figura 43 - Temperatura em Fevereiro e Março em intervalos de 10 minutos

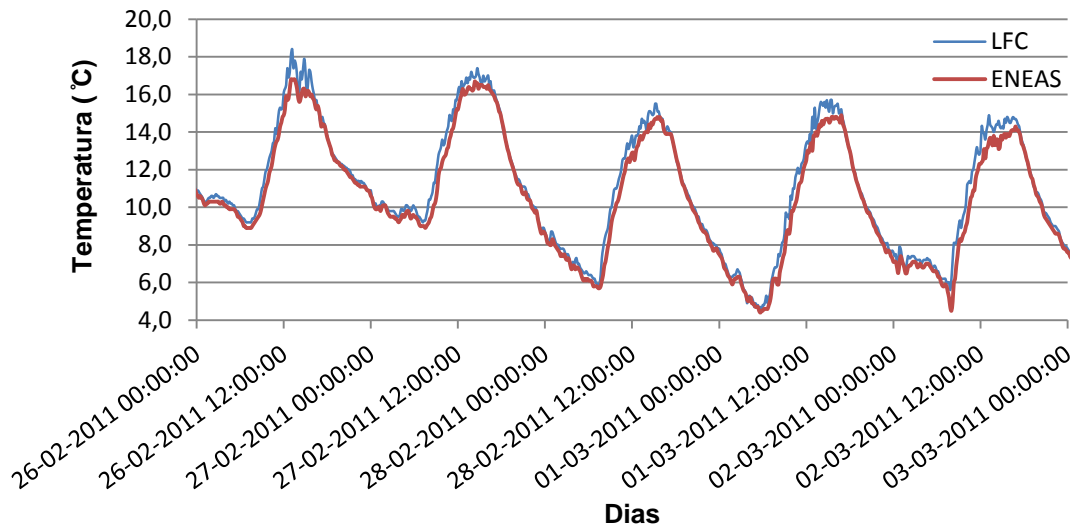


Figura 44 - Temperatura de 26 de Fevereiro a 3 de Março em intervalos de 10 minutos

Também nestes meses se verificam comportamentos semelhantes no traçado das curvas. A variação cíclica diária é visível e semelhante aos meses anteriores. A amplitude térmica diária é menor de 10°C, com vários dias com amplitudes térmicas muito baixas, por exemplo, no dia 26 de Março a diferença entre a temperatura máxima e mínima é de apenas 1°C. As amplitudes no Inverno são inferiores aos que se verificam no Verão. Nota-se uma mudança de temperaturas médias entre os dois meses. Em Março a temperatura aumenta em relação ao mês anterior.

São meses com temperaturas moderadas, com poucos registos com temperaturas menores que 5°C e as temperaturas máximas a passar dos 15°C. Fevereiro apresenta temperaturas máximas diárias mais baixas que Março, mas sempre superiores a 12°C, e em 2 dias a chegar aos 20°C. No mês de Março registam-se temperaturas máximas superiores a 25°C. Nas temperaturas mínimas existem diferenças entre os dois meses, com Fevereiro a apresentar temperaturas na ordem dos 5°C, enquanto Março o valor sobe para os 10°C.

As temperaturas máximas diárias são registadas sempre no início ou durante à tarde, e as mínimas durante à madrugada e início da manhã.

A estação do LFC/FEUP continua a registar temperaturas maiores do que a do ENEAS, sendo este facto mais visível no meio-dia solar. A estação do LFC/FEUP regista 6650 temperaturas mais altas face às 1202 temperaturas mais altas do ENEAS, com apenas 631 a serem iguais.

Pela observação da figura 45, verifica-se que a moda do valor da diferença entre as duas estações é, novamente, 0,3°C e não se verificam diferenças tão elevadas como nos meses quentes. A diferença diária máxima é normalmente de 1,5°C, com a diferença máxima em módulo de 2,6°C, no dia 19 de Março às 15:00. As diferenças maiores ocorrem, de novo, no período diurno, fim da manhã e início da tarde. As diferenças negativas e nulas ocorrem durante o fim da tarde e durante noite. Neste período, as diferenças das temperaturas à noite variam em torno dos 0,3°C (figura 46).

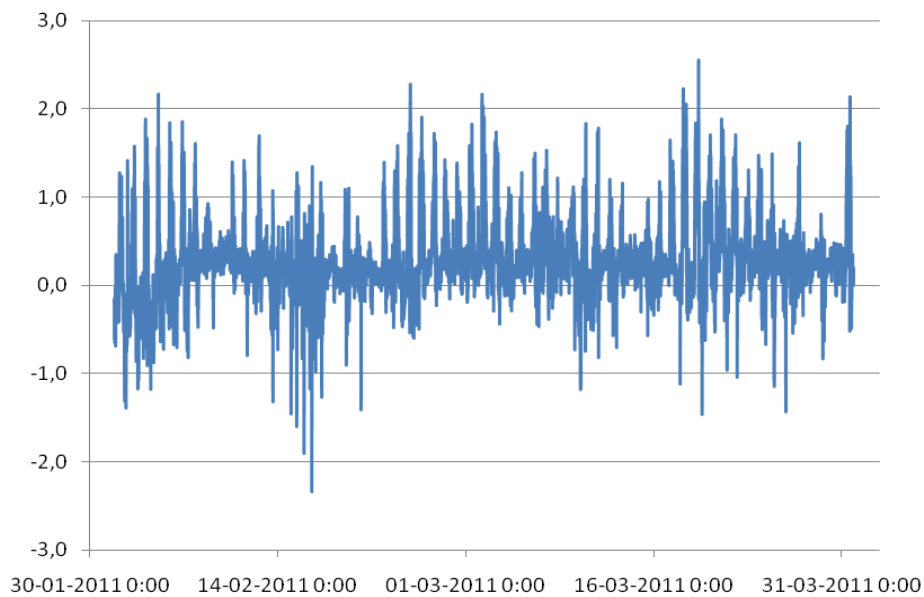


Figura 45 – Diferença da temperatura entre as duas estações nos meses de Fevereiro e Março

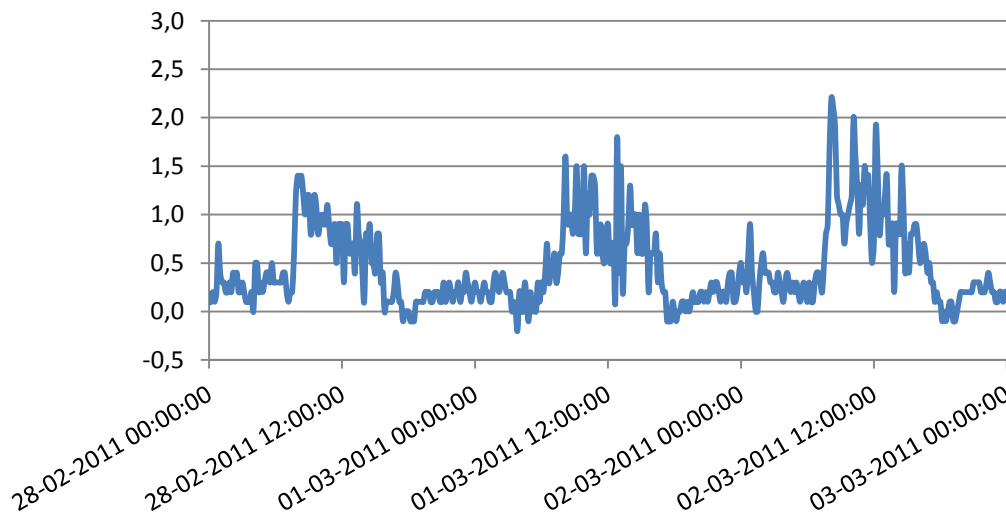


Figura 46 – Diferença da temperatura entre as duas estações entre 28 de Fevereiro e 3 de Março

A figura 47 representa a temperatura do ENEAS em ordem á temperatura do LFC/FEUP. A relação entre as duas estações é dada pela função

$$\theta_{ENEAS} = 0,252 + 0,956\theta_{LFC} \quad (27)$$

Com um coeficiente de correlação linear igual a 98,8%. A correlação obtida é praticamente sobreponível com a que ocorre para os meses quentes.

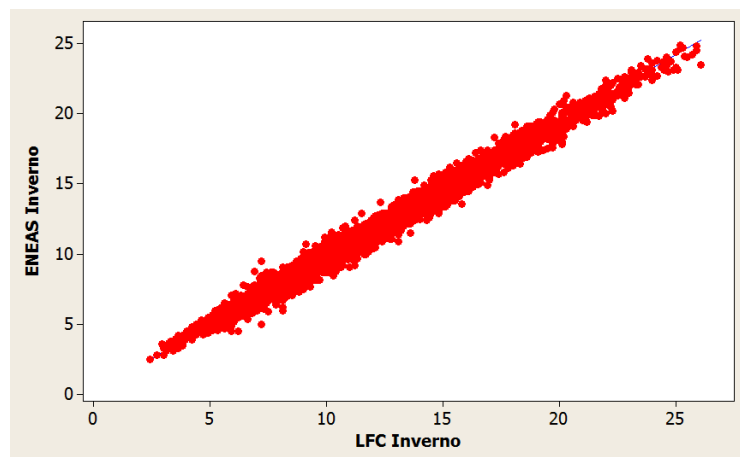


Figura 47 – Correlação entre as duas estações para os meses de Fevereiro e Março

Quadro 33 – Análise estatística de Fevereiro e Março

Estação	Média	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Quartil 25	Mediana	Quartil 75	Máximo
LFC/FEUP	12,2	3,6	12,7	2,4	10,1	12,1	14,2	26,1
ENEAS	11,9	3,4	11,8	2,5	9,8	11,8	13,9	24,9

Tal como para a situação de Verão a temperatura média das estações é muito semelhante, no entanto, a estação do LFC/FEUP apresenta temperatura média maior (quadro 33).

As duas estações registam a temperatura máxima para dois dias diferentes. A estação do LFC/FEUP regista 26,1°C para o dia 19 de Março às 15:00 e a do ENEAS para o dia 20 de Março às 14:40. Em relação à temperatura mínima as duas estações registam no mesmo momento, 1 de Fevereiro às 4:20.

O desvio padrão é semelhante nas duas estações e menor do que nos meses quentes. A estação do LFC/FEUP com um valor de 3,5°C e a estação do ENEAS com 3,4°C. Consequentemente a amplitude do intervalo de variação é menor nos meses frios. A estação do LFC/FEUP apresenta um valor de 23,7°C e a estação do ENEAS de 22,4°C.

Na figura 48 apresenta-se a correlação entre a diferença das temperaturas medidas pelas duas estações e a temperatura medida pela estação do ENEAS nos meses de Fevereiro e Março. Esta representação é muito semelhante considerando a temperatura medida pela estação do LFC/FEUP.

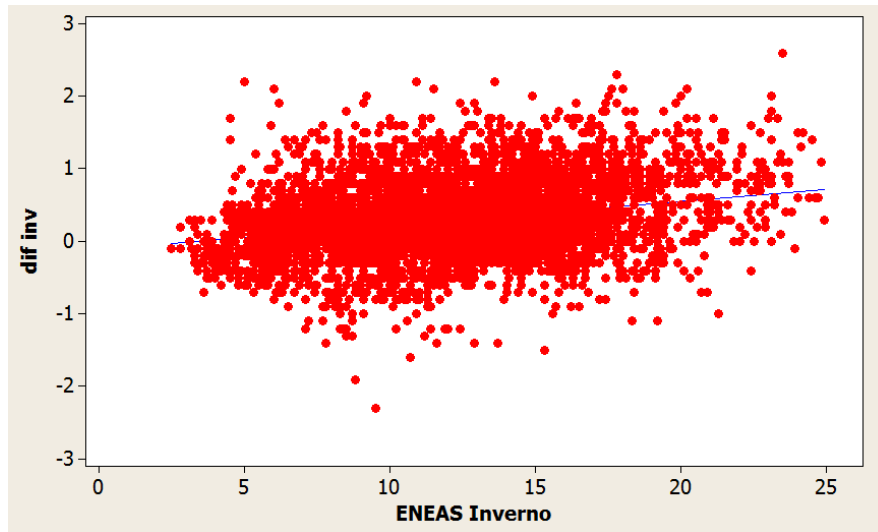


Figura 48 – Diferença das temperaturas das duas estações em função da temperatura da estação ENEAS

É possível verificar pela imagem que a correlação é praticamente inexistente, que é confirmado pelo coeficiente de correlação linear, que é apenas 7,9%. A relação é expressa pela seguinte equação:

$$\theta_{LFC-ENEAS} = -0,115 + 0,0333\theta_{ENEAS} \quad (28)$$

A equação de regressão é muito semelhante à que ocorre para os dias frios. Mas há diferenças que podem ser significativas no que diz respeito à ordenada na origem e que se podem relacionar com a importância da radiação em valor absoluto no controlo da variabilidade da medida.

Não há nenhuma relação assinalável entre o valor do parâmetro temperatura e a diferença medida entre as duas estações para a totalidade da amostra. É necessário o estudo usando apenas os valores extremos, que com grande probabilidade dariam uma correlação bem diferente. Mas, sendo a estatística de valores extremos um capítulo muito especializado, não é do âmbito de uma tese de mestrado.

4.2.2. ANÁLISE INFERENCIAL

4.2.2.1. Nota introdutória

Numa situação em que a variância é desconhecida é necessário garantir que a temperatura tenha uma distribuição Normal. Esta condição verifica-se pela aplicação do Teorema do Limite Central.

O Teorema do Limite Central enuncia que qualquer que seja a distribuição das variáveis aleatórias independentes $\{X_1, \dots, X_N\}$ analisadas, mas que admitem a mesma distribuição (com variância finita), a estatística soma, Z , assume, aproximadamente, uma distribuição normal.

$$Z = \sum_{n=1}^N X_n \quad (29)$$

Daqui resulta que, para uma população com variância finita, a sua média amostral segue uma distribuição normal, fenómeno que se acentua à medida que a dimensão da amostra aumenta (Guimarães e Cabral, 1997).

As dimensões das amostras em estudo são constituídas por, sensivelmente 8500 dados, pelo que se pode considerar com segurança que seguem uma distribuição normal.

No caso presente, em que se mede o mesmo fenómeno, com dois aparelhos diferentes, estamos num caso típico, em que, para grandes amostras devemos ter uma mesma população, com uma variância finita, representada por duas populações de valores emparelhados. O teste *t* de Student é o teste usado para a comparação das amostras emparelhadas. E as diferenças entre as médias de duas amostras nestas condições segue uma lei de Student.

4.2.2.2. Teste *t* de Student

O teste *t* avalia se as médias das duas amostras são estatisticamente diferentes entre si, isto é, se a diferença entre as médias é causa de efeitos das flutuações devidas ao acaso ou de causa sistemática (Trochim, 2006).

Neste caso a utilização do teste *t* emparelhado é a correcta, uma vez que existe uma grande correlação positiva entre os pares, ou seja, as amostras são constituídas por pares ordenados cujos termos medem ambos a mesma grandeza (Montgomery *et al*, 2004)

Considerando duas amostras como representadas na figura 49.

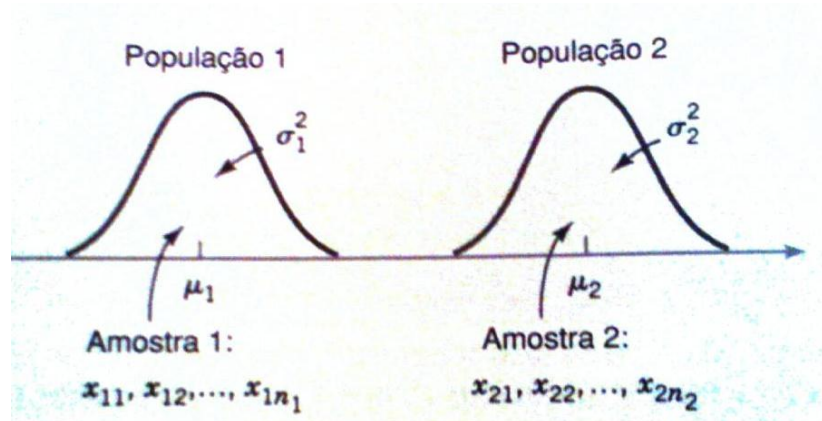


Figura 49 – Duas populações independentes (Montgomery *et al*, 2004)

O teste consiste na validação da hipótese. A hipótese nula, H_0 , é o ponto de partida, as amostras devem ser sobreponíveis, isto é, ou diferem de zero, ou, o caso mais provável, diferem de um valor fixo, que se constitui como o erro de medida “a priori”.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_D \quad (30)$$

Considerando $(X_{11}, X_{21}), (X_{12}, X_{22}), \dots (X_{1n}, X_{2n})$ um conjunto de n observações emparelhadas, em que a média e a variância da população X_1 é μ_1 e σ_1^2 e da população X_2 é μ_2 e σ_2^2 e as diferenças entre

cada par de observações é dado por $D_j = X_{1j} - X_{2j}$, com $j = 1, 2, \dots, n$, a formulação teórica do teste é:

$$t = \frac{\bar{D} - \Delta_0}{S_D / \sqrt{n}} \quad (31)$$

sendo t a função densidade de Student, \bar{D} a média amostral das diferenças entre cada par ordenado e S_D o desvio padrão amostral dessas diferenças.

O intervalo de confiança para μ_D de $100(1-\alpha)\%$ em que \bar{d} e s_d são a média e o desvio padrão amostrais da diferença dos pares, é dado pela expressão:

$$\bar{d} - t_{\alpha/2, n-1} s_d / \sqrt{n} \leq \mu_D \leq \bar{d} + t_{\alpha/2, n-1} s_d / \sqrt{n} \quad (32)$$

sendo $t_{\alpha/2, n-1}$ o percentil superior $100\alpha/2$ da distribuição t , com $n - 1$ graus de liberdade.

Quando se avalia o valor de um parâmetro da população com base numa amostra, o que se tem na realidade é uma estimativa pontual. Comparar apenas com um único valor não é uma prática útil, já que não entra em linha de conta com os erros. O problema resolve-se pelo uso de intervalos de confiança, que permitem, de uma forma controlada fazer uma estimativa de qualidade dos valores e da sua comparabilidade.

O parâmetro estatístico que determina se as diferenças entre os pares de amostras são significativas é o valor do p -value. Se este valor for superior ao nível de significância exigido, então as diferenças não são significativas e devem-se ao acaso, caso contrário, as diferenças são significativas. O nível de significância exigido, em geral, é de 0,05; que é o mesmo que considerar o intervalo de confiança a 95%.

Realizou-se o teste para a comparação das estações durante os dois períodos em estudo.

Quadro 34 – Resultados para teste t emparelhado

	Média	Desvio padrão	Intervalo de confiança de 95% da diferença		t	p -value
			Inferior	Superior		
Agosto e Setembro	0,37	0,52	0,36	0,38	66,65	0,000
Fevereiro e Março	0,28	0,41	0,27	0,29	63,50	0,000

Nos dois períodos houve rejeição da hipótese nula, as duas estações fornecem medições diferentes. Estamos pois perante duas populações, embora elas meçam o mesmo fenómeno.

4.2.2.3. Quociente da variância

Introduz-se agora o teste do quociente da variância para analisar a relação entre as variâncias das duas populações, ou seja, testa-se as hipóteses relativas à igualdade de variâncias. A hipótese nula neste caso será:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (33)$$

Seja $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$ uma amostra aleatória de uma população normal, com média μ_1 e a variância σ_1^2 . Seja $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}$ uma amostra aleatória de uma população normal, com média μ_2 e a variância σ_2^2 . Considerando que as populações são independentes e sejam S_1^2 e S_2^2 as variâncias das amostras. Sujeito a hipótese nula a formulação teórica do teste é:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (34)$$

Se s_1^2 e s_2^2 forem as variâncias de amostra aleatória de tamanho n_1 e n_2 de duas populações normais independentes, com variâncias desconhecidas σ_1^2 e σ_2^2 o intervalo de confiança de $100(1 - \alpha)\%$ para a razão σ_1^2/σ_2^2 é dado por:

$$\frac{s_1^2}{s_2^2} f_{1-\alpha/2, n_2-1, n_1-1} \leq \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \leq \frac{s_1^2}{s_2^2} f_{\alpha/2, n_2-1, n_1-1} \quad (35)$$

Em que $f_{\alpha/2, n_2-1, n_1-1}$ e $f_{1-\alpha/2, n_2-1, n_1-1}$ são os pontos percentuais superior e inferior da distribuição F , com $n_2 - 1$ graus de liberdade no numerador e $n_1 - 1$ grau de liberdade no denominador (Montgomery *et al*, 2004).

Realizou-se o teste para comparação das estações durante os dois períodos em estudo.

Quadro 35 - Resultados para o teste F

	Intervalo de confiança de 95% da diferença		F	p -value
	Inferior	Superior		
Agosto e Setembro	1,00	1,09	1,05	0,030
Fevereiro e Março	1,04	1,13	1,08	0,000

Nos dois períodos a hipótese nula é rejeitada. As duas populações apresentam variâncias diferentes, porque o valor de p -value é menor que 0,05. Sobre o ponto de vista estritamente teórico, este caso é de difícil solução.

4.2.3. BEHRENS-FISHER

O problema de Behrens-Fisher corresponde à estimativa do intervalo e ao teste de hipótese relativo à diferença entre as médias de duas populações com distribuições diferentes entre si quando as suas variâncias não são iguais, com base em duas amostras independentes. É um problema sem solução teórica.

Este problema não pode ser resolvido pela abordagem clássica. Na abordagem clássica, sob o ponto de vista estritamente teórico diz-se que o problema não tem solução, apesar de existirem várias tentativas de abordagens para o problema.

A variável de interesse, neste caso a temperatura, exprime cumulativamente as influências de muitas componentes independentes, cada uma da qual contribui com uma parte estocástica com variância finita. Se as características do fenómeno observado e dos equipamentos utilizados permitem aceitar razoavelmente a suposição anterior, pode-se antecipar que a variável de interesse tem uma distribuição normal.

O conhecimento do fenómeno e da forma como é avaliado é suficiente para se poder considerar como razoável assumir a normalidade. A normalidade é verificada por dois simples processos: a inspecção visual do histograma dos dados amostrais e capacidade de ajuste ao gráfico da lei normal.

O primeiro teste é um teste negativo, isto é, serve para detectar indícios de que a normalidade não se verifica, tais como: obliquidade, bimodalidade e achatamento da distribuição. A verificação deste não fornece uma medida de confiança objectiva que permita afirmar que o conjunto de dados pertence a um conjunto de observações retirado de uma distribuição normal. O segundo teste é o gráfico de probabilidade normal que fornece uma linha recta quando se verifica a normalidade. De realçar que os testes apenas permitem verificar se há uma diferença grande entre o comportamento normal e o conjunto de dados em estudo e não assegura uma validação positiva.

Os testes, em geral, que fornecem uma medida quantitativa da razoabilidade da escolha da distribuição normal e, em consequência, permitem, mesmo no caso da impossibilidade teórica, retirar ilações sobre as amostras emparelhadas oriundas de duas populações diferentes são os testes propostos por Lilliefors (Conover, 1980) e por D'Agostino (D'Agostino, 1990), o teste Lilliefors e o teste C^2 , respectivamente. Contudo estes testes estão muito longe de terem uma aceitação universal para casos idênticos ao do estudo, além disso, são demasiado permissivos e não permitem obter conclusões extensivas.

Ao contrário dos testes anteriores, a comparação em séries temporais apresenta conclusões obtíveis muito mais fiáveis e mais prospectivas. É por isso que enveredámos pelo seu uso.

4.3. SÉRIES TEMPORAIS

4.3.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Uma série temporal é definida como um conjunto de observações da variável em estudo num período sucessivo de tempo e ao longo de um determinado intervalo. Os tempos de aquisição de dados são em geral igualmente espaçados, no caso em estudo é de dez minutos (Montgomery *et al.*, 2008).

As séries temporais quando analisadas mostram:

- Efeitos sazonais que se repetem ao longo de intervalos de tempo (dias, meses ou anos).
- Outros efeitos cíclicos.

- Tendências que representem uma modificação não periódica na resposta média que é observável no intervalo temporal em que a série é observada, ou seja um aumento ou diminuição visível no valor da variável de interesse ao longo do tempo.
- Componente aleatória que representa o efeito combinado de diversos factores que não podem ser identificados na descrição do modelo em séries temporais que é aplicado - este parâmetro é o erro de qualidade e deve apresentar uma distribuição normal.

A série temporal pode ser representada pela fórmula $y = f(\text{tempo}, \epsilon)$, em que o tempo é a componente determinística, que podem ser as tendências e os efeitos sazonais e cíclicos. O ϵ é a componente aleatória designada por componente estocástica pela imprevisibilidade dos seus valores.

O seu estudo permite retirar as componentes estocásticas, de maneira a estudar em separado apenas a componente determinística (figura 50).

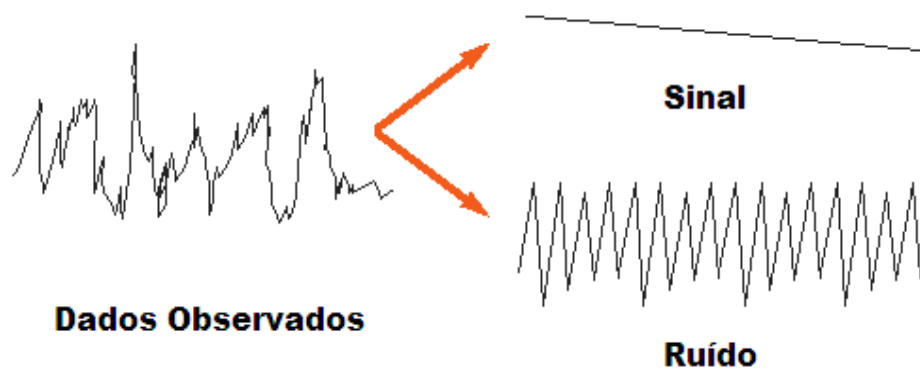


Figura 50 – Separação das componentes que constituem as séries temporais (adaptado de Trochim, 2006)

4.3.2. MÉDIA MÓVEL

O modelo da média móvel é o modelo mais simples e o mais interpretável para alisar uma curva de forma a revelar padrões de comportamentos ocultos na curva original. O uso de modelos mais complexos não significa que os resultados sejam mais correctos, nem que apresentem melhorias na previsão em relação aos métodos mais simples (Faria *et al*, 2008).

O modelo para prever o valor futuro utiliza a média das observações antecessoras. O termo média móvel significa que à medida que uma nova observação é registada a média das observações é recalculada, onde a nova observação entra no cálculo e é desprezada a observação mais antiga (figura 51).

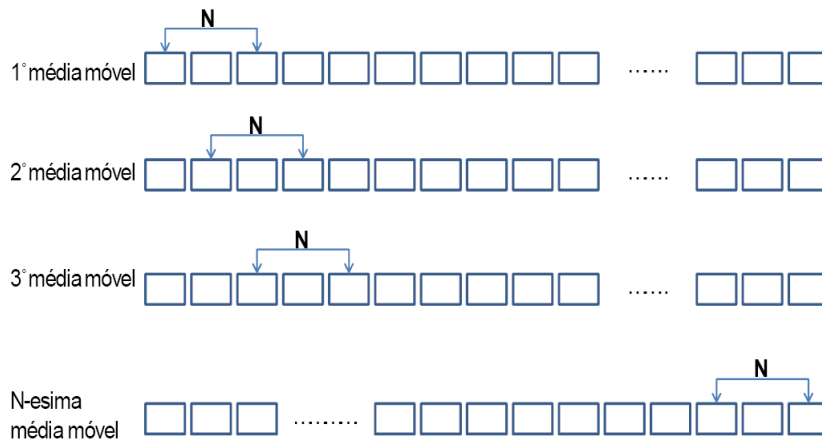


Figura 51 – Cálculo das médias móveis (Faria *et al*, 2008)

Matematicamente a média móvel atribui o peso $1/N$ às observações N mais recentes, $y_T, y_{T-1}, \dots, y_{T-N+1}$, e um peso nulo as restantes observações.

Podemos escrever a equação definidora das médias móveis sob a forma:

$$M_T = \frac{y_T + y_{T-1} + \dots + y_{T-N+1}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{t=T-N+1}^T y_t \quad (36)$$

Com N a representar o número de observações, ou o período, incluídas na média M_T . Quanto maior for o N maior é o efeito de alisamento dos dados e mais representativo da tendência geral é o valor obtido.

As séries que apresentam muita aleatoriedade ou pequenas mudanças nos seus padrões permitem considerar um período maior, já que o ruído não influencia a média móvel. Pelo contrário, das séries que apresentam pouca flutuação aleatória ou mudanças nos seus padrões, o número de observações terá que ser menor, para a série reagir rapidamente às mudanças.

A média móvel pode assumir outra forma, uma versão “central”:

$$M_T = \frac{1}{S+1} \sum_{i=-S}^S y_{T-i} \quad (37)$$

onde o período da média móvel é $N=2S+1$.

A escolha do período que melhor se adapta aos resultados esperados tem como base a medida de erro e o seu comportamento. As medidas de erro que são analisadas no MINITAB são o MAPE, percentagem de erro da média absoluta, o MAD, desvio da média absoluta e o MSD, desvio quadrático da média. As suas fórmulas são:

$$MAPE = \frac{\sum |(y_t - \hat{y}_t)/y_t|}{n/100} \quad (38)$$

$$MAD = \frac{\sum |y_t - \hat{y}_t|}{n} \quad (39)$$

$$MSD = \frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)^2}{n} \quad (40)$$

onde y_t representa o valor real no instante t , \hat{y}_t o valor previsto no instante t e n o número do período. Neste estudo analisou-se para a estação LFC/FEUP o número de períodos de 5, 6, 7 e 144. Os valores dos erros são apresentados no quadro 36.

Quadro 36 – Valores dos erros da estação LFC/FEUP

Período	Agosto			Setembro			Fevereiro			Março		
	MAPE	MAD	MSD	MAPE	MAD	MSD	MAPE	MAD	MSD	MAPE	MAD	MSD
5	1,575	0,375	0,261	1,516	0,314	0,188	2,862	0,293	0,180	2,072	0,269	0,140
6	1,562	0,372	0,256	1,502	0,312	0,184	2,828	0,290	0,175	2,044	0,266	0,137
7	2,156	0,513	0,477	2,067	0,427	0,336	3,893	0,401	0,326	2,817	0,366	0,255
144	13,638	3,137	14,272	13,101	2,625	9,999	22,214	2,206	7,930	16,184	2,049	7,170

Como o período 6 apresenta erros menores que o 5 e o 7 foi seleccionado para a restante análise. Para a estação ENEAS apenas se analisaram os períodos 6 e 144 por serem os períodos que melhor se ajustam aos dados.

Quadro 37 – Valores dos erros da estação ENEAS

Período	Agosto			Setembro			Fevereiro			Março		
	MAPE	MAD	MSD	MAPE	MAD	MSD	MAPE	MAD	MSD	MAPE	MAD	MSD
6	1,403	0,326	0,189	1,341	0,268	0,130	2,652	0,264	0,139	1,924	0,239	0,106
144	13,051	2,944	12,492	12,786	2,501	9,033	21,846	2,125	7,275	16,019	1,965	6,491

Ao considerar o período 6 obtém-se menor erro, mas a curva do período 144 é mais representativa das variações no intervalo de tempo considerado. Na figura 52 apresentam-se os dois gráficos para a estação LFC/FEUP para os meses de Fevereiro e Março, o da parte superior é considerando o período 6 e o inferior considerando o período 144. Ao analisar o período 6 estamos a considerar variações horárias. Para o nosso estudo esse intervalo é demasiado curto, logo a preferência para o período de 144, que dá a ideia das variações diárias, alisando mais a curva e facilitando a percepção das variações.

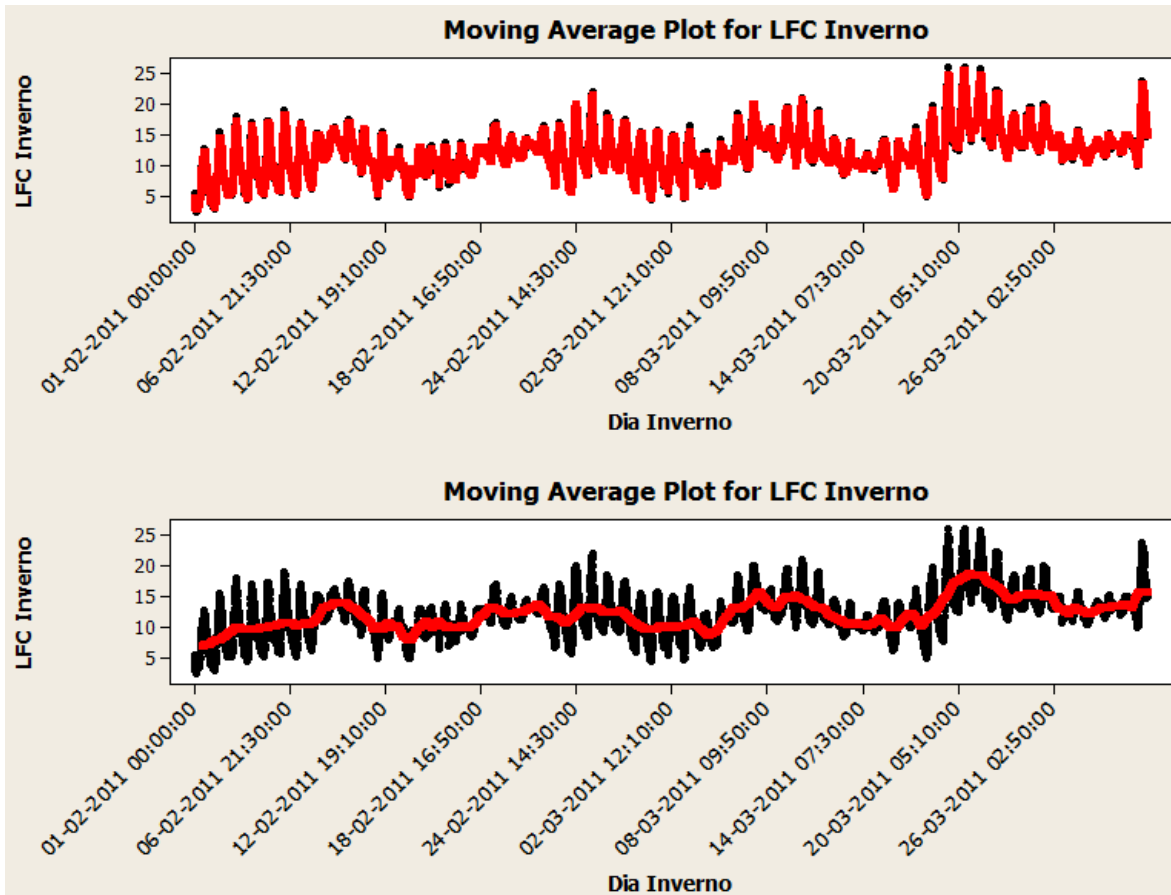


Figura 52 – Gráfico considerando período igual a 6 e 144 para estação LFC/FEUP em Fevereiro e Março

Nas figuras 53 a 56 apresentam-se os gráficos das médias móveis, para cada estação, para os dois intervalos de tempo considerados.

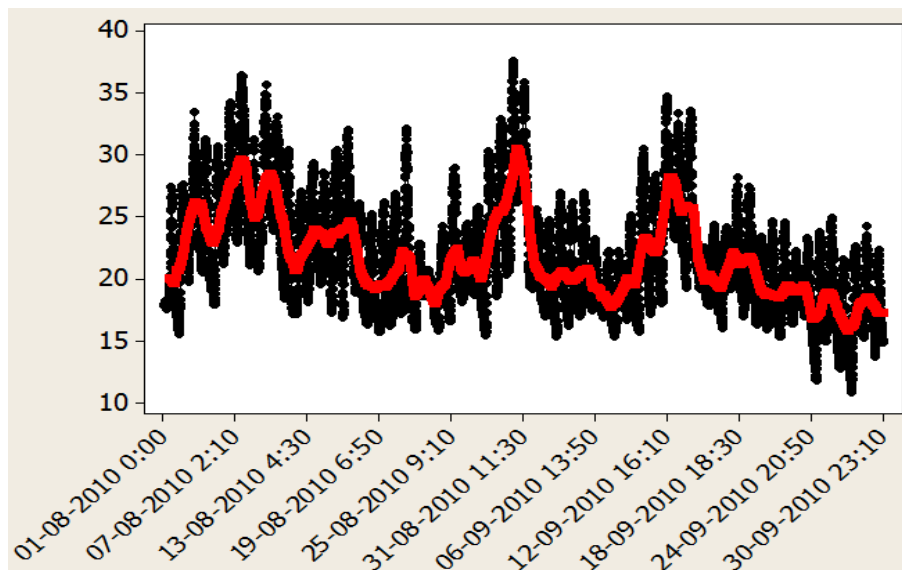


Figura 53 – Média móvel para estação LFC/FEUP em Agosto e Setembro

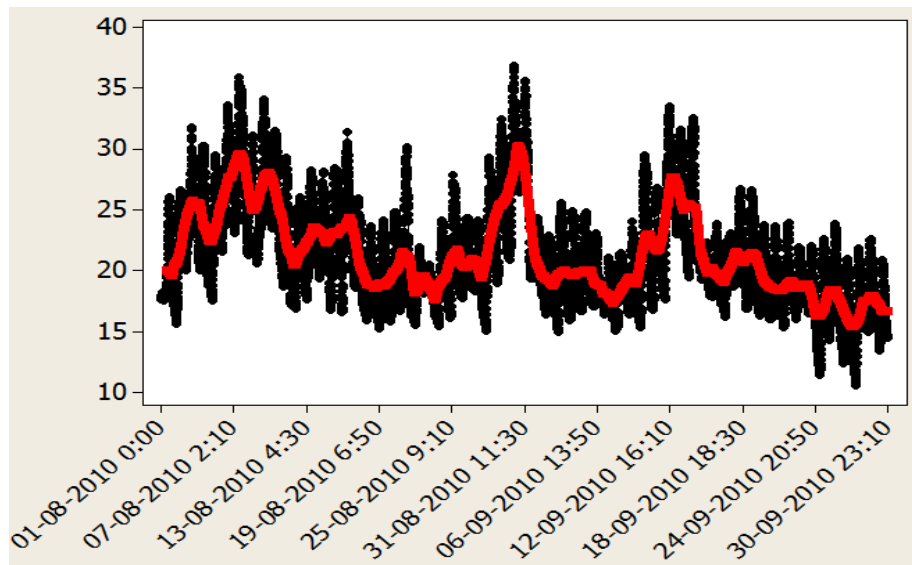


Figura 54 – Média móvel para estação ENEAS em Agosto e Setembro

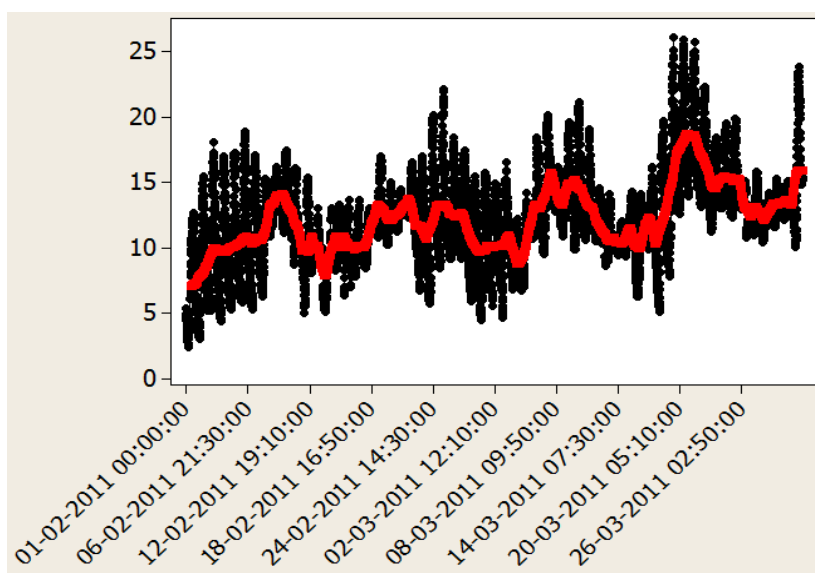


Figura 55 – Média móvel para estação LFC/FEUP em Fevereiro e Março

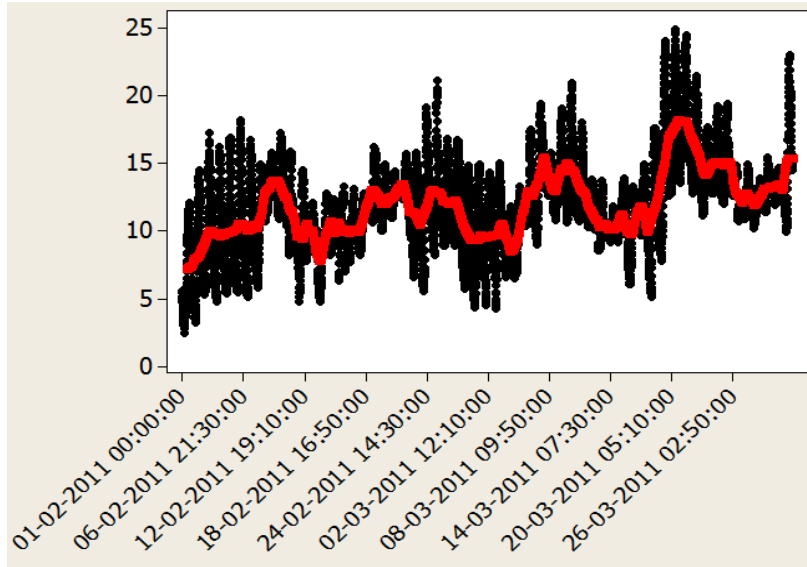


Figura 56 – Média móvel para estação ENEAS em Fevereiro e Março

Os gráficos das médias móveis das duas estações para o mesmo período em estudo são completamente sobreponíveis. Esta coincidência indica que o valor estacionário das temperaturas nas duas estações é igual. O que provoca a diferença nas temperaturas são basicamente os resíduos.

As figuras 57 e 58 mostram as médias móveis para um intervalo mais curto, para uma melhor leitura. Verifica-se que durante o período diurno do dia há um aquecimento da temperatura do ar, visível por as temperaturas medidas estarem acima da curva da média móvel, e durante o período nocturno há o arrefecimento do ar, temperaturas medidas abaixo da curva da média móvel. A variação dos valores medidos face à curva da média móvel é semelhante para as duas estações nos dois períodos estudados.

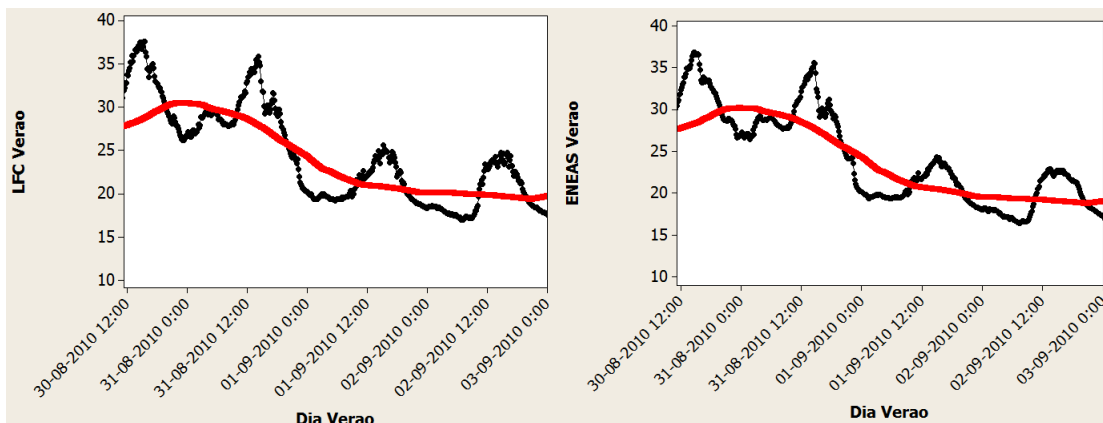


Figura 57 – Média móvel para estação LFC/FEUP e ENEAS entre 30 de Agosto e 3 de Setembro

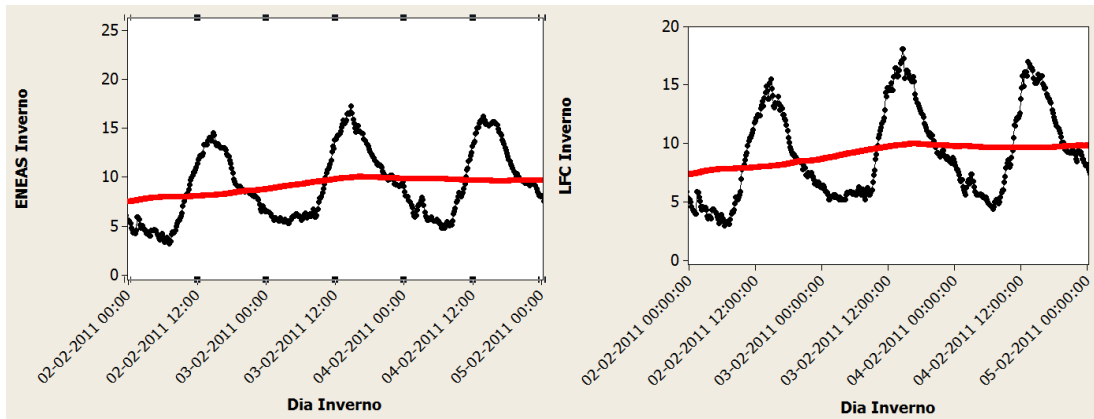


Figura 58 – Média móvel para estação LFC/FEUP e ENEAS entre 2 de Fevereiro e 5 de Fevereiro

Por fim analisam-se os gráficos dos resíduos (diferença entre o valor medido e a média corrente). Na figura 59 e 60 considera-se o intervalo de estudo completo, e nas figuras 61 e 62 um intervalo menor. Apenas se apresenta para cada intervalo temporal uma estação, pela semelhança entre elas, como visto anteriormente.

É perceptível que os resíduos têm uma variação cíclica diária, tal como a temperatura. Atingem o seu máximo ao início da tarde e decrescem até ao início da noite, onde se mantém constante até ao início da manhã.

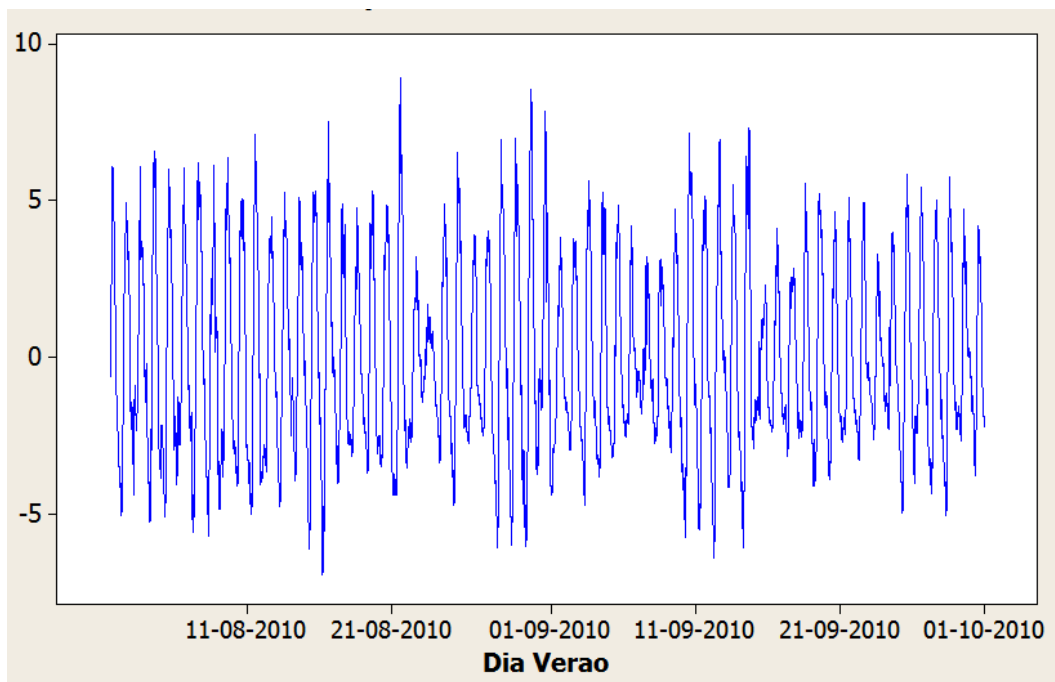


Figura 59 – Resíduos para estação ENEAS em Agosto e Setembro

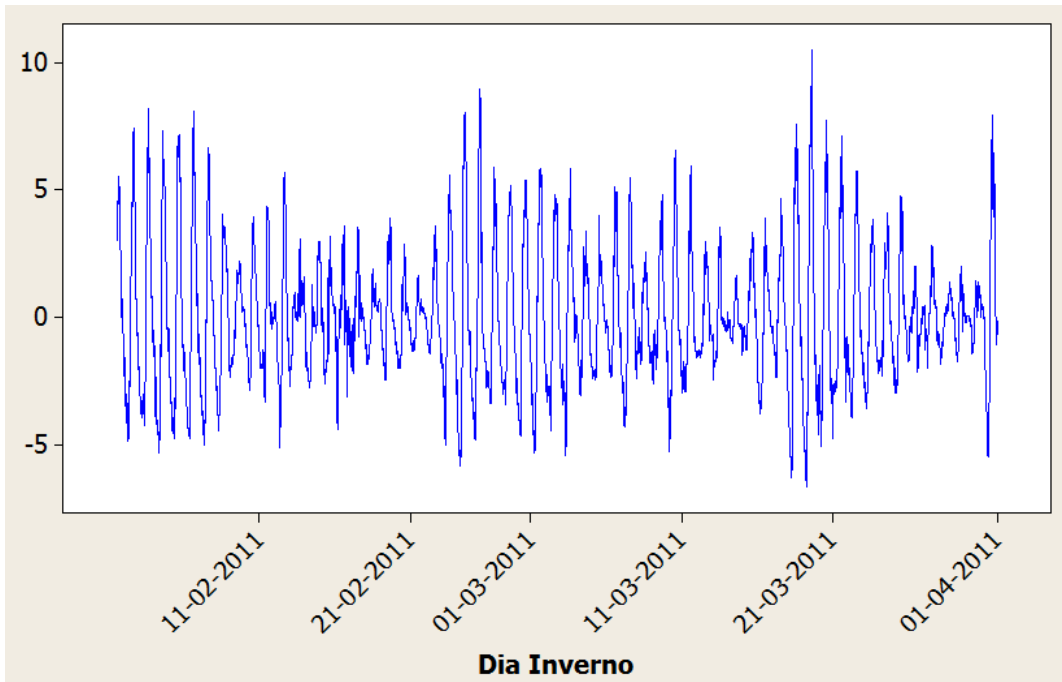


Figura 60 – Resíduos para estação LFC/FEUP em Fevereiro e Março

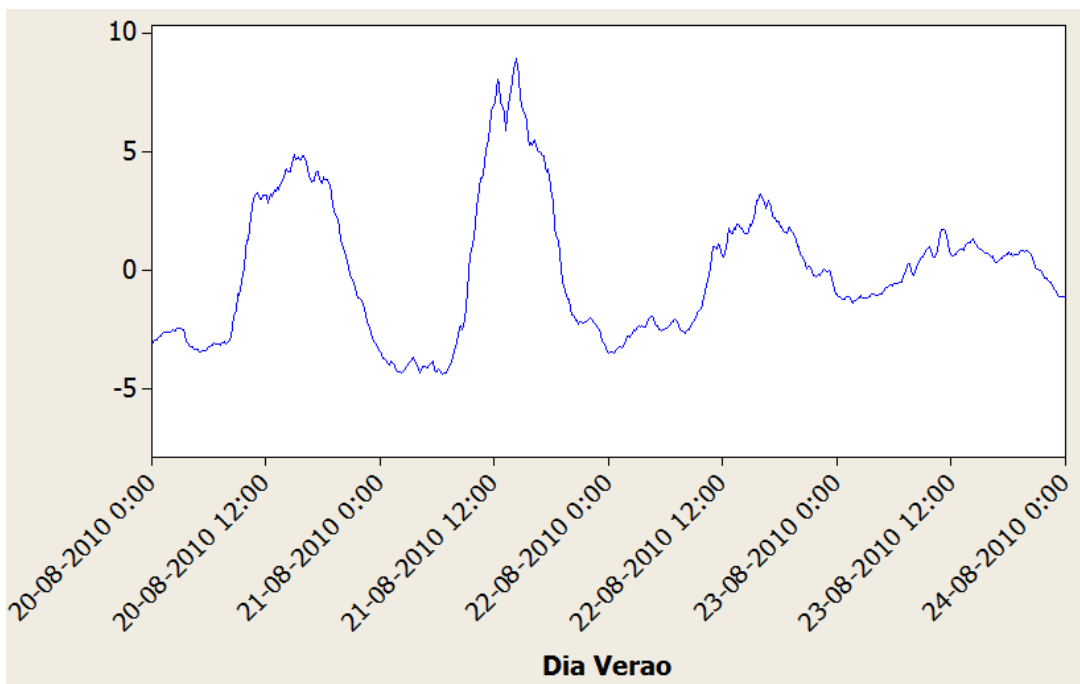


Figura 61 – Resíduos para a estação ENEAS entre 20 de Agosto e 24 de Agosto

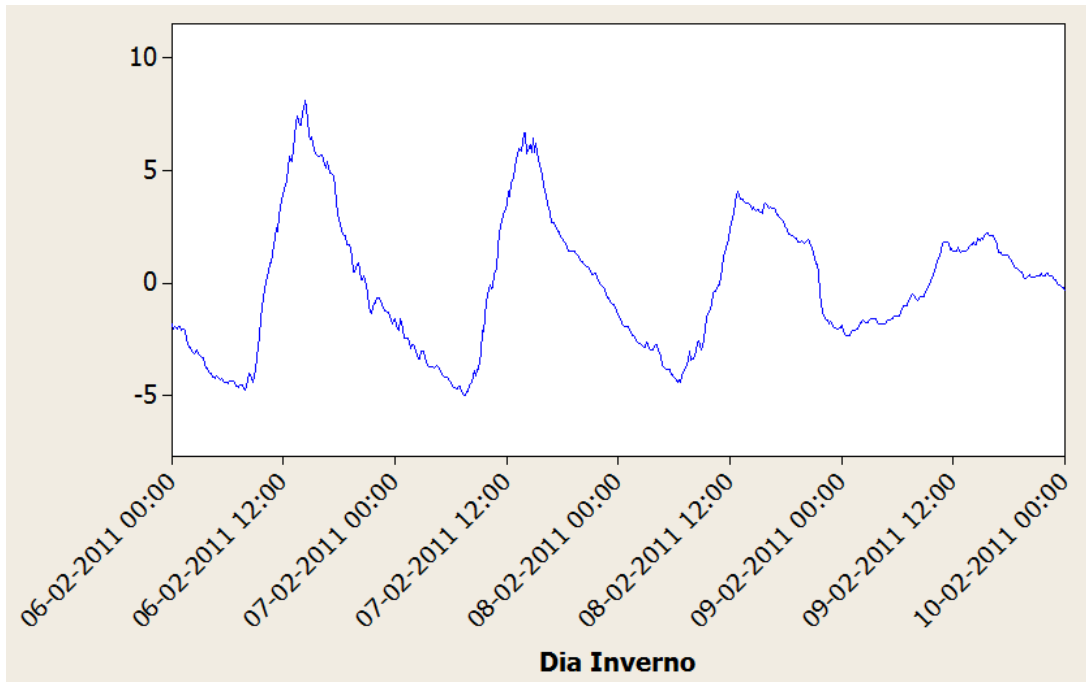


Figura 62 – Resíduos para estação LFC/FEUP entre 6 de Fevereiro e 10 de Fevereiro

4.4. SÍNTESE CRÍTICA

As principais conclusões retiradas da análise estatística efectuada para comparação das duas estações meteorológicas foram:

- A partir do teste t e do quociente das variâncias verifica-se que muito embora meçam o mesmo fenómeno, as amostras de cada estação provêm de duas populações diferentes (com variâncias diferentes), não sendo comparáveis em termos estritamente teóricos. É necessário salientar que estes testes de similitude de amostras emparelhadas são “demasiado” rigorosos;
- As variações das temperaturas são iguais para as duas estações, o que foi verificado pelos gráficos das médias móveis. Apesar destes resultados contrariarem os obtidos pelos testes da análise inferencial, parece aceitável relacionar as temperaturas das duas estações, mas não sem antes compreender a sua relação entre elas. A reforçar esta ideia, salienta-se o valor do coeficiente de correlação entre as duas temperaturas, que é muito elevado, 98,8%, que indica que existe uma correlação quase absoluta entre as duas estações
- Os equipamentos apresentam, segundo os fabricantes, para temperaturas de 20°C uma tolerância de $\pm 0,3^\circ\text{C}$ e um intervalo de confiança relativo ao erro da medida total de $\pm 0,6^\circ\text{C}$. A diferença das médias e muitas das medições estão dentro deste intervalo, verificando-se que a diferença modal entre as duas estações é $0,3^\circ\text{C}$, o que está dentro do erro indicado pelos fabricantes dos sensores de temperatura;
- As diferenças das temperaturas medidas pelas duas estações podem ser explicadas por duas razões: as diferenças na localização de cada uma delas e as diferenças no desempenho intrínseco dos dois equipamentos de medição;
- As duas estações estão localizadas em dois microclimas diferentes, que se podem descrever com base na envolvente. A estação do LFC/FEUP está inserida entre dois edifícios altos e sofre influência da radiação libertada e reflectida por estes, que aquece o ar circundante. Associado a uma ventilação insuficiente provoca um aumento na temperatura no ar envolvente

do sensor, afectando assim indirectamente a qualidade de medida. Outro factor que, também, poderá influenciar são as clarabóias e as janelas existentes, que podem apresentar albedos de 52%;

- Os valores das diferenças das temperaturas são mais elevados para os períodos diurnos. Para os períodos nocturnos as diferenças assumem um valor quase constante e próximo de 0,3°C. O facto dos resíduos, na análise das séries temporais, serem maiores para os períodos diurnos confirma a conclusão anterior. A diferença nocturna poderá ser devida aos elementos com menor reflectância, que restituem ao ar envolvente o calor diurno;
- A localização incorrecta das estações, por motivos arquitectónicos, também afecta os dados, sendo estes mais vulneráveis à influência do microclima urbano. Neste caso, os sensores sofrem aquecimento significativo devido ao albedo do godo da cobertura, cerca de 40%, e da radiação emitida e reflectida pelas superfícies dos edifícios próximos. Este efeito é mais intenso quanto maior for a diferença de temperaturas entre a superfície irradiante e a do ar circundante;
- A influência do microclima obriga à compreensão do meio onde se pretende localizar uma estação meteorológica. Sem este estudo prévio comparações e medidas de carácter climático podem perder toda a validade.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância dada ao estudo do desempenho higrotérmico dos edifícios na fase do projecto aumentou muito nos últimos tempos. A sua consideração apresenta melhorias consideráveis nos edifícios ao nível de conforto e da sua resistência face às acções dos agentes climáticos.

Esta avaliação do comportamento higrotérmico dos edifícios pode ser feita a partir de programas de simulação numérica. Os programas de simulação acrescentaram grandes melhorias a esta área, pelo aumento de rigor e rapidez no estudo de casos. O clima exterior é um dado que é preciso fornecer ao programa e quanto maior a sua fidelidade aos valores reais mais fiáveis serão as conclusões.

O ano climático de referência tenta definir um clima de dimensionamento para um local com a maior veracidade possível. Os registos climáticos medidos têm que ser analisados e sintetizados de maneira a serem obtidos os valores característicos do local. A inadequação dos dados é um grande problema que a simulação do desempenho higrotérmico ainda se tem que confrontar.

Na sequência dos estudos efectuados foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A utilização da norma ISO 15927 permitiu o tratamento dos dados climáticos medidos pela estação meteorológica do LFC/FEUP, durante três anos, de uma forma simples. Verifica-se, contudo, que a localização da estação meteorológica não cumpre alguns requisitos propostos pela norma, comprometendo a obtenção no futuro de um clima de referência para a FEUP;
- A existência de falhas nos dados medidos pode originar erros nos resultados. Tanto quanto possível essas falhas devem ser colmatadas;
- A utilização de dados climáticos medidos por outras estações localizadas na FEUP para colmatar os dados em falta pode não ser aceitável. Verificou-se que, através do teste t e do teste do quociente das variâncias, os dados medidos pelas estações meteorológicas do LFC/FEUP e do ENEAS provêm de populações diferentes, não sendo por isso, comparáveis em termos estritamente teóricos;
- Com a abordagem em séries temporais verificou-se que as variações das temperaturas são idênticas, que torna aceitável relacioná-las. O coeficiente de correlação entre as temperaturas medidas pelas duas estações também aponta neste sentido;
- As diferenças das temperaturas medidas pelas estações podem ser explicadas por duas razões: a diferença na localização de cada uma delas e as diferenças no intrínseco dos dois equipamentos de medição;
- As duas estações estão localizadas em dois microclimas diferentes, que se podem explicar com base na envolvente. A estação do LFC/FEUP está inserida entre dois edifícios altos e

sofre influência da radiação libertada e reflectida por estes, que aquece o ar circundante. Associado a uma ventilação insuficiente provoca um aumento na temperatura no sensor, afectando assim indirectamente a qualidade de medida. Outro factor que poderá também influenciar são as clarabóias e as janelas existentes, que podem apresentar albedos de 52%;

- A correlação entre as diferenças das temperaturas e as temperaturas medidas pelas estações é inexistente e por isso parece não ser possível a partir dos dados medidos por uma das estações, inferindo o erro “a priori”, obter os valores da outra. Contudo, com uma ponderação cuidadosa das variâncias conjuntas obtidas a partir das tolerâncias indicadas pelos fabricantes é possível criar intervalos de confiança que nos permitam dizer com uma segurança muito razoável quais as temperaturas verdadeiras verificadas na zona, sejam elas medidas por uma estação ou por outra. Mas para conseguir chegar a essa medida de qualidade superior necessitávamos de definir com clareza os dois microclimas em que as estações se situam.

5.2. TRABALHOS A DESENVOLVER

Como já foi salientado, este trabalho pretende ser um primeiro passo para o desenvolvimento de um ano climático de referência para a FEUP. Para tal, propõe-se as seguintes tarefas futuras:

- O desenvolvimento de um programa de cálculo para sintetização e apresentação de resultados conforme a norma ISO 15927;
- O acompanhamento das medições, de maneira a rapidamente se corrigir qualquer problema que resulte em falhas de dados e a correcção de valores “incorrectos”;
- A criação de uma base de dados com pelo menos 10 anos para a criação do ano climático de referência;
- Melhorar os dados medidos compreendendo o erro de qualidade das estações através das séries temporais;
- Perceber como e qual dos parâmetros climáticos influenciam mais a diferença das temperaturas entre as duas estações;
- Utilização de uma câmara termográfica em aquisição de dados durante intervalos de tempo consideráveis de modo a definir com precisão a reflectância e a capacidade de absorção das superfícies anexas a cada uma das estações e assim inferir a sua importância na variação das temperaturas medidas.

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, J. (1998). *Campanha de recolha e análise de dados climatológicos na cidade do Porto*. FEUP, Porto.
- Andrade, H. (2005). *O Clima Urbano - Natureza, Escalas de Análise e Aplicabilidade*. Finisterra, Volume XL, Número 80, Lisboa.
- ANSI/ASHRAE (2004). *ANSI/ASHRAE-55: Thermal environmental condition for human occupancy*, Atlanta, ASHRAE.
- Arguez, A., Vose, R. (2010). *The Definition of the Standard WMO Climate Normal: The Key to Deriving Alternative Climate Normals*. Bulletin of the American Meteorological Society 2010.
- Baud, P., Bourgeat, S., Bras, C. (1999). *Dicionário de Geografia*. Plátano Edições Técnicas.
- Bisgaard, S., Kulahci, M. (2005). *Interpretation of time series models*. Qual. Eng 17(4), 653-658.
- Box, G., Jenkins, G., Reinsel, G. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- CEN - European Committee for Standardization (2002). *EN ISO 15927:2002 - Hygrothermal performance of building – Calculation and presentation of climatic data*. CEN, Bruxelas, Dezembro 2002.
- CEN - European Committee for Standardization (2005). *EN ISO 7730:2005 - Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. CEN, Bruxelas, Novembro 2002.
- Chow, W. (1965). *Adaptive controlo f the exponential smoothing constant*. J. Ind. Eng. 16, 314-317.
- Conover, W. (1980). *Statistics of the Kolmogorov-Smirnov tyoe in “Practical non-parametric statistics”*. 2nd ed., Cpah6, John Wiley & Sons, New York.
- D’Agostino, R., Belanger, A., D’Agostino, R. Jr. (1990). *A suggestion for using powerful and informative test of normality*. Amer. Statist., 44, 316-321.
- Dyrbye, C., Hansen. S. (1997). *Wind Loads on Structures*. John Wiley & Sons, Chichester.
- EPA, Environmental Protection Agency (s.d.). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies: Urban Heat Island Basics*. <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>, 25 de Março de 2011.
- Faria, E., Albuquerque, M., Alfonso, M., Albuquerqure, M., Cavalcante, J. (2008). *Previsão de Séries Temporais utilizando Métodos Estatísticos*. http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/NT00308.2011_01_04_11_12_17.pdf, 18 de Março de 2011.
- Foucault, A. (1996). *O clima: história e devir do meio terrestre*. Instituto Piaget, D. L., Lisboa.
- Freitas, V., Torres, M., Guimarães, A. (2008). *Humidade Ascensional*, FEUP Edições, Porto.
- Gardner, E. (1985). *Exponential smoothing: the state of the art*. J. Forecasting, 4,1-28.
- Givoni, B. (1978). *L’homme, l’architecture et le climat*. Moniteur, Paris.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons, cop., New York.

- Global Warming Art. http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:Solar_Spectrum_png, 26 de Maio de 2011.
- Góis, J. (2002). *Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.
- Gonçalves, H., Graça, J. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. DGGE / IP-3E, Lisboa.
- Google Maps. <http://maps.google.pt/>, 15 de Maio de 2011
- Gordon, A. (1999). *Classification: Methods for Exploratory Data Analysis*. Chapman and Hall, London.
- Guimarães, R., Cabral, J. (1997). *Estatística*. McGraw-Hill. Lisboa.
- Henderson-Sellers, A., McGuffie, K. (2005). *A Climate Modelling Primer*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Henriques, F. (2001). *Humidade em Paredes*. LNEC, Lisboa.
- Holmes, J. (2001). *Wind Loading of Structures*. Taylor & Francis e-Library, London.
- Humphreys, M. (1978). *Outdoor Temperatures and Comfort Indoor*. Garston, Watford, Building Research and Practice, 6, 92-105.
- Instituto de Meteorologia, IP Portugal. <http://www.meteo.pt/pt/>, 15 de Maio de 2011.
- IPCC (2001). *Clima Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- Jenkins, G., Watts, D. (1968). *Spectral analysis and Its Applications*. Holden Day, San Francisco.
- Kipp e Zonen (2011). *CGR Series – Pyrgeometer range*. <http://www.kippzonen.com>, 20 de Maio de 2011.
- Leger, C., Politis, D., Romano, J. (1992). *Bootstrap technology and applications*. Technometrics, 334, 378-398.
- Lencastre, A., Franco, F. (1992). *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- LFC/FEUP, Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia do Porto. <http://experimenta.fe.up.pt/estacaometeorologica/index.php?lang=pt>, 29 de Maio de 2011.
- Lund, H (1995). *The Design Reference Year User's Manual*. Thermal Insulation Laboratory Report No. 274, Technical University of Denmark, Lyngby.
- McPherson, G. (1990). *Applying and Interpreting Statistics: A comprehensive Guide*. Springer, New York.
- Meteotest. http://www.meteotest.ch/en/footer/navi/solar_energy/meteonorm/, 20 de Maio de 2011.
- Mimoso, J. (1987). *Transmissão de Calor. Bases teóricas para aplicação à térmica de edifícios*. ITE 14, LNEC, Lisboa.

- MINITAB (2011). *MINITAB Version 16.1.1.1*. <http://www.minitab.com>, 10 de Abril de 2011.
- Monteiro, A. (1994). *A Climatologia como componente essencial no diagnóstico e na avaliação dos impactos ambientais em espaços urbanizados. O caso da cidade do Porto*. Territorium, Nº 1.
- Monteiro, A. (1998). *O clima urbano portuense: contributo para a gestão sustentável de um espaço urbanizado*. Clima y Ambiente Urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas, p.67-84.
- Monteiro, A. (2008). *Desenvolvimento, Sustentabilidade ou a busca por um melhor índice de felicidade bruta – o contributo da climatologia urbana*. Encontro Internacional – “GEOGRAFIA: TRADIÇÕES E PERSPECTIVAS” HOMENAGEM AO CENTENÁRIO DE NASCIMENTO DE PIERRE MONBEIG, 1 a 5 de Dezembro de 2008, São Paulo.
- Montgomery, D., Runger, G., Hubele, N. (2004). *Estatística Aplicada à Engenharia*. LTC, Rio de Janeiro.
- Montgomery, D., Jennings, C., Kulahci, M. (2008). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Oke, T (1987). *Boundary layer climates*. Routledge, London.
- ONU (1970). *Climate and House Design*. United Nation, New York.
- Peixoto, J. (1987). *O sistema climático e as bases físicas do clima*. Ministério do Plano e da Administração do Território. Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território.
- Promanic (2011). *Promanic – Rain-O-Matic Professional*. <http://www.promanic.com>, 20 de Maio de 2011.
- Ramos, N. (2007). *A Importância da Inércia Higroscópica no Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.
- Ramos, N., Delgado, J., Barreira, E., Freitas, V. (2010). *Hygrothermal Numerical Simulation Application in Moisture Damage Prevention*. L. Angermann, ed. Numerical simulations – Examples and Applications in Computational fluid dynamics, InTech, Croacia, Dezembro 2010.
- Ribeiro, A. (1987). *Hidrologia: águas superficiais: hidráulica aplicada*. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Laboratório de Hidráulica, Porto.
- Rodrigues, A., Piedade, A., Braga, A. (2009). *Térmica de edifícios*. Edições Orion, Alfragide.
- Rotronic (2011). *Sensor module for humidity and temperature – HygroClip*. <http://www.rotronic.co.uk>, 20 de Maio de 2011.
- Ryan, B., Joiner, B., Cryer, J. (2005). *MINITAB handbook*. Thomson, California.
- Santos, R. (1989). *Avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Scheffé, H. (1959). *The Analysis of Variance*. John Wiley & Sons, New York .
- Taylor, F. W. (2005). *Elementary Climate Physics*. Oxford University Press, cop., New York.
- Technetis (2001). *Mikromec Multisens – Instruction Manual*. Technetics, Freiburg.
- Thies Clima (s.d.a). *Windgeber – compact*. Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen.
- Thies Clima (s.d.b). *Windrichtungsgeber – compact*. Adolf Thies GmbH & Co. KG, Göttingen.
- Trochim, W. (2006). *The T-Test*. http://www.socialresearchmethods.net/kb/stat_t.php, 20 de Maio de 2011.

University of Exeter (2011). *Weather Files for Current and Future climate*.

http://emps.exeter.ac.uk/media/universityofexeter/schoolofengineeringmathematicsandphysicalscience/research/cee/lchsmodule1notes/Weather_Files.pdf, 25 de Maio de 2011.

Vaisala (2010). *Vaisala Weather Transmitter WXT520 – User’s Guide*. Vaisala Oyj, Helsinki.

WMO, World Meteorological Organization (1989). *Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals*. WCDP-No. 10, WMO-TD/No. 341, Geneva.

WMO, World Meteorological Organization (2007). *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate*. WCDMP-No. 61, WMO-TD/No. 1377, Geneva.

Wood, J. (2007). *User Manual for the Sunshine Pyranometer type SPN1*. Delta-T Devices Limited, Cambridge.

Woodford, C. (2009). *Pyranometers*. <http://www.explainthatstuff.com/how-pyranometers-work.html>, 20 de Maio de 2011.