Estudo experimental do comportamento térmico de fachadas verdes

Rita Ferreira Martins Gama Prazeres

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadoras:

Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes
Professora Doutora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva

Júri:

Presidente: Professor Doutor Albano Neves e Sousa

Orientadora: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes

Vogal: Professor Doutor Daniel Aelenei

Julho de 2015

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que contribuíram de forma directa ou indirecta à realização deste projecto.

Em particular, gostava de agradecer à minha orientadora, Professora Maria da Glória Gomes, e à minha co-orientadora, Professora Cristina Matos Silva, pelo apoio constante ao longo deste percurso, dedicação e conhecimentos transmitidos que contribuíram para enriquecer o trabalho desenvolvido.

Ao amigo e colega Diogo Serpa, pelo companheirismo e apoio na montagem dos equipamentos necessários ao desenvolvimento desta dissertação.

Ao Eng. João Salgado que possibilitou o acesso tanto à moradia da Travessa do Patrocínio como ao estúdio de som Atlântico Blue Studios e que se mostrou sempre disponível ao acompanhamento e esclarecimento de dúvidas durante as campanhas de monitorização

Ao Sr. Luís Câncio, da LC-Vertical Gardens, que esclareceu todas as questões que surgiram ao longo da realização da tese.

À D. Célia Costa e ao Sr. Fernando, da Atlântico Blue Studios, pela simpatia com que sempre nos receberam no estúdio de som e que permitiram a monitorização neste local.

Aos meus amigos pela amizade de há muitos anos e pelo incentivo para completar esta fase final do curso.

Um sincero agradecimento aos meus pais que permitiram que me tornasse na pessoa que hoje sou. Agradeço todo o trabalho e paciência que permitiram que crescesse a todos os níveis. E ainda, ao meu irmão, que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida.

Finalmente, quero agradecer ao Miguel pela constante motivação e apoio ao longo do curso, cuja dedicação e entrega me inspiram e me continuarão a inspirar ao longo da vida.

Resumo

A implementação das fachadas verdes em edifícios é normalmente associada a aspectos arquitectónicos e estéticos. Contudo, várias outras vantagens podem ser associadas a este tipo de solução construtiva, por exemplo ao nível do efeito da Ilha de Calor Urbano ou do nível de poluentes presentes na atmosfera. Também é relevante estudar como é que este tipo de soluções afecta o comportamento térmico de um edifício. O principal objectivo deste trabalho é compreender este último aspecto, num clima mediterrâneo, ao realizar um estudo experimental em dois edifícios distintos localizados no distrito de Lisboa, em Portugal, que diz respeito à monitorização das suas fachadas durante duas campanhas: Inverno e Verão. Estes edifícios têm usos diferentes. O primeiro é uma moradia unifamiliar situada no centro de Lisboa e o segundo é a entrada para um complexo de estúdios de som, em Oeiras.

Em ambos os casos de estudo foi registada informação relativa ao comportamento térmico do edifício, nomeadamente temperaturas internas e externas superficiais e ambientes, fluxo de calor, humidade relativa e radiação solar. Também foi possível comparar os resultados com uma fachada convencional de betão na moradia e com uma cobertura verde que existe no segundo caso de estudo.

Ainda no primeiro caso de estudo, foi feito um ensaio de condutibilidade térmica para obter uma estimativa desse valor através do instrumento Isomet 2114.

Observou-se que as temperaturas superficiais exteriores e os fluxos de calor no Verão são menores devido ao rápido processo de evapotranspiração nesta estação e ao efeito de sombreamento. No Inverno há menos perdas de calor durante a madrugada. O efeito da rega influencia o comportamento da fachada e as diferentes espécies vegetais fazem variar o sombreamento e, consequentemente as temperaturas registadas. A escolha das espécies vegetais de acordo com o clima e orientação é fulcral para o comportamento térmico da fachada verde.

Palavras-chave: fachada verde, comportamento térmico, monitorização

Abstract

The implementation of green façades in buildings is normally associated to architecture and esthetic reasons. However, they are nowadays becoming more common since they present several advantages in urban centres. It is relevant to study how they affect the building thermal behavior and whether if they are a good insulation means or not. This paper's main goal is to understand the latter aspect, in a Mediterranean climate, by conducting an experimental study in two different buildings located in the Lisbon district, Portugal, which includes monitoring their façades during two time frames: Winter and Summer. Those buildings have different purposes: the first one is a villa situated in the centre of Lisbon and the second one is the entrance for a sound studios complex, in Oeiras.

In both case studies thermal data was registered, such as internal and external surface temperatures and air temperatures, heat flux, relative humidity and solar radiation. It was also possible to compare the results with a conventional concrete façade on the villa as well as with a green roof that exists in the second case study. The sensors used to obtain those values were positioned in strategic zones so that different species of vegetation were observed and also to document the indoor effect.

In adition, the thermal conductivity of the solution was measured on the first case study to obtain value estimate with the instrument Isomet 2114.

The results analysis shows that heat fluxes are less intense during summer due to the fastest evapotranspiration process and shading effect. During winter there are less heat losses by dawn. Irrigation also influences the façade behavior and the shading effect associated to the different species allows a significant superficial temperature variation. In adition, the species selection according to climate and orientation is very important to reduce the maintenance costs.

Key-words: green façade, thermal behavior, thermal monitoring

Índice

Agradecimentos i

Resumo iii

1. Introdução 1

1.1. Enquadramento 1

1.2. Objectivos 1

1.3. Organização do trabalho 2

2. Estado de arte 3

2.1. Exemplos internacionais 3

2.2. Exemplos nacionais 5

2.3. Legislação existente 6

2.4. Caracterização das fachadas verdes 7

2.5. Benefícios das fachadas verdes 9

2.6. Estudos experimentais do comportamento térmico de fachadas verdes 10

2.7. Considerações finais 16

3. Apresentação dos casos de estudo 17

3.1. Caso de estudo 1 – Travessa do Patrocínio 19

3.1.1. Piso 0 – Escritório 20

3.1.2. Piso 2 – Sala de estar 21

3.1.3. Descrição do equipamento 24

3.1.4. Campanhas experimentais 26

3.2. Caso de estudo 2 – Atlântico Blue Studios 29

3.2.1. Descrição do equipamento 31

3.2.1. Campanhas experimentais 32

4. Análise experimental – Caso de estudo 1 35

4.1. Campanha de Inverno 35

4.2. Campanha de Verão 43

4.3. Ensaio de condutibilidade térmica 51

4.4. Considerações finais 53

5. Análise experimental – Caso de estudo 2 55

5.1. Campanha de Inverno 55

5.2. Campanha de Verão 67

5.3. Considerações finais 74

6. Conclusões 77

Referências Bibliográficas 81

Sítios da internet: 82

ANEXOS ..... A

Anexo A.1. Plantas e alçado lateral da moradia da Travessa do Patrocínio C

Anexo A.2. Resultados totais das campanhas de monitorização da Travessa do Patrocínio ..... H

Anexo A.3. Resultados totais das campanhas de monitorização do estúdio de som, em Oeiras L

Anexo A.4. Registos da estação meteorológica do Instituto Superior Técnico ..... O

Índice de figuras

Figura 2.1: Edifício de escritórios em Bruxelas, Bélgica (K DESIGN) 3
Figura 2.2: Musée du quai Branly em Paris, França (K DESIGN) 4
Figura 2.3: Fachada de um prédio adjacente ao CaixaForum em Madrid, Espanha (Costa, Carlos Smaniotto) 4
Figura 2.4: *International Prefectural Salon* em Pukuoka, Japão (Nice Art Life Magazine) 4
Figura 2.5: Moradia unifamiliar na Travessa de Patrocínio, Lisboa (Arquitecturas contemporâneas) 5
Figura 2.6: Sede da MSF, *Natura Towers*, Lisboa (Martifer) 5
Figura 2.7: Dolce Vita Tejo, Lisboa (Vertical Garden Patrick Blanc) 6
Figura 2.8: Esquema ilustrativo os diferentes tipos de jardins verticais (Perini et al., 2013) 8
Figura 2.9: Esquema ilustrativo de uma "parede viva" (Fábrica Veleiro) 9
Figura 3.1: Localização da moradia unifamiliar (Google Maps) 17
Figura 3.2: Localização do estúdio, com destaque para a pequena zona com fachada e cobertura verde (Google Maps) 17
Figura 3.3: Localização dos sensores na moradia da Travessa do Patrocínio na fachada Sudoeste (BWA) 18
Figura 3.4: Localização dos sensores na fachada do estúdio de Paço de Arcos 18
Figura 3.5: Localização dos sensores na cobertura do estúdio de Paço de Arcos 18
Figura 3.6: Vista completa das duas fachadas cobertas com vegetação (BWA) 19
Figura 3.7: Piso 0 – Sensores interiores 20
Figura 3.8: Piso 0 – Sensores interiores (pormenor) 20
Figura 3.9: Piso 2 - Sensores interiores 20
Figura 3.10: Planta do escritório - Piso 0 (BWA (Plantas do Projecto)) 21
Figura 3.11: Vista exterior do alçado principal (Nordeste) (BWA) 21
Figura 3.12: Planta do Piso 2 (BWA (Plantas do projecto)) 22
Figura 3.13: Zona técnica do sistema de rega, adjacente à garagem 22
Figura 3.14: Modelo do alçado lateral da Travessa do Patrocínio (Espaços&Casas) 23
Figura 3.15: Alçado lateral da moradia unifamiliar (Home DSGN e Espaços&Casas) 23
Figura 3.16: Pormenor do Piso 1, na fachada Sudeste, durante a construção da fachada verde (Architectural Record) 23
Figura 3.17: Piso 0 – Sensores exteriores 24
Figura 3.18: Piso 0 – Sensores interiores 24
Figura 3.19: Equipamento do Piso 0 – DataTaker 50 e Rotronic 25
Figura 3.20: Conversor VScom (VSCOM) 25
Figura 3.21: Equipamento do Piso 2 – Campbell DataTaker 25
Figura 3.22: Equipamento do Piso 2 – Tinytag (Preservation Equipment Ltd.) 25
Figura 3.23: Piso 2 - Sensores interiores 26

Figura 3.24: Piso 2 – Sensores exteriores 26
Figura 3.25: Esquema representativo do posicionamento de todos os sensores 27
Figura 3.26: Plataforma elevatória articulada utilizada para a manutenção 29
Figura 3.27: Atlântico Blue Studios 29
Figura 3.28: Vista aérea da cobertura verde 29
Figura 3.29: Etapa construtiva após a colocação da estrutura metálica (ADN Garden Design) 30
Figura 3.30: Colocação da manta de geotêxtil (ADN Garden Design) 30
Figura 3.31: Sensores interiores 30
Figura 3.32: Sensores exteriores na fachada 30
Figura 3.33: Sensor exterior na cobertura 30
Figura 3.34: Pormenor dos sensores exteriores no Inverno (Tinytag e piranómetros) 30
Figura 3.35: Zona técnica do sistema de rega adjacente ao *hall* 31
Figura 3.36: Equipamento do *Hall* – Data Logger Delta T e Rotronic 32
Figura 3.37: Equipamento exterior – Tinytag (Preservation Equipment Ltd.) 32
Figura 3.38: *Hall* - Delta T e termopar ambiente interior 32
Figura 3.39: *Hall* - Sensores interiores 32
Figura 3.40: Alpendre – Sensores exteriores na fachada 32
Figura 3.41: Cobertura – Sensor exterior 32
Figura 3.42: Esquema representativo do posicionamento dos sensores no estúdio de som 33
Figura 4.1: Evolução da temperatura ambiente no Piso 0 (R), Piso 2 (Ti,4) e exterior (Te,8), no DF+ (21/2) 36
Figura 4.2: Esquema auxiliar da Figura 4.1, Figura 4.3 e Figura 4.4 36
Figura 4.3: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada verde no DF+ (21/2) 36
Figura 4.4: Evolução da temperatura superficial e ambiente no Piso 0 no DF+ (21/2) 36
Figura 4.5: Diferenças de temperaturas e fluxos entre o Piso 2 e o Piso 0, no DF+ (21/2) 37
Figura 4.6: Evolução da temperatura no corte BB' e radiação solar medida no plano horizontal no dia mais frio (21/2) 38
Figura 4.7: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DF+ (21/2) 39
Figura 4.8: Fluxo de calor vs radiação solar medida no plano horizontal no DF+ (21/2) 39
Figura 4.9: Fluxo de calor vs radiação solar medida no plano horizontal no DRS- (9/3) 39
Figura 4.10: Temperatura vs fluxo de calor no DRS- (9/3), no corte BB', nos pontos 3 e 7 40
Figura 4.11: Fluxo de calor vs radiação solar medida no plano horizontal no DRS+ (7/3) 40
Figura 4.12: Termografia da moradia unifamiliar estudada 42
Figura 4.13: Câmara de termografia ThermaCAM (SPEC-NET) 42
Figura 4.14: Evolução da temperatura ambiente no Piso 0 (R), Piso 2 (Ti,4) e exterior (Te,8), no DQ+ (3/7) 44
Figura 4.15: Esquema auxiliar da Figura 4.14, Figura 4.16 e Figura 4.17 44
Figura 4.16: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada verde no DQ+ (3/7) 44

Figura 4.17: Evolução da temperatura superficial e ambiente no Piso 0 no DQ+ (3/7) 44
Figura 4.18: Pormenor da vegetação na zona 3, no Verão 45
Figura 4.19: Pormenor da vegetação na zona 5, no Verão 45
Figura 4.20: Evolução da temperatura no corte BB' e radiação solar medida no plano horizontal, no DQ+ (3/7) 45
Figura 4.21: Diferenças de temperatura entre o Piso 2 e o Piso 0, no DQ+ (3/7) 46
Figura 4.22: Travessa do Patrocínio no Inverno 46
Figura 4.23: Travessa do Patrocínio no Verão 46
Figura 4.24: Evolução da humidade relativa e da temperatura ambiente exteriores no DQ+ (3/7) 46
Figura 4.25: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DQ+ (3/7) 47
Figura 4.26: Evolução da temperatura ambiente no Piso 0 (R), Piso 2 (Ti,4) e exterior (Te,8), no DRS+ (20/6) 48
Figura 4.27: Esquema auxiliar da Figura 4.26, Figura 4.29 e Figura 4.30 48
Figura 4.28: Evolução da temperatura no corte BB' e radiação solar medida no plano horizontal, no DRS+ (20/6) 48
Figura 4.29: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada verde no DRS+ (20/6) 49
Figura 4.30: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada do Piso 0 no DRS+ (20/6)..... 49
Figura 4.31: Diferenças de temperatura entre o Piso 2 e o Piso 0, no DRS+ (20/6)..... 49
Figura 4.32: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS+ (20/6)..... 50
Figura 4.33: Isomet 2114 – Instrumento com a sonda plana (Fernandes, 2014) e montagem *in situ* do mesmo 51
Figura 5.1: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DF+ (17/2) 56
Figura 5.2: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e precipitação no DF+ (17/2) 56
Figura 5.3: Temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DF+ (17/2)..... 57
Figura 5.4: Evolução da humidade relativa no DF+ (17/2) 57
Figura 5.5: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DF+ (17/2) 58
Figura 5.6: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no 2º dia mais frio (16/2) 58
Figura 5.7: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores no 2º dia mais frio (16/2)..... 58
Figura 5.8: Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no 2º dia mais frio (16/2) 59
Figura 5.9: Evolução da humidade relativa no 2º dia mais frio (16/2) 60
Figura 5.10: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no 2º dia mais frio (16/2)61
Figura 5.11: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DRS- (13/2)..... 61
Figura 5.12: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e precipitação no DRS- (13/2) 61
Figura 5.13:Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DRS- (13/2)... 62
Figura 5.14: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS- (13/2) 63

Figura 5.15: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DRS+ (18/2) 64
Figura 5.16: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores no DRS+ (18/2)..... 64
Figura 5.17: Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DRS+ (18/2) . 64
Figura 5.18: Evolução da humidade relativa no DRS+ (18/2) 65
Figura 5.19: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS+ (18/2)..... 65
Figura 5.20: Termografia da fachada estudada 66
Figura 5.21: Termografia de todo o caso de estudo 66
Figura 5.22: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DQ+ (10/7) 68
Figura 5.23: Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DQ+ (10/7)... 68
Figura 5.24: Fachada verde no Inverno 69
Figura 5.25: Fachada verde no Verão 69
Figura 5.26: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e da radiação solar medida no plano horizontal no DQ+ (10/7) 69
Figura 5.27: Evolução da humidade relativa interior (R) e exterior (TT) no DQ+ (10/7) 70
Figura 5.28: Evolução das temperaturas superficiais exteriores e da temperatura ambiente exterior no DQ+ (10/7) 71
Figura 5.29: Posicionamento do sensor Tinytag na campanha de Verão 71
Figura 5.30: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DQ+ (10/7) 71
Figura 5.31: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DRS+ (29/6) 72
Figura 5.32: Temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DRS+ (29/6)..... 72
Figura 5.33: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e da radiação solar medida no plano horizontal no DRS+ (29/6) 73
Figura 5.34: Evolução da humidade relativa interior (R) e exterior (TT) no DRS+ (29/6)..... 73
Figura 5.35: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS+ (29/6)..... 74

Índice de tabelas

Tabela 2.1: Caracterização dos jardins verticais 8
Tabela 2.2: Tabela-resumo de estudos experimentais do comportamento térmico de fachadas verdes 11
Tabela 4.1: Temperatura média diária e radiação solar média diária medida no plano horizontal, durante os dias da campanha de Inverno 35
Tabela 4.2: Valores de referência registados na moradia no DF+ (21/2) 38
Tabela 4.3: Valores de referência registados na moradia no DRS- (9/3) 40
Tabela 4.4: Valores de referência registados na moradia no DRS+ (7/3) 41
Tabela 4.5: Temperatura média diária e radiação solar média diária medida no plano horizontal, durante os dias da campanha de Verão 43
Tabela 4.6: Valores de referência registados na moradia no DQ+ (3/7) 47
Tabela 4.7: Valores de referência registados na moradia no DRS+ (20/6) 50
Tabela 4.8: Resultados obtidos no 2º teste de condutibilidade térmica (teste válido) 52
Tabela 5.1: Temperatura média diária e radiação média diária medida no plano horizontal, durante os dias da campanha de Inverno 55
Tabela 5.2: Valores de referência registados no estúdio de som no DF+ (17/2) 58
Tabela 5.3: Valores de referência registados no estúdio de som no 2º dia mais frio (16/2) 60
Tabela 5.4: Valores de referência registados no estúdio de som no DRS- (13/2) 63
Tabela 5.5: Valores de referência registados no estúdio de som no DRS+ (18/2) 65
Tabela 5.6: Temperatura média diária e radiação solar média diária medida no plano horizontal, da campanha de Verão 67
Tabela 5.7: Valores de referência registados no estúdio de som no DQ+ (10/7) 71
Tabela 5.8: Valores de referência registados no estúdio de som no DRS+ (29/6) 73

Nomenclatura e Acrónimos

BW	Bare Wall
GW	Green Wall
GF	Green façade
LW	Living Wall
HDPE	high-density polyethylene
MTPS	Modified Transient Plane Source
DF+	Dia mais frio
DRS-	Dia de menor radiação solar
DRS+	Dia de maior radiação solar
DQ+	Dia mais quente

HR	Humidade Relativa	%
T	Temperatura	°C
T_{si}	Termopar superficial interior	°C
T_{se}	Termopar superficial exterior	°C
T_i	Termopar ambiente interior	°C
T_e	Termopar ambiente exterior	°C
Q	Fluxo de calor	W/m^2
Fl	Fluxímetro	W/m^2
TT	Tinytag	% e °C
P_V	Piranómetro vertical	W/m^2
P_H	Piranómetro horizontal	W/m^2
R	Rotronic	% e °C
U	Coeficiente de transmissão térmica	W/m^2. °C
T_{mean}	Temperatura média	°C
ΔT	Gradiente de temperatura	°C

Simbologia

c	Capacidade térmica	J/kg.°C
ρ	Massa volúmica	Kg/m^3
α	Difusidade térmica	m^2/s
λ	Condutibilidade térmica	W/m.°C

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A inovação e desenvolvimento das fachadas verdes prende-se principalmente com o facto de ser cada vez mais necessário os edifícios inserirem-se num meio urbano sem prejudicar tanto o ambiente e quem vive nele. Interessa construir edifícios que sejam mais eficientes e, numa sociedade em que as cidades estão cada vez mais densas, é importante incluir espaços verdes. As fachadas verdes nascem como uma ideia de aproveitar uma área tradicionalmente não usada e trazer os benefícios de um jardim para a cidade. Além do aspecto estético, os jardins verticais podem também diminuir as trocas de calor com o meio envolvente e reduzirem o efeito da ilha de calor.

Este método construtivo tem maior presença no Norte da Europa e na América do Norte sendo por isso escassos os estudos em clima mediterrâneo, nomeadamente em Portugal. São várias as teorias que levam a crer que as fachadas verdes têm um importante papel na filtração do ar poluído, bem como nas melhorias térmicas dos edifícios em que são aplicadas. Este trabalho vai incidir essencialmente sobre o aspecto térmico pretendendo aumentar os conhecimentos sobre o comportamento deste tipo de solução em clima mediterrâneo mas sem esquecer outros detalhes, tais como o reaproveitamento de águas pluviais e filtragem da mesma, o tipo de vegetação adequada ao clima, entre outros.

A presente dissertação foi elaborada em paralelo com a de Serpa (2015) que trata da simulação energética das fachadas verdes, e que incidiu sobre os casos de estudo que aqui foram tratados experimentalmente através da monitorização de fachadas verdes.

1.2. Objectivos

Pretende-se com o trabalho desenvolvido compreender o comportamento térmico das fachadas verdes no clima existente em Portugal, o mediterrâneo. Para tal, teve-se a oportunidade de monitorizar dois casos de estudo existentes no distrito de Lisboa, ambos pertencentes às mesmas zonas climáticas I1 no Inverno e V2 no Verão, de acordo com o REH 2013.

Os dois casos de estudo referidos são edifícios com usos diferentes. O primeiro caso de estudo é uma moradia em Lisboa, na Travessa do Patrocínio e o segundo caso de estudo é uma zona de circulação de um estúdio de som em Oeiras. Para o desenvolvimento do trabalho recorreu-se a dispositivos que permitissem obter informação relativa às temperaturas, fluxos de calor, radiação solar e humidade sentidos nestes dois locais de forma a:

- Comparar o comportamento entre a fachada verde e uma parede convencional de betão;
- Avaliar o comportamento térmico das fachadas verdes tanto no Inverno como no Verão;
- Analisar a influência das diferentes espécies de vegetação;
- Estudar quais os parâmetros que mais influenciam o comportamento térmico da fachada verde;
- Analisar o conforto ambiental da solução.

1.3. Organização do trabalho

Este trabalho foi dividido em seis capítulos. Depois do capítulo introdutório, apresenta-se o capítulo 2, de Estado de Arte, onde se aborda a história por detrás das fachadas verdes e também as conclusões obtidas por outros autores que estudaram este revestimento em diversos climas e situações. Dá-se a conhecer ao leitor alguns exemplos internacionais e nacionais de edifícios com fachadas verdes e explicam-se os diferentes métodos construtivos existentes. A legislação, directivas e incentivos existentes para a construção de fachadas verdes também é referida neste capítulo.

De seguida, no capítulo 3, apresentam-se os dois casos de estudo, nomeadamente uma moradia familiar situada na Travessa do Patrocínio, nº 5, na Lapa, em Lisboa e um complexo de estúdios de som situado em Paço de Arcos, em Oeiras, que possui um *hall* cuja fachada e cobertura são revestidas com vegetação. Em ambos os casos se descrevem separadamente as divisões estudadas e os equipamentos utilizados, bem como as grandezas que foram monitorizadas ao longo das campanhas.

Com o conhecimento dos locais a serem analisados procedeu-se ao tratamento dos resultados experimentais, tendo-se dividido pelo capítulo 4 e pelo capítulo 5 o estudo de cada local. Estes capítulos são semelhantes na medida em que ambos tratam a campanha de Inverno e a campanha de Verão recorrendo a dias-tipo que melhor representem o comportamento da fachada verde consoante os valores médios de temperatura e radiação solar registados em cada caso de estudo.

Finalmente, no capítulo 6 apresentam-se as conclusões finais do trabalho, analisando cada caso individualmente e relacionando os dois casos de estudo. Sugerem-se também algumas propostas para desenvolvimento futuro.

2. Estado de arte

Neste capítulo pretende-se fazer uma contextualização do tema, expondo o que já foi feito e qual a evolução na construção das fachadas verdes.

O conceito de fachada verde tem origem numa das antigas sete maravilhas do Mundo, os Jardins Suspensos da Babilónia. Construídos por volta do ano 600 a.C. a mando de Nebuchadnezzar II, rei do Império Neo-Babilónico durante o período de 605 a. C. e 562 a. C., foram um presente para a sua esposa (Sousa, 2012). Tinham cerca de 20 metros de altura e estavam plantados em vários terraços irrigados a partir do Rio Eufrates através de um mecanismo semelhante a um parafuso de Arquimedes, que bombava a água até à altura necessária para regar toda a zona plantada.

Mais recentemente, o uso de jardins verticais nas grandes cidades para contrastar com a falta de espaços verdes começou a surgir e a evoluir já no final do século XX. Um grande impulsionador deste método construtivo foi o botânico Patrick Blanc que concebeu fachadas verdes sem haver solo envolvido, permitindo que a vegetação consiga viver alimentada pela radiação solar e por uma solução que contém água e os nutrientes necessários para que as plantas tenham um desenvolvimento normal. Deste modo, facilita-se bastante a projecção da estrutura pois torna-a mais leve e de mais fácil manutenção.

O presente capítulo foca-se no comportamento térmico de fachadas verdes para diferentes climas. Aborda também a legislação existente a nível internacional onde já existem mais exemplos deste revestimento, ao contrário do que se passa em Portugal.

2.1. Exemplos internacionais

Na Figura 2.1 pode-se observar um edifício em Bruxelas, Bélgica que combina o vidro com a vegetação, projectado por Patrick Blanc e concluído em 2009.

Figura 2.1: Edifício de escritórios em Bruxelas, Bélgica (K DESIGN)

Na Figura 2.2 mostra-se em pormenor a fachada do *Musée du quai Branly* em Paris, França. Este edifício tem cerca de 170 espécies provenientes de diferentes países, como EUA, China, Japão e Europa Central. É também um projecto do botânico Patrick Blanc e ficou construído em 2005.

Figura 2.2: Musée du quai Branly em Paris, França (K DESIGN)

Também um painel junto a uma antiga central eléctrica de Madrid, actualmente a CaixaForum, se tornou numa atracção da capital espanhola numa zona conhecida por *Triângulo del Arte* onde existem 14 museus. Este muro tem 250 espécies diferentes e foi concebido igualmente por Patrick Blanc em 2007.

Figura 2.3: Fachada de um prédio adjacente ao CaixaForum em Madrid, Espanha (Costa, Carlos Smaniotto)

No continente asiático há bons exemplos deste tipo de construção como *o International Prefectural Salon* em Fukuoka, Japão. Este edifício foi implantado numa área adjacente ao único espaço verde existente no centro desta cidade como um prolongamento do jardim pela fachada Sul. Foi desenhado pelo arquitecto Emilio Ambasz e está concluído desde 1995.

Figura 2.4: *International Prefectural Salon* em Pukuoka, Japão (Nice Art Life Magazine)

2.2. Exemplos nacionais

Apesar de em Portugal não haver muitos edifícios com este tipo de fachadas, é interessante o estudo dos casos existentes. Na capital podem ser vistos alguns edifícios em que as paredes estão revestidas com substrato vegetal. No entanto, em dois deles esse revestimento é mais um pormenor decorativo do que propriamente algo que interfira com a térmica do edifício. Apresenta-se de seguida os exemplos em Lisboa.

Na Figura 2.5 está ilustrada uma moradia unifamiliar única em Lisboa, praticamente toda coberta de vegetação, bem no centro da cidade. A estrutura está fixa à fachada mas com uma caixa-de-ar, evitando assim problemas de humidade. Foi construída em 2012.

Figura 2.5: Moradia unifamiliar na Travessa de Patrocínio, Lisboa (Arquitecturas contemporâneas)

As *Natura Towers* são um empreendimento inovador em Portugal não só pela cobertura vegetal mas também pelo reaproveitamento de recursos que faz, tais como a recolha das águas pluviais para posterior uso na irrigação da fachada e ainda o uso da energia solar para aquecimento de água e iluminação. Estão construídas desde 2009 mas a influência das fachadas verdes no comportamento térmico do edifício é nula.

Figura 2.6: Sede da MSF, *Natura Towers*, Lisboa (Martifer)

Ainda no distrito de Lisboa, o centro comercial Dolce Vita Tejo apresenta uma fachada verde na praça central. Tal elemento, projectado por Patrick Blanc e construído em 2009, tenciona melhorar a estética do local para que os visitantes do centro se sintam mais confortáveis.

Figura 2.7: Dolce Vita Tejo, Lisboa (Vertical Garden Patrick Blanc)

Com a amostra apresentada pode-se concluir que a nível internacional já houve mais progressos do que em Portugal. No entanto, não se pode afirmar que para a construção destas estruturas não importa o local pois muito depende do clima, caso se pretenda aplicar uma fachada verde com o intuito de melhorar algumas características do edifício em questão. E, directamente ligado com o clima, tem também de se ter em conta o tipo de espécies que se podem utilizar, a incidência da radiação solar que afecta o crescimento da vegetação e, se se aplicar, até a velocidade do vento.

2.3. Legislação existente

Actualmente já há alguns países com incentivos fiscais para quem construir fachadas e coberturas verdes. O Brasil, E.U.A., Alemanha, Canadá, Inglaterra, Singapura, Austrália e China são exemplo disso mesmo. Essas medidas pretendem incentivar a escolha desta solução ao reduzir os impostos referentes aos imóveis para que surjam mais edifícios com este revestimento, que é benéfico para a sociedade.

Existem ainda programas de certificação em vários países que apoiam projectos que pretendam ser sustentáveis. Tomando como exemplo o programa de certificação português, o LiderA, este pretende "apoiar o desenvolvimento de planos e projectos que procurem a sustentabilidade, avaliar e posicionar o seu desempenho na fase de concepção, obra e operação, quanto à procura da sustentabilidade, suportar a gestão na fase de construção e operação, atribuir a certificação por marca registada, através de verificação por uma avaliação independente e servir como instrumento de mercado distintivo para os empreendimentos e clientes que valorizem a sustentabilidade" (LiderA).

Contudo, é fundamental que se tenham em consideração as diferentes necessidades dos diversos países, bem como o facto dos motivos para implementar este tipo de solução variarem. Por exemplo, há casos em que, além da razão puramente estética, se pretende melhorar a eficiência energética do edifício e, noutros, o objectivo é a redução dos picos de cheia.

Nos E.U.A. foi desenvolvido o programa LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) pelo *U.S. Green Building Council* que é reconhecido internacionalmente como um certificado de edifícios verdes e

a instalação de fachadas verdes influencia a atribuição de créditos LEED devido aos benefícios que estas trazem ao edifício (Ambius).

No estado de Nova Iorque foi proposta em Janeiro de 2013 uma alteração na lei de impostos sobre bens imóveis que tenciona beneficiar os proprietários de edifícios que possuam fachadas verdes em cidades com mais de um milhão de habitantes ao reduzir a taxa de imposto referente ao edifício em questão (Projecto-lei NY).

Em Seattle saiu uma portaria em 2007 que requer que os edifícios a construir possuam 30% de revestimento vegetal ou outra superfície cuja permeabilidade seja equivalente (Seattle Gov.).

Existem também projectos por parte da União Europeia para financiar soluções como a das fachadas verdes em correlação com a redução dos efeitos provocados pelas alterações climáticas (*Green Tools for Urban Climate Adaptation*, já implementado em Malmö, na Suécia).

The Courtyard Greening Programme, que existiu de 1983 a 1996 em Berlim, pretendia incentivar a construção de jardins, coberturas e fachadas verdes, subsidiando cada metro quadrado com uma média de €19.10. Durante este período, 32.5ha de fachadas foram feitas.

No entanto, ainda são poucos os incentivos e leis referentes à construção de fachadas verdes, mas prevê-se alterações futuras nesse sentido, à semelhança das coberturas verdes que já possuem mais medidas incentivadoras.

2.4. Caracterização das fachadas verdes

Existem diferentes tipos de jardins verticais com configurações distintas. Todas elas necessitam de um suporte resistente e de uma estrutura por onde as plantas se possam desenvolver. A expressão "fachada verde" é usada frequentemente para abranger todo o tipo de jardins verticais mas, tecnicamente, está associada a um sistema específico. Portanto, os dois grupos distintos são as fachadas verdes por um lado, e por outro o sistema de parede viva (Tabela 2.1). O primeiro engloba os casos em que as plantas existentes são trepadeiras e se desenvolvem numa estrutura com um afastamento da parede (fachada dupla) ou na própria fachada do edifício (tradicionais), estando enraizadas no solo ou em vasos a diferentes alturas da parede. No entanto também existe o sistema de parede viva (*living wall system*). As plantas existentes neste tipo de solução são autóctones, ou seja, não necessitam de muita manutenção, são resistentes às variações climáticas e não necessitam de substracto, o que é um ponto importante neste tipo de estruturas cuja verticalidade se traduz numa sobrecarga na fachada e também na possível queda de detritos para o exterior. Essas plantas são pré-cultivadas e depois colocadas na fachada do edifício onde terá de existir um suporte vertical que possua uma manta geotêxtil onde as plantas se irão fixar e desenvolver. (Pérez, et al., 2011).Esta camada de geotêxtil ajuda não só a reter a água e os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas mas também a suportar a vegetação.

Esta técnica de cultivo de plantas sem terra designa-se por hidroponia. Para uma melhor compreensão, apresenta-se na Figura 2.8 um esquema ilustrativo dos diferentes tipos de jardins verticais.

Tabela 2.1: Caracterização dos jardins verticais

	Sistema extensivo		Sistema intensivo
Fachada verde	Tradicional (directa) (1)		-
	Fachada dupla (indirecta)	Sistema de cabos (2)	
		Painel modular (3)	
Parede viva (4)	-		Painéis
			Feltro geotêxtil

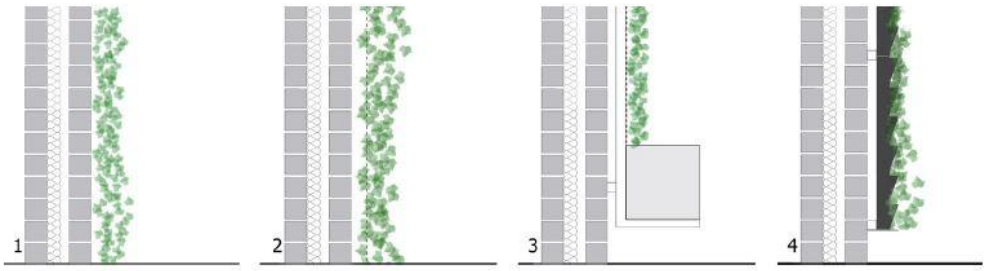


Figura 2.8: Esquema ilustrativo os diferentes tipos de jardins verticais (Perini et al., 2013)

Estudos indicam que o custo associado à construção de jardins verticais é de 30 a 40 €/m^2 para as fachadas verdes tradicionais e de 40 a 75 €/m^2 para as de fachada dupla. Quanto às paredes vivas, estas apresentam um valor mais avultado e variável, entre 400 e 1200€/m^2 (Perini, et al., 2013). No entanto, em Portugal, graças aos contactos com Luís Câncio da empresa LC Vertical Gardens, foi possível obter valores mais exactos do custo por metro quadrado da solução de parede viva, que variam consoante a área de implantação, o tipo de fachada a revestir, a exposição solar, variedade de plantas, altura da parede, tipo de material técnico a implantar, região do país, etc. Os valores praticados são mais razoáveis e vão desde os 200€/m^2 aos 750€/m^2, sendo um objectivo constante optimizar os custos. Relativamente à manutenção, os custos mais elevados estão associados à poda e os valores por metro quadrado são de €2.81 para as fachadas verdes directas e indirectas por sistema de cabos, €5.63 para as que possuem painéis modulares e €14.41 no que diz respeito às paredes vivas. Esta manutenção é normalmente feita anualmente.

O efeito das diferentes espécies de plantas reflecte-se no comportamento térmico do edifício, e esta diversidade é incontornável pois o efeito visual obtido é o que distingue a arquitectura do mesmo. A densidade das plantas varia, consoante o tipo de vegetação, o que se traduz numa variação de sombreamento e, consequentemente, numa variação de temperatura interior. Por exemplo, o sombreamento provocado por árvores que estejam junto a uma fachada pode oferecer um decréscimo de 500W/m^2 de radiação incidente em relação a uma parede que não tenha qualquer tipo de

sombreamento (Papadakis, et al., 2001). Em relação à temperatura superficial, as conclusões de diversos artigos são positivas, havendo sempre uma redução da mesma associada a soluções de jardins verticais.

O tipo de fachada estudada no presente trabalho corresponde à parede viva, em que o esquema construtivo consiste numa estrutura reticulada, afastada da parede do edifício, permitindo que haja uma caixa-de-ar. Na estrutura existe um painel de PVC onde se fixam duas mantas de geotêxtil e entre elas o sistema de irrigação. Não é feito o reaproveitamento das águas pluviais nem do possível excesso de rega, no entanto, há casos em que isso é feito. Apresenta-se na Figura 2.9 um esquema representativo deste tipo de jardins verticais.

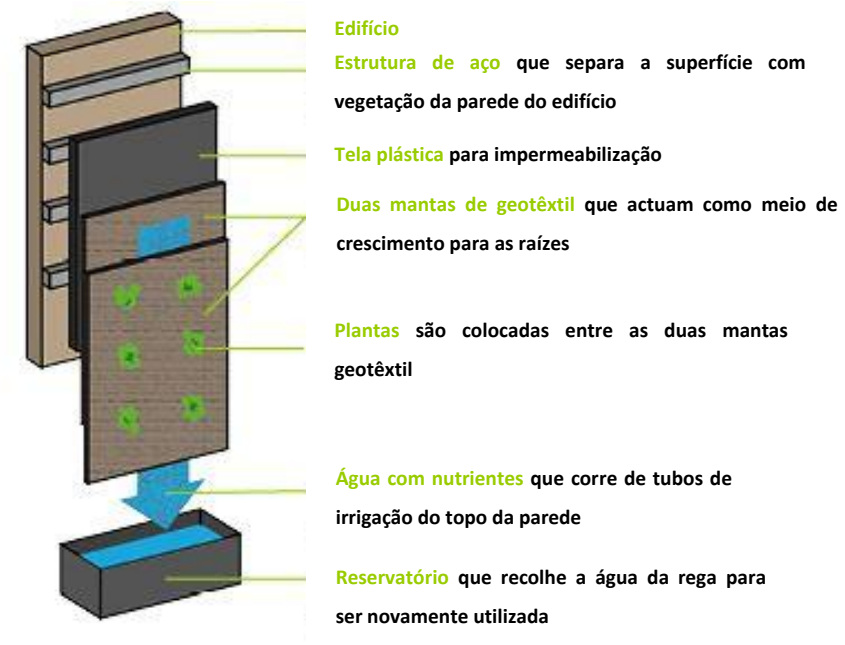


Figura 2.9: Esquema ilustrativo de uma "parede viva" (Fábrica Veleiro)

Apesar de, como foi explicado anteriormente, a expressão "fachada verde" se referir a uma solução construtiva específica dentro dos jardins verticais, é corrente usá-la para nos referirmos a qualquer tipo de jardim vertical, tornando o sentido da mesma literal. Por isso, no presente trabalho, a utilização do conjunto de palavras "fachada verde" referir-se-á à solução de revestimento com vegetação, englobando todo o tipo de jardins verticais.

2.5. Benefícios das fachadas verdes

Ao escolher esta solução de revestimento de um edifício está-se a promover o aumento de espaços verdes, algo que é escasso no meio urbano, utilizando áreas que normalmente não seriam plantadas. A vegetação pode ajudar a melhorar a qualidade do ar, diminuindo o efeito do "smog" ao filtrar partículas poluentes suspensas no ar e ao reduzir a temperatura (Sheweka, et al., 2012). O efeito da evapotranspiração e do sombreamento das plantas reduzem significativamente o calor que seria irradiado por uma fachada sem este revestimento. O albedo deste tipo de revestimento é consideravelmente inferior ao de uma fachada convencional rebocada. E ainda, a presença de uma

camada de vegetação promove a protecção dos UV's sobre a edificação, que deterioram os componentes presentes nos revestimentos, tais como tintas, camadas de impermeabilização, plásticos, entre outros (Ottelé, 2011). Outra vantagem será a possibilidade de reaproveitar as águas pluviais para o sistema de rega, diminuindo os custos de manutenção e aliviando os caudais dos colectores urbanos. De acordo com estudos anteriores, verificou-se que se podiam atingir poupanças energéticas relativamente ao sistema de ar-condicionado entre 40 a 60%, em clima mediterrâneo (Perini, et al., 2013), demonstrando que, além de reduzir gastos com a electricidade, também se está a poupar o meio ambiente ao evitar a emissão dos gases poluentes provenientes das unidades exteriores destes aparelhos.

2.6. Estudos experimentais do comportamento térmico de fachadas verdes

Na última década tem-se dado particular importância à construção sustentável e a medidas que contribuam para um reaproveitamento de recursos e poupança energética. Vários autores estudaram o comportamento das fachadas verdes em diferentes climas recorrendo a campanhas experimentais ou a simulações energéticas. Na Tabela 2.2 apresenta-se um resumo dos artigos mais relevantes para este trabalho, organizado por tipo de clima, com as respectivas conclusões dos autores.

Tabela 2.2: Tabela-resumo de estudos experimentais do comportamento térmico de fachadas verdes

Clima	Referências	Localização	Tipo			Teste		Período	Parâmetros medidos	Conclusões				
			Edifício	Fachada	Vegetação	Exp.	Sim.			Temperaturas	Fluxo calor	Evapotranspiração	Poupança energética	Custo-benefício
Mediterrâneo	Olivieri et al. (2014)	Madrid (Espanha)	Escritórios	BW, GW (isolada, com caixa de ar)		x		1 Jul a 5 Set 2012	λ, HR, vel vento, T, radiação, pluvimetria, fluxo calor	T_{si}^{max} da GW é <5ºC que T_{si}^{max} da BW T_{si}^{min} da GW é <4ºC que BW	Arrefece + na GW fluxo que sai > do que o que entra	-	-	-
	Perini et al. (2013)	Génova (Itália)	escritórios 4 andares	direct GF indirect GF com suporte plástico indirect GF com suporte metálico indirect GF com HDPE indirect GF com planter boxes+treliça metálica LW com 2 camadas geotêxtil			x	2013	custos de manutenção, construção, poupança energética, efeitos económicos, valor patrimonial	-	-	-	40-60% poupança no consumo de a/c em clima mediterrâneo	valor patrimonial ↑ 3,9% directa: custa 30-45€/m^2 indirecta: 40-75€/m^2 combinação fachada-boxes: 100-150€/m^2 LW: 400-1200€/m^2
	Pérez et al. (2011)	Lleida (Espanha)	Teatro	GW (estrutura metálica)		x		Ago 2007 a Set 2008	lux, T,HR, vel vento	T_{se}^{max} da fachada sombreada é < 5,5ºC que a não sombreada T na caixa-de-ar com valores favoráveis em cada estação	-	HR na caixa-de-ar >7% no Verão (período com folhas) e <8% no Inverno (período sem folhas) comparando com a HR do ambiente	-	-

Clima	Referências	Localização		Tipo			Teste		Período	Parâmetros medidos	Conclusões				
				Edifício	Fachada	Vegetação	Exp.	Sim.			Temperaturas	Fluxo calor	Evapotranspiração	Poupança energética	Custo-benefício
Mediterrâneo	Eumorfopoulou et al. (2009)	Thessaloniki (Grécia)		5 andares	BW, direct GW	*parthenocissus triscuspidata*	x		16 Jul a 15 Ago 2006	T, rad, vento, HR	T_{se}^{GW}↓5,7°C	$Q^{GW}<Q^{BW}$	-	-	-
											T_{si}^{GW}↓0,9°C				
											$T_{si}-T_{in}<1$°C				
Temperado oceânico	Perini et al. (2011)	Holanda	Delft	moradia 2 andares	BW e GW (directa)		x		Set e Out 2010	T, vel vento	T_{se}^{DIRECT}↓1,2°C	LW apresenta > resist. Térmica	-	-	elevado custo de construção/manutenção das LW
			Roterdão	edifício habitação	BW e GW (indirecta)						$T_{se}^{INDIRECT}$↓2,7°C				
			Benthuizen	-	BW e LW (módulos)						T_{se}^{LW}↓5,0°C				
Subtropical	Koyama et al. (2013)	Kanagawa (Japão)		amostras	1 BW e 5 GW (treliças metálicas)	*Canavalia gladiata*	x		9 a 28 Ago 2008	T, HR, rad, sombreamento	T_{se}^{GW}↓7,9°C	-	-	-	-
						Momordica charantia					T_{se}^{GW}↓4,1°C				
						Ipomoea tricolor					T_{se}^{GW}↓11,3°C				
						Pueraria lobata					T_{se}^{GW}↓6,6°C				
						Apios american					T_{se}^{GW}↓3,7°C				
	Cheng et al. (2010)	Hong Kong (China)		habitação	indirect GF	*Zoysia japonica*	x		Set e Out 2008	T, fluxo, HR,	aquecimento + lento nas GW	$Q^{GW}<Q^{BW}$	↓3 a 5°C	-	-
											$\Delta(T_i^{BW}-T_i^{GW}) \geq 2$°C	Q^{max} 6h depois de T_{se}^{max}			

Clima	Referências	Localização	Tipo			Teste		Período	Parâmetros medidos	Conclusões				
			Edifício	Fachada	Vegetação	Exp.	Sim.			Temperaturas	Fluxo calor	Evapotranspiração	Poupança energética	Custo-benefício
Tropical	Wong et al. (2010)	Singapura	amostras	1. LW (geotextil e estrutura suporte)		x		3 dias: 24/2, 28/4 e 21/6 de 2008	T	Fachadas 3 e 4 melhor termicamente (na redução da T_i)	-	-	-	-
				2. GW (treliça metálica+trepadeiras)										
				3.GW (treliça metálica+plantas inseridas em módulos)						F.2 não influencia T_{ar}				
				4.LW (sistema Parabienta)						F.4 ↓3.3ºC a T_{ar} a 15cm				
				5.LW (treliça plástica resistente a UV)										
				6. LW (substracto horizontal em pequenos módulos)						valores desinteressantes na $T_{média}$ do substracto				
				7. LW (módulos já com plantas vivas)										
				8. LW (vasos imbutidos)										

Observando a tabela-resumo no que diz respeito ao clima mediterrâneo, houve três estudos experimentais e os mesmos foram feitos no Verão. (Olivieri, et al., 2014) obteve resultados relativos a uma fachada comum e a uma fachada verde, o que possibilitou uma comparação dos parâmetros medidos entre as mesmas, concluindo que há um decréscimo até 5°C da temperatura superficial interior máxima no caso da zona revestida com vegetação, em relação à zona sem revestimento vegetal. Na mesma zona, mas no que diz respeito aos mínimos registados, há uma diferença de 4°C, estando o resultado mais baixo também na área com fachada verde. Este mesmo artigo indica que o arrefecimento da divisória que possui fachada verde no exterior é mais acentuado. Também (Pérez, et al., 2011) chegou a conclusões interessantes num teste experimental num teatro em Leida, Espanha, que revelou, por exemplo, uma descida de temperatura de aproximadamente 5°C na superfície exterior quando esta está sombreada pela vegetação suspensa na estrutura metálica que cobre o edificado. Neste mesmo artigo também se observou que a humidade relativa era favorável na zona entre a treliça metálica e o edifício, quando comparada com a humidade relativa do ar, pois no Verão, devido à presença da folhagem, notou-se um aumento de 7% da humidade relativa na caixa-de-ar quando comparada com os valores do ambiente, o que é benéfico para o arrefecimento da temperatura interior na época mais quente do ano.

Eumorfopoulou (Eumorfopoulou, et al., 2009) também analisou um caso de estudo em clima mediterrâneo (Grécia), tendo adquirido dados relativos à temperatura, radiação solar, velocidade do vento e humidade relativa e as conclusões mais relevantes centram-se no decréscimo de temperatura interior de uma zona revestida com vegetação, quando comparado com as registadas numa divisória com uma fachada exterior comum. Obteve-se uma conclusão semelhante relativamente à temperatura exterior superficial, sugerindo que o calor reflectido para o meio ambiente será menor e, por isso, representa uma vantagem também para a sociedade. Quanto ao fluxo de calor, os valores obtidos apontam para um fluxo transferido para o interior menor na fachada com vegetação do que na fachada sem qualquer tipo de revestimento exterior.

Dentro deste clima, em Itália, também foi feita uma análise de custo-benefício por Perini (Perini, et al., 2013), que diz respeito a um estudo com simulação, tendo-se simulado uma situação em que um edifício de escritórios com quatro andares teria diferentes tipos de revestimento com plantas, nomeadamente fachadas directas e indirectas, com diversos tipos de suporte. Este estudo demonstrou que, com a construção deste tipo de solução, poder-se-á atingir uma subida do valor patrimonial de 3,9% e uma poupança energética devida à redução do consumo em ar-condicionado entre 40% e 60%. No entanto os custos com a construção poderão atingir os 1200€/m^2, dependendo da solução desejada, e o valor anual de manutenção pode chegar aos 27,02€/m^2, o que não inclui as possíveis substituições do material presente na estrutura de suporte. Este artigo, apesar de não ser experimental revelou-se interessante para desenvolvimento do trabalho.

Num outro clima mais frio (temperado oceânico), Perini (Perini, et al., 2011) obteve resultados práticos relativamente a três tipos de fachadas verdes, tendo-os comparado sempre com paredes sem revestimento que estivessem nas mesmas condições. Este teste experimental foi realizado em Setembro e Outubro, na Holanda. Deste modo, observou que houve uma diferença de 1,2°C entre a temperatura superficial exterior da fachada verde directa e a parede sem revestimento vegetal, enquanto que na temperatura superficial exterior da fachada verde indirecta a diferença era de 2,7°C. Já na parede viva, também na superfície exterior, a diferença poderia chegar aos 5°C. Estes resultados foram obtidos durante o Outono, em que a luz solar directa era escassa nestes casos de estudo e a temperatura exterior inferior a 18°C. Concluiu também que a parede viva será a que melhor resistência térmica apresenta, graças às várias camadas de diferentes materiais que estão presentes neste tipo de soluções. Realça ainda o elevado custo de construção e manutenção que o sistema de parede viva exige e que terá de ser tido em conta aquando da idealização do mesmo.

Quanto ao tipo de plantas usadas na solução em estudo, Koyama (Koyama, et al., 2013) analisaram experimentalmente cinco espécies em fachadas-tipo que se assemelham a fachadas indirectas e compararam os resultados com uma fachada-tipo sem qualquer revestimento extra. Este documento pretende relacionar a percentagem de cobertura, que depende da densidade da planta, com o efeito de arrefecimento que poderá ter sobre um edifício. Assim sendo, no período de medição, que decorreu no Verão, num clima subtropical, registou-se um decréscimo desde 3,7°C até 11,3°C da temperatura superficial exterior, consoante a espécie. O autor concluiu que a característica das espécies que mais influenciava o sombreamento e que, por sua vez, fazia reduzir a temperatura da superfície, era o comprimento da planta.

Ainda no clima subtropical, Cheng (Cheng, et al., 2010) efectuou um estudo experimental onde analisou uma fachada verde indirecta num edifício habitacional, durante o Verão, coberta com uma só espécie e verificou que a temperatura superficial interior era sempre menor pelo menos 2°C quando comparada com uma zona que não tinha revestimento vegetal. Graças à evapotranspiração, registou-se uma diminuição até 5°C na superfície exterior. Verificou também que o fluxo de calor era menor na zona verde.

Ao comparar os diferentes estudos, é possível identificar um elo entre eles o que diz respeito à temperatura superficial exterior que, mesmo em diferentes climas, se registou uma diferença que ronda os 5°C entre uma fachada convencional e uma fachada com revestimento vegetal, sendo menor a temperatura na vegetação, tal com seria espectável.

Também é comum a análise dos fluxos que são menores nas fachadas verdes quando comparadas com fachadas convencionais na estação mais quente do ano.

2.7. Considerações finais

Pela análise dos artigos anteriormente desenvolvidos foi possível tomar conhecimento de diversos estudos a fachadas verdes e quais as vantagens/desvantagens inerentes a este tipo de construção em diferentes climas.

Referem que as melhorias a nível ambiental são claras, desde a filtragem do ar à diminuição do efeito de ilha e poupanças energéticas.

Incidem sobretudo no comportamento térmico das fachadas verdes e nos efeitos que as características da vegetação têm sobre o mesmo, nomeadamente a evapotranspiração e densidade das espécies. A barreira física imposta pela construção de fachadas verdes, que nos casos de ser "parede viva" terá as camadas de geotêxtil que retêm a rega e absorvem calor, consoante o período do dia, também é um factor em ter em conta, e todos estes parâmetros serão importantes no desenvolvimento das análises experimentais que se seguem.

A maioria dos estudos experimentais referidos ocorreram no Verão, a estação mais quente do ano, que será a mais crítica a analisar em climas quentes, como é o caso do Mediterrâneo. Contudo, é também interessante investigar a influência dos jardins verticais durante o Inverno, e no presente trabalho houve oportunidade de recolher os dados nos dois períodos mais extremos do clima português.

3. Apresentação dos casos de estudo

Na presente tese a componente prática dividiu-se em duas partes distintas: Campanha de Inverno e campanha de Verão. A primeira decorreu entre 11 de Fevereiro e 14 de Março e a segunda entre 16 de Junho e 11 de Julho, ambas no ano de 2014 e realizadas em dois locais com usos e pormenores construtivos ligeiramente diferentes. Um deles é uma moradia unifamiliar de quatro andares, com três frentes, sendo que duas delas eram fachadas verdes, localizada na Travessa do Patrocínio, na Lapa, no centro de Lisboa. Já o segundo caso de estudo encontra-se em Paço de Arcos, um estúdio de som (Atlântico Blue Studios), com uma fachada verde de menor dimensão.

Figura 3.1: Localização da moradia unifamiliar (Google Maps)

Figura 3.2: Localização do estúdio, com destaque para a pequena zona com fachada e cobertura verde (Google Maps)

A moradia da Travessa do Patrocínio, nº 5, foi projectada pelos arquitectos Luís Rebelo de Andrade, Tiago Rebelo de Andrade e Manuel Cachão Tojal, onde antes se situava um edifício devoluto. A construção e manutenção do jardim vertical ficaram ao cargo da empresa ADN Garden Design, coordenada pelo Engenheiro João Salgado, em parceria com uma equipa dirigida por Luís Câncio da LC Vertical Gardens que concebeu e desenhou o mesmo. A fachada em questão ficou concluída em 2011.

O estúdio de som Atlântico Blue Studios, em Paço de Arcos, foi projectado acusticamente por Marcelo Tavares da Audio Designer e a fachada verde foi igualmente construída pela ADN Garden Design e pela LC Vertical Gardens.

Após as campanhas de monitorização realizadas a empresa ADN Garden Design passou a manutenção de ambos os jardins verticais para a empresa LC Vertical Gardens, pertencente a Luís Câncio.

O objectivo destas campanhas centrou-se em recolher a informação necessária para o estudo térmico de fachadas verdes, nomeadamente a temperatura superficial e ambiente sentida no interior e exterior dos edifícios em estudo, a humidade relativa, os fluxos de calor e a radiação. Assim, instalaram-se diversos dispositivos para recolher estes dados e foi feita a monitorização dos mesmos durante os períodos referidos anteriormente.

Os equipamentos de registo utilizados neste estudo foram previamente instalados e programados para que recolhessem a informação desejada, no intervalo de tempo desejado. Foram usados três aparelhos distintos em cada local e dois que se repetiram em ambos os casos de estudo. Relativamente a estes dois últimos, a sua função era medir a temperatura ambiente e a humidade relativa, um adequado para o exterior (Tinytag), outro para o interior (Rotronic). Já para as medições superficiais instalaram-se mais dois equipamentos na Travessa do Patrocínio, cada um num andar (DataTaker50 e Campbell), e outro em Oeiras (DeltaT) que cobriram pontos seleccionados tanto nas superfícies interiores como nas exteriores. Todos eles estavam programados para registar valores a cada minuto, fazendo depois uma média automática a cada dez minutos e gravar esse valor. Deste modo, a cada dez minutos, durante todo o tempo de uma campanha, os dados foram guardados e posteriormente convertidos numa folha de cálculo.

Na Figura 3.3, Figura 3.4 e Figura 3.5 apresentam-se as localizações de cada sensor em ambos os casos de estudo.

Figura 3.3: Localização dos sensores na moradia da Travessa do Patrocínio na fachada Sudoeste (BWA)

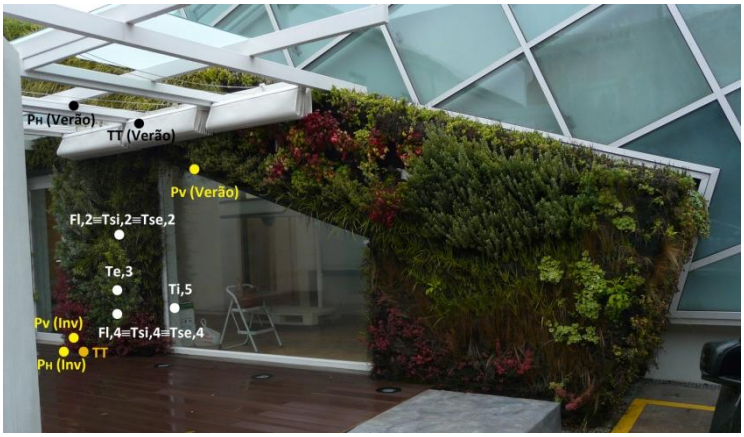


Figura 3.4: Localização dos sensores na fachada do estúdio de Paço de Arcos

Figura 3.5: Localização dos sensores na cobertura do estúdio de Paço de Arcos

3.1. Caso de estudo 1 – Travessa do Patrocínio

A moradia unifamiliar localizada na Travessa do Patrocínio foi o primeiro edifício de habitação com fachada verde em Portugal. Tem duas fachadas, uma orientada para Sudeste e outra para Nordeste. Composta por três pisos unidos por uma escada "em tiro", esta habitação possui quatro quartos, sala de estar e de jantar, cozinha, garagem e ainda um terraço no último piso com piscina. Tem também um elevador desde o piso térreo até ao terraço. Tudo isto perfaz um total de 248m^2. A área total da fachada verde é de 100m^2. Estima-se que tenha 4500 plantas, de 25 espécies, destacando-se três que dominam cada uma o seu patamar, conferindo diferentes cheiros a cada andar da casa, sendo elas *Helychrisum stoechas* (perpétua-das-areias, com aroma semelhante a caril), *Rosmarinus prostratus* (rosmaninho) e *Lavandula stoechas* (lavanda). Todas as plantas são portuguesas e criadas em viveiros nacionais e são típicas das dunas deste país, o que reforça a sua durabilidade perante o clima mediterrâneo.

Figura 3.6: Vista completa das duas fachadas cobertas com vegetação (BWA)

Os locais eleitos para monitorizar foram escolhidos com base no número de sensores e dispositivos disponíveis, no interesse para a análise experimental e também no facto de haver um piso com uma fachada convencional, tornando-se interessante a comparação de resultados. Deste modo, elegeu-se o escritório pois é a única divisória habitável da casa cuja parede não está revestida com vegetação e a sala de estar, no Piso 2, por ter maior variedade de espécies com diferentes densidades. Na Figura 3.7, Figura 3.8 e Figura 3.9 apresenta-se a disposição dos sensores nas divisórias referidas.

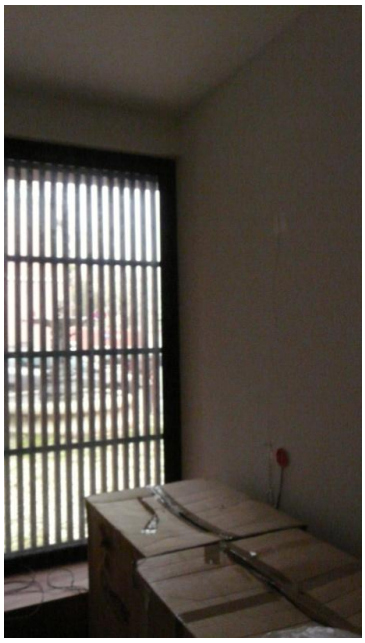


Figura 3.7: Piso 0 – Sensores interiores

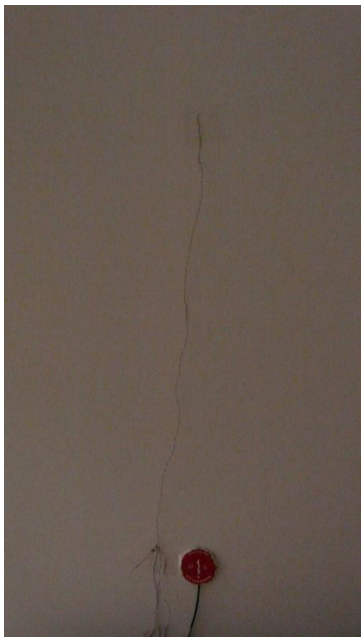


Figura 3.8: Piso 0 – Sensores interiores (pormenor)

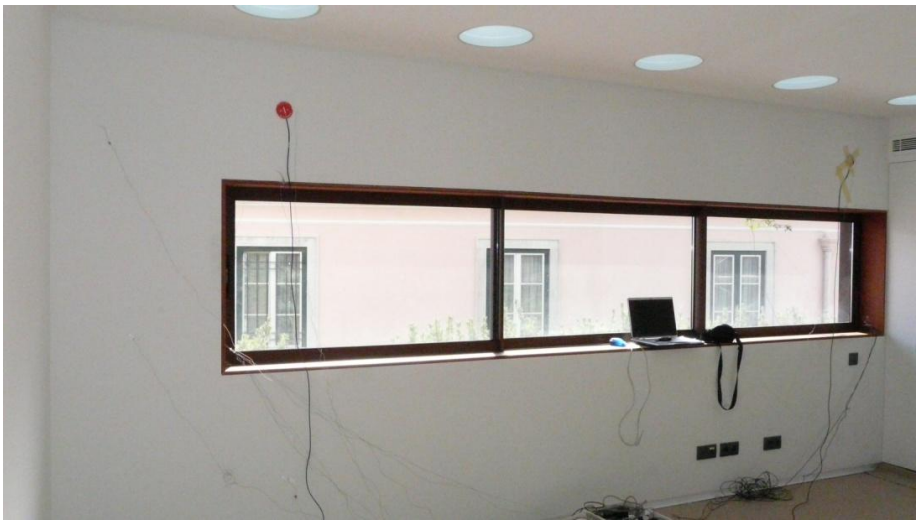


Figura 3.9: Piso 2 - Sensores interiores

A fachada monitorizada é a que se encontra virada para Sudeste, pois é a única que possui janelas que permitem o acesso à zona ajardinada. Como a casa ainda não era habitada nas datas em que se realizaram as campanhas, não houve qualquer influência de sistemas de climatização, por não estarem activos.

3.1.1. Piso 0 – Escritório

A área desta divisória é de 20,25m^2 e apenas a fachada virada a Nordeste é que tem envidraçado, que ocupa toda a largura e altura da mesma. No entanto, existe uma portada de madeira que filtra boa parte da luminosidade. Os caixilhos são de alumínio e têm vidro duplo. A fachada a monitorizar é constituída, do exterior para o interior, por: reboco com 0.020m, parede de betão de 0.200m, isolamento térmico

em lã de rocha com 0.040m, duas placas de gesso cartonado cada uma com 0.013m, perfazendo um total de 0.286m de espessura e um coeficiente de transmissão térmica U=0.72W/(m^2°C) (ADENE). Na Figura 3.10 apresenta-se a planta do escritório e uma vista do exterior onde se podem observar as duas fachadas do escritório.

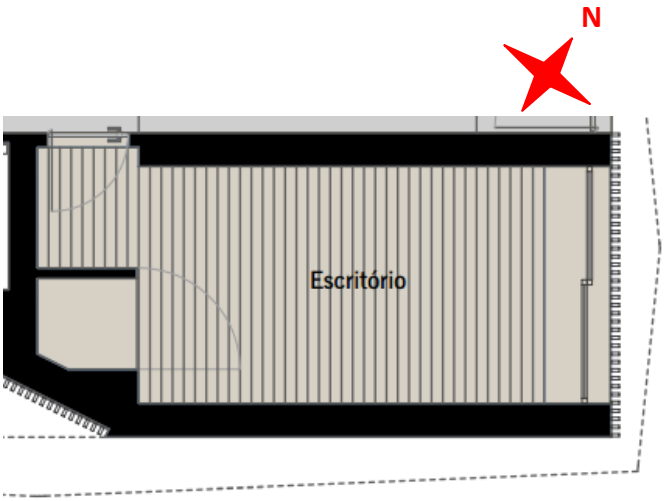


Figura 3.10: Planta do escritório - Piso 0 (BWA (Plantas do Projecto))

Figura 3.11: Vista exterior do alçado principal (Nordeste) (BWA)

Durante ambas as campanhas as janelas mantiveram-se fechadas, bem como as portadas. Na Figura 3.11 é possível verificar em que sentido o sombreamento ocorre bem como o facto de as fachadas com vegetação ficarem expostas ao sol durante um maior período de tempo do que o Piso 0.

3.1.2. Piso 2 – Sala de estar

A sala de estar tem 28,00m^2 e insere-se numa zona aberta, com ligação ao resto da casa. A única barreira física entre a sala e as escadas é um varandim de vidro. Tem uma janela que cobre quase todo o comprimento da sala e cuja altura do envidraçado é de 0,90m. As duas fachadas adjacentes à sala de estar são totalmente revestidas com vegetação e, como se pode ver na planta do Piso 2, a espessura da caixa-de-ar entre a parede de betão e a fachada verde é variável. Mais à frente ilustra-se esta divisória, para melhor compreensão do espaço. A fachada a monitorizar é constituída, do exterior para o interior, por: jardim vertical, caixa-de-ar de espessura variável, isolamento térmico em Poliuretano Projectado com 0.04m, parede de betão com 0.200m, caixa-de-ar com 0.040m, duas placas de gesso cartonado, cada uma com 0.013m, perfazendo um total de 0.306m de espessura, excluindo o jardim vertical e a respectiva caixa-de-ar. A parede, novamente sem contabilizar o efeito do jardim vertical, tem um coeficiente de transmissão térmica U=0.66W/(m^2.°C).

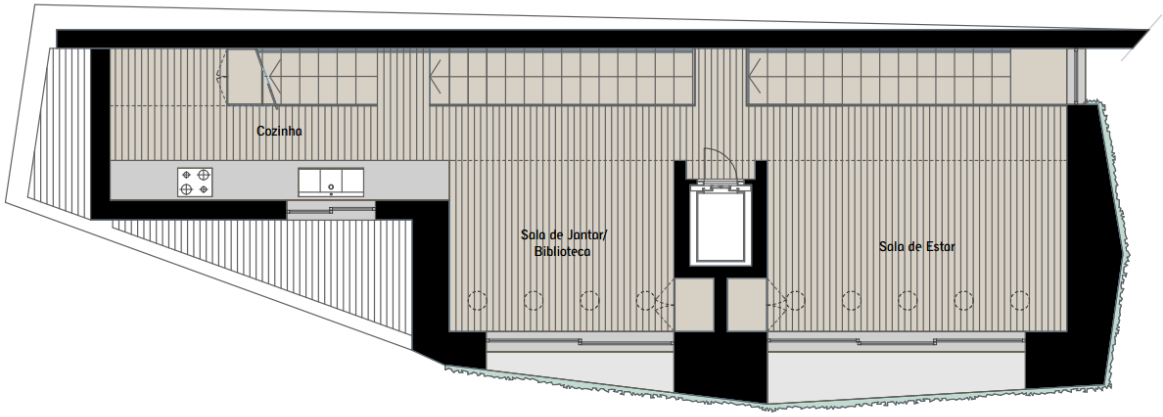


Figura 3.12: Planta do Piso 2 (BWA (Plantas do projecto))

O jardim vertical fixa-se à fachada do edifício, ficando este suspenso e permitindo que haja uma caixa-de-ar entre a parede de betão e a fachada verde, prevenindo problemas de humidade. À estrutura metálica está ligado um painel de PVC vertical que suporta as mantas de geotêxtil, o sistema de rega gota-a-gota e as plantas. As tubagens da rega estão entre as duas mantas e na manta exterior são abertos uns rasgos onde se colocam as plantas e posteriormente agrafa-se com agrafo inoxidável. A manta de geotêxtil é de fibras sintéticas e algodão, o que permite um desenvolvimento radicular sustentado. O sistema de rega está protegido para não ser danificado pelas raízes e está automatizado para regar três vezes ao dia, às 00h, às 13h e às 19h. O espaçamento entre as tubagens horizontais é de 15cm e nelas transporta-se água com uma percentagem mínima de 0,03% de fertilizantes. Essa concentração varia consoante a estação do ano e é feita num depósito que evita a contaminação da rede. No entanto, a rega está dividida em duas secções pois devido à gravidade, parte da água da secção superior escorre para a inferior. Deste modo, a secção inferior está programada para ter menor tempo de rega. A solução que embebe o substracto é ácida, impedindo o desenvolvimento de bactérias e o consequente apodrecimento das raízes. Relativamente à programação automática, esta pode e deve ser alterada sempre que necessário, aumentando ou diminuindo os períodos de duração da mesma consoante a estação do ano.

Figura 3.13: Zona técnica do sistema de rega, adjacente à garagem

Figura 3.14: Modelo do alçado lateral da Travessa do Patrocínio (Espaços&Casas)

A arquitectura desta moradia é peculiar, com a intenção de se assemelhar a uma árvore. Para atingir esse objectivo, a inclinação dos painéis ajardinados vai variando ao longo da altura e da largura do edifício, criando a ilusão de se tratar da copa de uma árvore. Por isso, o piso térreo é parcialmente revestido com ripas de madeira para haver um paralelismo com o tronco de uma árvore e a espessura dessas paredes não é variável, mantendo-se sempre nos 0.5m. A partir do piso 1, o painel apresenta uma ligeira inclinação, como se pode ver no alçado lateral apresentado na Figura 3.15.

Figura 3.15: Alçado lateral da moradia unifamiliar (Home DSGN e Espaços&Casas)

Esta inclinação também se verifica na fachada virada a Sudeste, como se demonstra na Figura 3.16 onde é possível ver o espaço da caixa-de-ar e a inclinação do painel que suporta a vegetação.

Figura 3.16: Pormenor do Piso 1, na fachada Sudeste, durante a construção da fachada verde (Architectural Record)

3.1.3. Descrição do equipamento

Como já foi dito anteriormente, foram usados diferentes equipamentos em cada caso de estudo, mas em ambas as situações as grandezas medidas eram as mesmas. Nos pontos seguintes ir-se-ão descrever pormenorizadamente quais os dispositivos que se usaram no primeiro caso de estudo e como decorreram as campanhas neste local.

- **Equipamentos instalados no Piso 0 – Escritório**

Neste local, cuja envolvente não possui vegetação, foi utilizado o DataTaker50 ao qual foram ligados cinco sensores, dos quais quatro eram termopares do tipo T (cobre:constantan), com 0.2mm de espessura, revestidos por isolamento elétrico e soldados por descarga eléctrica no DECivil (Gomes, 2010), com erros estimados da ordem de +/-0.2°C para 100°C e +/-0.5°C para 400°C, e um fluxímetro Hukseflux HFP01 com sensor de termopilha (com gama de medição entre -2000 e 2000 W/m^2) para medir o fluxo de calor que atravessa a parede de betão. Estes sensores distribuíram-se pelo interior e exterior da fachada, sendo que dois termopares foram colocados na superfície exterior e os outros dois na interior, ficando com alturas e afastamentos da janela iguais.

Também se utilizou um dispositivo de medição da temperatura ambiente e da humidade relativa interior, o termohigrómetro Rotronic Hidrolog-D, que se colocou junto à janela. Todos estes aparelhos possuem memória interna que, semanalmente, era descarregada para o computador através do adaptador VScom USB-COM-I, que converte USB em portas RS422/485.

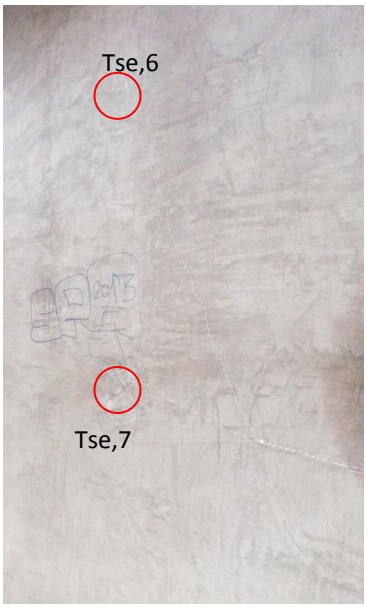


Figura 3.17: Piso 0 – Sensores exteriores

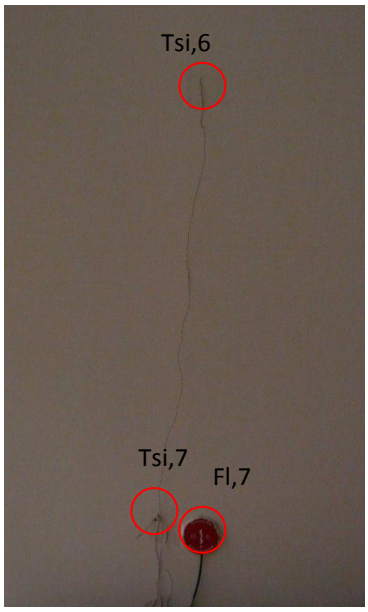


Figura 3.18: Piso 0 – Sensores interiores

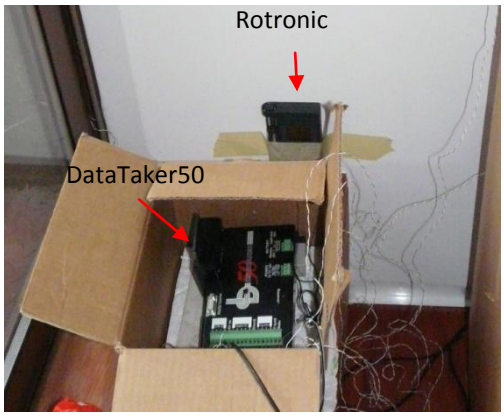


Figura 3.19: Equipamento do Piso 0 – DataTaker 50 e Rotronic

Figura 3.20: Conversor VScom (VSCOM)

- **Equipamentos instalados no Piso 2 – Sala de Estar**

Também nesta secção serão descritos os aparelhos utilizados em ambas as campanhas, juntamente com imagens que auxiliam a localizar os sensores do Piso 2. O equipamento que registou temperaturas superficiais e fluxos de calor foi o Campbell Data Logger ao qual estavam ligados doze termopares do tipo T, com 0.2mm de espessura semelhantes aos descritos no subcapítulo anterior, dois fluxímetros Hukseflux HFP01, semelhantes aos do Piso 0 e ainda dois piranómetros com células fotoeléctricas LI-COR LI-200SA, com erro absoluto máximo estimado de 5%, erro típico de 3% e erro de co-seno inferior a +/-5% para ângulos de incidência de sol inferiores a 80° (Valadas, 2014). Estes últimos foram posicionados num plano horizontal e noutro vertical, para medirem a radiação solar respectiva, na fachada com orientação Sudeste. Os dados recolhidos ficavam memorizados no aparelho e, semanalmente, eram descarregados para um computador portátil com o adaptador VScom USB-COM-I, que já foi descrito no subcapítulo anterior.

Colocou-se também no exterior um termohigrómetro de medição de temperatura ambiente e humidade relativa, o Tinytag TGP-4500. O Tinytag possui uma memória interna que era descarregada semanalmente para um computador portátil através de uma porta USB.

Figura 3.21: Equipamento do Piso 2 – Campbell DataTaker

Figura 3.22: Equipamento do Piso 2 – Tinytag (Preservation Equipment Ltd.)

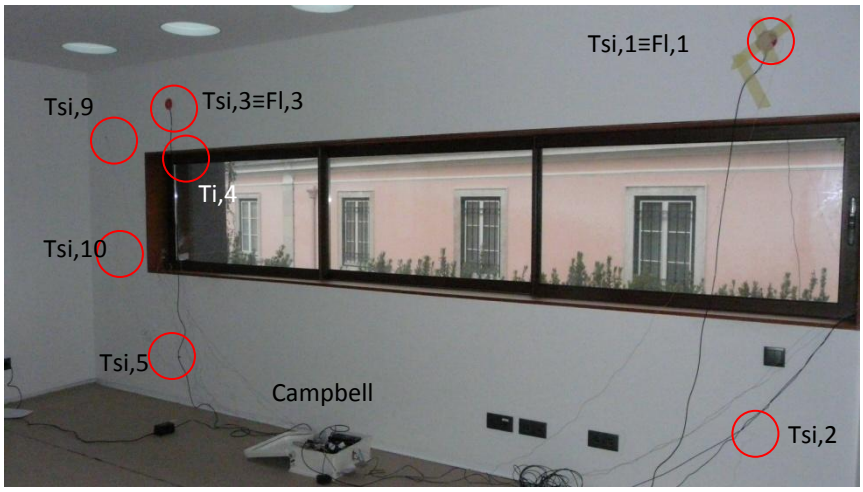


Figura 3.23: Piso 2 - Sensores interiores

Figura 3.24: Piso 2 – Sensores exteriores

3.1.4. Campanhas experimentais

A recolha de dados na Travessa do Patrocínio da campanha de Inverno decorreu mais precisamente entre 11 de Fevereiro e 11 de Março de 2014. No entanto houve interrupções na gravação durante este período, nomeadamente entre o primeiro dia de campanha e o dia 20 de Fevereiro por problemas de ligação do DataTaker50 e entre 28 de Fevereiro e 2 de Março no Campbell data logger pois a memória ficou cheia devido à impossibilidade de acesso à casa nesse período. De salientar que o DataTaker50 não possui bateria interna e possíveis cortes de electricidade poderão ter perturbado a recolha de dados.

Já a campanha de Verão, que decorreu entre 16 de Junho e 10 de Julho, teve descontinuidades entre 25 de Junho e 2 de Julho provocadas possivelmente por um corte de energia no aparelho DataTaker50 e

também a partir de 8 de Julho pois o mesmo deixou de ter espaço na memória para guardar os dados. Todos os outros equipamentos funcionaram dentro da normalidade.

Apresenta-se na Figura 3.25 um esquema respeitante à localização de todos os sensores nesta habitação, para melhor compreensão do leitor.

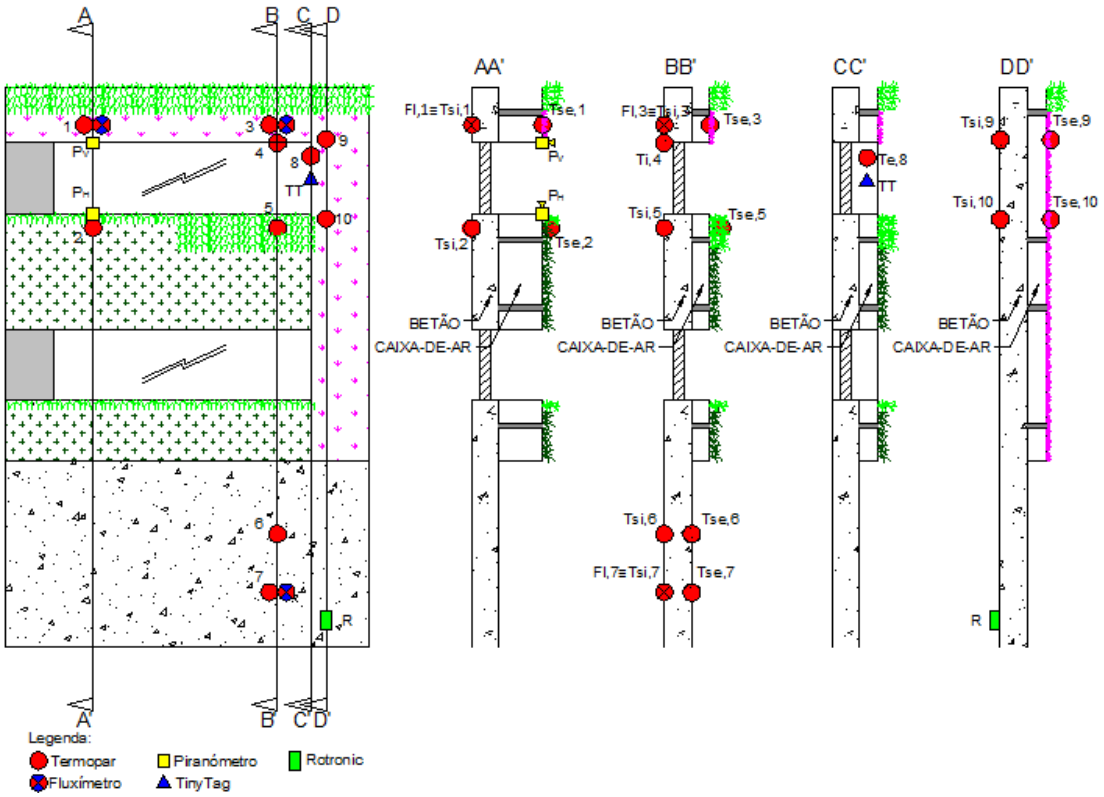


Figura 3.25: Esquema representativo do posicionamento de todos os sensores

- **Grandezas físicas monitorizadas no Piso 0 – escritório**

Neste patamar foram recolhidas informações relativamente a fluxos de calor, temperaturas superficiais interiores e exteriores, temperatura ambiente e humidade relativa. Como complemento do subcapítulo anterior apresenta-se de seguida uma lista referente aos sensores localizados no escritório.

Escritório – fachada de betão

- Fl,7: fluxímetro localizado no interior, com altura de 1,00m a partir do chão e a 1,00m de distância da janela;
- Tsi,7: temperatura superficial interior da parede com altura de 1,00m a partir do chão e a 1,00m de distância da janela;
- Tse,7: temperatura superficial exterior, coincidente com o termopar Tsi,7;
- Tsi,6: temperatura superficial interior da parede, com altura de 2,00m a partir do chão e 1,00m de distância da janela;
- Tse,6: temperatura superficial exterior, coincidente com o termopar Tsi,6;

- R: Rotronic localizado junto à janela, a medir temperatura ambiente e humidade relativa.

- **Grandezas físicas monitorizadas no Piso 2 – sala de estar**

Esta divisória, que corresponde à zona com fachada verde, teve medições relativas à temperatura ambiente no interior e exterior, às temperaturas superficiais interiores e exteriores, a fluxos de calor, radiação solar vertical e horizontal e ainda a humidade relativa exterior.

Sala de estar – fachada verde

- Fl,1: fluxímetro localizado no interior, a 0,33m da verga da janela e a 0,40m da parede SO;
- Tsi,1: temperatura superficial interior da parede, coincidente com Fl,1;
- Tse,1: temperatura superficial exterior da fachada verde, coincidente com Fl,1;
- PV: piranómetro, medidor da radiação solar incidente no plano vertical, posicionado na extremidade exterior da verga da janela, a 0,40m de distância da parede SO;
- PH: piranómetro, medidor da radiação solar incidente no plano horizontal, posicionado na extremidade exterior do parapeito, a 0,60m de distância da parede SO;
- Tsi,2: temperatura superficial interior, a 0,40m da parede SO e a 0,53m do parapeito
- Tse,2: temperatura superficial exterior da fachada verde, coincidente com Tsi,2;
- Fl,3: fluxímetro localizado no interior, a 0,33m da verga da janela e a 1,15m da parede NE;
- Tsi,3: temperatura superficial interior da parede, coincidente com Fl,3;
- Tse,3: temperatura superficial exterior da fachada verde, coincidente com Fl,3;
- Ti,4: temperatura ambiente interior, localizado a 1,15m da parede NE, por cima da janela;
- Tsi,5: temperatura superficial interior, a 1,15m da parede NE e a 0,53m do parapeito;
- Tse,5: temperatura superficial exterior da fachada verde, coincidente com Tsi,5;
- Te,8: temperatura ambiente exterior, localizado na ombreira da janela;
- TT: Tinytag, localizado na ombreira exterior da janela;
- Tsi,9: temperatura superficial interior da parede, localizado a 0,50m da ombreira da janela e a 0,20m da verga da janela;
- Tse,9: temperatura superficial exterior da fachada verde, coincidente com Tsi,9;
- Tsi,10: temperatura superficial interior, a 0,40m de distância da ombreira da janela e a 1,15m do chão;
- Tse,10: temperatura superficial exterior da fachada verde, coincidente com Tsi,10.

Para facilitar a leitura deste trabalho importa referir que todos os sensores seguem uma ordem numérica, de acordo com uma ordem alfabética dos cortes em que se apresentam. Salienta-se ainda que este esquema é meramente representativo, não está à escala e apenas mostra a variação de espessura de caixa-de-ar longitudinalmente e não em altura.

Também foi possível presenciar a manutenção da fachada verde durante a campanha de Inverno, que é feita recorrendo a uma plataforma elevatória articulada com alcance até ao último piso, permitindo assim acesso a todos os pontos da fachada verde para podar ou substituir/replantar se necessário. Tal manutenção recomenda-se que seja feita de 6 em 6 meses nos primeiros dois anos e uma por ano após esse período cujas intervenções normalmente são apenas para podar ou reparar algum componente do sistema de rega.

Figura 3.26: Plataforma elevatória articulada utilizada para a manutenção

3.2. Caso de estudo 2 – Atlântico Blue Studios

Situado num complexo de estúdios em Paço de Arcos, a fachada e cobertura verde dos Atlântico Blue Studios pertence à entrada principal de acesso à zona de gravação de som, tendo como objectivo criar um espaço ajardinado numa espécie de alpendre criado como zona de estar. O interior deste *hall* possui sistema de climatização que está sempre ligado durante o dia no horário de expediente, estando portanto desligado durante a noite e aos fins-de-semana. Estima-se que a área total da fachada verde é de 20m^2 e a da cobertura de 28.5m^2. A espessura da caixa-de-ar na fachada é de 5cm e na zona da cobertura é inexistente.

Figura 3.27: Atlântico Blue Studios

Figura 3.28: Vista aérea da cobertura verde

Na Figura 3.29 e Figura 3.30 mostram-se as etapas principais da construção da fachada verde antes da colocação das plantas. Como se pode ver, existe uma estrutura metálica nas fachadas que permite o espaçamento de 5cm da caixa-de-ar entre a fachada do edifício e as placas de PVC.

Figura 3.29: Etapa construtiva após a colocação da estrutura metálica (ADN Garden Design)

Figura 3.30: Colocação da manta de geotêxtil (ADN Garden Design)

O interior desta zona de fachada verde é um espaço aberto com uma escadaria que dá para o segundo andar. Escolheu-se a área de vegetação que se encontra entre a porta e a janela por haver variedade da densidade das plantas e também devido ao comprimento dos termopares, que não era suficiente para chegar a pontos mais distantes.

Figura 3.31: Sensores interiores

Figura 3.32: Sensores exteriores na fachada

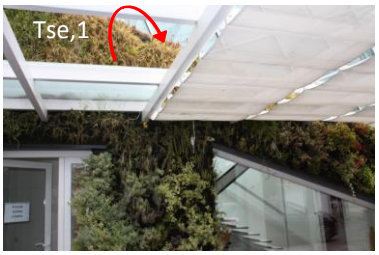


Figura 3.33: Sensor exterior na cobertura

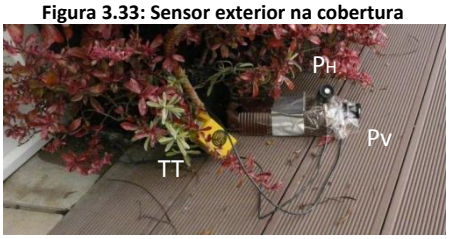
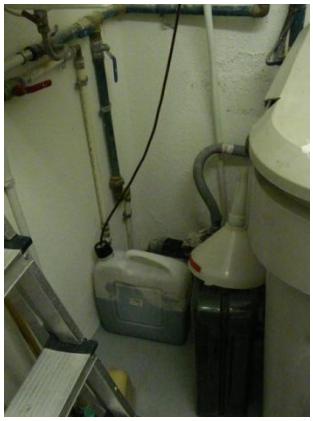


Figura 3.34: Pormenor dos sensores exteriores no Inverno (Tinytag e piranómetros)

Existe, na zona exterior, uma pérgula com toldo amovível que faz sombreamento sobre a fachada verde. Durante o Inverno não foi possível posicionar os piranómetros num ponto onde esse factor não afectasse tanto devido ao comprimento reduzido desses mesmos sensores. Por isso foram postos numa zona de passagem, sujeitos a distúrbios, conforme se pode ver na Figura 3.34. No entanto, no Verão já foram instalados piranómetros com comprimentos suficientes que garantissem um posicionamento adequado, para que não houvesse perturbação na recolha de dados.

Quanto ao sistema de rega, assemelha-se com o do caso de estudo 1, visto ter sido construído pela mesma empresa (ADN Garden Design) e apresentar características semelhantes no que diz respeito ao clima e vegetação. A exposição solar é diferente, pelo que a programação terá uma duração diferente.



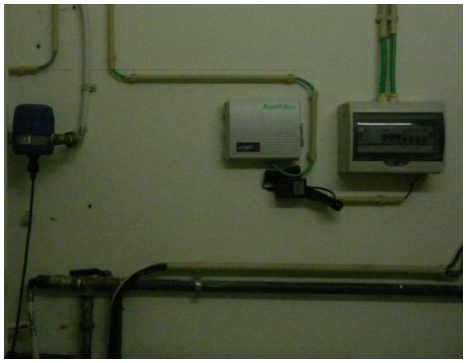


Figura 3.35: Zona técnica do sistema de rega adjacente ao *hall*

3.2.1. Descrição do equipamento

Neste caso de estudo só foi necessário um dispositivo de gravação de dados que cobriu a área em análise. Utilizaram-se também dois aparelhos portáteis para registar a humidade relativa e a temperatura ambiente, um no interior e outro no exterior. As grandezas medidas foram as mesmas que na Travessa do Patrocínio. De seguida apresenta-se uma descrição do equipamento e do posicionamento exacto dos sensores.

- **Equipamentos instalados – *Hall***

O aparelho que registou as temperaturas superficiais interiores e exteriores, os fluxos de calor e a radiação solar foi o Data Logger Delta-T ao qual estavam ligados três fluxímetros Hukseflux HFP01, dois piranómetros com células fotoeléctricas LI-COR LI-200SA e oito termopares dos quais sete eram do tipo T e um do tipo K (cromel:alumel). Estas diferenças estão relacionadas com o tipo de metal existente no termopar e com o calibre dos fios. Foi necessária a introdução de um termopar do tipo K por ter maior comprimento, o que possibilitou a medida de temperatura superficial exterior na cobertura. Deste modo, programou-se um canal do Data Logger Delta-T para o termopar do tipo K e os restantes sete para o tipo T.

Relativamente aos termopares tipo T, piranómetros e aos fluxímetros, as suas especificações são iguais às dos sensores usados no caso de estudo 1, conforme foi referido no subcapítulo **3.1.3 Descrição do equipamento**.

À semelhança do caso de estudo 1 foram também colocados dois termohigrómetros, o Rotronic e o Tinytag, no interior no exterior respectivamente, cujas especificações foram igualmente descritas no subcapítulo anteriormente referido.

Figura 3.36: Equipamento do *Hall* – Data Logger Delta T e Rotronic

Figura 3.37: Equipamento exterior – Tinytag (Preservation Equipment Ltd.)

Figura 3.38: *Hall* - Delta T e termopar ambiente interior

Figura 3.39: *Hall* - Sensores interiores

Figura 3.40: Alpendre – Sensores exteriores na fachada

Figura 3.41: Cobertura – Sensor exterior

3.2.1. Campanhas experimentais

A recolha de dados no estúdio de som da campanha de Inverno decorreu entre 12 de Fevereiro e 14 de Março de 2014, tendo tido uma descontinuidade entre 20 e 26 de Fevereiro pelo facto do dispositivo ter ficado sem bateria.

Na campanha de Verão apenas houve uma interrupção entre 3 e 4 de Julho devido à impossibilidade de aceder ao local antes da data prevista para o fim da memória do Delta T.

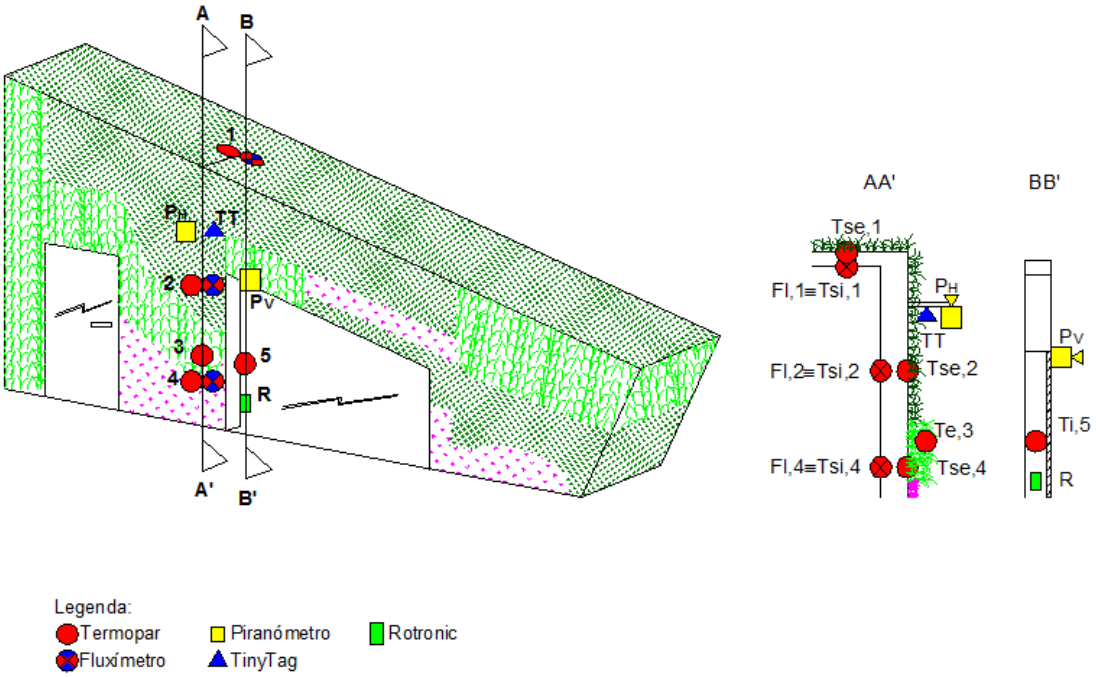


Figura 3.42: Esquema representativo do posicionamento dos sensores no estúdio de som

- **Grandezas físicas monitorizadas no estúdio de som**

As grandezas monitorizadas foram as mesmas que na moradia da Travessa do Patrocínio, ou seja fluxos de calor, temperaturas superficiais interiores e exteriores, temperatura ambiente, humidade relativa e radiação solar. Apresenta-se de seguida a listagem de todos os sensores instalados e uma explicação do seu posicionamento, que tem por base o que já foi demonstrado na Figura 3.38, Figura 3.39, Figura 3.40 e Figura 3.41 e cujo esquema está representado na Figura 3.42.

- Tsi,1: temperatura superficial interior do tecto, a 0,20m da parede e a 0,20m da janela;
- Tse,1: temperatura superficial exterior, coincidente com Tsi,1;
- Fl,1: fluxímetro localizado no interior, coincidente com Tsi,1;
- Tsi,2: temperatura superficial interior da parede, a 1,60m do chão e a 0,20m da janela;
- Tse,2: temperatura superficial exterior, coincidente com Tsi,2;
- Fl,2: fluxímetro localizado no interior, coincidente com Tsi,2;
- Te,3: temperatura ambiente exterior, a 1,00m do chão e a 0,20m da janela;
- Tsi,4: temperatura superficial interior da parede, a 0,85m do chão e a 0,20m da janela;
- Tse,4: temperatura superficial exterior, coincidente com Tsi,3;
- Fl,4: fluxímetro localizado no interior, coincidente com Tsi,3;

- Ti,5: temperatura ambiente interior, a 0,60m do chão, junto à janela;
- R: Rotronic localizado junto à janela, a medir temperatura ambiente e humidade relativa;
- PH[1]: piranómetro, medidor da radiação solar incidente no plano horizontal, posicionado no topo da pérgula;
- PV[2]: piranómetro, medidor da radiação incidente no plano vertical, posicionado no topo da janela;
- TT[3]: Tinytag, localizado por baixo da pérgula.

[1] No Inverno colocou-se este sensor no chão do alpendre junto ao acesso do *hall*
[2] No Inverno colocou-se este sensor no chão do alpendre junto ao acesso do *hall*
[3] No Inverno colocou-se este sensor no chão do alpendre junto ao acesso do *hall*

4. Análise experimental – Caso de estudo 1

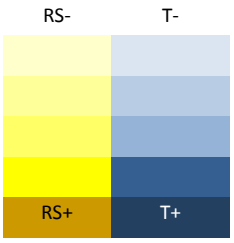
Na moradia unifamiliar, a campanha de monitorização de Inverno decorreu de 20 a 28 de Fevereiro e de 2 a 11 de Março. No Verão, de 16 a 25 de Junho e de 2 a 8 de Julho. Nestes períodos, seleccionaram-se dias-tipo que representassem o comportamento da fachada verde. Assim sendo, para cada período, elegeram-se os dias cuja temperatura ambiente exterior média diária ou a radiação solar média diária fossem extremas.

4.1. Campanha de Inverno

Para esta estação do ano, os dias-tipo selecionados foram o dia mais frio (DF+) e os dias de maior (DRS+) e menor radiação solar (DRS-). Para tal, consultaram-se os dados obtidos nas campanhas, comprovados também pelo histórico do Grupo de Previsão Numérica do Tempo (meteo|Técnico), tomando por base sempre os valores médios diários. Os valores a ter em conta foram os obtidos pelo termopar ambiente exterior do Piso 2 (Te,8) e pelo piranómetro respeitante à radiação medida no plano horizontal (P_H). Importa referir que foram excluídos o primeiro e último dia de campanha, por não terem sido monitorizadas as 24 horas desses dias, bem como os períodos de tempo em que houve falhas num dos aparelhos, pois estar-se-á sempre a comparar a fachada de betão com a fachada verde.

Tabela 4.1: Temperatura média diária e radiação solar média diária medida no plano horizontal, durante os dias da campanha de Inverno

Data Inverno 2014	Temperatura média ambiente diária (°C)	Radiação solar média diária (W/m²)
21 Fev	12.1	102.9
22 Fev	12.2	103.1
23 Fev	12.6	113.6
24 Fev	12.7	102.8
25 Fev	13.2	68.5
26 Fev	13.6	89.8
27 Fev	13.4	52.1
3 Mar	13.7	76.7
4 Mar	13.3	79.4
5 Mar	14.5	101.2
6 Mar	14.1	120.7
7 Mar	17.0	128.6
8 Mar	18.0	94.0
9 Mar	15.3	35.0
10 Mar	16.6	104.1



Através da Tabela 4.1 pode-se concluir que os dias com condições mais extremas são os seguintes:

- 21 de Fevereiro – Dia mais frio (12.1°C);
- 9 de Março - Dia com menor radiação solar (35.0W/m²);

- 7 de Março – Dia com maior radiação solar (128.6W/m²).

Começando por analisar o dia mais frio, mostra-se na Figura 4.1 a comparação de temperaturas ambientes exterior e interiores (Piso 0 e Piso 2). A denominação dos sensores é referente à Figura 3.25. O traçado vertical a vermelho presente nos gráficos diz respeito aos períodos de rega já referidos e aparecem ao longo de todo o trabalho.

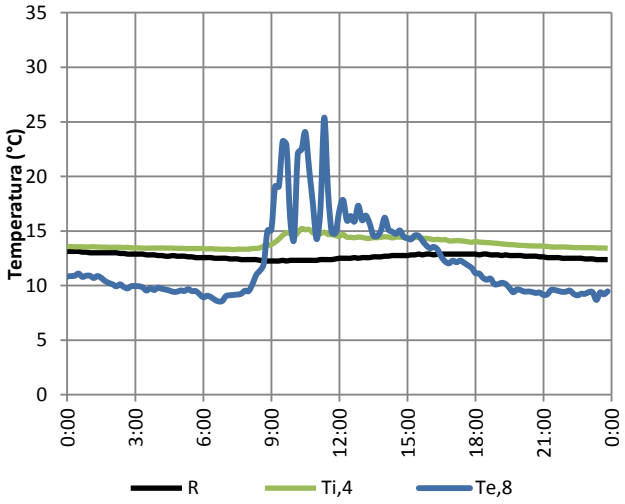


Figura 4.1: Evolução da temperatura ambiente no Piso 0 (R), Piso 2 (Ti,4) e exterior (Te,8), no DF+ (21/2)

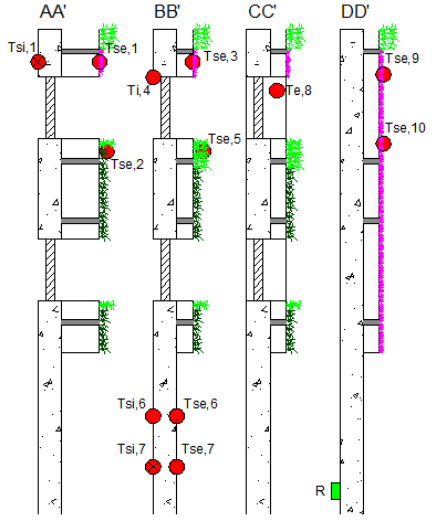


Figura 4.2: Esquema auxiliar da Figura 4.1, Figura 4.3 e Figura 4.4

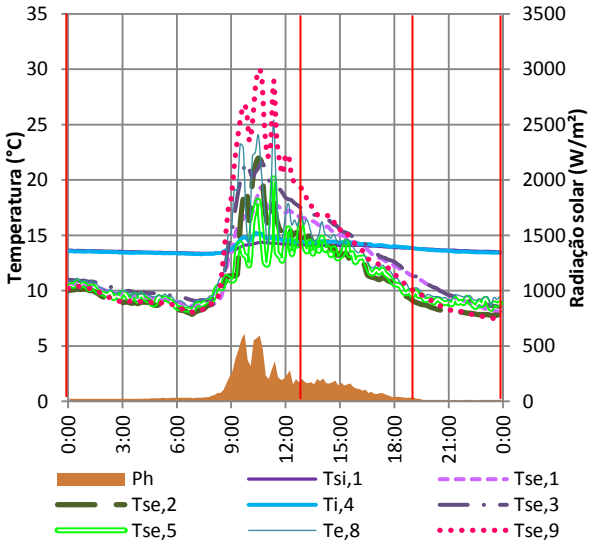


Figura 4.3: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada verde no DF+ (21/2)

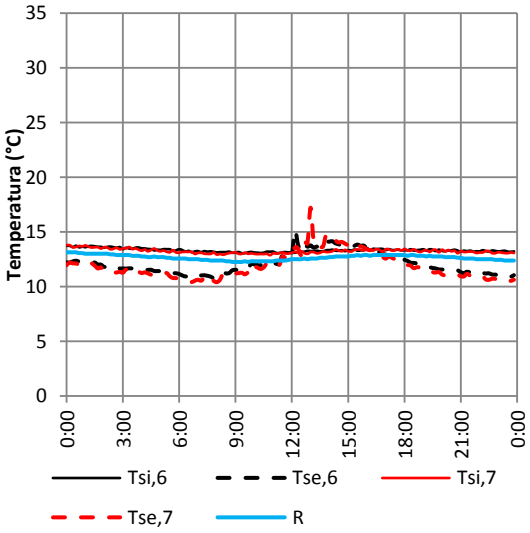


Figura 4.4: Evolução da temperatura superficial e ambiente no Piso 0 no DF+ (21/2)

Ao fazer uma análise simples da Figura 4.1 é possível verificar que a temperatura ambiente interior se mantém sempre mais alta no piso superior, chegando a haver uma diferença de quase 3°C entre os dois pisos. Na Figura 4.3 escolheram-se as temperaturas dos termopares situados nos três diferentes tipos de vegetação e é visível que, dependendo da densidade da planta, a variação de valores é distinta. A

menos densa (pontos 1, 3, 9 e 10) apresenta picos mais elevados de temperatura ao contrário dos restantes pontos, em que a temperatura superficial exterior tem uma amplitude térmica menor, devido ao diferente sombreamento que varia com a densidade da vegetação. Para uma melhor leitura dos resultados, não se incluiu o gráfico relativo ao termopar Tse,10 por ser muito semelhante ao Tse,9, tal como era esperado.

Comparando os dois pisos, no que diz respeito a temperaturas superficiais e ambiente interiores, nota-se que na divisória sem revestimento vegetal (Figura 4.4) a temperatura do ar é sempre inferior à temperatura superficial da parede, e na sala de estar verifica-se que estas são quase sempre coincidentes excepto no período do final da manhã em que a temperatura ambiente se apresenta com valores ligeiramente superiores.

Na Figura 4.3 apenas se introduziu o valor do Tsi,1 no que diz respeito a temperaturas superficiais interiores pois as restantes eram colineares com o mesmo.

Os picos de maior temperatura, tanto exterior como interior estão directamente relacionados com os períodos de maior radiação solar. Convém referir que apesar de se estar a comparar a fachada de betão com a de vegetação, há diferenças explícitas entre as condições a que cada uma está sujeita, tais como a radiação incidente ao longo do dia, que é maior no piso superior por estar mais exposto, e a presença de envidraçados na fachada em estudo do Piso 2 ao contrário do piso térreo, que não os possui nessa zona.

Na Figura 4.5 apresentam-se as diferenças de temperaturas entre os dois pisos, usando o termopar 5 como o de referência para a zona com vegetação, visto ser a que apresenta melhores resultados por ser a mais densa. Observando a Figura 4.6 é evidente a influência da radiação solar na temperatura e também é clara a distinção entre os dois pisos devido à diferente exposição solar. O pico de temperatura superficial exterior no escritório tem uma diferença de sensivelmente 3 horas nesta altura do ano pois o sombreamento é mais duradouro no piso inferior. Retiraram-se os resultados obtidos pelo termopar 7 por serem idênticos aos do termopar 6, proporcionando uma melhor leitura do gráfico.

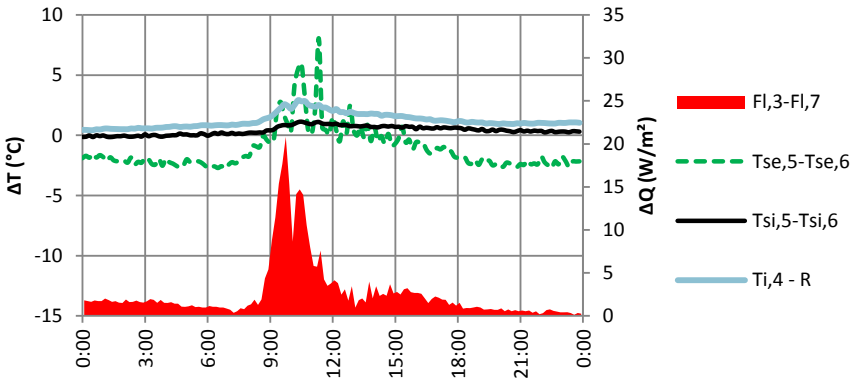


Figura 4.5: Diferenças de temperaturas e fluxos entre o Piso 2 e o Piso 0, no DF+ (21/2)

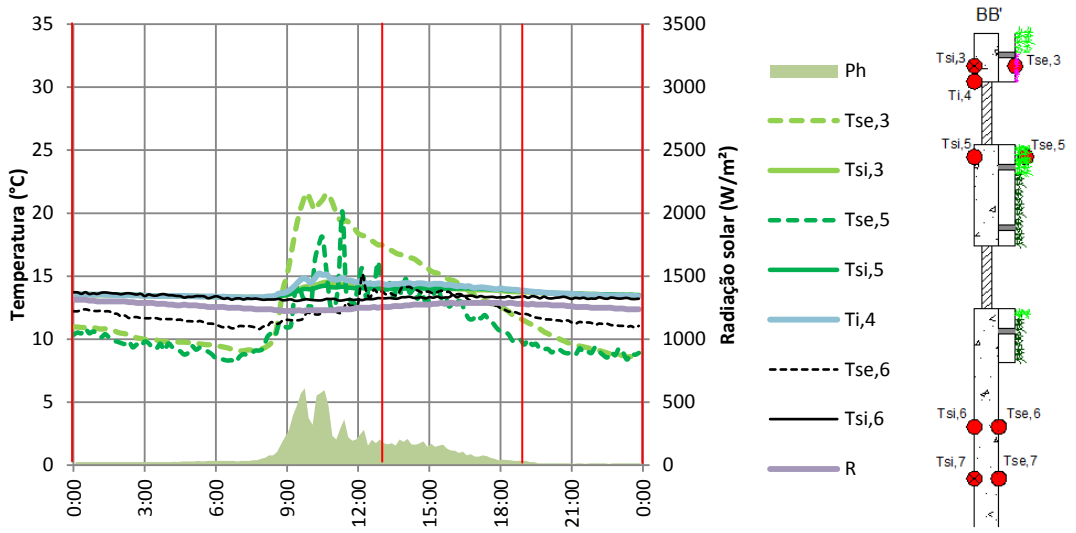


Figura 4.6: Evolução da temperatura no corte BB' e radiação solar medida no plano horizontal no dia mais frio (21/2)

Tabela 4.2: Valores de referência registados na moradia no DF+ (21/2)

					Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
				Zona	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Piso 2	Exterior	Densidade da vegetação	Alta	5	8,2	11,0	20,2	-	-	-
			Média	2	7,8	11,0	22,0	-	-	-
			Baixa	1	8,1	11,9	19,3	-	-	-
				3	8,5	12,6	21,6	-	-	-
				9	7,5	12,8	30,0	-	-	-
				10	7,5	12,2	28,7	-	-	-
		Ambiente		8	8,6	12,1	25,4	-	-	-
	Interior	Densidade da vegetação	Alta	5	13,3	13,7	14,2	-	-	-
			Média	2	13,3	13,7	14,2	-	-	-
			Baixa	1	13,4	13,8	14,4	-	-	-
				3	13,3	13,7	14,5	-0,5	2,9	22,3
				9	13,3	13,6	14,2	-	-	-
				10	13,3	13,7	14,2	-	-	-
		Ambiente		4	13,3	13,9	15,2	-	-	-
Piso 0	Exterior		Superfície	6	10,8	12,1	15,2	-	-	-
				7	10,4	11,9	17,2	-	-	-
	Interior		Superfície	6	13,0	13,3	13,7	-	-	-
				7	12,9	13,3	13,8	-2,4	0,2	4,9
			Ambiente	R	12,3	12,7	13,1	-	-	-

Para uma melhor compreensão dos resultados apresentados na Tabela 4.2, ilustram-se na Figura 4.7 as diferenças de temperatura entre as vegetações, tomando como referência a da zona 5. Convém referir que novamente se excluiu o termopar 10 pelas razões referidas anteriormente.

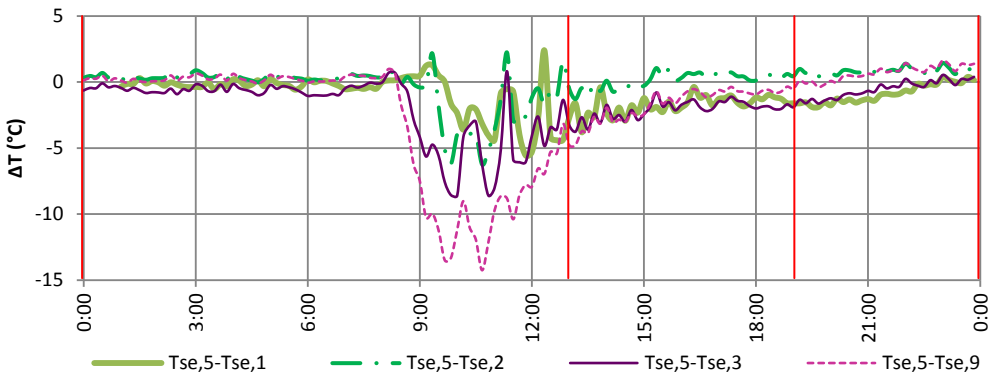


Figura 4.7: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DF+ (21/2)

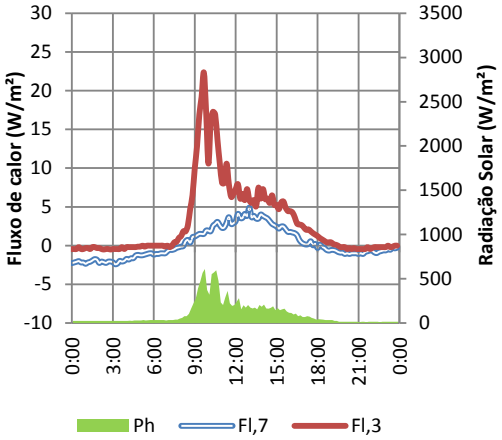


Figura 4.8: Fluxo de calor vs radiação solar medida no plano horizontal no DF+ (21/2)

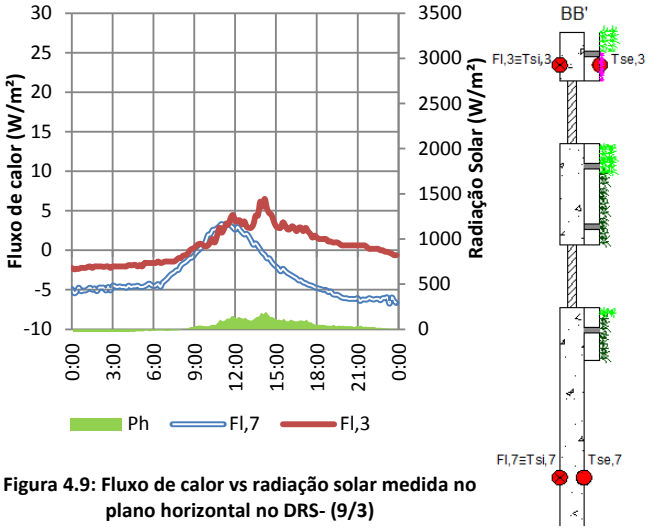


Figura 4.9: Fluxo de calor vs radiação solar medida no plano horizontal no DRS- (9/3)

Relativamente ao fluxo de calor, conforme se pode ver pela Figura 4.8, houve maiores variações no Piso 2 onde a exposição solar era maior, conforme se pode concluir pela evolução da radiação solar medida nesse mesmo piso. Pelo mesmo gráfico se verifica que há mais perdas de calor no Piso 0 durante a madrugada e que nesse mesmo período, na sala de estar, as perdas são quase nulas. Há sempre maiores ganhos na sala de estar ao longo do dia. Já no dia de menor radiação solar desta mesma campanha, em que o sombreamento foi maior, o comportamento da fachada convencional piorou, apresentando maiores perdas de calor durante a madrugada, ao invés da fachada verde que mostrou um comportamento mais isolante durante a madrugada, com perdas quase nulas (Figura 4.9) e um decréscimo menos acentuado que a fachada de betão. Tal facto pode ser justificado com a maior humidade sentida nesse dia que aumentou a condutibilidade térmica do substracto. Para explorar melhor esta conclusão, apresentam-se na Figura 4.10 os resultados relativos a fluxos e temperaturas superficiais exteriores dos pontos 3 e 7, ambos pertencentes ao corte BB'. Aqui vê-se uma maior flutuação de valores na temperatura do betão do que da vegetação e outro aspecto interessante é a constante superioridade de valores de temperatura na parede sem cobertura vegetal. Estes valores eram esperados na medida em que a humidade presente no substracto no dia de menor radiação solar (9/3) influenciou a temperatura do solo mas também permitiu um fluxo de calor positivo na moradia no

período em que foi registado um ligeiro aumento de radiação solar devido ao já referido aumento da condutibilidade térmica.

Tabela 4.3: Valores de referência registados na moradia no DRS- (9/3)

					Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
				Zona	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Piso 2	Exterior	Densidade da vegetação	Alta	5	12,8	15,0	18,4	-	-	-
			Média	2	11,8	13,8	16,9	-	-	-
			Baixa	1	11,2	12,6	14,4	-	-	-
				3	11,7	13,1	14,9	-	-	-
				9	11,4	13,0	15,5	-	-	-
				10	11,1	12,9	16,1	-	-	-
		Ambiente		8	13,1	15,3	18,5	-	-	-
	Interior	Densidade da vegetação	Alta	5	16,0	16,1	16,3	-	-	-
			Média	2	16,0	16,1	16,3	-	-	-
			Baixa	1	16,2	16,4	16,6	-	-	-
				3	16,2	16,3	16,5	-2,4	0,6	6,5
				9	16,1	16,2	16,4	-	-	-
				10	16,0	16,2	16,3	-	-	-
		Ambiente		4	16,2	16,5	16,9	-	-	-
Piso 0	Exterior		Superfície betão	6	13,7	16,8	25,0	-	-	-
				7	13,2	16,8	25,2	-	-	-
	Interior		Superfície	6	14,8	15,4	16,0	-	-	-
				7	14,8	15,4	16,0	-6,8	-3,1	3,4
			Ambiente	R	14,8	15,1	15,5	-	-	-

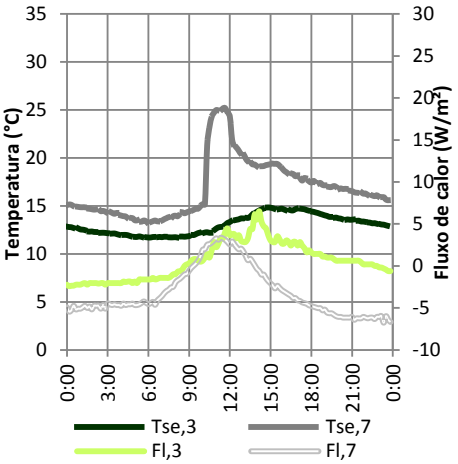


Figura 4.10: Temperatura vs fluxo de calor no DRS- (9/3), no corte BB', nos pontos 3 e 7

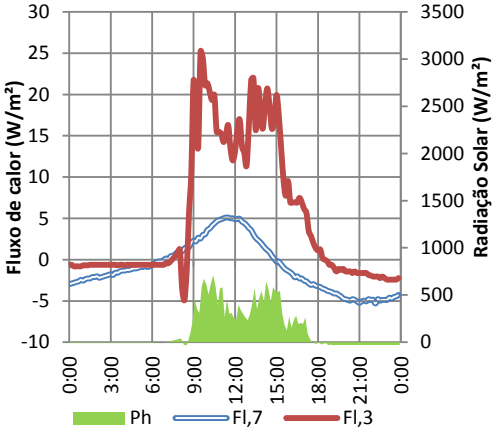
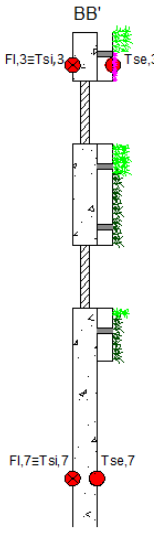


Figura 4.11: Fluxo de calor vs radiação solar medida no plano horizontal no DRS+ (7/3)



É também importante analisar certos aspectos do dia de maior radiação (7 de Março) para estudar a influência da rega e consequente aumento do teor de humidade, no fluxo de calor. Como já foi referido,

a rega ocorre três vezes por dia, às 0:00, 13:00 e 19:00. Pela análise detalhada da Figura 4.11, nos dois períodos de rega nocturnos (0:00 e 19:00) precedem fluxos de calor quase constantes, e no período de rega intermédio (13:00) regista-se um aumento de fluxo. Tal fenómeno é justificável pelo aumento do teor de humidade que interfere na condutibilidade térmica da camada de geotêxtil, permitindo a entrada de calor no momento em que a radiação solar ainda tinha valores significativos (às 13:00) e levando a uma estabilidade interna durante a noite, após os momentos de aspersão.

Tabela 4.4: Valores de referência registados na moradia no DRS+ (7/3)

					Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
				Zona	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Piso 2	Exterior	Densidade da vegetação	Alta	5	9,4	15,9	24,7	-	-	-
			Média	2	9,2	15,2	28,2	-	-	-
			Baixa	1	9,4	15,6	22,1	-	-	-
				3	9,9	15,9	23,9	-	-	-
				9	8,9	16,6	33,3	-	-	-
				10	8,8	16,3	32,0	-	-	-
		Ambiente		8	9,8	17,0	31,5	-	-	-
	Interior	Densidade da vegetação	Alta	5	14,6	15,6	16,8	-	-	-
			Média	2	14,7	15,6	16,9	-	-	-
			Baixa	1	14,9	16,0	17,2	-	-	-
				3	14,8	15,9	17,5	-4,9	4,8	25,2
				9	14,7	15,7	17,2	-	-	-
				10	14,6	15,7	17,1	-	-	-
		Ambiente		4	14,2	16,3	19,6	-	-	-
Piso 0	Exterior		Superfície betão	6	11,5	14,4	22,1	-	-	-
				7	11,1	14,5	22,5	-	-	-
	Interior		Superfície	6	13,9	14,4	15,0	-	-	-
				7	13,7	14,4	15,0	-5,3	-0,9	5,1
			Ambiente	R	13,6	13,9	14,4	-	-	-

Foi possível utilizar um instrumento auxiliar que ilustrasse como variavam as temperaturas superficiais num dado momento em todo o edifício. Para tal, recorreu-se a uma câmara de termografia, a ThermaCAM (Figura 4.13) que, através de raios infravermelhos, obtém imagens que mapeiam as temperaturas superficiais captadas pela câmara. Este dispositivo dispõe de uma ligação USB que transfere as imagens para o computador em PDF com a informação das temperaturas registadas num eixo lateral. Observando a Figura 4.12 é evidente que a fachada monitorizada está mais exposta à radiação do que o alçado principal e também é visível o sombreamento provocado pela estrutura da fachada verde sobre o Piso 0. A variação de densidades na vegetação também é perceptível, bem como a temperatura mais elevada da parede de betão, confirmando as temperaturas registadas pela

monitorização. Esta imagem foi obtida imediatamente antes da rega das 13h no dia 19 de Março de 2014.

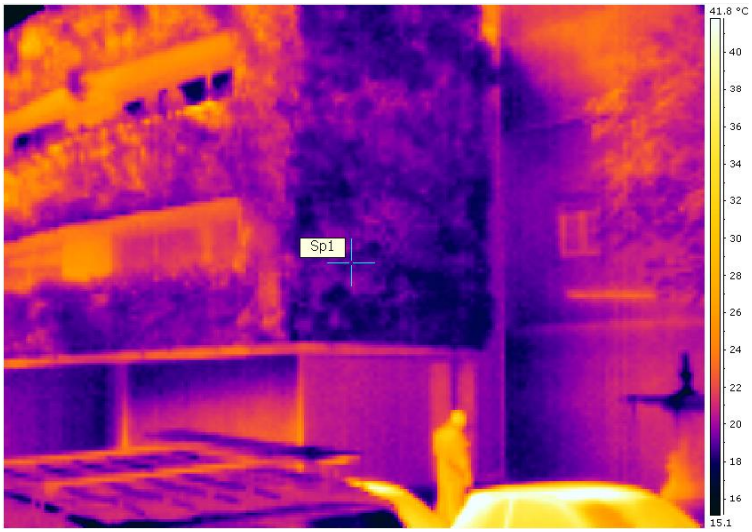


Figura 4.12: Termografia da moradia unifamiliar estudada

Figura 4.13: Câmara de termografia ThermaCAM (SPEC-NET)

4.2. Campanha de Verão

À semelhança do que foi feito no subcapítulo anterior, seleccionaram-se dias-tipo que melhor representassem a estação do ano em estudo: o Verão. Pela consulta dos resultados obtidos, calcularam-se valores médios diários, novamente da temperatura exterior e da radiação medida no plano horizontal. Tal informação retirou-se da recolha de dados do termopar exterior Te,8 e do piranómetro Ph. Novamente excluíram-se os dados referentes ao primeiro e último dia de campanha por não possuírem a totalidade de informação que perfizesse as 24 horas do respectivo dia e também os períodos em que não foi possível obter registos devido a falhas técnicas.

Tabela 4.5: Temperatura média diária e radiação solar média diária medida no plano horizontal, durante os dias da campanha de Verão

Data Inverno 2014	Temperatura média ambiente diária (°C)	Radiação solar média diária (W/m²)
17 Jun	20.2	65.8
18 Jun	20.5	142.7
19 Jun	20.5	237.2
20 Jun	20.5	247.1
21 Jun	20.2	226.3
22 Jun	19.7	194.6
23 Jun	18.5	162.2
24 Jun	20.5	205.8
3 Jul	22.0	189.9
4 Jul	21.8	204.7
5 Jul	21.7	205.9
6 Jul	20.5	124.0
7 Jul	20.2	199.6

RS-	T-
RS+	T+

Através da Tabela 4.5 conclui-se que os dias com condições mais extremas são os seguintes:

- 20 de Junho – Dia com maior radiação solar (DRS+) (247.1 W/m²);
- 3 de Julho – Dia mais quente (DQ+) (22.0°C).

Começando por analisar o dia mais quente, mostra-se na Figura 4.14 a comparação de temperaturas exterior e interior (Piso 0 e Piso 2). Mantém-se a denominação dos sensores referida na Figura 3.25.

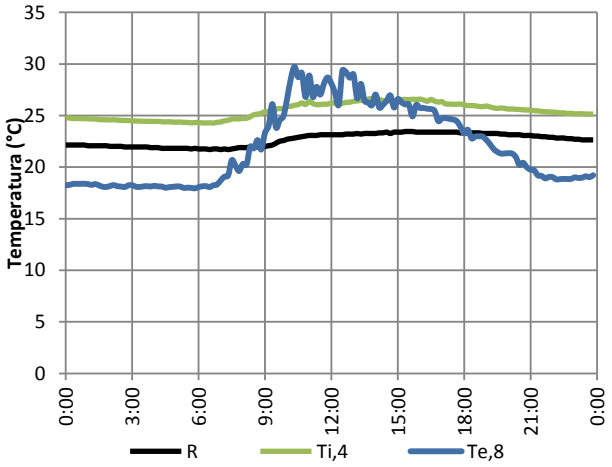


Figura 4.14: Evolução da temperatura ambiente no Piso 0 (R), Piso 2 (Ti,4) e exterior (Te,8), no DQ+ (3/7)

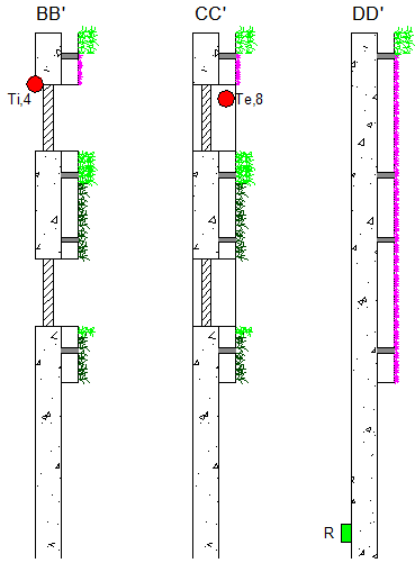


Figura 4.15: Esquema auxiliar da Figura 4.14, Figura 4.16 e Figura 4.17

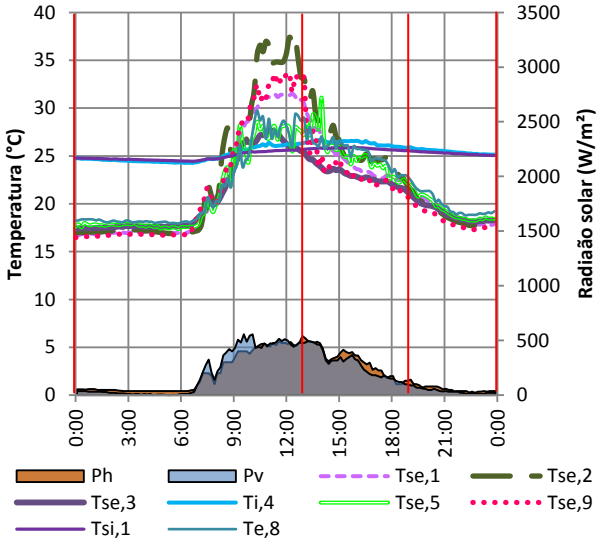


Figura 4.16: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada verde no DQ+ (3/7)

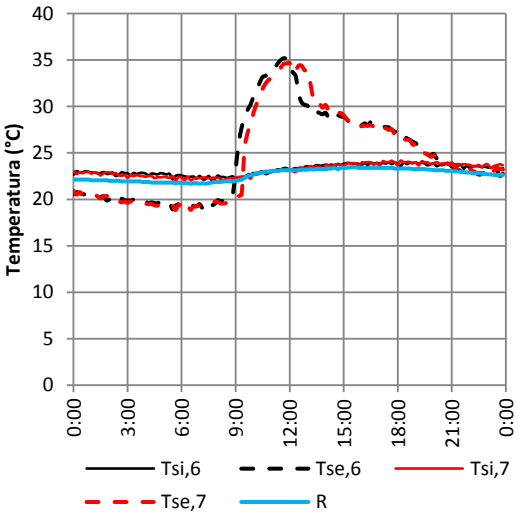


Figura 4.17: Evolução da temperatura superficial e ambiente no Piso 0 no DQ+ (3/7)

Estudando a Figura 4.14 constata-se que a temperatura ambiente na sala de estar é sempre mais alta que no escritório, com uma diferença de aproximadamente 3°C entre si, diferença essa que se mantém praticamente constante ao longo das 24 horas do dia. De referir que a presença de envidraçados expostos à luz solar influenciaram os resultados e a comparação entre os dois pisos é influenciada por esse facto. Na Figura 4.16 escolheram-se os termopares superficiais exteriores, organizando-os por cores distintas dependendo da densidade, e é evidente o destaque das temperaturas mais elevadas nos pontos referentes a espécies menos densas (pontos 1, 2, 3, 9 e 10) mas que, mesmo assim, são inferiores às da superfície de betão do Piso 0. Este facto é relevante pois evidencia o efeito de

sombreamento que a vegetação tem sobre a fachada. Salienta-se ainda os resultados relativos ao termopar Tse,2 que estava localizado numa zona em que a espécie presente era de densidade média mas que, na campanha de Verão, estava seca e era praticamente inexistente aquando da monitorização (Figura 4.22 e Figura 4.23) e, tal como os resultados demonstram, reflectiu-se num aumento de temperatura superficial. Ainda, relativamente à espécie situada na zona 3, quando comparada com a espécie da zona 5 há uma discrepância de valores na altura mais quente do dia que se justificam com o facto de o ponto 3 ter sombreamento de uma planta situada acima do termopar e de na zona 5 a vegetação apesar de densa tem uma pequena "clareira" que perturbou o sombreamento no termopar nas alturas do dia em que o sol estava mais alto.

Figura 4.18: Pormenor da vegetação na zona 3, no Verão

Figura 4.19: Pormenor da vegetação na zona 5, no Verão

Durante a madrugada é evidente a redução da temperatura superficial exterior, associado à evapotranspiração das plantas. Após o período de rega das 13h é também notório um decréscimo dessa mesma temperatura, estabilizando de seguida até à programação seguinte (19h), onde volta a decrescer.

Observando a Figura 4.20 é notória a superioridade da temperatura superficial exterior na parede de betão, mesmo tendo períodos de sombreamento maiores.

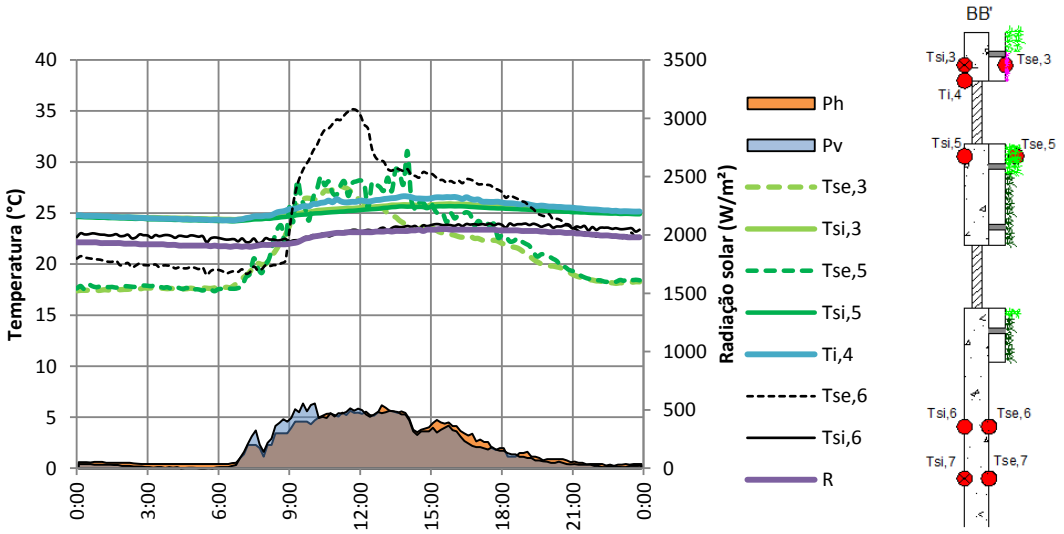


Figura 4.20: Evolução da temperatura no corte BB' e radiação solar medida no plano horizontal, no DQ+ (3/7)

Para uma melhor compreensão deste facto apresentam-se na Figura 4.21 as diferenças de temperaturas entre os dois pisos, usando o termopar 5 como o de referência para a zona com vegetação, visto ser a que apresenta melhores resultados por ser a mais densa.

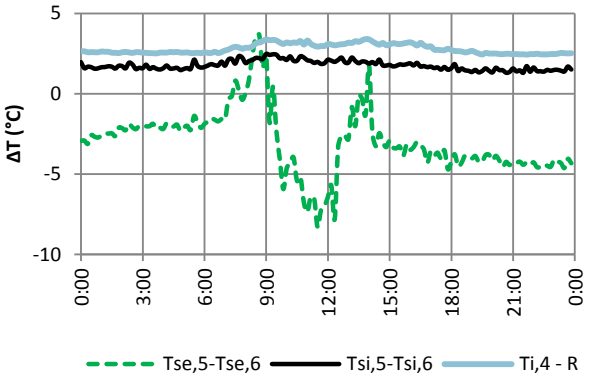


Figura 4.21: Diferenças de temperatura entre o Piso 2 e o Piso 0, no DQ+ (3/7)

Figura 4.22: Travessa do Patrocínio no Inverno

Figura 4.23: Travessa do Patrocínio no Verão

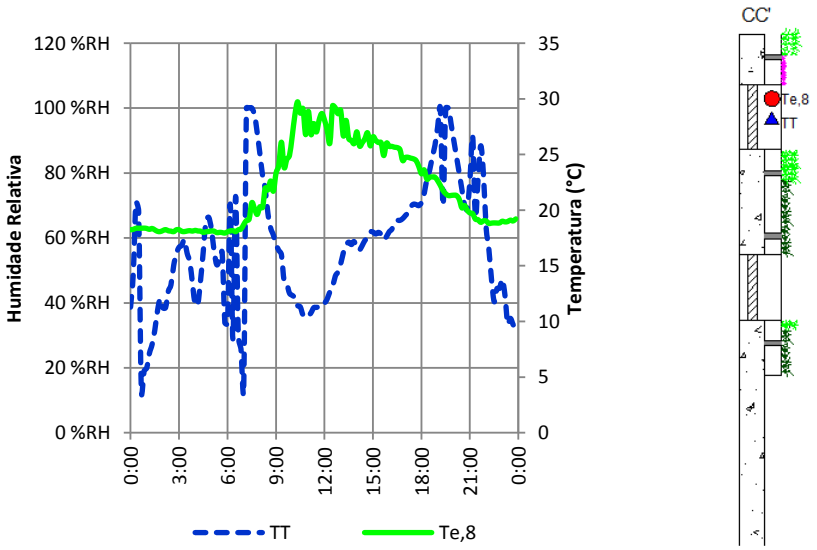


Figura 4.24: Evolução da humidade relativa e da temperatura ambiente exteriores no DQ+ (3/7)

Tabela 4.6: Valores de referência registados na moradia no DQ+ (3/7)

					Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
				Zona	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Piso 2	Exterior	Densidade da vegetação	Alta	5	17,4	21,7	31,1	-	-	-
			Média[4]	2	16,9	22,8	37,4	-	-	-
			Baixa	1	16,8	21,8	31,5	-	-	-
				3	17,4	20,9	27,6	-	-	-
				9	16,5	21,6	33,7	-	-	-
				10	16,7	21,6	31,1	-	-	-
		Ambiente		8	17,9	22,0	29,7	-	-	-
	Interior	Densidade da vegetação	Alta	5	24,2	24,9	25,7	-	-	-
			Média	2	24,3	25,1	25,8	-	-	-
			Baixa	1	24,5	25,2	25,9	-	-	-
				3	24,4	25,1	25,9	-	-	-
				9	24,3	24,9	25,6	-	-	-
				10	24,2	24,9	25,7	-	-	-
		Ambiente		4	24,3	25,4	26,7	-	-	-
Piso 0	Exterior		Superfície betão	6	18,9	24,7	35,2	-	-	-
				7	18,9	24,6	34,7	-	-	-
	Interior		Superfície	6	22,1	23,2	24,0	-	-	-
				7	22,0	23,2	24,2	-	-	-
			Ambiente	R	21,7	22,6	23,4	-	-	-

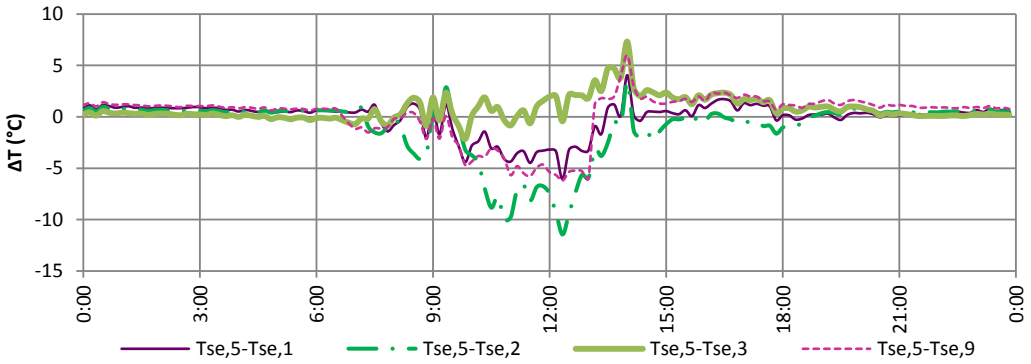


Figura 4.25: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DQ+ (3/7)

Analisando o dia de maior radiação solar na Figura 4.28, verifica-se que as temperaturas superficiais exteriores na fachada verde são inferiores quando comparadas com o dia mais quente. Apesar de ter sido o dia em que a radiação solar esteve mais forte, conclui-se que a temperatura ambiente influencia mais o comportamento do jardim vertical do que a radiação, o que faz sentido pois a vegetação faz o sombreamento da envolvente do edifício, reduzindo as temperaturas sentidas no mesmo. Também na fachada de betão as temperaturas são mais elevadas no dia mais quente e, em ambos os dias-tipo desta

[4] Esta espécie encontrava-se seca

campanha, a superfície exterior teve sempre temperaturas mais elevadas do que na fachada verde, variando consoante os picos de radiação solar. Na vegetação a rega impõe-se na variação da temperatura, sendo este facto evidente no período de rega das 13:00, momento em que a radiação solar está a aumentar em ambos os dias e a temperatura sentida nas plantas estabiliza, chegando mesmo a decrescer a essa hora devido ao efeito da evapotranspiração das plantas.

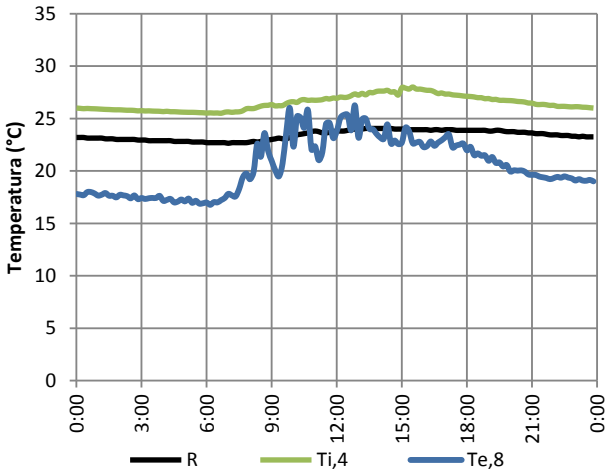


Figura 4.26: Evolução da temperatura ambiente no Piso 0 (R), Piso 2 (Ti,4) e exterior (Te,8), no DRS+ (20/6)

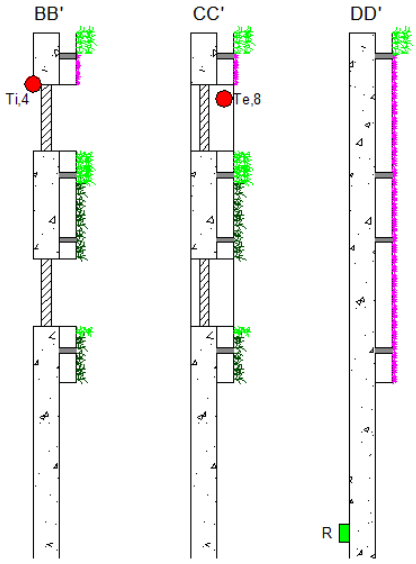


Figura 4.27: Esquema auxiliar da Figura 4.26, Figura 4.29 e Figura 4.30

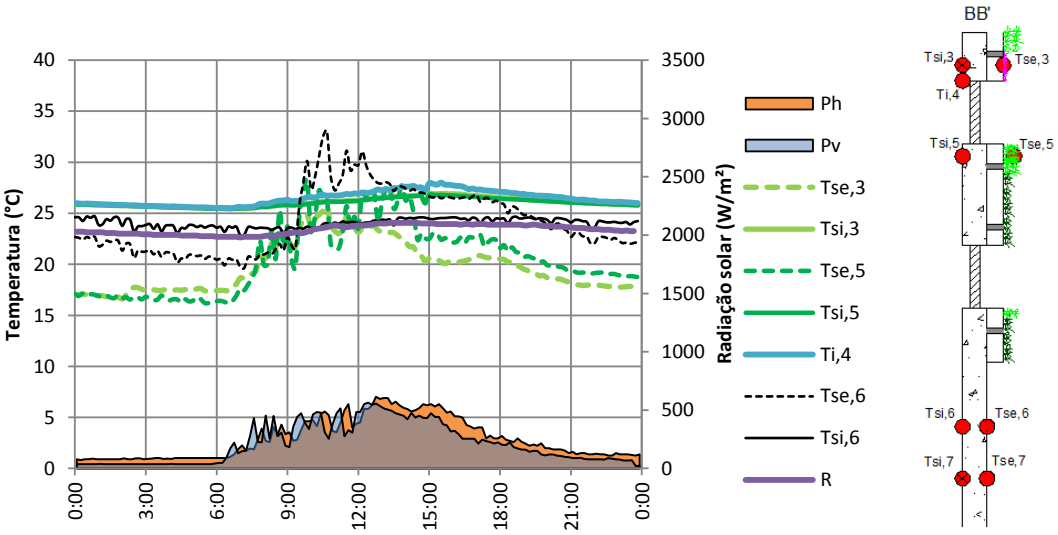


Figura 4.28: Evolução da temperatura no corte BB' e radiação solar medida no plano horizontal, no DRS+ (20/6)

Interiormente, os resultados da temperatura ambiente são semelhantes nos dois dias mas a influência dos envidraçados no Piso 2 faz-se notar pois no dia de maior radiação solar (20/6) a temperatura

interior atinge um máximo de 28,0°C e uma média de 26,5°C, sendo estes valores superiores aos do dia mais quente (3/7).

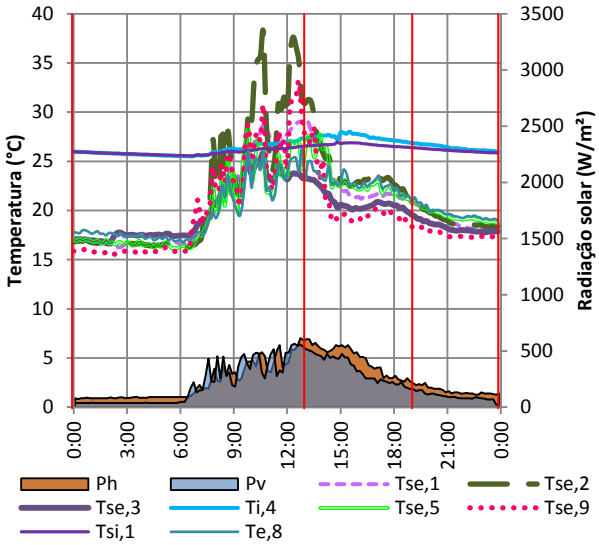


Figura 4.29: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada verde no DRS+ (20/6)

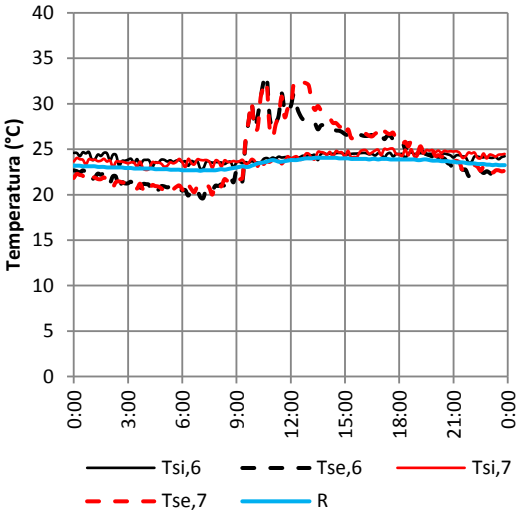


Figura 4.30: Evolução da temperatura superficial e ambiente da fachada do Piso 0 no DRS+ (20/6)

Para finalizar a análise do dia de maior radiação (20/6), apresenta-se na Figura 4.29 a evolução das temperaturas superficiais exteriores na vegetação onde se destaca a temperatura mais elevada na zona 2 devido à falta de vegetação provocado pela secagem da planta. Todas as outras espécies apresentam resultados bastante satisfatórios tendo em conta que esta fachada está permanentemente exposta à radiação solar durante o dia, ao invés do Piso 0 de parede de betão (Figura 4.30) que é sombreado pela estrutura que compõe o jardim vertical e pelos edifícios adjacentes durante parte da manhã e do fim da tarde e que mesmo assim mostra resultados de temperatura mais elevados, conforme a análise do gráfico presente na Figura 4.31.

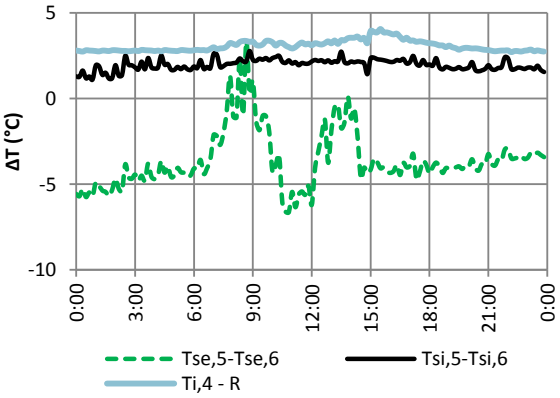


Figura 4.31: Diferenças de temperatura entre o Piso 2 e o Piso 0, no DRS+ (20/6)

Tabela 4.7: Valores de referência registados na moradia no DRS+ (20/6)

					Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
				Zona	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Piso 2	Exterior	Densidade	Alta	5	16,2	20,5	28,2	-	-	-
			Média[5]	2	16,2	21,8	38,1	-	-	-
			Baixa	1	16,3	20,8	29,0	-	-	-
				3	16,6	19,8	25,8	-	-	-
				9	15,5	19,8	33,1	-	-	-
				10	16,6	20,3	28,1	-	-	-
		Ambiente		8	16,8	20,5	26,3	-	-	-
	Interior	Densidade	Alta	5	25,4	26,0	26,8	-	-	-
			Média	2	25,5	26,1	26,9	-	-	-
			Baixa	1	25,6	26,1	27,0	-	-	-
				3	25,5	26,1	26,9	-	-	-
				9	25,4	25,9	26,7	-	-	-
				10	25,4	26,0	26,8	-	-	-
		Ambiente		4	25,5	26,5	28,0	-	-	-
Piso 0	Exterior		Superfície	6	19,6	24,2	33,1	-	-	-
				7	20,0	24,4	32,6	-	-	-
	Interior		Superfície	6	22,9	24,1	24,7	-	-	-
				7	22,7	24,0	25,1	-	-	-
			Ambiente	R	22,6	23,4	24,1	-	-	-

Para uma melhor compreensão dos resultados apresentados na Tabela 4.7, ilustram-se na Figura 4.32 as diferenças de temperatura entre as vegetações, tomando como referência a da zona 5. Novamente Se excluiu o termopar 10 por se situar numa zona de vegetação semelhante à do termopar 9 e com a mesma exposição solar. Deste modo, a análise do gráfico torna-se mais clara.

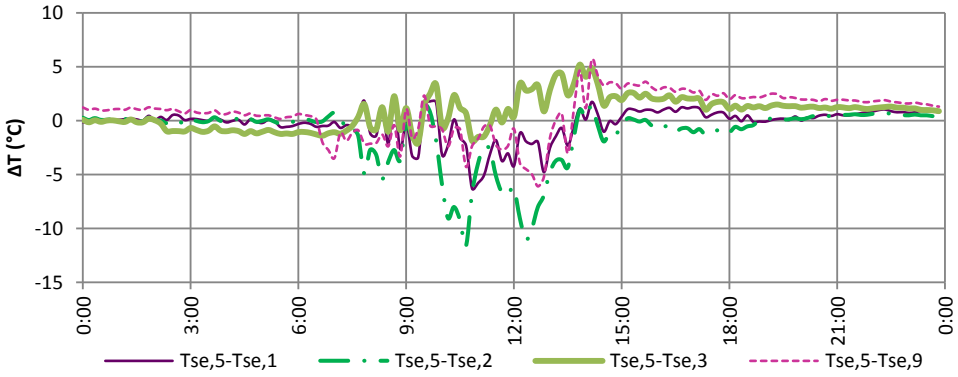


Figura 4.32: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS+ (20/6)

[5] Esta espécie encontrava-se seca

4.3. Ensaio de condutibilidade térmica

De forma a obter o máximo de informação sobre a solução de revestimento estudada, fez-se um ensaio de condutibilidade térmica. Como não foi possível obter uma amostra junto da empresa ADN Garden Design para fazer os testes em laboratório, realizou-se *in situ*. Só se fez na fachada da Travessa do Patrocínio pois a solução de revestimento é a mesma em ambos os casos de estudo: placa em PVC + manta geotêxtil + sistema de rega + manta geotêxtil + vegetação. Recorrendo ao instrumento de medição Isomet 2114 da Applied Precision Ltd., ligou-se uma sonda plana de um lado (MTPS) que mede valores de condutibilidade térmica entre os 0.04 e os 6 W/m.°C. As leituras apresentam um erro associado de 5% de leitura mais 0.001W/m.°C na gama de medição entre os 0.04 e os 0.7 W/m.°C, e 10% de leitura na gama e medição entre os 0.7 e os 6W/m.°C Esta sonda permite ainda medir a capacidade térmica volumétrica de amostras entre os $4.0x10^4$ e os $1.5x10^6$ J/m^3.°C com um erro associado de 15% de leitura mais $1x10^3$ J/m^3.°C. As temperaturas apresentadas apresentam um erro associado de 1°C. Além da condutibilidade térmica e da capacidade térmica volumétrica, o dispositivo apresenta ainda a difusividade térmica que relaciona estes dois últimos parâmetros (Fernandes, 2014). O procedimento de medição consiste em colocar a sonda sobre o material que se pretende ensaiar, escolher a gama de medição onde se pensa que o material se vai enquadrar e começar o ensaio que demora entre 20 a 30 minutos. De seguida retiram-se as leituras apresentadas no mostrador.

Figura 4.33: Isomet 2114 – Instrumento com a sonda plana (Fernandes, 2014) e montagem *in situ* do mesmo

Como o processo de obtenção de valores é demorado, apenas se realizaram dois ensaios pois as condições atmosféricas não eram as mais propícias e o local não garantia segurança para o equipamento visto que a superfície tinha de estar o mais seca possível. Como tal, realizou-se o ensaio por volta do meio-dia, mesmo antes da rega das 13:00 e envolveu-se a sonda em película celofane.

O teste foi feito dia 27 e março de 2014 e os valores lidos apresentam-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Resultados obtidos no 2º teste de condutibilidade térmica (teste válido)

λ (W/m.°C)	0.2364
cρ x10^6 (J/m^3.°C)	0.3217
α (m^2/s)	0.7349
T_{mean} (°C)	19.607
ΔT (°C)	9.8992

Estima-se que a solução (placa de PVC + manta geotêxtil + sistema e rega + manta geotêxtil) tenha 6 cm de espessura.

Os resultados obtidos foram o mais exactos possível mas convém ressalvar que o Isomet 2114 é indicado para amostras compactas e homogéneas (Applied Precision Ltd.) e, por isso, o método utilizado pode não ter sido o mais adequado, pretendendo-se apenas obter uma estimativa do valor de condutibilidade térmica. Ressalva-se que o valor de condutibilidade térmica varia consoante o teor de humidade da manta de geotêxtil, o que significa que o valor obtido varia consoante as condições atmosféricas e de rega.

4.4. Considerações finais

Ao longo deste capítulo foi feita a análise dos resultados obtidos no primeiro caso de estudo, a Travessa do Patrocínio n.º5, em Lisboa. Tanto na campanha de Verão como de Inverno escolheram-se dias-tipo que melhor representassem as condições mais extremas e, como tal, as mais exigentes para as fachadas verdes.

Em ambas as campanhas de monitorização se verificaram fenómenos inerentes a este tipo de solução que contribuíram para melhorar o comportamento térmico do edifício, tais como a evapotranspiração, a absorção da radiação solar e o sombreamento provocado pelas espécies vegetais.

Além do estudo da fachada verde também houve a oportunidade de monitorizar uma fachada convencional em betão, do mesmo edifício, o que permitiu estabelecer comparações entre as duas soluções que estiveram sujeitas às mesmas condições atmosféricas.

Deste modo concluiu-se que:

- Tanto no Inverno como no Verão as temperaturas superficiais interiores da fachada com vegetação não apresentaram diferenças significativas entre os diferentes pontos monitorizados. Numa primeira análise era esperado que tal não se verificasse pois o espaçamento de caixa-de-ar é variável e tal facto poderia fazer variar a resistência térmica da solução. No entanto, e de acordo com o despacho n.º 15793-K/2013 "Nos espaços de ar com espessuras superiores a 300 mm não deve ser considerada uma resistência térmica única, sendo que o balanço de perdas e ganhos térmicos deverá ser feito de acordo com a norma EN ISO 13789, pelo que deverá ser considerado um espaço não útil." De facto, a zona monitorizada corresponde precisamente a uma espessura de caixa-de-ar superior a 300mm, variando mais precisamente entre 440 e 670mm. Estima-se que o corte AA' tenha uma caixa-de-ar de 670mm, o corte BB' 530mm e o DD' 440mm. Assim sendo, como o valor da resistência térmica deste espaço não útil será elevado, este leva à homogeneização da temperatura superficial interior do Piso 2 que não se revelou influenciada pelas diferentes densidades da vegetação em toda da fachada. A vegetação ajuda a diminuir a temperatura superficial exterior, contribuindo para um fluxo de calor menor do que numa fachada convencional, mas o isolamento provocado pela caixa-de-ar de espessura elevada homogeneíza a temperatura superficial interior, o que resulta num equilíbrio dessa mesma temperatura nos diferentes pontos da parede;
- Relativamente ao comportamento da fachada verde verificou-se em ambas as campanhas que a influência do teor de humidade na manta geotêxtil é notória uma vez que nos dias-tipo foi visível um decréscimo de temperatura superficial exterior após a rega mesmo quando a radiação solar aumentava. Cheng et al. (2010) verificou que o efeito da evapotranspiração reduzia até 5°C a temperatura superficial exterior;
- Ainda exteriormente é evidente a diferença de densidades da vegetação que resulta numa variação de temperaturas dependendo da espécie a tratar. Quando comparado com a

superfície de betão do Piso 0 essas diferenças foram ainda mais relevantes pois os valores registados foram sempre inferiores aos da superfície de betão durante o período do dia com radiação solar. De realçar que a fachada verde esteve sempre mais exposta ao sol do que a fachada de betão devido à diferença de alturas de 2 pisos (6 metros) e ainda ao sombreamento provocado pela estrutura que compõe o jardim vertical. Tal facto já tinha sido comprovado por Cheng et al. (2010) onde também fez um estudo comparativo entre fachada verde e fachada convencional, apesar de noutro clima, e por Olivieri et al. (2014) em clima mediterrâneo. Ainda Koyama et al. (2013) estudou os efeitos nas temperaturas sentidas em diferentes espécies e verificou que estas, quando comparadas com uma fachada convencional, reduziam entre 4 a 11°C, dependendo da densidade da vegetação;

- As temperaturas interiores estiveram sempre influenciadas pela área de envidraçados e pelo tempo de exposição solar diferente nos dois pisos. Esses parâmetros foram prejudiciais à comparação entre fachada de betão/fachada verde pois o piso zero só possui envidraçados na fachada nordeste, os quais estiveram sempre protegidos pelas ripas de madeira que cobrem toda a área da janela. Assim sendo, as temperaturas interiores ambientais do Piso 2 (fachada verde) foram sempre superiores às do escritório (fachada de betão).

5. Análise experimental – Caso de estudo 2

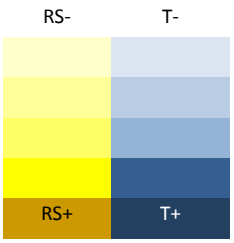
À semelhança do capítulo anterior, foram feitas duas campanhas de monitorização em 2014, no Inverno e no Verão. Este caso refere-se à entrada principal para um estúdio de música situado em Paço de Arcos onde se registaram os valores relativos ao comportamento térmico da fachada verde de 13 a 19 de Fevereiro e de 27 de Fevereiro a 13 de Março durante o Inverno e de 18 de Junho a 2 de Julho e de 5 a 10 de Julho no Verão. Novamente se seleccionaram os dias-tipo mais relevantes para o estudo.

5.1. Campanha de Inverno

Neste período seleccionaram-se três dias: o dia com menor temperatura média, e o de maior e menor radiação solar média. Como não houve registos plausíveis obtidos a partir dos piranómetros devido ao local sombreado onde se encontravam, usaram-se os dados registados no caso de estudo 1 para selecionar os dias de maior e menor radiação solar média. Os locais distam entre si de 10,8km em linha recta e têm a mesma latitude. Novamente rejeitaram-se os dias que não registaram as 24 horas completas, tais como o primeiro e último dia de campanha e aqueles em que ocorreram interrupções devido a falhas técnicas ou ao preenchimento total da memória do aparelho de monitorização.

Tabela 5.1: Temperatura média diária e radiação média diária medida no plano horizontal, durante os dias da campanha de Inverno

Data Inverno 2014	Temperatura média ambiente diária (°C)	Radiação solar média diária (W/m²)
13 Fev	15.4	16.4
14 Fev	13.7	22.4
15 Fev	12.2	97.9
16 Fev	10.9	114.0
17 Fev	10.1	88.0
18 Fev	11.9	148.6
19 Fev	12.9	102.6
27 Fev	13.4	52.1
28 Fev	13.7	-
1 Mar	13.7	-
2 Mar	14.0	-
3 Mar	14.7	76.7
4 Mar	13.7	79.4
5 Mar	15.9	101.2
6 Mar	16.3	120.7
7 Mar	16.8	128.6
8 Mar	18.3	94.0
9 Mar	15.0	35.0
10 Mar	17.2	104.1
11 Mar	18.1	-
12 Mar	16.8	-
13 Mar	16.0	-



Através da Tabela 5.1 pode-se concluir que os dias com condições mais extremas são os seguintes:

- 17 de Fevereiro – Dia mais frio (10.1°C);
- 13 de Fevereiro - Dia com menor radiação solar (16.4W/m²);
- 18 de Fevereiro – Dia com maior radiação solar (148.6W/m²).

Visto tratar-se de um local com o sistema de climatização activo durante os dias úteis, revelou-se interessante analisar um dia em que o mesmo não se encontrava ligado por ser Domingo. A campanha cobriu três Domingos e o que se considerou mais relevante foi o dia 16 de Fevereiro por ser o segundo dia mais frio de toda a campanha. Importa referir que o sensor denominado nas legendas dos gráficos por "Pir" diz respeito ao piranómetro do caso de estudo 1.

Começando por analisar o dia mais frio, mostra-se na Figura 5.1 a comparação de temperaturas ambientes exterior e interior, cuja legenda dos sensores se refere à Figura 3.42.

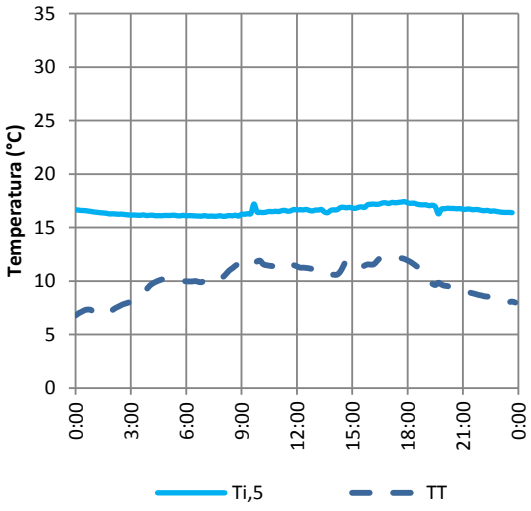


Figura 5.1: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DF+ (17/2)

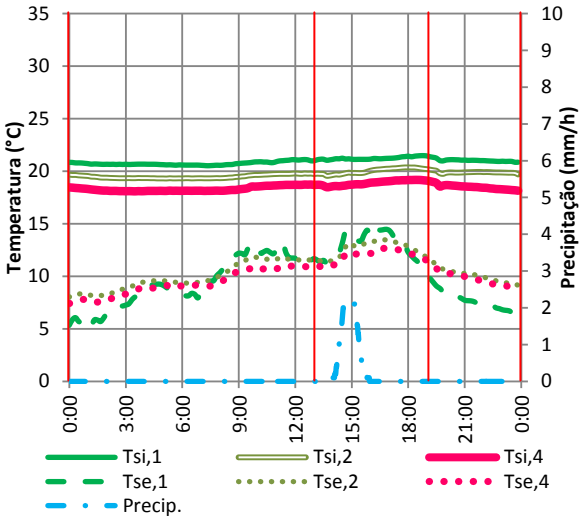


Figura 5.2: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e precipitação no DF+ (17/2)

Apesar de haver sistema de ar-condicionado, a área é de cerca de 50m² e trata-se de uma zona de circulação com constantes aberturas para o exterior. O aparelho era desligado fora do horário laboral. As temperaturas superficiais exteriores mantiveram-se em valores baixos, tal como seria expectável pois neste dia registou-se alguma precipitação e a radiação solar média diária foi baixa. Por esse mesmo motivo a semelhança entre as temperaturas superficiais é evidente pois com pouca radiação o efeito do sombreamento da vegetação é pouco sentido na superfície exterior. Mesmo assim manteve-se a ligeira diferença entre as diferentes zonas, condizendo com as respectivas densidades, em que a espécie mais densa manteve temperaturas médias inferiores e a cobertura registou temperaturas média superiores, tanto interior como exteriormente no período da manhã e da tarde. Observa-se novamente no período de rega das 13:00 uma descida da temperatura superficial exterior devido à presença de água no geotêxtil.

Para melhor compreensão do comportamento da fachada e da cobertura, introduziram-se os valores dos fluxos de calor registados no dia mais frio (17/2). A zona mais densa (zona 4) isola melhor a entrada de calor, registando menores fluxos do que os restantes pontos estudados. No entanto, a maior diferença verifica-se na cobertura onde não há caixa-de-ar e a zona está mais exposta, traduzindo-se em maiores entradas de calor ao longo do dia.

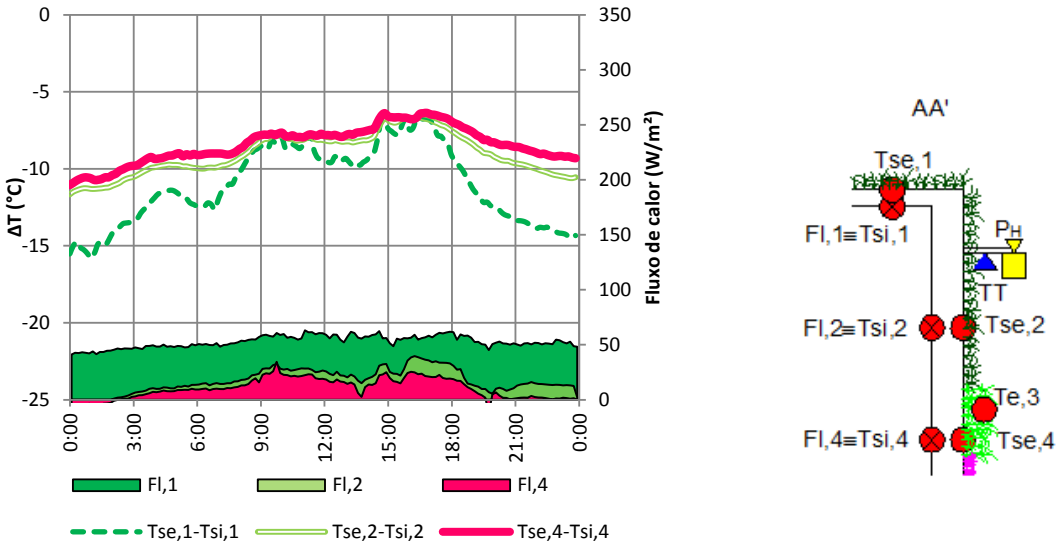


Figura 5.3: Temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DF+ (17/2)

Quanto à evolução da humidade relativa, observa-se pela Figura 5.4 que neste dia os valores foram sempre elevados devido às condições atmosféricas já referidas e subiram durante o período de rega das 13:00, tendo-se seguido um decréscimo até aos 60% na altura mais quente do dia. Esse decréscimo provocou a evapotranspiração das plantas e permitiu uma estabilização da temperatura superficial entre as 15:00 e as 18:00, quando numa fachada convencional seria esperado um aumento da mesma.

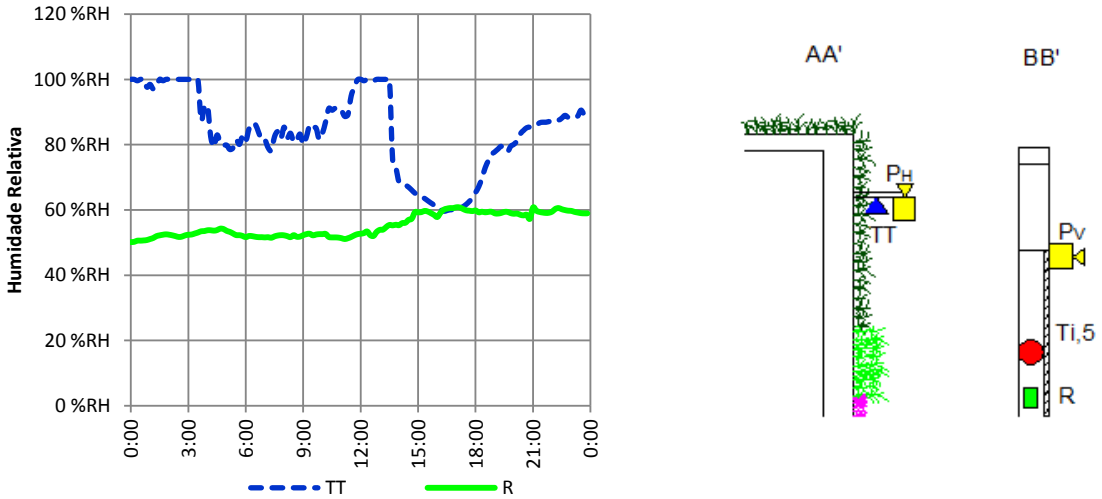


Figura 5.4: Evolução da humidade relativa no DF+ (17/2)

Tabela 5.2: Valores de referência registados no estúdio de som no DF+ (17/2)

			Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
			Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Exterior	Densidade da vegetação	Alta	7,4	10,1	12,7	-	-	-
		Média (Cobertura)	4,9	9,9	14,5	-	-	-
		Baixa	8,0	10,6	13,5	-	-	-
	Ambiente		6,8	10,1	12,3	-	-	-
Interior	Densidade da vegetação	Alta	18,1	18,5	19,2	-1,2	10,4	34,5
		Média (Cobertura)	20,5	20,9	21,5	41,2	52,8	63,2
		Baixa	19,3	19,7	20,4	-4,6	17,2	39,7
	Ambiente		16,1	16,6	17,4	-	-	-

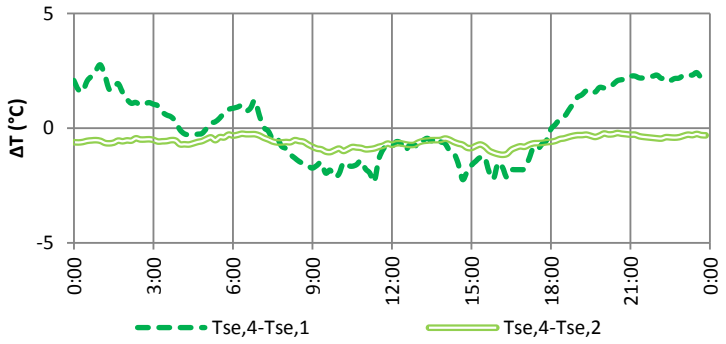


Figura 5.5: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DF+ (17/2)

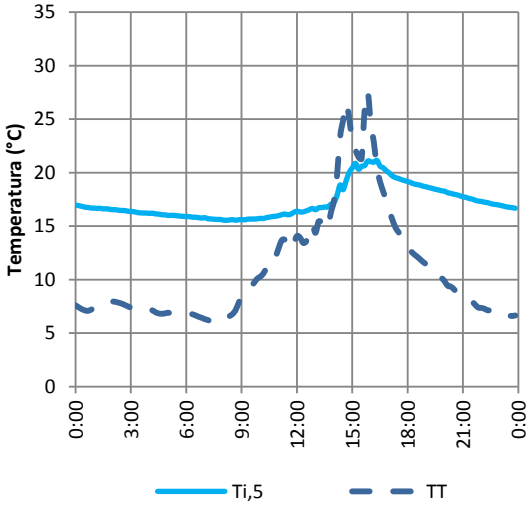


Figura 5.6: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no 2º dia mais frio (16/2)

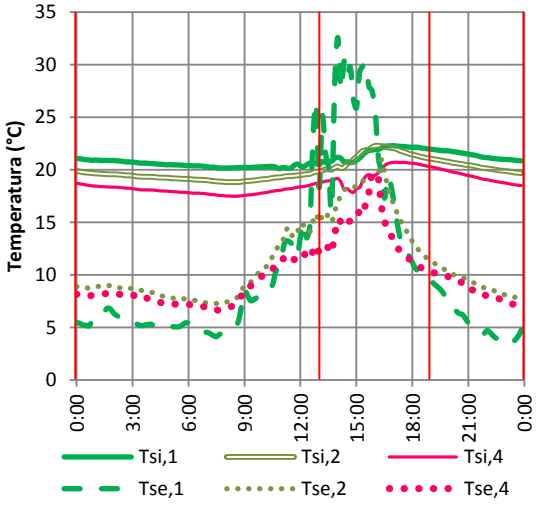


Figura 5.7: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores no 2º dia mais frio (16/2)

Neste dia-tipo a temperatura interior variou aproximadamente 5°C, entre os 15 e os 20°C e no exterior a amplitude térmica foi obviamente maior, chegando a atingir a temperatura mínima de 6°C de madrugada. Quanto às temperaturas superficiais, estas apresentam-se na Figura 5.7 e pode-se ver a evolução das mesmas consoante o posicionamento dos termopares. A zona de cobertura é evidente por

ter o maior pico de temperatura pois nela incidia a radiação solar directa durante um período de tempo mais prolongado. Quanto às posições 2 e 4 do esquema de sensores existe uma ligeira diferença de temperatura que está relacionada com a diferença entre as espécies monitorizadas e que, logicamente, o termopar da posição 4 registou valores inferiores no exterior por estar mais protegido pela densidade maior da vegetação. Por ser Domingo, o sistema de ar-condicionado esteve sempre desligado e portanto não houve influência do mesmo.

Os períodos de rega estavam igualmente programados para as 0:00, 13:00 e 19:00, e analisando o momento das 13:00 é visível um decréscimo da temperatura provocado pela activação automática dos aspersores que perturbaram a subida de temperatura que se estava a registar nessa mesma altura.

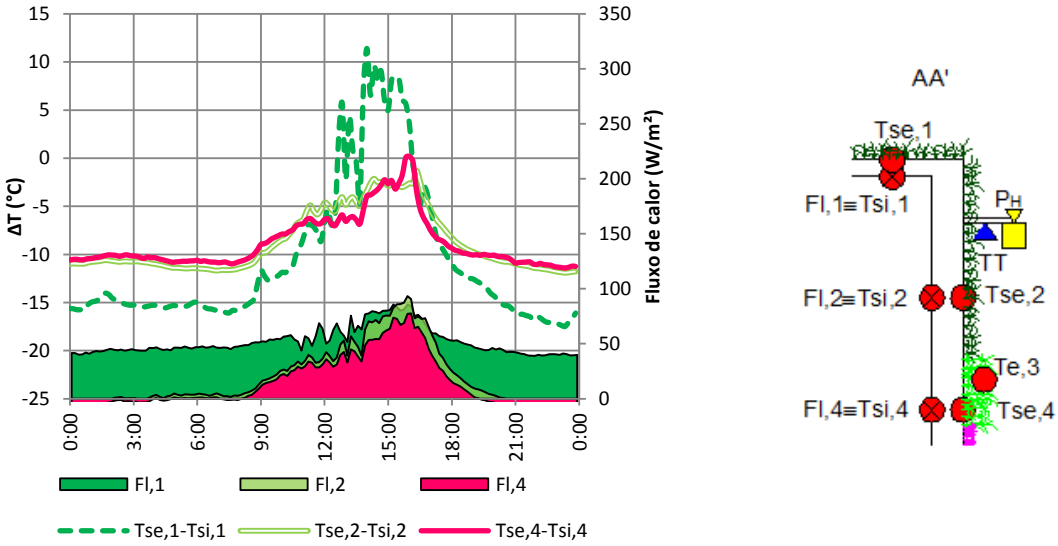


Figura 5.8: Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no 2º dia mais frio (16/2)

No mesmo corte analisado na Figura 5.7 introduziram-se agora os gráficos relativos aos fluxos de calor dos mesmos pontos e denota-se uma evolução semelhante entre o ponto 2 e o ponto 4, com uma ligeira diferença que se justifica novamente com a maior densidade da vegetação no ponto 4 que, graças ao sombreamento por ela provocado, reduz as temperaturas superficiais e isola melhor a entrada de calor para o interior. Já na cobertura (ponto 1) é notório um fluxo de calor maior, mesmo no período do dia em que não há radiação solar, havendo no entanto um equilíbrio no pico de maior entrada de calor quando comparado com a fachada verde. Esses picos de fluxo de calor relacionam-se com a proximidade de valores entre a temperatura interior e exterior de um certo ponto, como se pode verificar na Figura 5.7. Quanto maior a diferença de temperatura entre exterior e interior, maior o fluxo de calor.

Como já foi referido, durante a campanha de Inverno o posicionamento dos piranómetros não permitiu uma leitura fidedigna da radiação solar pois os sensores não tinham comprimento suficiente para estarem expostos à luminosidade. No entanto, na campanha de Verão houve o cuidado de instalar

sensores que permitissem uma leitura mais adequada desta grandeza, tendo sido colocados nos pontos representados no esquema ilustrativo apresentado anteriormente.

Quanto à humidade relativa interior e exterior, registadas pelo Rotronic e Tinytag respectivamente, verifica-se novamente a influência do sistema de rega que, às 13:00 atenua o decréscimo de humidade exterior, provocando mesmo um ligeiro aumento da mesma e que interiormente também retarda o decréscimo da humidade ao longo de 3 horas, efeito esse que pode ser justificado com a evapotranspiração da vegetação, conforme se pode comprovar pela análise da Figura 5.9.

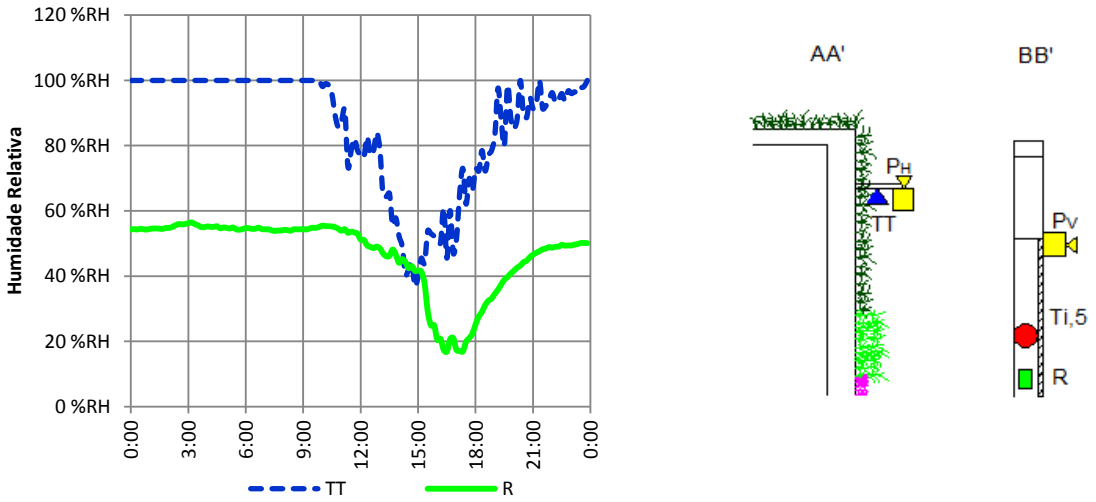


Figura 5.9: Evolução da humidade relativa no 2º dia mais frio (16/2)

Tabela 5.3: Valores de referência registados no estúdio de som no 2º dia mais frio (16/2)

			Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
			Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Exterior	Densidade da vegetação	Alta	6,6	9,9	19,7	-	-	-
		Média (Cobertura)	3,5	10,3	32,6	-	-	-
		Baixa	7,3	11,2	21,0	-	-	-
	Ambiente		6,0	10,9	27,5	-	-	-
Interior	Densidade da vegetação	Alta	17,5	18,7	20,7	-1,09	13,4	77,7
		Média (Cobertura)	20,1	21,0	22,3	39,1	52,2	85,8
		Baixa	18,8	20,0	22,3	-0,76	19,6	93,4
	Ambiente		15,5	17,2	21,1	-	-	-

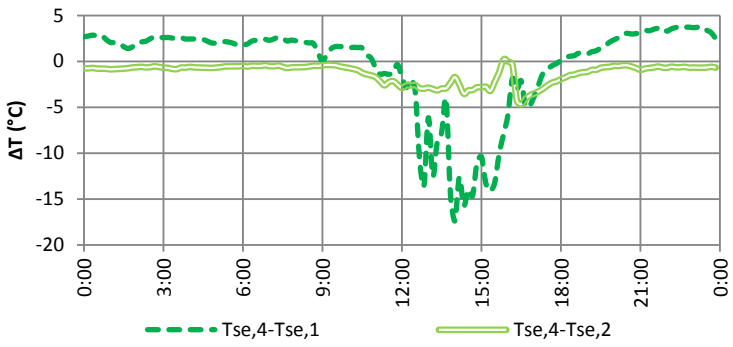


Figura 5.10: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no 2º dia mais frio (16/2)

Comparando os dois dias mais frios (17/2 e 16/2) em que se sabe que no dia mais frio o sistema de climatização esteve a funcionar e no outro não por ser Domingo, foi perceptível uma maior variação das temperaturas interiores a 16 de Fevereiro. Tal variação também esteve associada ao aumento da temperatura ambiente exterior, cuja variação foi diferente da do dia mais frio (17/2). Mesmo assim considerou-se importante analisar este dia por não ter influência do sistema de ar-condicionado, proporcionando uma análise mais fidedigna do comportamento do revestimento vegetal.

Quanto ao dia com menor radiação solar começa-se por mostrar, na Figura 5.11, a variação de temperaturas ambientes, interior e exterior.

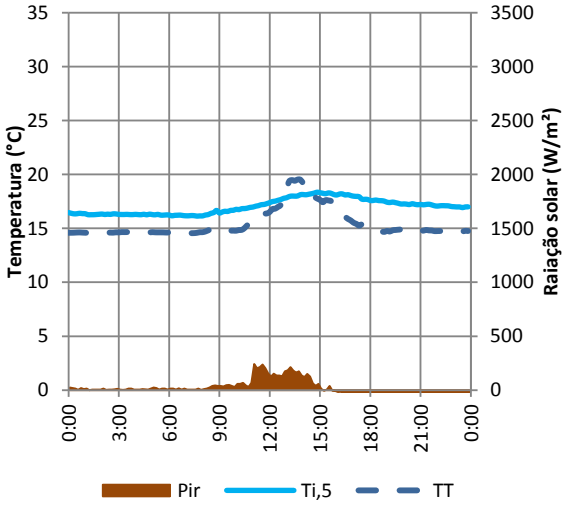


Figura 5.11: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DRS- (13/2)

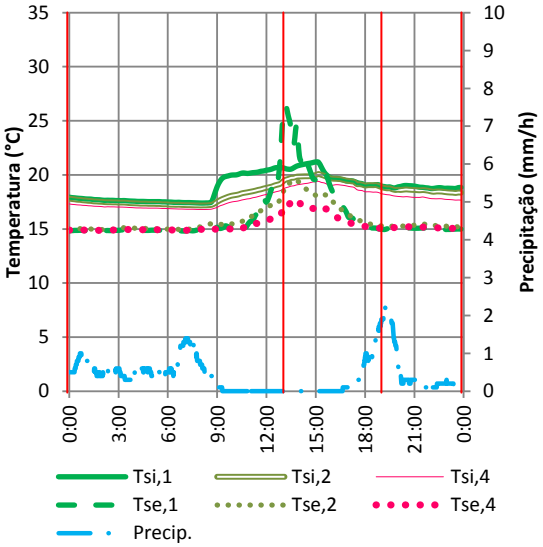


Figura 5.12: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e precipitação no DRS- (13/2)

Mesmo quando o efeito do sombreamento é pouco sentido, o comportamento da fachada verde é positivo na medida em que interiormente há uma estabilidade da temperatura mesmo apesar da variação exterior ser mais evidente. É visível também que por a densidade da vegetação no ponto 2 da fachada ser quase inexistente, o isolamento ficou comprometido quando comparado com o ponto 4, onde a temperatura exterior superficial está mais baixa e, consequentemente, a interior superficial

também, como demonstra a Figura 5.12. Já na cobertura, que está mais exposta à radiação solar pois o plano em que se encontra faz com que haja mais energia solar absorvida, a temperatura superficial aumenta. Ao observar novamente a Figura 5.12 é evidente esse aumento durante o período do dia em que a radiação incide com uma menor inclinação. Também nessa mesma figura é evidente novamente o efeito do sistema de rega que influencia a temperatura superficial exterior ao provocar um decréscimo acentuado à hora da rega, mesmo quando a radiação se manteve praticamente constante. Aí, o efeito da evapotranspiração torna-se claro pois a evaporação da água proveniente do geotêxtil e das plantas diminuiu a temperatura nas duas horas seguintes à rega e posteriormente a evolução do decréscimo varia ligeiramente, podendo-se concluir que a influência da evapotranspiração durou cerca de duas horas e após este período o decréscimo de temperatura abrandou o seu ritmo devido à presença de radiação solar no final do dia até ao princípio da noite.

Adicionalmente, na Figura 5.13, representa-se o fluxo de calor no dia de menor radiação que, comparativamente com o dia mais frio (Figura 5.8), armazenou menos calor no interior do *hall* durante a noite devido à menor intensidade da radiação solar verificada neste dia e também devido ao facto de a diferença entre temperaturas interiores e exteriores ser menor por se tratar também de um dos dias menos frios desta campanha.

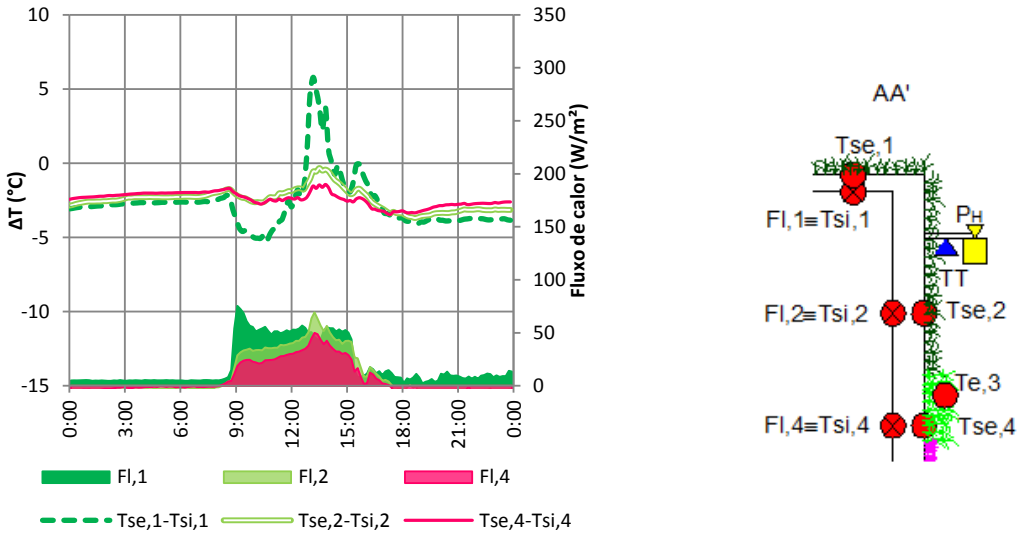


Figura 5.13:Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DRS- (13/2)

Neste dia em que foi registada precipitação durante grande parte do dia (entre as 0:00 e as 9:00 e mais tarde entre as 16:00 e as 23:00), a humidade sentida na envolvente da estrutura esteve sempre alta, e consequentemente as mantas de geotêxtil saturadas. Deste modo os fluxos foram maiores durante o período da tarde em que não choveu, quando comparado com o dia de maior radiação ou com o dia mais frio, entre as 9:00 e as 16:00 pois a água presente nas mantas aumentou a condutibilidade térmica das mesmas pois neste dia o fenómeno de evapotranspiração foi menos sentido devido à reduzida intensidade solar.

Tabela 5.4: Valores de referência registados no estúdio de som no DRS- (13/2)

			Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
			Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Exterior	Densidade da vegetação	Alta	14,9	15,4	17,6	-	-	-
		Média (Cobertura)	14,8	16,2	26,4	-	-	-
		Baixa	14,9	15,9	19,4	-	-	-
	Ambiente		14,5	15,4	19,5	-	-	-
Interior	Densidade da vegetação	Alta	16,8	17,8	19,4	-1,47	5,9	50,0
		Média (Cobertura)	17,4	18,9	21,2	2,3	19,9	75,4
		Baixa	17,2	18,3	20,1	-1,53	9,2	69,3
	Ambiente		16,1	17,0	18,4	-	-	-

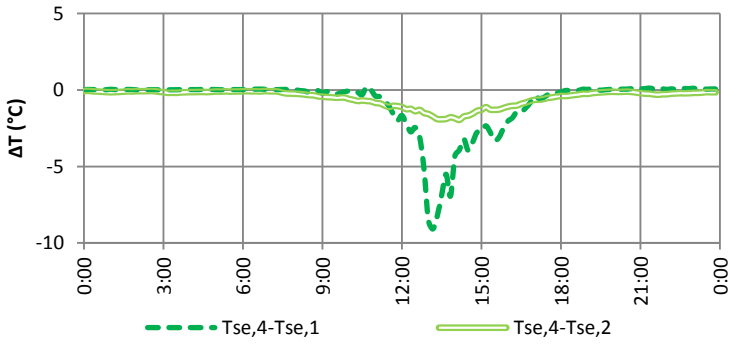


Figura 5.14: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS- (13/2)

Apresenta-se de seguida o dia de maior radiação solar da estação de Inverno que coincidiu com um dos dias mais frios no qual foi notório que, mesmo com uma intensidade de radiação solar maior, o comportamento do recobrimento vegetal mantém os picos na mesma ordem de grandeza (27°C), comprovando que esta solução reduz a absorção de energia solar, como se pode observar na Figura 5.16. Este facto justifica-se com as características presentes nas plantas que absorvem radiação solar para o seu desenvolvimento, através da fotossíntese, formando uma barreira na edificação. Na Figura 5.16 existe uma diferença de 3 horas entre os picos de maior temperatura e de maior radiação devido ao sombreamento provocado pelo edifício adjacente que se encontra no lado nascente do *hall* do estúdio de som. Convém recordar que a monitorização da radiação solar no Inverno só foi válida no Caso de estudo 1 – Travessa do Patrocínio, que dista de 10,8 km deste local. Na Figura 5.15 apresenta-se a evolução das temperaturas ambientes, interior e exterior, do dia de maior radiação solar onde a temperatura exterior foi menos constante, com maior amplitude térmica e temperaturas exteriores mais baixas de madrugada quando comparada com a do dia de menor radiação solar. Mesmo assim, o comportamento isolante da fachada manteve a temperatura ambiente interior mais constante, variando cerca de 3°C ao longo das 24 horas desse mesmo dia.

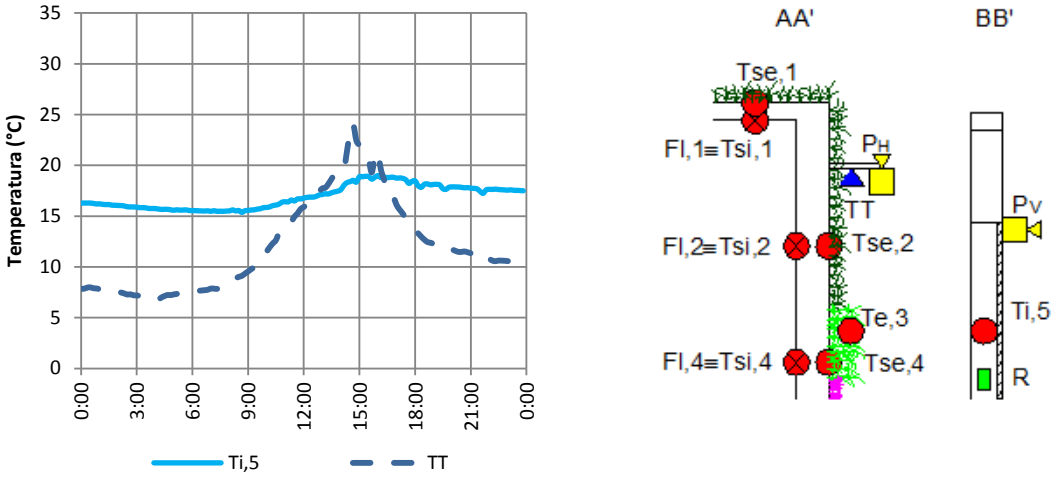


Figura 5.15: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DRS+ (18/2)

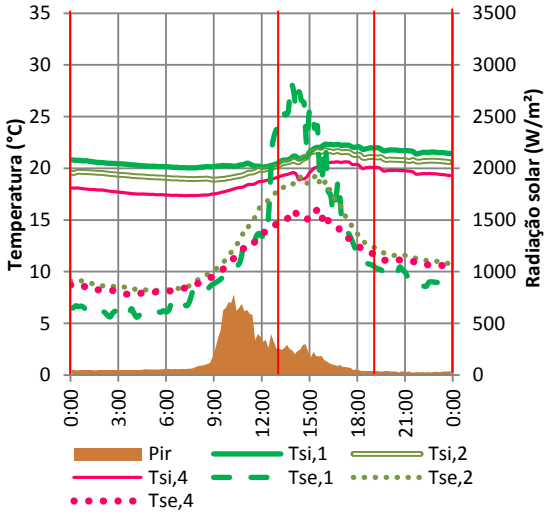


Figura 5.16: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores no DRS+ (18/2)

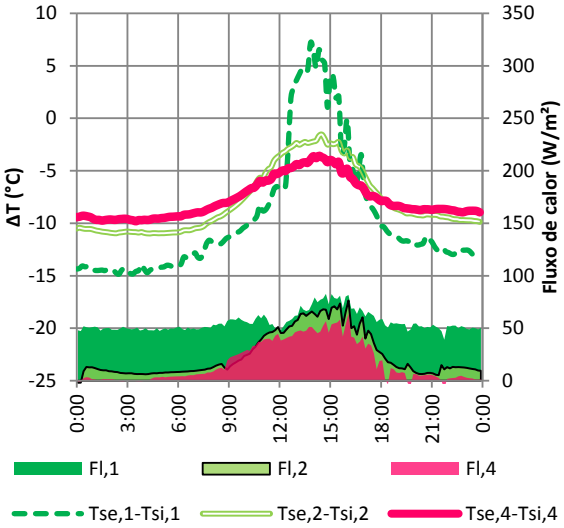


Figura 5.17: Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DRS+ (18/2)

Já na Figura 5.17 apresentam-se os fluxos de calor que em muito se assemelham aos do dia mais frio (Figura 5.8), comprovando assim que a fachada verde tem um papel importante a filtrar a radiação solar mesmo quando esta apresenta os valores mais elevados.

Na Figura 5.18 é visível o aumento da humidade relativa no período de rega das 13:00 que atenuou a temperatura superficial na fachada verde.

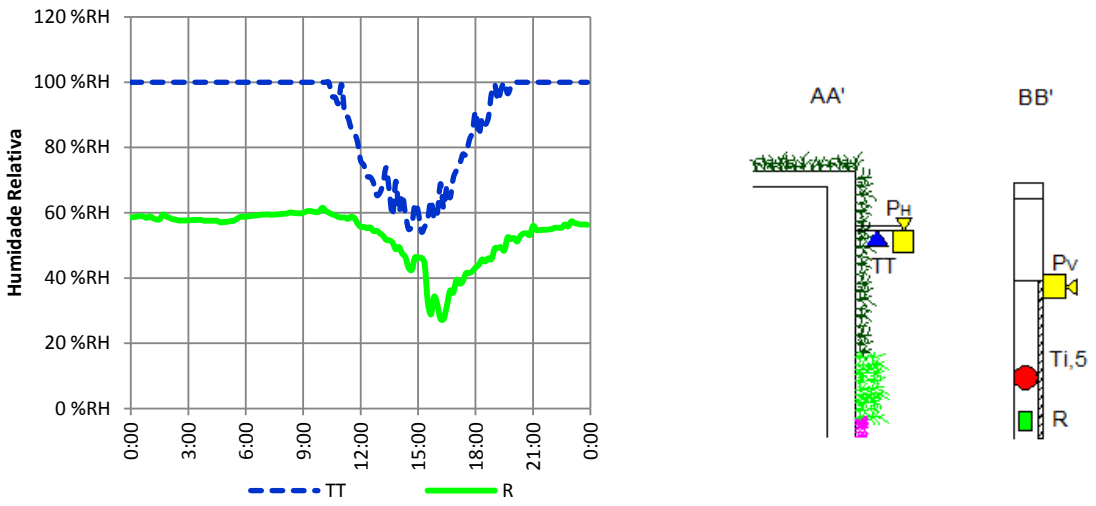


Figura 5.18: Evolução da humidade relativa no DRS+ (18/2)

Tabela 5.5: Valores de referência registados no estúdio de som no DRS+ (18/2)

			Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
			Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Exterior	Densidade da vegetação	Alta	7,8	11,0	16,0	-	-	-
		Média (Cobertura)	5,6	11,4	28,2	-	-	-
		Baixa	8,2	12,2	19,4	-	-	-
	Ambiente		6,8	11,9	24,0	-	-	-
Interior	Densidade da vegetação	Alta	17,4	18,7	20,6	-0,79	17,3	63,9
		Média (Cobertura)	20,0	20,9	22,3	39,0	55,8	82,7
		Baixa	18,9	20,1	21,8	-0,19	24,3	76,4
	Ambiente		15,4	16,9	19,0	-	-	-

Figura 5.19: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS+ (18/2)

Para uma melhor compreensão do caso de estudo e de como está exposto à radiação solar, apresenta-se na Figura 5.20 e na Figura 5.21 as imagens obtidas através da câmara de termografia ThermaCAM que recorre a infravermelhos para produzir uma imagem que traduza as temperaturas superficiais presentes na superfície fotografada. Estas imagens foram obtidas no período da manhã em que o sol ainda não estava a incidir sobre a fachada estudada. De qualquer modo é perceptível na Figura 5.20 a

zona 2 onde, por apresentar menos densidade e necessitar de manutenção, as temperaturas são mais elevadas do que na restante vegetação.

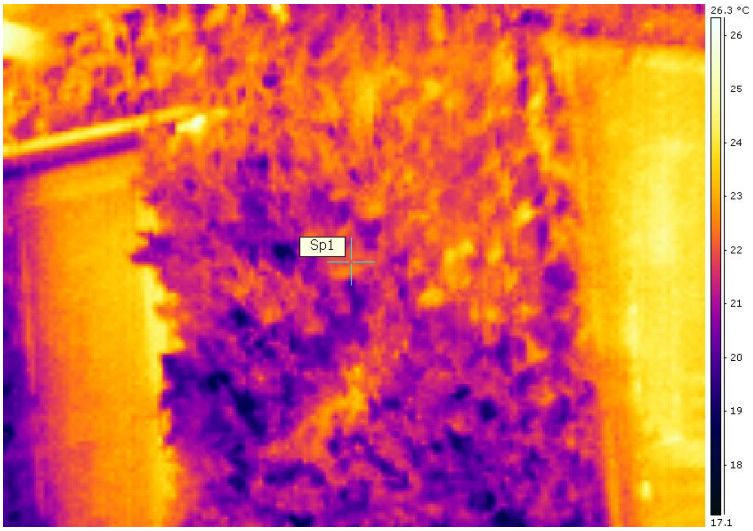


Figura 5.20: Termografia da fachada estudada

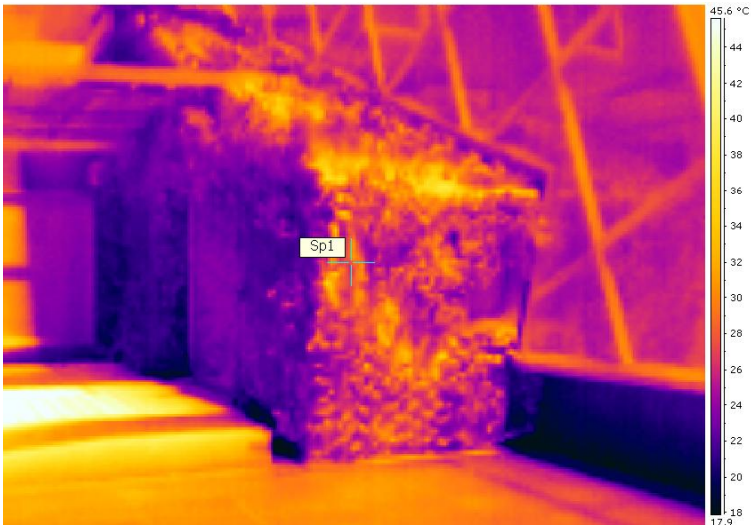


Figura 5.21: Termografia de todo o caso de estudo

5.2. Campanha de Verão

Para esta estação fez-se novamente a escolha dos dias-tipo que melhor a caracterizassem a partir da temperatura média ambiente exterior, registada pelo termohigrómetro Tinytag e da radiação solar medida no plano horizontal, adquirida pelo piranómetro Ph. Nesta campanha instalaram-se os piranómetros nos locais mais convenientes pois o comprimento dos mesmos já o permitia. Deste modo a informação respeitante à radiação solar está de acordo com o local em estudo. Importa salientar que o piranómetro respeitante à radiação incidente no plano vertical foi posicionado numa zona sombreada pois a fachada em estudo também o é, e por isso os registos do mesmo sensor são bastante inferiores aos do piranómetro colocado no plano horizontal que esteve mais exposto ao sol. De referir que, à semelhança das campanhas anteriores, excluíram-se os dados referentes ao primeiro e último dia de campanha por não possuírem a totalidade de informação que completasse as 24 horas desse mesmo dia e também os períodos em que não foi possível obter registos devido a falhas técnicas.

Tabela 5.6: Temperatura média diária e radiação solar média diária medida no plano horizontal, da campanha de Verão

Data Inverno 2014	Temperatura média ambiente diária (°C)	Radiação solar média diária (W/m²)
18 Jun	20.9	289.3
19 Jun	19.4	344.9
20 Jun	19.7	347.6
21 Jun	20.2	288.7
22 Jun	19.1	158.7
23 Jun	18.5	205.8
24 Jun	20.1	246.1
25 Jun	21.3	285.1
26 Jun	21.4	347.5
27 Jun	21.5	351.9
28 Jun	21.7	223.4
29 Jun	20.7	352.5
30 Jun	21.6	351.8
1 Jul	22.2	218.4
2 Jul	22.7	262.5
5 Jul	21.7	300.7
6 Jul	20.6	169.4
7 Jul	20.3	319.8
8 Jul	21.3	328.0
9 Jul	22.9	326.7
10 Jul	23.3	327.2

RS-	T-
RS+	T+

Pela análise da Tabela 5.6 conclui-se que os dias com condições mais extremas são os seguintes:

- 29 de Junho – Dia com maior radiação solar (352.5 W/m²); (Domingo)
- 10 de Julho – Dia mais quente (23.3°C).

Começando por estudar o dia mais quente, mostra-se na Figura 5.22 a comparação de temperaturas exterior e interior, cuja legenda dos sensores se refere à Figura 3.42.

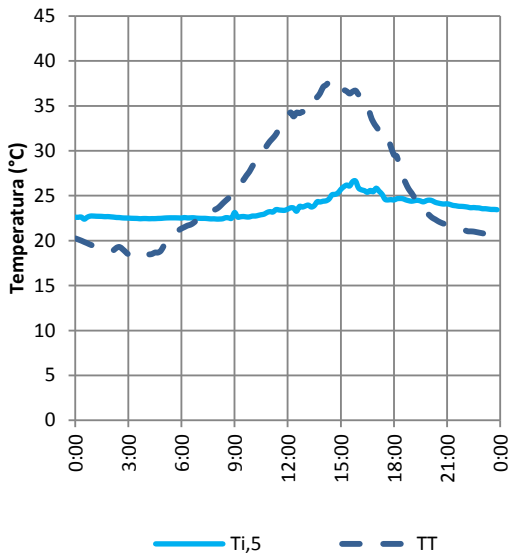


Figura 5.22: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DQ+ (10/7)

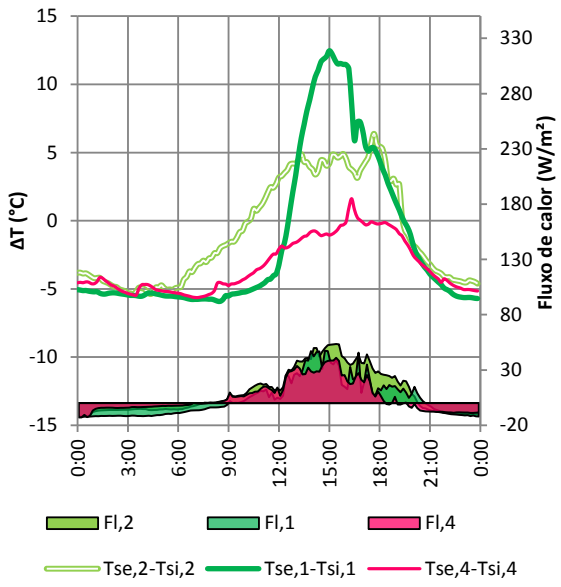


Figura 5.23: Diferenças entre temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DQ+ (10/7)

Neste dia-tipo a temperatura interior variou aproximadamente 5°C, entre os 23 e os 27°C enquanto no exterior se verificou uma grande amplitude térmica, variando entre 19 e 38°C. Na Figura 5.23 apresenta-se a evolução das temperaturas superficiais, interiores e exteriores, bem como dos respectivos fluxos. As temperaturas superficiais exteriores revelaram as suas diferenças no período do dia em que existia radiação solar, havendo novamente um maior pico na zona da cobertura por nela incidir a maior quantidade de radiação directa. Mesmo assim o comportamento da fachada verde durante a noite revelou-se bastante positivo na medida em que os fluxos de calor foram sempre negativos ou nulos, traduzindo-se esses valores em saída de calor, mesmo na zona da cobertura (fluxímetro Fl,1). As temperaturas interiores dos três locais estudados (Tsi,1, Tsi,2 e Tsi,4) mantiveram-se semelhantes ao longo do dia. Convém voltar a frisar a influência do sistema de ar-condicionado nestes resultados. Nesta campanha a vegetação existente na zona 2 já tinha sido substituída pois como foi referido no subcapítulo **5.1 Campanha de Inverno**, a mesma era praticamente inexistente. Tal facto pode ser comprovado pelas Figura 5.24 e Figura 5.25, onde é visível a degradação da espécie anterior e a replantação de uma nova espécie mais densa na zona 2. Nestas mesmas figuras é perceptível também o adensamento da espécie presente na zona 4. Quanto aos resultados obtidos, novamente se observa que na zona 2 as temperaturas superficiais exteriores se revelaram superiores às restantes no período da manhã precisamente por ter pouca densidade de vegetação e consequentemente não ter sombreamento, aumentando a temperatura mais rapidamente. Na cobertura, apesar de o revestimento vegetal apresentar melhores condições, houve uma subida drástica da temperatura superficial por estar evidentemente mais exposto à radiação solar. Mesmo assim, comparando com a temperatura ambiente, a diferença não é significativa, demonstrando que este tipo de solução permite uma menor

absorção da energia solar devido às características presentes nas plantas que usam a radiação solar para o seu desenvolvimento e provocam a transpiração das mesmas, resultando num aumento da humidade envolvente do edifício e, por sua vez, num decréscimo da temperatura.

Figura 5.24: Fachada verde no Inverno

Figura 5.25: Fachada verde no Verão

Pela observação da Figura 5.26 é notória a relação do aumento acentuado das temperaturas superficiais com o aumento da radiação solar. No entanto, há um ligeiro abrandamento da temperatura na fachada quando é activada a rega às 13:00.

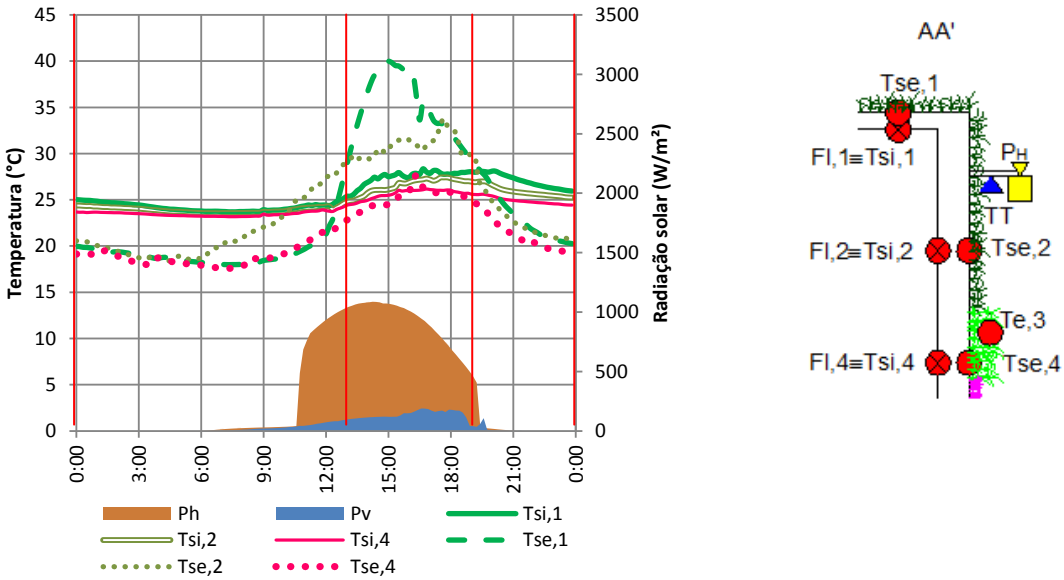


Figura 5.26: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e da radiação solar medida no plano horizontal no DQ+ (10/7)

Pela Figura 5.27 observa-se um decréscimo da humidade reativa até à hora da rega (13:00), estabilizando após esse momento de ligeiro aumento e tornando a aumentar quando a radiação solar é praticamente nula. Mesmo com as condições mais extremas de temperatura, a humidade exterior

manteve valores quase sempre superiores a 40%, quando nesse dia, de acordo com as medições da estação meteorológica do Instituto Superior Técnico (Anexo A.4), a humidade relativa do ar variou entre 20 a 40%, como é natural num dia típico de Verão. A humidade presente na envolvente do *hall* do estúdio devido à existência de água na manta geotêxtil e ao processo de evapotranspiração das plantas permitiu atenuar os efeitos da elevada temperatura sentida nesse dia que, superficialmente, praticamente nunca ultrapassaram os valores da temperatura ambiente, com excepção para a zona da cobertura (zona 1) e para a zona com densidade baixa de vegetação (zona 2) onde apenas ao final da tarde se verificou uma diferença nunca superior a 3°C, como se ilustra na Figura 5.28. De salientar que o Tinytag esteve sujeito ao sombreamento da pérgula e por isso os valores da temperatura registados na cobertura foram naturalmente mais elevados quando comparados com a temperatura ambiente do referido dispositivo.

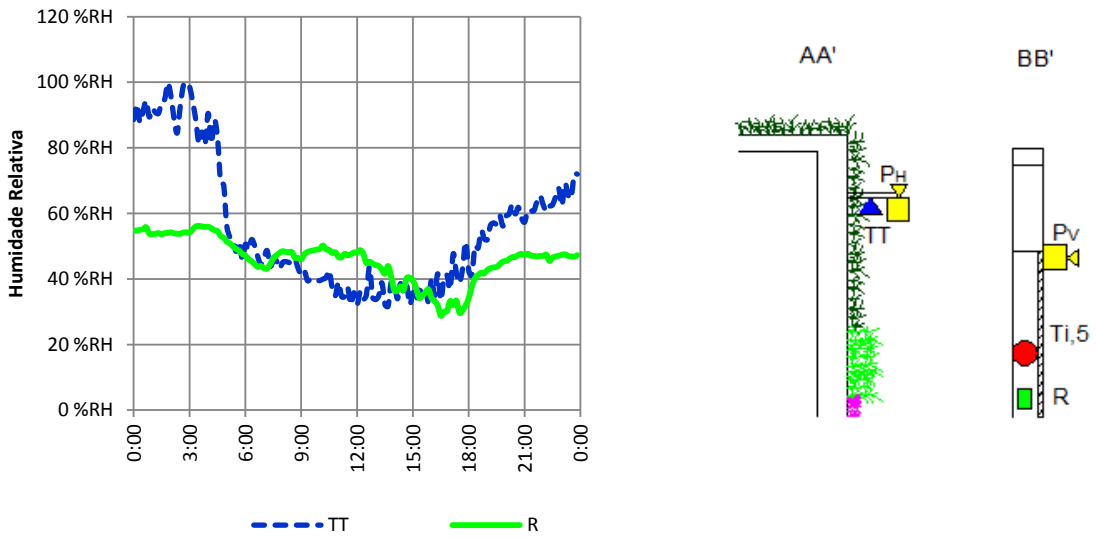


Figura 5.27: Evolução da humidade relativa interior (R) e exterior (TT) no DQ+ (10/7)

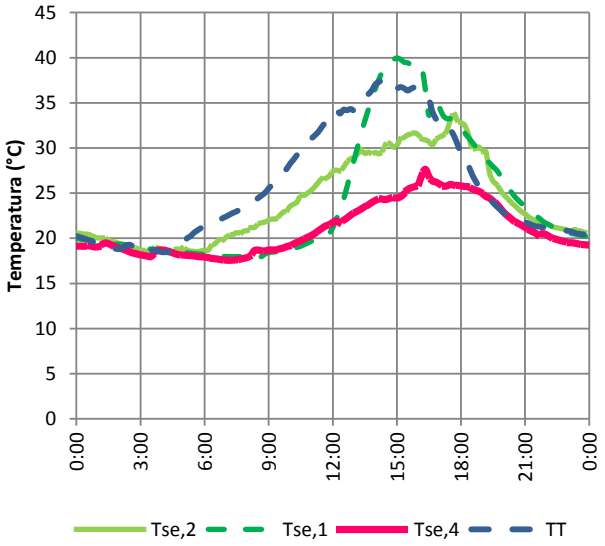


Figura 5.28: Evolução das temperaturas superficiais exteriores e da temperatura ambiente exterior no DQ+ (10/7)

Figura 5.29: Posicionamento do sensor Tinytag na campanha de Verão

Tabela 5.7: Valores de referência registados no estúdio de som no DQ+ (10/7)

			Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m^2)		
			Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Exterior	Densidade da vegetação	Alta	17,6	21,0	27,7	-	-	-
		Média (Cobertura)	17,9	24,1	40,0	-	-	-
		Baixa	18,4	24,1	33,8	-	-	-
	Ambiente		18,4	25,8	37,8	-	-	-
Interior	Densidade da vegetação	Alta	23,2	24,3	26,2	-13,0	5,1	40,9
		Média (Cobertura)	23,7	25,6	28,4	-12,3	4,1	47,4
		Baixa	23,5	25,0	27,4	-12,9	9,8	53,4
	Ambiente		22,4	23,6	26,6	-	-	-

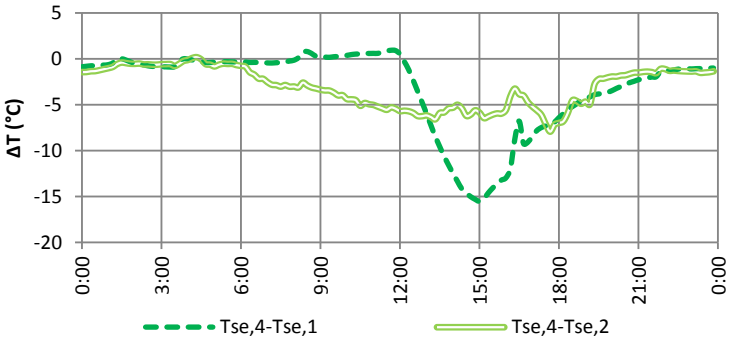


Figura 5.30: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DQ+ (10/7)

Estudando de seguida o dia de maior radiação solar, cuja influência no comportamento da fachada verde é também importante, apresentam-se na Figura 5.31 e na Figura 5.32 os resultados desse dia no

que diz respeito às temperaturas ambientes, temperaturas superficiais interiores e exteriores e ainda os fluxos de calor.

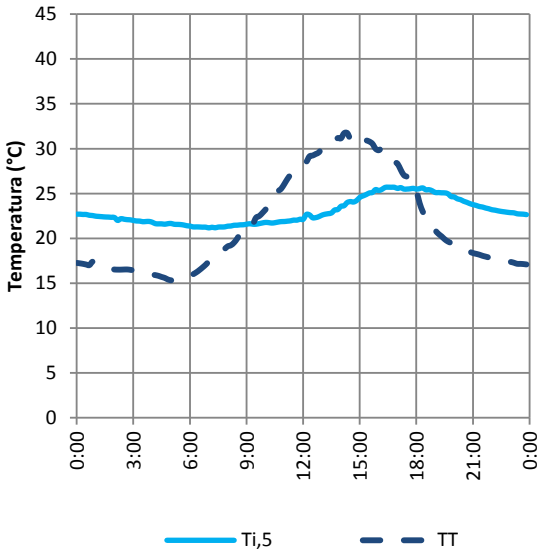


Figura 5.31: Evolução da temperatura ambiente no interior (Ti,5) e exterior (TT), no DRS+ (29/6)

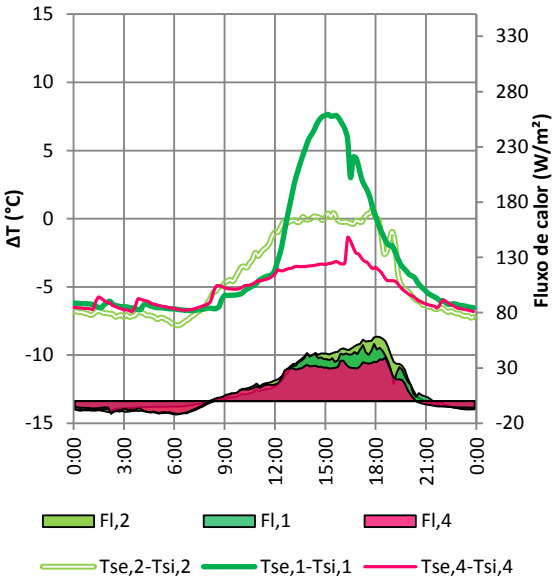


Figura 5.32: Temperaturas superficiais e fluxos de calor no corte AA' no DRS+ (29/6)

Neste dia não terá havido influência do sistema de ar-condicionado pois o estúdio encontrava-se encerrado por ser domingo. Observando atentamente a variação da temperatura interior nota-se que a linha de tendência é diferente da do dia 10/7 (dia útil) em que quase não houve variação da temperatura interior devido ao constante funcionamento do aparelho durante o horário laboral. Neste dia 29/6 a amplitude térmica da temperatura ambiente interior já foi maior mas mesmo assim manteve-se inferior aos 25°C, temperatura essa que é considerada a de conforto para esta estação (REH, 2013).

À semelhança do dia mais quente (10/7), as temperaturas superficiais estiveram mais altas na cobertura do que na fachada e na zona de maior densidade de vegetação registaram-se os valores mais baixos. Este dia teve a temperatura média ambiente mais baixa mas a radiação solar média foi maior e, comparando os dois dias-tipo, conclui-se que o comportamento da fachada, no que diz respeito à absorção da radiação solar, é positivo, mantendo as temperaturas superficiais mais baixas devido ao sombreamento provocado pela vegetação. Na Figura 5.33 apresentam-se os resultados da radiação solar a par com as temperaturas superficiais onde se pode relacionar o aumento da temperatura com o aumento da radiação solar, mas que nunca atinge valores tão elevados como os apresentados na **Figura 5.26: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e da radiação solar medida no plano horizontal no DQ+ (10/7).**

Quanto à influência da rega e ao consequente aumento da humidade na envolvente, regista-se um abrandamento no aumento da temperatura superficial da fachada quando a radiação solar está a aumentar cada vez mais nesse mesmo período. Esse mesmo efeito da rega observa-se na estabilização e consequente aumento da humidade exterior, na Figura 5.34.

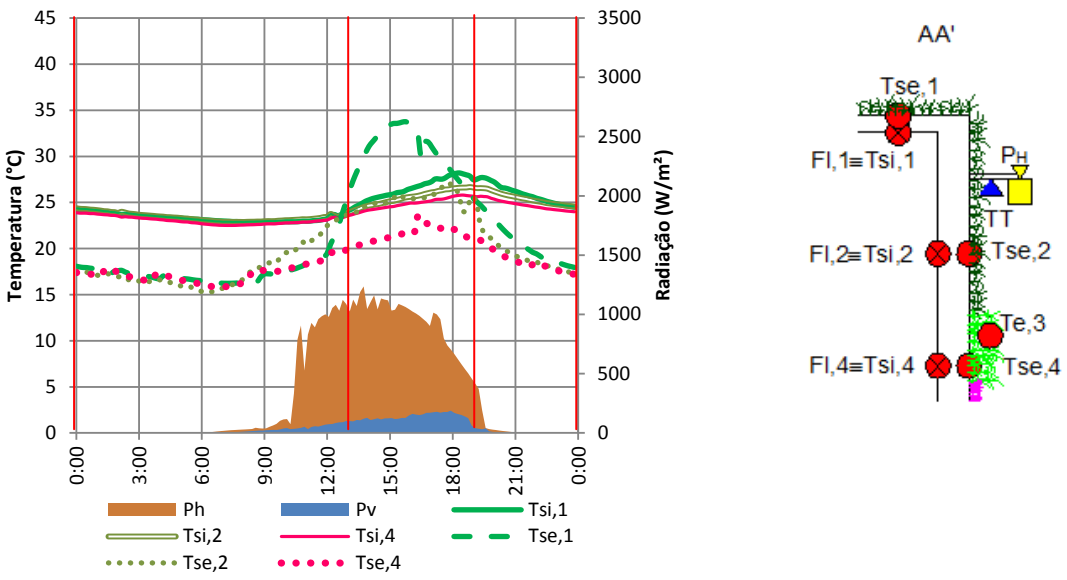


Figura 5.33: Evolução das temperaturas superficiais interiores e exteriores e da radiação solar medida no plano horizontal no DRS+ (29/6)

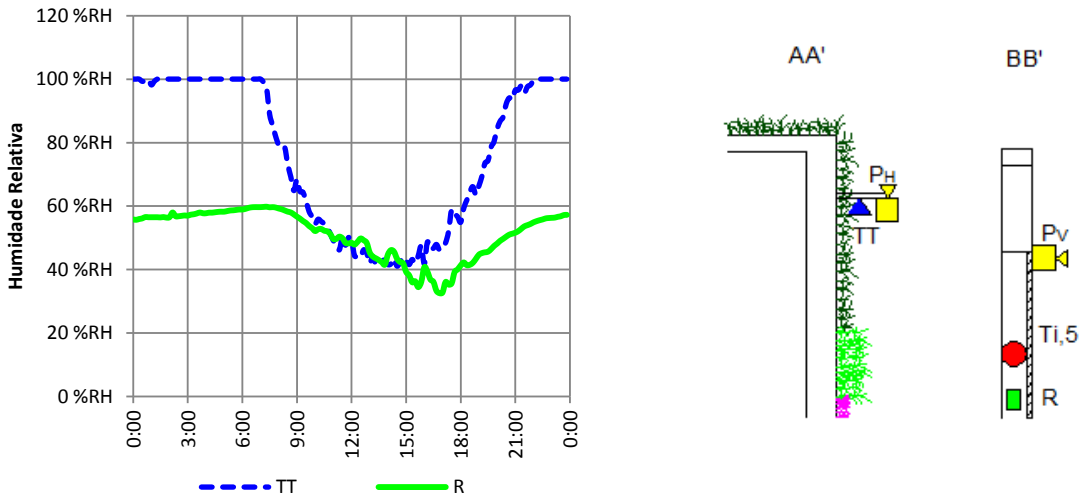


Figura 5.34: Evolução da humidade relativa interior (R) e exterior (TT) no DRS+ (29/6)

Tabela 5.8: Valores de referência registados no estúdio de som no DRS+ (29/6)

			Temperaturas (°C)			Fluxos de calor (W/m²)		
			Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
Exterior	Densidade da vegetação	Alta	15,8	18,6	23,6	-	-	-
		Média (Cobertura)	16,2	21,5	33,7	-	-	-
		Baixa	15,2	20,0	27,2	-	-	-
	Ambiente		15,3	21,6	31,7	-	-	-
Interior	Densidade da vegetação	Alta	22,5	23,8	25,8	-11,6	7,9	39,3
		Média (Cobertura)	22,9	24,7	28,2	-9,5	10,8	51,7
		Baixa	22,9	24,4	26,7	-12,1	12,0	58,3
	Ambiente		21,2	23,0	25,7	-	-	-

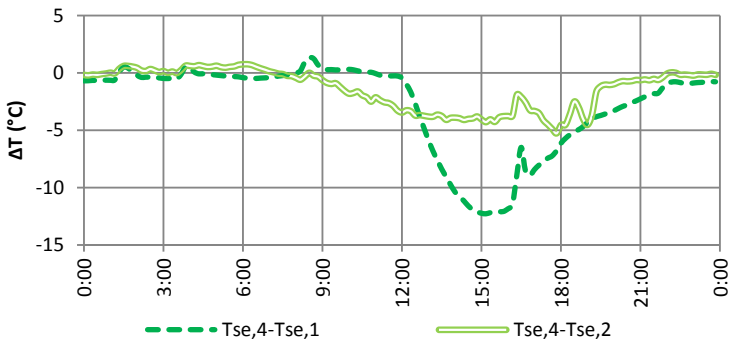


Figura 5.35: Diferenças de temperaturas superficiais exteriores da vegetação no DRS+ (29/6)

5.3. Considerações finais

Ao longo deste capítulo foi feita a análise dos resultados obtidos no segundo caso de estudo, o Atlântico Blue Studios em Paço de Arcos. Os dias analisados corresponderam mais uma vez aos dias com condições mais extremas para cada campanha de monitorização, dos quais se pode tirar conclusões sobre o comportamento da fachada verde e, neste caso, da cobertura verde.

O edifício adjacente provoca sombreamento ao início da manhã em toda a zona monitorizada e a pérgula situada na entrada do *hall* sombreia a fachada verde quando aberta, o que influenciou os resultados obtidos.

Obtiveram-se conclusões interessantes sobre o comportamento desta solução e analisou-se também um dia que, por não ser útil, não teve influência do sistema de climatização, o que permitiu fazer um estudo mais exacto da fachada verde.

- As temperaturas superficiais interiores registaram valores ligeiramente diferentes consoante a posição dos termopares, o que reflectiu a influência das diferentes espécies presentes na fachada e cobertura. Deste modo, verificou-se que quanto mais densa a espécie, menor era a temperatura registada na superfície interior. Contudo, na cobertura, registaram-se valores superiores aos restantes por não ter caixa-de-ar e por estar muito mais exposto à radiação solar, visto só estar sombreado durante os primeiros momentos da manhã pelo edifício adjacente.
- A solução estudada é mais susceptível à temperatura ambiente do que à radiação solar, como se pode verificar com maior evidência no estudo da campanha de Verão. A incidência da radiação não perturba tanto a temperatura superficial pois o sombreamento provocado pela vegetação não o permite. Este é um aspecto positivo para as fachadas verdes em clima mediterrâneo onde apesar de, no Verão, as temperaturas serem elevadas e o clima seco, com as espécies adequadas é possível mantê-las de forma a contribuírem para o isolamento térmico do edifício.
- Ficou provado que escolha desadequada da espécie plantada, além de provocar gastos com a substituição, também prejudica o comportamento térmico do edifício, como se verificou na

zona 2 em que no Verão os fluxos foram maiores e as temperaturas superficiais também, principalmente no dia mais quente, onde apenas decresceram influenciadas pelo sistema de rega no período das 13:00 e no período nocturno.

- Comparando o Inverno e o Verão no que diz respeito aos fluxos é interessante notar que na estação mais fria a entrada de calor é maior do que na estação mais quente, o que beneficia o conforto dos utilizadores. Portanto, no Inverno, este tipo de solução permite reter melhor o calor e, no Verão, protege a envolvente do edifício das temperaturas elevadas sentidas no exterior.

6. Conclusões

Após a realização deste trabalho pode-se afirmar que os objectivos traçados inicialmente foram cumpridos. As campanhas realizadas em ambos os casos de estudo correram conforme o esperado apesar de alguns problemas técnicos, nomeadamente o não-funcionamento do piranómetro vertical no caso de estudo 1 e dos dois os piranómetros no caso de estudo 2, na campanha de Inverno, que dificultaram a análise dos resultados.

Ao fazer uma análise mais global destes dois casos de estudo retiram-se algumas conclusões semelhantes mas também outras díspares que têm sobretudo a ver com o método construtivo adoptado para cada edifício. Na Travessa do Patrocínio, uma estrutura de maior dimensão, a fachada encontra-se muito mais exposta à radiação solar não só devido à orientação da mesma (Sudeste) mas também por não ter obstáculos a uma maior altura que provocassem o sombreamento. A caixa-de-ar é de espessura variável tanto em altura como em comprimento e de dimensões muito maiores do que o habitual, o que provoca resistências térmicas diferentes consoante a espessura. Já em Oeiras, uma construção de menor dimensão, a orientação da fachada monitorizada é a Oeste mas existe um toldo amovível que provoca algum sombreamento mesmo quando está recolhido. Tal facto provocou diferenças de comportamento térmico quando comparado com a moradia unifamiliar. A caixa-de-ar neste caso de estudo é muito menor do que a anterior (5cm) e esse valor é constante em toda a fachada, o que se traduz numa resistência térmica da caixa-de-ar menor do que no 1º caso de estudo. Comparando o comportamento do interior de ambos os casos estudados verificou-se que na moradia não houve diferença de temperaturas superficiais interiores entre os diferentes pontos monitorizados na fachada verde enquanto no estúdio de som essas diferenças já foram notórias. Visto que o processo construtivo é semelhante em ambos os casos, havendo apenas a diferença do espaçamento da caixa-de-ar, conclui-se que esta tem influência nos resultados monitorizados provocada pelas diferentes resistências térmicas das camadas de ar em cada um dos locais. De acordo com a Norma Europeia ISO 6946 a resistência térmica de uma camada de ar com 5 cm de espessura num espaço não ventilado com fluxo de calor horizontal é 0.180 $m^2.°C/W$, ou seja, o valor existente na caixa-de-ar de Oeiras. Na Travessa do Patrocínio, cuja camada de ar possui dimensões que a caracterizam como um espaço não útil (ISO 13789), a caixa-de-ar tem uma resistência térmica muito elevada e por isso uniformizou os valores da temperatura superficial interior, o que levou a que as diferentes espécies presentes na fachada não influenciassem a temperatura interior.

Houve a oportunidade de monitorizar a cobertura deste espaço visto que também esta é coberta por vegetação, o que permitiu analisar pontos diferentes.

Na estação de aquecimento os fluxos de calor foram maiores do que na de arrefecimento em ambos os edifícios estudados o que realça a eficácia deste tipo de solução ao absorver o calor no Inverno e ao isolar a entrada do mesmo no Verão, como é desejável. Este fenómeno foi comprovado por (Olivieri, et al., 2014) que estudou este tipo de revestimento num clima mediterrâneo durante o Verão e onde

concluiu que a vegetação contribui bastante para o arrefecimento da superfície, permitindo que os fluxos de calor sejam menores durante o período diurno e até que o sentido do mesmo seja invertido durante a noite, provocando a saída de calor do interior. Também na zona de cobertura monitorizada no caso de estudo 2 se retirou a mesma conclusão e neste caso em particular observou-se que de madrugada o fluxo de calor não inverteu o sentido na estação de Inverno mas na de Verão sim. Este aspecto vem realçar a eficácia do revestimento vegetal que, consoante a estação do ano, se comporta como o pretendido ao aumentar o conforto interno do edifício. Tal fenómeno justifica-se com a elevada resistência térmica imposta pela solução e pelo teor de humidade presente no geotêxtil que quanto maior este era, maior a condutibilidade térmica, o que contribui para aumentar os fluxos de calor. O inverso verificou-se no Verão onde a evapotranspiração é mais rápida, mantendo a temperatura envolvente menor do que numa fachada convencional mas permitindo que a resistência térmica do substracto seja mais elevada pois o mesmo apresenta um teor de humidade menor, dificultando a entrada de calor nesta estação. Também (Valadas, 2014) verificou o mesmo fenómeno no estudo das coberturas verdes.

Ficou claro em ambas as campanhas que a escolha da vegetação é importante para que o revestimento funcione da melhor forma não só pelos motivos estéticos mas também pelos gastos na manutenção associados e pelo impacto que a mesma tem no comportamento térmico do edifício. Nas zonas 2 de cada um dos casos de estudo registou-se a deterioração da planta e observou-se que na restante área não monitorizada onde essa mesma espécie estivesse plantada também aí estaria danificada. No caso de estudo 1 esse problema estava relacionado com a secura da espécie, ao contrário do caso de estudo 2 em que a planta em questão apresentava sinais de podridão devido ao excesso de humidade. Este é um dos aspectos fulcrais na escolha deste tipo de soluções num clima mediterrâneo que na estação fria é húmido e na estação quente é seco e com temperaturas altas e por isso as espécies escolhidas têm de tolerar estes extremos. Também a orientação do local e o sombreamento a que o mesmo está sujeito deve ser um aspecto a ter em conta na escolha das espécies.

O albedo é uma característica da superfície desta solução muito importante uma vez que influencia a energia que é reflectida e absorvida. As fachadas verdes não absorvem tanta radiação quanto uma fachada mais escura o que significa que emitem mais energia, mas com a associação do efeito da evapotranspiração essa reflectância é atenuada na medida em que a temperatura superficial diminui. Deste modo unem-se duas caraterísticas muito importantes que juntas ajudam a melhorar o conforto térmico interior e as condições do meio ambiente.

Para desenvolvimento futuro sugere-se que sejam tomadas medidas de incentivo à adopção desta solução, visto que este revestimento favorece o meio ambiente e torna os meios urbanos mais salubres. Uma análise custo-benefício seria importante para optimizar os gastos inerentes a esta solução. Este tipo de acções são importantes pois o custo associado às fachadas verdes ainda é elevado, apesar da evolução positiva que tem vindo a acontecer. Importa frisar que a escolha no tipo de vegetação a utilizar

é fundamental para que se tenha uma manutenção controlada e sugere-se que sejam feitos estudos neste campo para diferenciar quais as espécies adequadas para cada clima.

Seria também interessante analisar a influência do sistema de rega no comportamento térmico da solução na medida em que as variações do teor de humidade no substracto alteram as propriedades físicas do mesmo.

Referências Bibliográficas

ADENE. *Certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior.*

Applied Precision Ltd. *Isomet 2114 Thermal properties analyzer user's guide, Version 120712.*

Cheng, C.Y., Cheung, Ken K.S. e Chu, L.M. 2010. Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and Environment.* 45 , pp. 1779-1787.

Diário da República, 2.ª série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013. *Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013.*

EN ISO 13789:2007. *Thermal performance of buildings — Transmission and ventilation heat transfer coefficients — Calculation method.*

EN ISO 6946:2007. *Building components and building elements; Thermal resistance and thermal transmittance; Calculation method (ISO 6946:2007).*

Eumorfopoulou, E.A. e Kontoleon, K.J. 2009. Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the behaviour of building envelopes. *Building and Environment.* 44, pp. 1024-1038.

Fernandes, Pedro Miguel de Oliveira. 2014. *Caracterização térmica de painéis sanduíche em polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP).* Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Gomes, Maria da Glória de Almeida. 2010. *Comportamento térmico de fachadas de dupla pele.* Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Koyama, Takuya, et al. 2013. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment.* 66, pp. 96-103.

Olivieri, F., Olivieri, L. e Neila, J. 2014. Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental mediterranean climate. *Building and Environment.* 77, pp. 61-76.

Ottelé, Marc. 2011. *The Green Building Envelope - Vertical Greening.* Universidade Técnica de Delft, Delft.

Papadakis, G., Tsamis, P. e Kyritsis, S. 2001. An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings.* 33, pp. 831-836.

Pérez, G., et al. 2011. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management.* 52, pp. 1861-1867.

Perini, Katia e Rosasco, Paolo. 2013. Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment.* 70, pp. 110-121.

Perini, Katia, et al. 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment.* 46, pp. 2287-2294.

Projecto-lei NY. Projecto-lei A2516-2013 do Senado de Nova Iorque.

REH. 2013. *(Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação),Portaria nº 349-B de 29 de Novembro*.

Serpa, Diogo. 2015. *Simulação energética de fachadas verdes.* Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Sheweka, Samar Mohamed e Mohamed, Nourhan Magdy. 2012. Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change. *Energy Procedia.* 18, pp. 507-520.

Sousa, Rogério Bastos de. 2012. *Jardins Verticais - um contributo para os espaços verdes urbanos e oportunidade na reabilitação do edificado.* Universidade Lusófona do Porto, Porto.

Valadas, Ana Sofia. 2014. *Avaliação Experimental do Comportamento Térmico de Coberturas Verdes.* Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Wong, Nyuk Hien, et al. 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment.* 45, pp. 663-672.

Sítios da internet:

ADN Garden Design – http://www.adn-gardendesign.com/site/adn.html- Consultado em 13/11/2013

Ambius - http://www.ambius.com/blog/ultimate-guide-to-living-green-walls/ - Consultado em 02/11/2013

Architectural Record - http://archrecord.construction.com/residential/recordHouses/2013/1304-Patrocinio-House-RA-Architecture-and-Design-Studio.asp - Consultado em 03/01/2014

Arquitecturas comtemporâneas - https://arquiteturascontemporaneas.files.wordpress.com/2013/05/932034d0.jpg - Consultado em 14/12/2013

BWA (Buildings with art) - http://www.bwa.com.pt/em-venda/travessa-do-patrocinio-5/ - Consultado em 14/12/2013

BWA (Plantas do projecto) - http://www.bwa.com.pt/_Files/9bc138abce441cd83982ec418d18c5ed.pdf - Consultado em 03/01/2014

Costa, Carlos Smaniotto. *Jardins Verticais – uma oportunidade para as nossas cidades?* Arquitextos, São Paulo, ano 12, n. 133.06, Vitruvius, jul. 2011 - http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.133/3941 - Consultado em 14/12/2013

Espaços&Casas n.º46 - https://www.youtube.com/watch?v=s85VQmGDtaY – Consultado em 03/01/2014

Fábrica Veleiro - http://www.fabricaveleiro.com/EShop.aspx?CategoryID=3&ItemID=137- Consultado em 21/9/2014

Google Maps - http://maps.google.pt/

HomeDSGN - http://www.homedsgn.com/2012/12/27/house-in-travessa-de-patrocinio-by-luis-rebelo-de-andrade-tiago-rebelo-de-andrade-and-manuel-cachao-tojal/house-in-travessa-14/ -Consultado em 03/01/2014

K DESIGN - https://kdesignarq.wordpress.com/category/paisagismo-e-jardins/ – Consultado em 14/12/2013

LiderA - http://www.lidera.info/ - Consultado em 02/11/2013

Martifer - http://www.martifer.pt/pt/portfolio/detalhes.php?sec=10&tipo=1&id=49 – Consultado em 14/12/2013

meteo|Técnico – http://meteo.ist.utl.pt/odata-past - Consultado em 11/08/2014

Nice Art Life Magazine - http://niceartlife.com/green-architectures-great-initiatives-in-ecological-thinking/ - Consultado em 14/12/2013

Preservation Equipment Ltd. - https://www.preservationequipment.com/UserData/root/Products/Images/000618_0.jpg – Consultado em 21/09/2014

Seattle Gov. - City of Seattle Ordinance 122311 - http://www.seattle.gov/dpd/Permits/GreenFactor/ - Consultado em 21/01/2014

SPEC-NET - http://www.spec-net.com.au/press/0907/fsa_190907.htm - Consultado em 11/03/2015

Vertical Garden Patrick Blanc - http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/lisbon/dolce-vita-lisbon - Consultado em 14/12/2013

VSCOM - http://www.vscom.de/620_larger.htm - Consultado em 21/09/2014

ANEXOS

A.1. – Plantas e alçado lateral da moradia da Travessa do Patrocínio

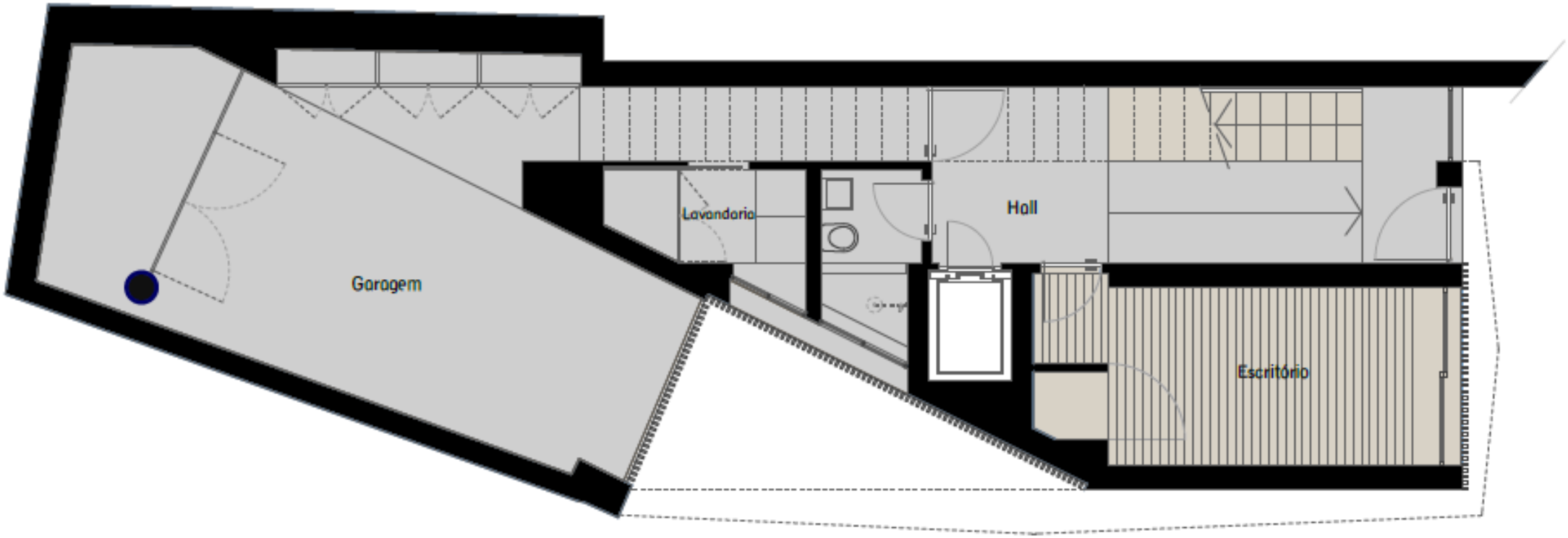
A.2. – Resultados totais das campanhas de monitorização da Travessa do Patrocínio

A.3. – Resultados totais das campanhas de monitorização do estúdio de som, em Oeiras

A.4. – Registos da estação meteorológica do Instituto Superior Técnico

B

Anexo A.1. Plantas e alçado lateral da moradia da Travessa do Patrocínio



ÁREA BRUTA DE CONSTRUÇÃO	280.80m2
TERRAÇO EM COBERTURA	37.30m2
PSICINA	13.80m2
VARANDAS	9.10 m2

BWA buildings with art

EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO:
TRAVESSA DO PATROCÍNIO Nº 5

PLANTA
PISO 0

ARQº
LUÍS REBELO DE ANDRADE

C

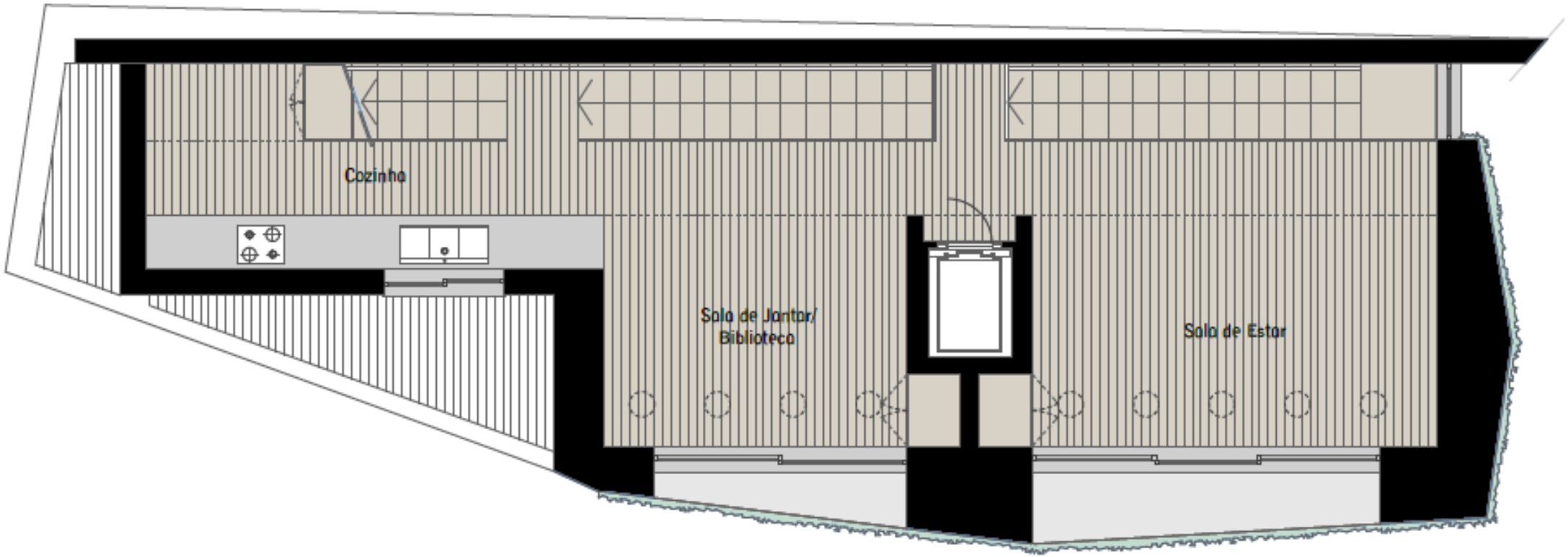
D

BWA buildings with art

EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO:
TRAVESSA DO PATROCÍNIO Nº 5

PLANTA
PISO 1

ARQº
LUÍS REBELO DE ANDRADE



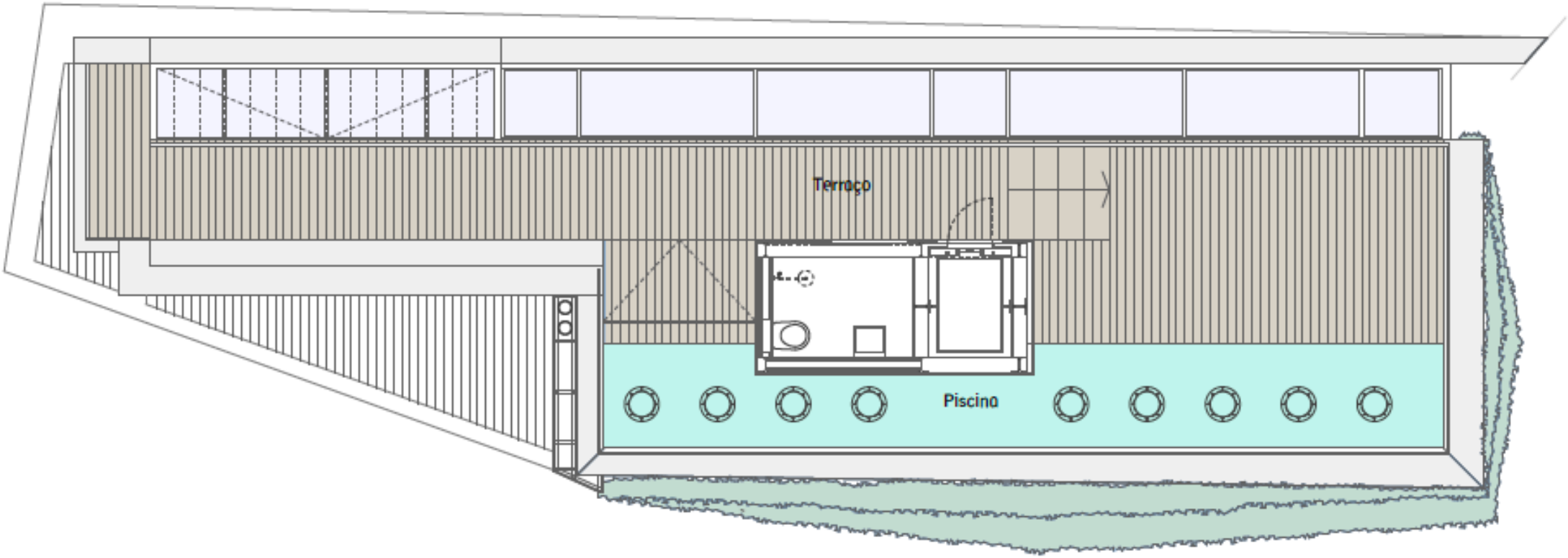
BWA buildings with art

EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO:
TRAVESSA DO PATROCÍNIO Nº 5

PLANTA
PISO 2

ARQº
LUÍS REBELO DE ANDRADE

E



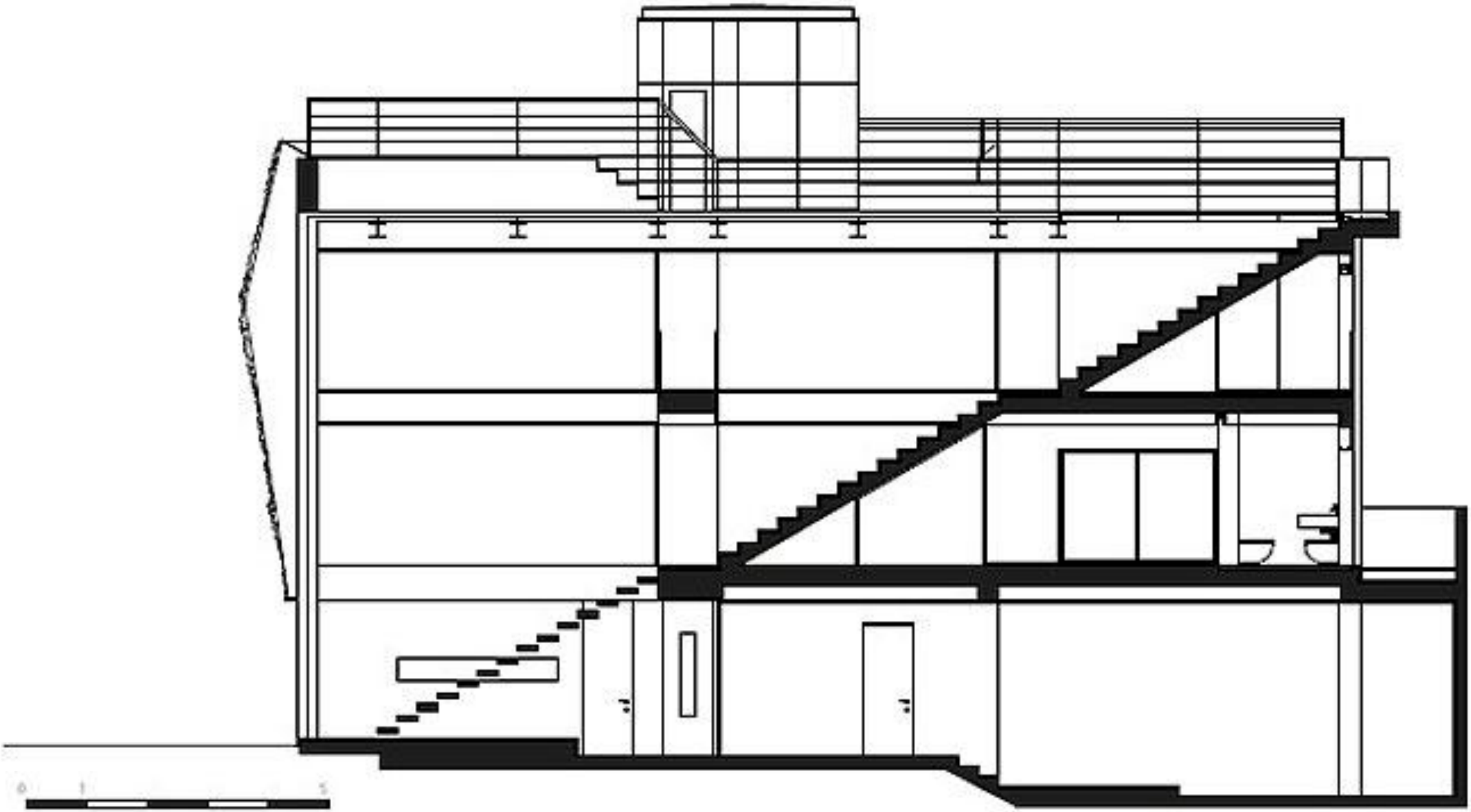
F

BWA buildings with art

EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO:
TRAVESSA DO PATROCÍNIO Nº 5

PLANTA
PISO 3

ARQº
LUÍS REBELO DE ANDRADE



G

Anexo A.2. Resultados totais das campanhas de monitorização da Travessa do Patrocínio

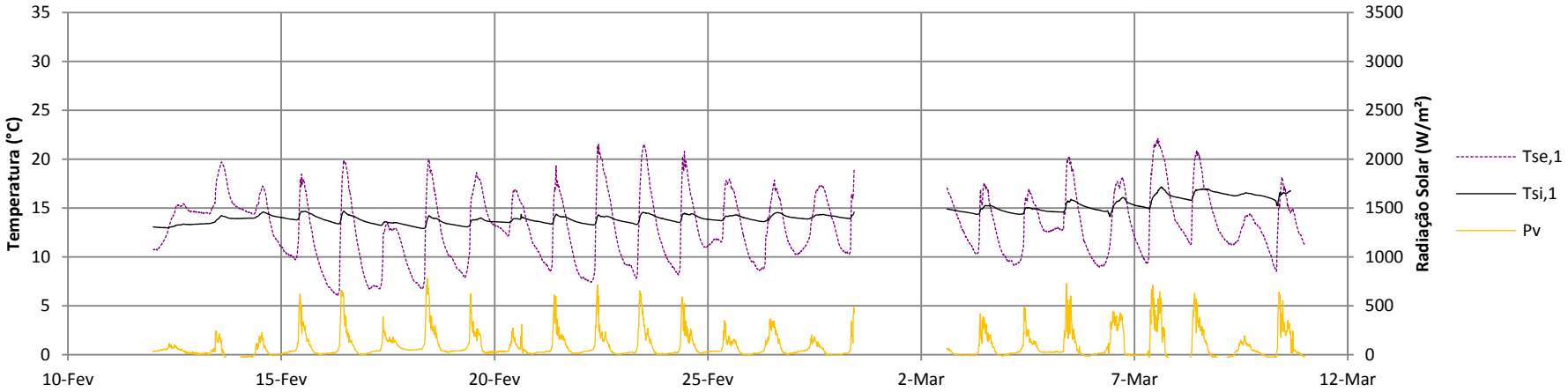


Figura A. 2. 1: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Inverno, nos sensores do corte AA'

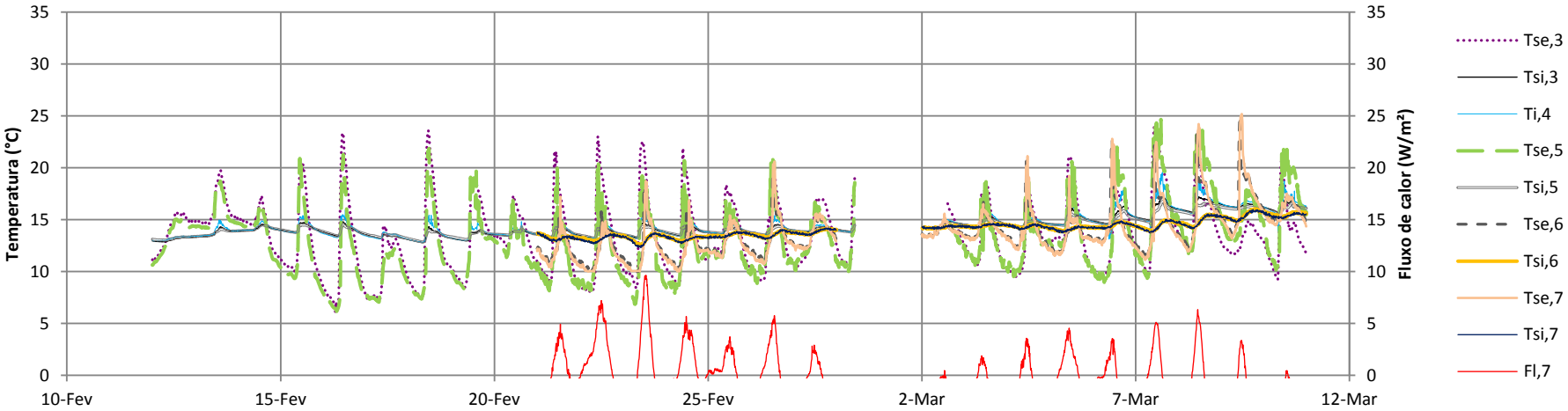


Figura A. 2. 2: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Inverno, nos sensores do corte BB'

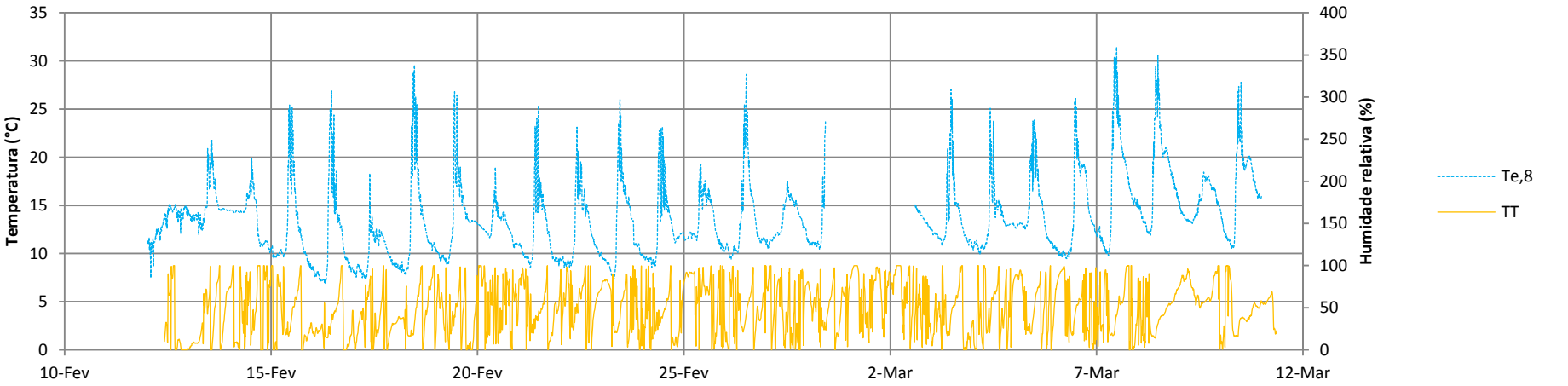


Figura A. 2. 3: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Inverno, nos sensores[6] do corte CC'

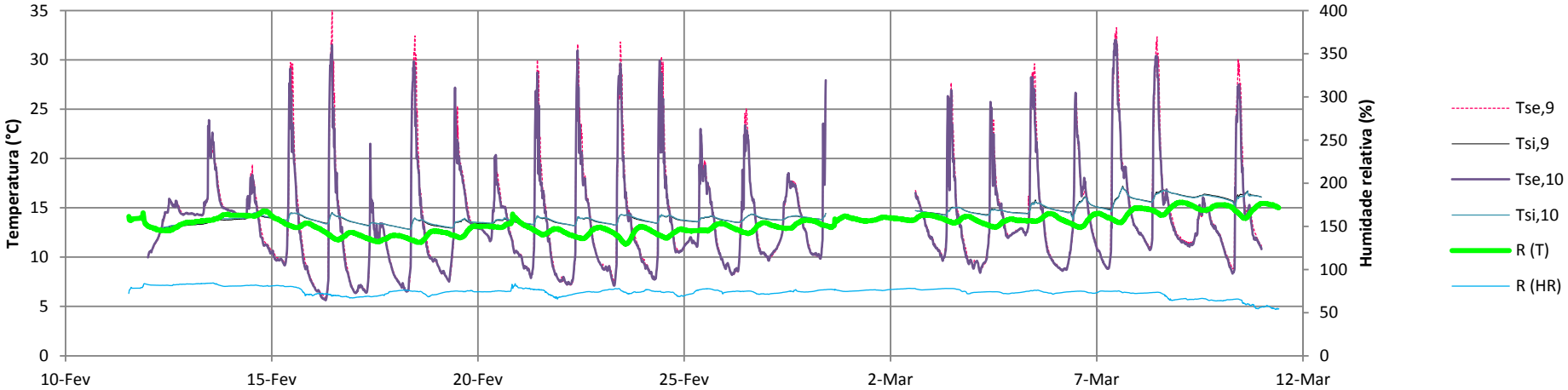


Figura A. 2. 4: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Inverno, nos sensores do corte DD'

[6] Os valores registados pelo Tinytag no que diz respeito à humidade relativa apresentam-se iguais a 0% quando o sensor se encontra num ambiente saturado, segundo o apurado junto da marca do sensor.

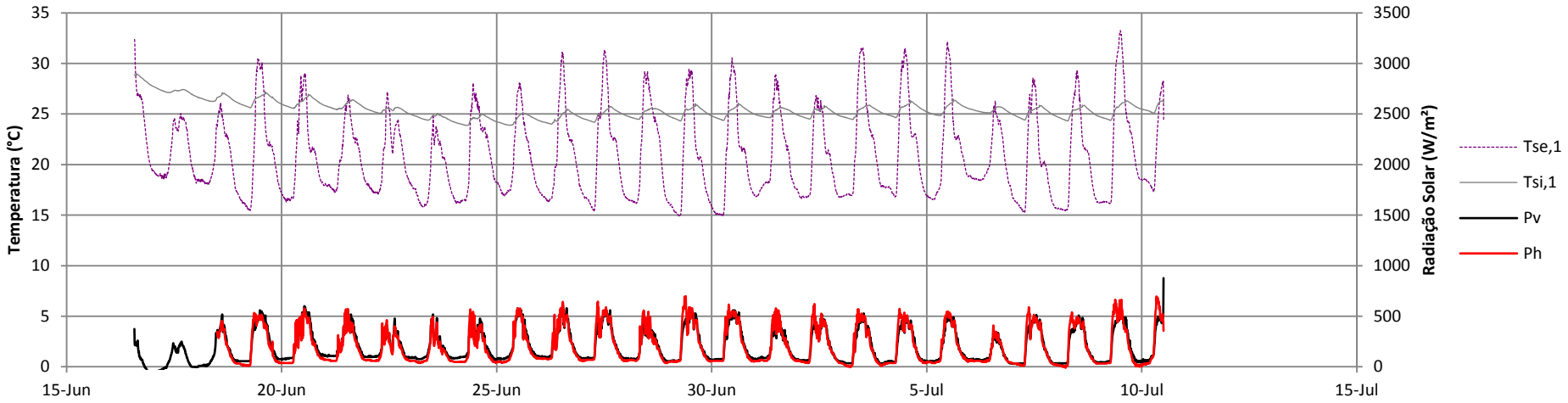


Figura A. 2. 5: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Verão, nos sensores do corte AA'

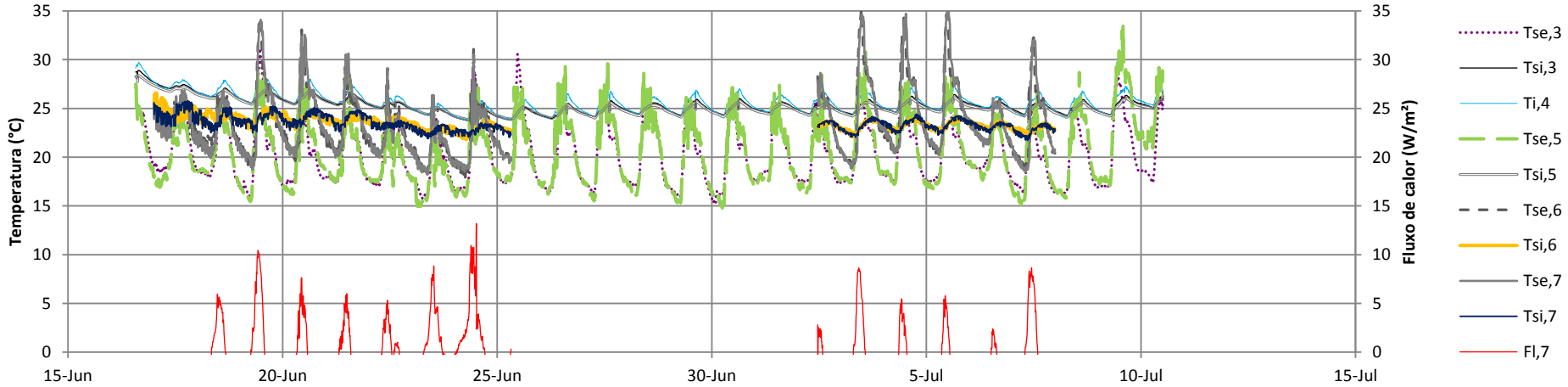


Figura A. 2. 6: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Verão, nos sensores do corte BB'

J

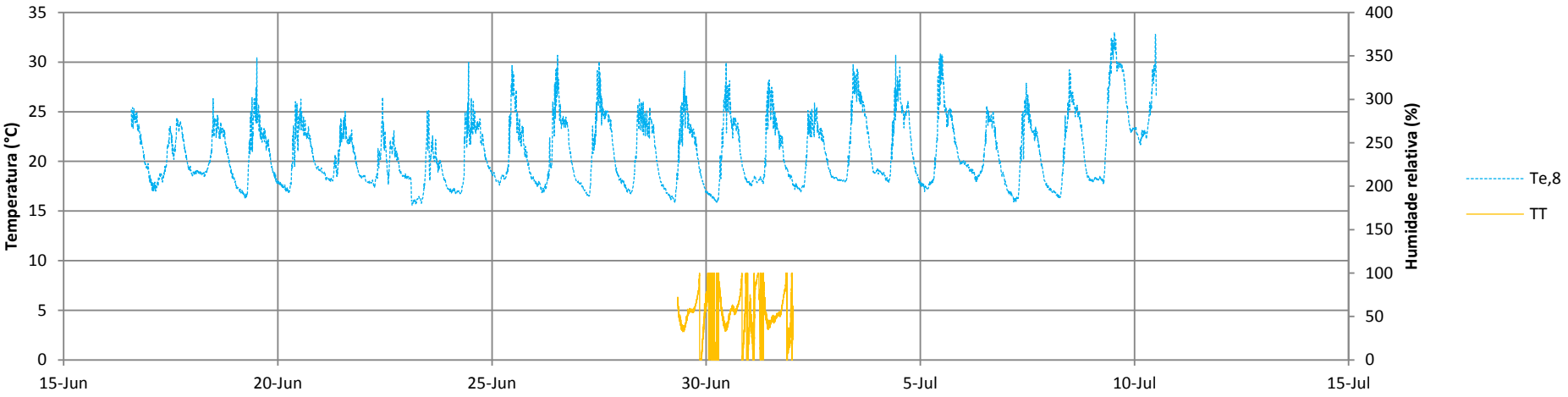


Figura A. 2. 7: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Verão, nos sensores do corte CC'

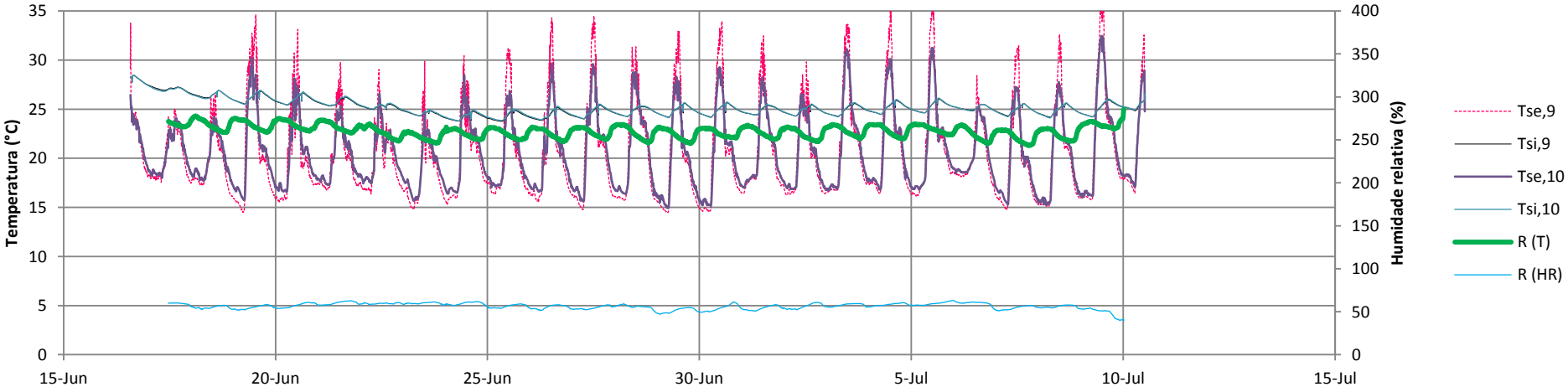


Figura A. 2. 8: Resultados obtidos na Travessa do Patrocínio, na campanha de Verão, nos sensores do corte DD'

Anexo A.3. Resultados totais das campanhas de monitorização do estúdio de som, em Oeiras

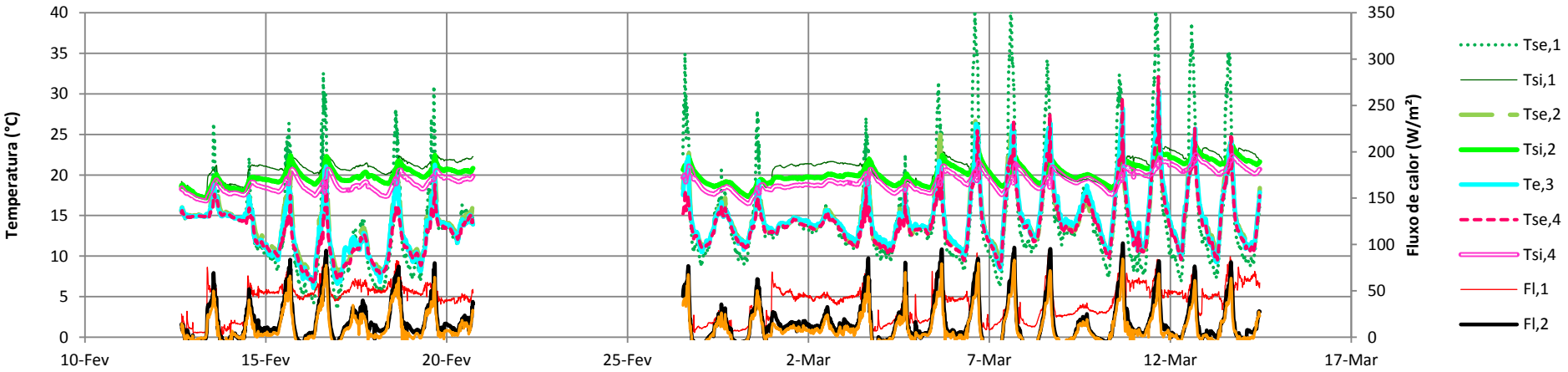


Figura A. 3. 1: Resultados obtidos no estúdio de som, na campanha de Inverno, nos sensores do corte AA' (apenas fluxímetros e termopares)

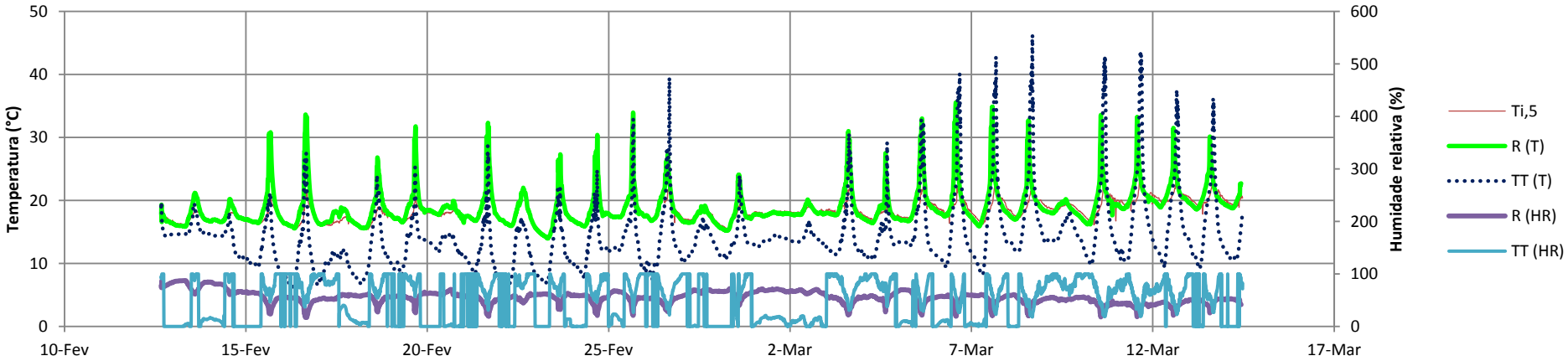


Figura A. 3. 2: Resultados obtidos no estúdio de som, na campanha de Inverno, nos sensores do corte BB' e no Tinytag do corte AA'

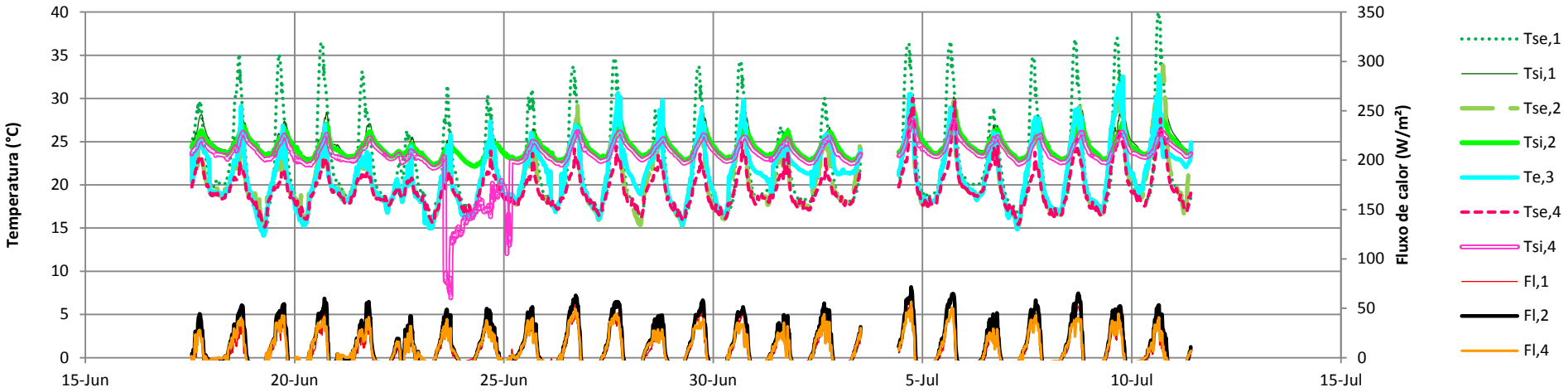


Figura A. 3. 3: Resultados obtidos no estúdio de som, na campanha de Verão, nos sensores do corte AA' (apenas fluxímetros e termopares)

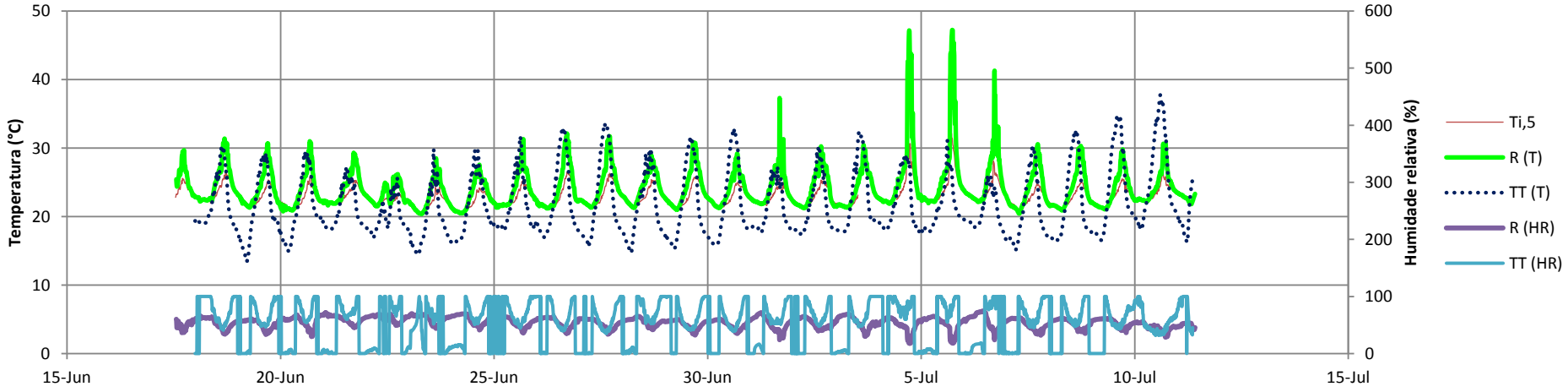


Figura A. 3. 4: Resultados obtidos no estúdio de som, na campanha de Verão, nos sensores do corte BB' e no Tinytag do corte AA'

M

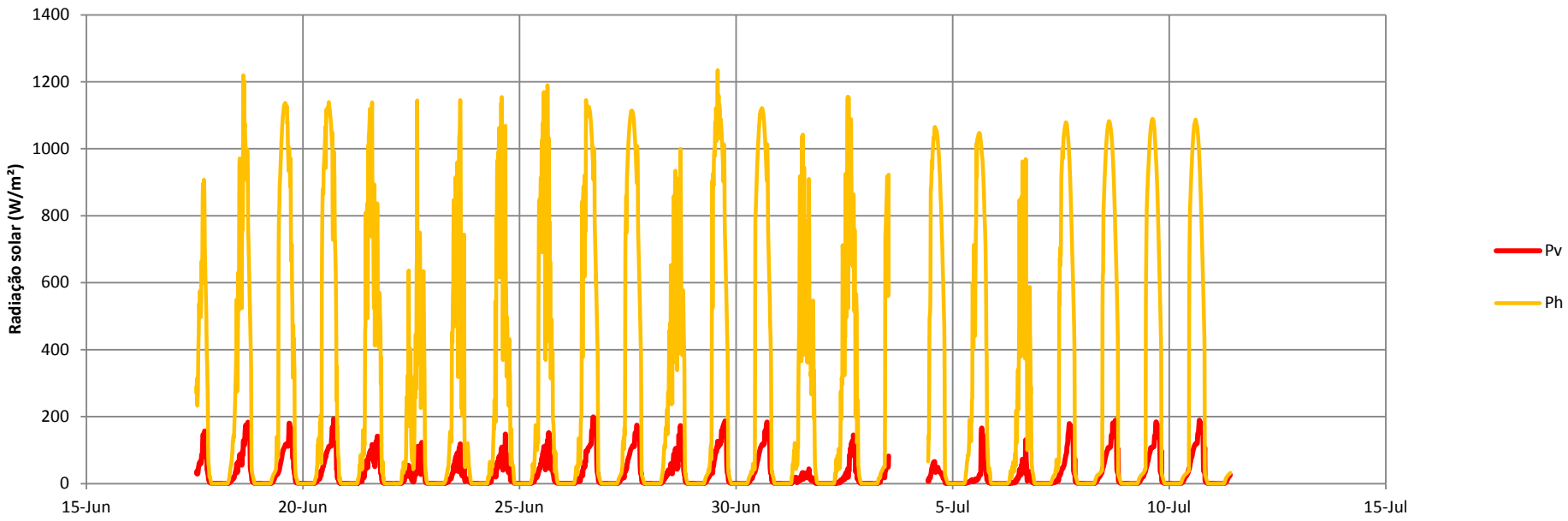


Figura A. 3. 5: Resultados obtidos no estúdio de som, na campanha de Verão, nos piranómetros situados no corte AA' e BB'

N

Anexo A.4. Registos da estação meteorológica do Instituto Superior Técnico

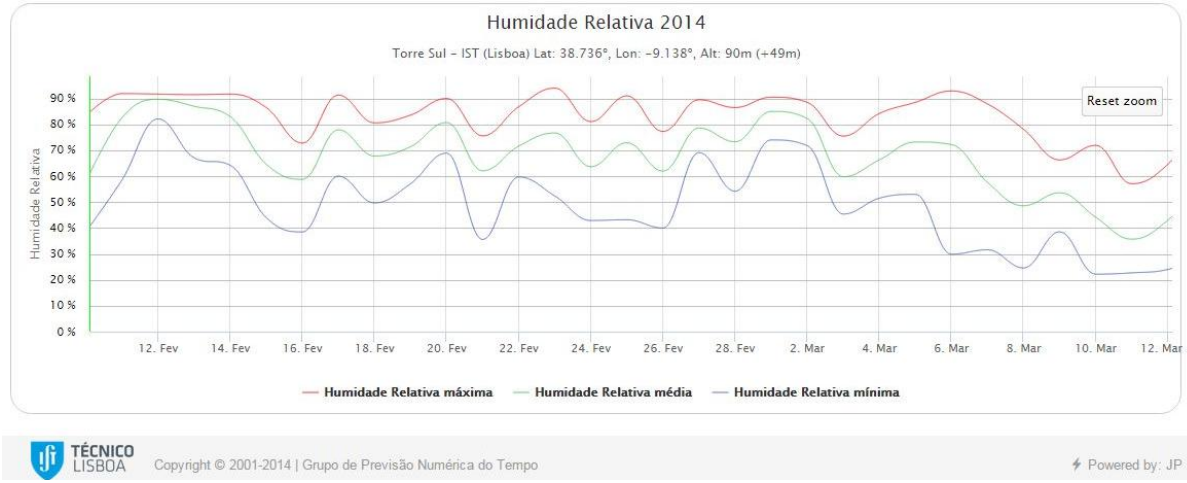


Figura A. 4. 1: Humidade relativa sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Inverno (Meteo|Técnico)

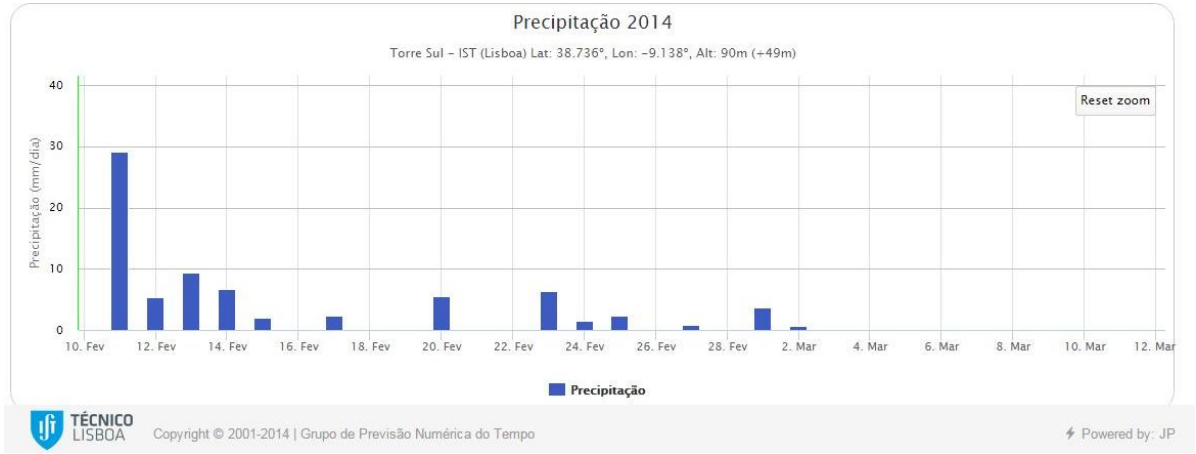


Figura A. 4. 2: Precipitação sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Inverno (Meteo|Técnico)

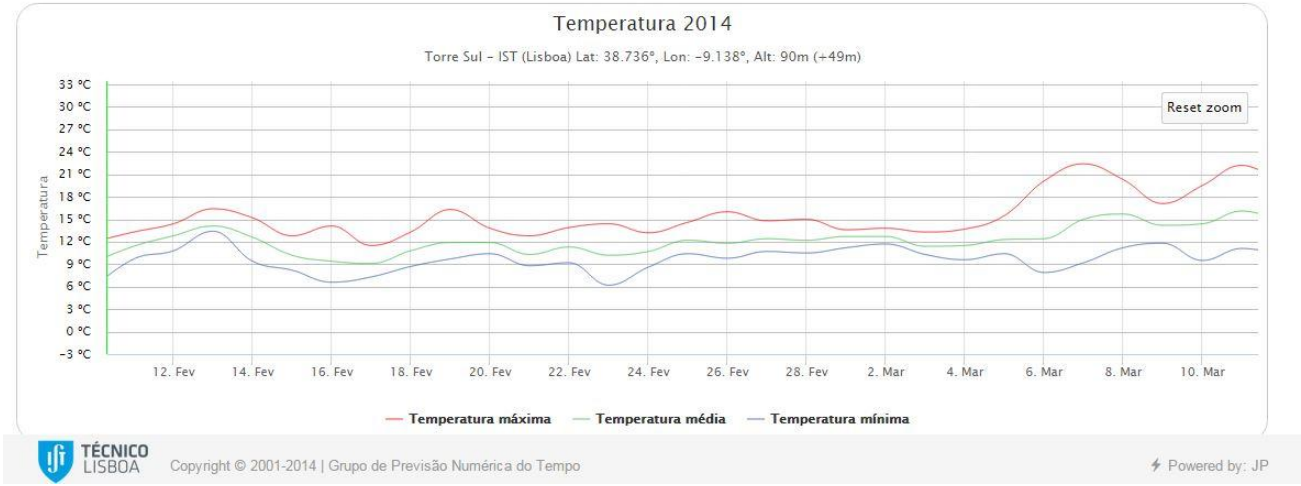


Figura A. 4. 3: Temperatura sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Inverno (Meteo|Técnico)

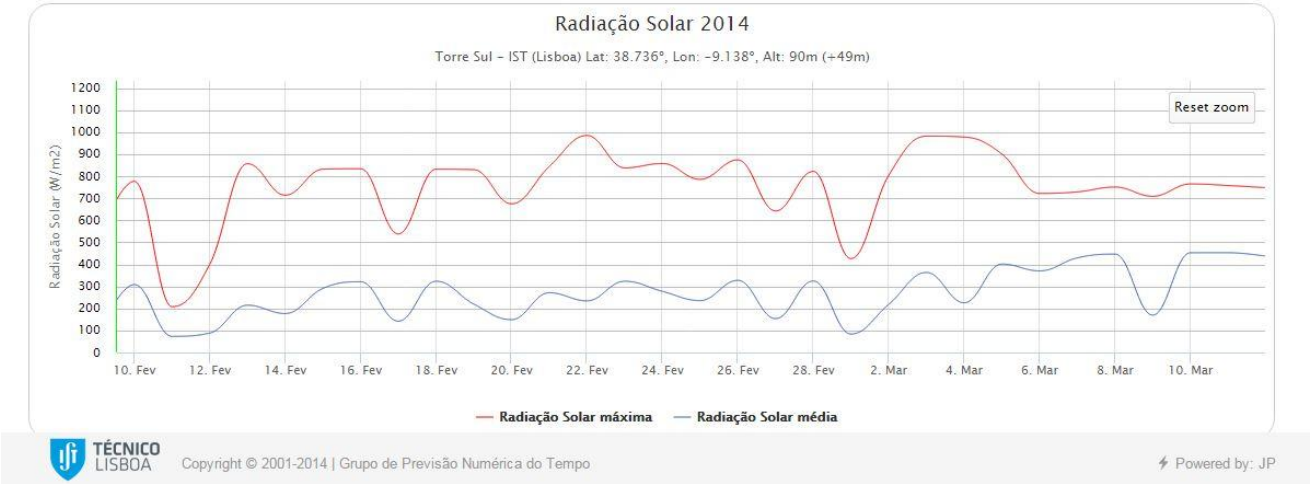


Figura A. 4. 4: Radiação solar sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Inverno (Meteo|Técnico)

P

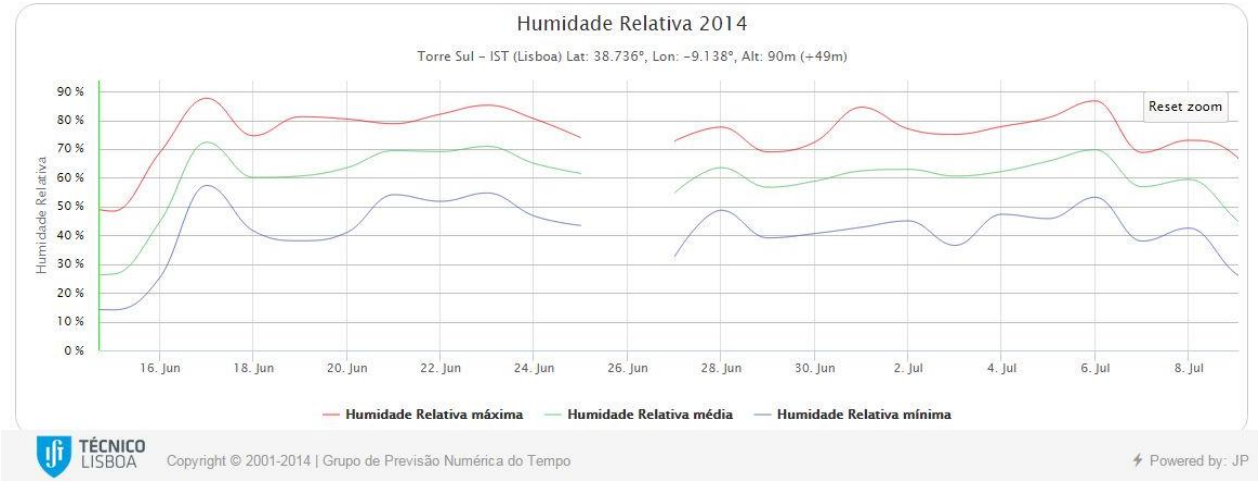


Figura A. 4. 5: Humidade relativa sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Verão (Meteo|Técnico)

Figura A. 4. 6: Precipitação sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Verão (Meteo|Técnico)

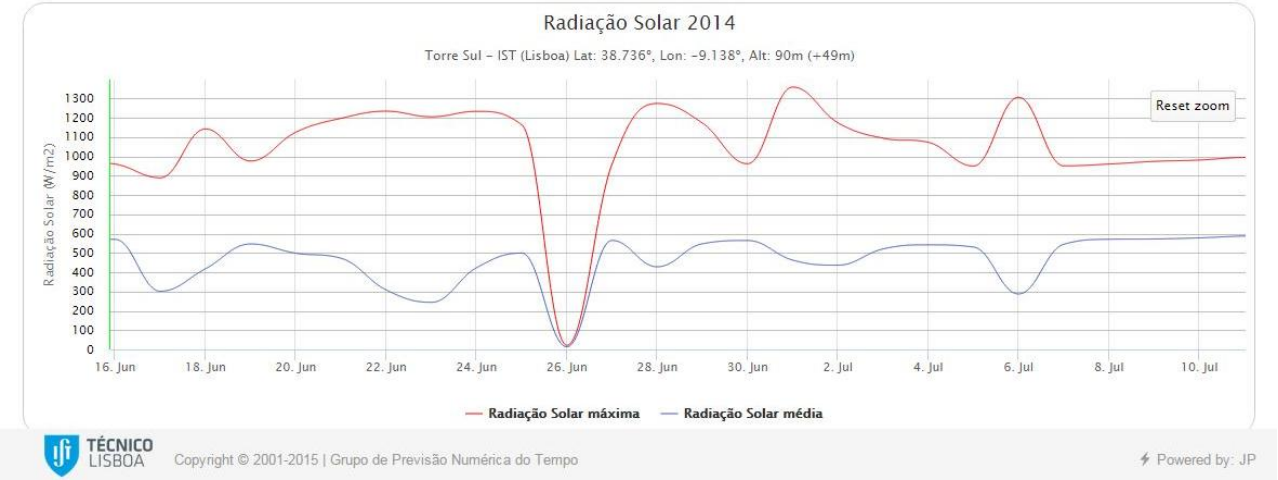


Figura A. 4. 7: Radiação solar sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Verão (Meteo|Técnico)

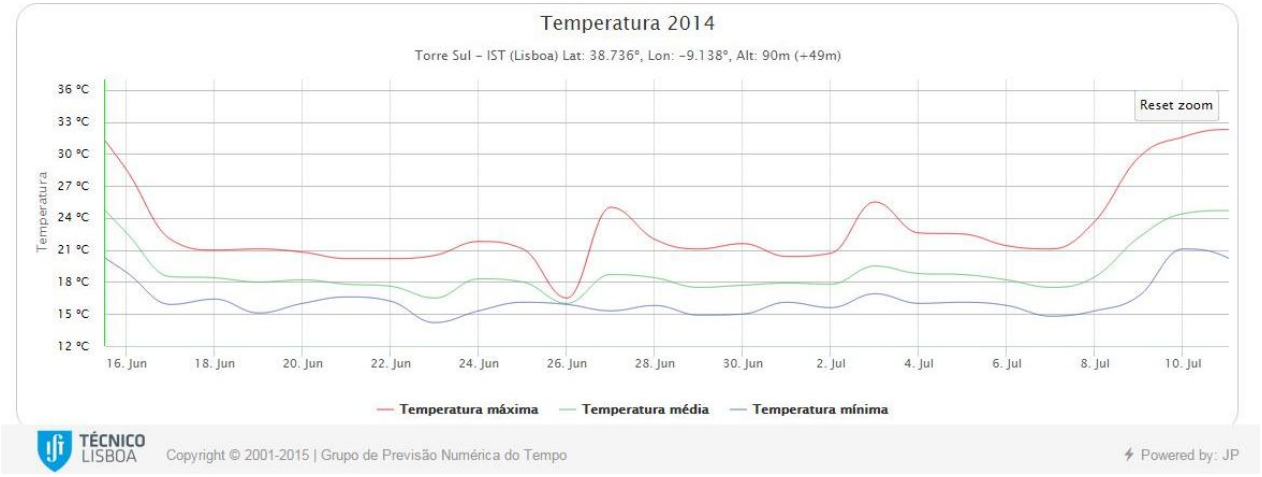


Figura A. 4. 8: Temperatura sentida na estação meteorológica do IST durante a campanha de Verão (Meteo|Técnico)

R