



Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Estudo Experimental da Ventilação e do
Comportamento Térmico de uma Cobertura em
Telha Cerâmica com Beiral Ventilado e Sub-Telha
nas Estações do Outono e do Inverno***

Elsa Verónica Caldeira Godinho

Leiria, *Setembro de 2016*

Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Estudo Experimental da Ventilação e do
Comportamento Térmico de uma Cobertura em
Telha Cerâmica com Beiral Ventilado e Sub-Telha
nas Estações do Outono e do Inverno***

Elsa Verónica Caldeira Godinho

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor João António Esteves Ramos, Professor Coordenador da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Luís Miguel Igreja Aires, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Setembro de 2016*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Dedico esta dissertação à minha mãe
Para demonstrar a minha enorme gratidão

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

“...claro que quando chegar ao fim do meu passeio saberei mais, mas também é certo que saberei menos, precisamente por mais saber, por outras palavras, a ver se me explico, a consciência de saber mais conduz-me à consciência de saber pouco, aliás, apetece perguntar, o que é saber...”

José Saramago em “A História do Cerco de Lisboa”.

Agradecimentos

Para a realização desta dissertação foi imprescindível o apoio e ajuda de algumas pessoas, as quais merecem toda a minha eterna gratidão.

Desde já, quero agradecer e muito ao meu Orientador Professor Doutor João Ramos, pelo apoio e dedicação durante todas as fases desta dissertação, desde da colocação dos equipamentos até à redação deste documento. Sem a sua ajuda não seria possível este trabalho e, assim sendo, deixo aqui o meu enorme obrigado por toda a sua ajuda. Também, desejo agradecer ao meu Co-orientador Professor Doutor Luís Aires pelo auxílio que me prestou, foi uma preciosa ajuda.

Agradeço ainda às pessoas coletivas que permitiram a construção da célula-teste, principalmente à Umbelino Monteiro S.A, pela sua disponibilidade e pelos seus préstimos.

Não poderia deixar de agradecer à minha grande amiga e colega Marisa Rodrigues pelo seu apoio indispensável e paciência em toda a fase deste trabalho bem como a todos os meus colegas e amigos que me apoiaram durante todo o meu mestrado.

Como não poderia deixar de ser, acabo este capítulo de agradecimentos a expressar a minha enorme gratidão às principais pessoas responsáveis por tudo isto, à minha Mãe, Irmã e Madrinha, por tudo aquilo que fizeram por mim, por todo o apoio e compreensão e por acreditarem sempre em mim.

O meu Muito Obrigada a todos.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Com o crescente avanço tecnológico as questões ambientais bem como a eficiência energética assumem cada vez maior relevância e, neste sentido, torna-se imperativo pensar de uma forma mais eficaz e eficiente tanto ao nível ambiental como energético, aliando a eficiência energética a um menor nível dos consumos energéticos. Uma das medidas para melhorar a eficiência energética passa pela construção de edifícios mais eficientes utilizando diversas tecnologias passivas. Assim sendo, este estudo tem por objetivo avaliar o comportamento térmico e as consequências da ventilação numa cobertura em telha cerâmica e subtelha com beiral ventilado, durante os meses de Outono e Inverno. Através de instrumentação diversa colocada numa célula-teste e no ambiente exterior envolvente obtiveram-se diversos dados experimentais relativos a fatores ambientais tais como: temperaturas, humidades relativas, velocidade do ar, radiação solar, entre outros. Fez-se uma avaliação dos dados experimentais recolhidos e da transferência de calor verificada nesses meses. Os resultados mostram que tanto o comportamento térmico bem como a ventilação da caixa-de-ar são fortemente dependentes das condições do ar exterior e da radiação solar, o que tendo em conta os meses de estudo, permite concluir que a tipologia da cobertura pode não se tornar vantajosa neste período. No entanto, os valores de humidade relativa registados em toda a cobertura bem como no interior da célula demonstram que a ventilação na caixa-de-ar é um fator relevante que contribui para reduzir a possibilidade de ocorrência da condensação do vapor de água contido no ar, ou seja, não existem períodos muito longos com valores de humidade relativa elevados, contribuindo para a sua salubridade.

Palavras-chave: Célula-teste, Cobertura Ventilada, Ventilação no Beiral de Cobertura, Transferência de Calor em Cobertura, Comportamento Térmico de Edifícios.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

With increasing technological advances, environmental issues and energy efficiency are becoming increasingly important and it is imperative to think of a more efficient and effective way both environmentally and energetically, combining these factors with the added economic value resulting from the energy efficiency measures. One of the measures to improve energy efficiency is the construction of more efficient buildings incorporating various types of passive thermal technologies. Therefore the subject of the present study will be the impact of the thermal behavior and ventilation consequences, in a ceramic tile roof and under-tile roofing with ventilated eaves, with an evaluation of the data collected analyzing their correlation and existing heat transfers in Autumn and Winter months. Through the utilization of several different measuring instruments placed in the test cell and abroad, various types of environmental data such as temperatures, relative humidity, air velocity, solar radiation, among others were collected. The results show that both thermal behavior as well as the ventilation-box air are strongly dependent on outside air temperature and radiation, which for the months of study is not an advantageous correlation. However, the recorded relative humidity values recorded throughout the coverage show that the ventilation in-box air is an important factor, because there are few occasions during the day causing condensation of air that are not many periods of high relative humidity values.

Therefore these results are not sufficient to confirm whether or not it is advantageous to incorporate ventilation ceramic tile roofs and sub tile overhang with ventilated for the analyzed months in this study, at least at the level of the inner thermal behavior.

Keywords: Test-Cell, Ventilated Roof, Ventilation in the air gap of Roof, Heat transfer, Thermal Behavior of Buildings.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Figuras

Figura 1 - Tipos de Telhas. Adaptado de U.T.L., 2006/2007	6
Figura 2 - Tipos de cobertura com várias configurações. (a) Cobertura Quente; (b) Cobertura fria ventilada; (c) Cobertura fria não ventilada. (Lee, et al., 2008)	9
Figura 3 - Mecanismo de transferência de calor num telhado ventilado, adaptado de Lee, Park, Yeo, & Kim, (2008).	10
Figura 4 – Célula-teste utilizada pelos autores Lee, Park, Yeo, & Kim (2008).....	12
Figura 5 - Localização da célula-teste na ESTG-IPLeiria.	22
Figura 6 - Desenho da célula-teste com representação da entrada. Adaptado de Almeida, 2013.	23
Figura 7 - Desenho da célula teste com a representação do desvão. Adaptado de Almeida, 2013.	23
Figura 8 - Telha ventiladora.	24
Figura 9 - Desenho da célula teste representada a Sul. Adaptado de Almeida, 2013.	24
Figura 10 - Anemómetro.	25
Figura 11 – LogTag.....	25
Figura 12 - Termopares.	25
Figura 13 - Estação meteorológica.....	26
Figura 14 - Sensor com três termopares utilizado para medir temperaturas.....	41
Figura 15 - Ilustração da posição dos LogTag na célula-teste.	44

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Comparação das temperaturas com as humidades relativas e com a radiação solar. Fonte: Almeida, 2013.....	16
Gráfico 2 - Humidades durante um período diurno. Fonte: Almeida, 2013	17
Gráfico 3 - Diferença de temperaturas na telha cerâmica em comparação com a radiação. Fonte: Almeida, 2013.....	17
Gráfico 4 - Velocidade do ar na caixa de ar em comparação com a radiação solar e com a velocidade do ar no exterior. Fonte: Almeida, 2013.....	18
Gráfico 5 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Outubro.	30
Gráfico 6 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Novembro.	31
Gráfico 7 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Dezembro.....	31
Gráfico 8 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Janeiro.	32
Gráfico 9 - Medições de temperatura do ar de uma semana para cada mês.	32
Gráfico 10 - Perfis da velocidade do vento semanais para cada mês.....	34
Gráfico 11 - Direção do Vento para cada mês.	35
Gráfico 12 - Perfil da radiação solar a cada 15 minutos.	36
Gráfico 13 - Precipitação registada de 15 em 15 minutos para cada mês.....	37
Gráfico 14 - Perfis de temperatura para uma semana de cada mês.....	39
Gráfico 15 - Perfil da Var na Caixa-de-ar para os meses de Outubro, Novembro e Janeiro.....	41
Gráfico 16 - Temperatura da Telha de 14/Out a 20/Out.	42
Gráfico 17 - Temperatura da Telha de 19/Nov a 20/Nov.	43
Gráfico 18 - Temperatura da Telha de 19/Dez a 25/Dez.	43
Gráfico 19 - Temperatura da Telha de 4/Jan a 10/Jan.	43
Gráfico 20 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 5 a 11/Out.....	45
Gráfico 21 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 9 a 15/Nov.	45
Gráfico 22 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 16 a 23/Dez.	46
Gráfico 23 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 16 a 23/Jan.	46
Gráfico 24 – Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 5 a 11/Out.	47
Gráfico 25 - Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 9 a 15/Nov.....	48
Gráfico 26 - Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 16 a 23/Dez.	48
Gráfico 27 - Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 16 a 23/Jan.	48

Gráfico 28 - Temperatura e Humidade relativa registada no Logtag 7 de 9 a 15/Nov.	49
Gráfico 29 - Text, Ttelha e Tcx.ar para o mês de Outubro.	50
Gráfico 30 - Var e Var caixa-de-ar registadas em Outubro.	51
Gráfico 31 - Radiação solar vs Var caixa-de-ar em Outubro.	52
Gráfico 32 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Outubro.	52
Gráfico 33 - Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre a Ttelha e Tcx.ar em Outubro.	53
Gráfico 34 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Outubro.	54
Gráfico 35 - Text, Ttelha, Tcx.ar, Tisol subtelha e Tdesvão para o mês de Novembro.	55
Gráfico 36 - Var e Var caixa-de-ar registadas em Novembro.	55
Gráfico 37 - Radiação solar vs Var caixa-de-ar em Novembro.	56
Gráfico 38 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Novembro.	57
Gráfico 39 -Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre a Ttelha e Tcx.ar em Novembro.	57
Gráfico 40 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Novembro.	58
Gráfico 41 - Diferença de temperatura do ar entre a Text e a Tdesvão em Novembro.	58
Gráfico 42 - Temperaturas vs Humidade da Célula-teste em Novembro.	59
Gráfico 43 - Text, Ttelha, Tcx.ar, Tisol subtelha e Tdesvão para o mês de Dezembro.	60
Gráfico 44 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Dezembro.	60
Gráfico 45 - Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre a Ttelha e Tcx.ar em Dezembro.	61
Gráfico 46 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Dezembro.	61
Gráfico 47 - Diferença de temperatura do ar entre a Text e a Tdesvão em Dezembro.	62
Gráfico 48 - Radiação solar vs dif. temp. ext e int em Dezembro.	62
Gráfico 49 - Temperaturas vs Humidade da Célula-teste em Dezembro.	63
Gráfico 50 - Text, Ttelha, Tcx.ar, Tisol subtelha e Tdesvão para o mês de Janeiro. .	64
Gráfico 51 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Janeiro.	64
Gráfico 52 - Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre o Logtag 8 e 5 em Janeiro.	65

Gráfico 53 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Janeiro.	66
Gráfico 54 - Diferença de temperatura do ar entre a Text e a Tdesvão em Janeiro... ..	66
Gráfico 55 - Radiação solar vs dif. temp. ext e int em Janeiro.	67
Gráfico 56 - Caudal mássico do ar em Outubro.....	68
Gráfico 57 - Caudal mássico do ar em Novembro.....	68
Gráfico 58 - Var vs Var caixa-de-ar diária em Outubro.	70
Gráfico 59 - Radiação vs Var caixa-de-ar diária em Outubro.	70
Gráfico 60 - Text, Ttelha e Tcx.ar diárias em Outubro.....	70
Gráfico 61 - Var vs Var caixa-de-ar diária em Novembro.....	72
Gráfico 62 - Radiação vs Var caixa-de-ar diária em Novembro.....	72
Gráfico 63 - Text, Ttelha e Tcx.ar diárias em Novembro.....	73

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Características de uma cobertura utilizada por Cerne & Medved (2006).	13
Tabela 2 – Característica da célula-teste utilizada por Gagliano, Patania, Nocera, Ferlito, & Galesi (2012).	14
Tabela 3 - Características climáticas do local onde se situa a célula-teste (Fonte: Instituto português do Mar e da Atmosfera).	22
Tabela 4 - Descrições e Funcionalidades dos equipamentos utilizados nas medições experimentais.	25
Tabela 5 - Temperatura do ar exterior.	30
Tabela 6 - Médias Mensais registadas da velocidade do vento em cada mês.	33
Tabela 7 - Médias Mensais de Radiação Solar para cada mês.	36
Tabela 8 Valor acumulado de precipitação para cada mês.	37
Tabela 9 - Médias mensais da humidade relativa do ar para cada mês.	38
Tabela 10 - Média mensal da Var na caixa-de-ar para cada mês.	40
Tabela 11 - Médias mensais da temperatura registada na superfície inferior da telha.	42
.....	42
Tabela 12 - Média Mensal da temperatura do ar na caixa-de-ar.	44
Tabela 13 - Média Mensal da humidade relativa da Caixa-de-ar.	47
Tabela 14 - Dados médios diários para Outubro.	69
Tabela 15 - Dados médios diários para Novembro.	71

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

RCCTE - Regulamento de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

U – Coeficiente de transmissão térmica

δ - Espessura

λ - Condutividade térmica

ΔT – Diferença de temperaturas

I – Radiação solar

η térmico - Eficiência térmica

η fluxo reforçado - Eficiência de fluxo reforçado

ρ - Densidade do fluido

v - Velocidade do ar

Q_{in} - Fluxo de calor interior

Q_v - Fluxo de calor que ocorre associado à ventilação do beiral

T_{out} – Temperatura do ar no exterior

T_{in} – Temperatura do ar no interior

C_p – Calor específico

\dot{m} - Caudal mássico

Q_{Conv} – Transferência de calor por convecção

Q_{Rad} - Transferência de calor por radiação térmica

Q_{Cond} - Transferência de calor por condução

Q_{Abs} - Transferência de calor por absorção

ϵ - Emissividade da superfície

σ - Constante de Stefan Boltzman

A - Área

A_s - Área da superfície

h - Altura

T_{sa} - Temperatura sol-ar

I - Radiação solar global

T ar int - Temperatura do ar interior

T telha - Temperatura da Superfície inferior da telha

T desvão – Temperatura do ar no desvão

T isol subtelha – Temperatura do isolamento na superfície inferior da subtelha

T cx.ar – Temperatura do ar caixa-de- ar

V ar ext – Velocidade do ar no exterior

V ar cx.ar – Velocidade do ar na caixa-de- ar

ΔT ar (telha-cx.ar) – Diferença de temperatura entre a superfície da telha e o ar na caixa-de- ar

ΔT ext-int – Diferença de temperaturas entre o ar exterior e o ar interior

HR isol subtelha – Humidade Relativa do isolamento na superfície inferior da subtelha

HR cx.ar - Humidade Relativa do ar caixa-de- ar

HR desvão - Humidade Relativa do ar no desvão

m ar – Caudal mássico do ar

Q – Transferência de calor através do caudal de ar na caixa-de- ar

r – Raio da secção

ΔT (telha cerâmica) - Diferença de temperatura entre a telha e o ar na caixa-de-ar

ΔT (ext-int) - Diferença de temperatura entre o exterior e o interior (desvão).

Índice

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Estrutura	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. História da Telha Cerâmica	5
2.2. Cobertura em Telha Cerâmica	6
2.3. Cobertura Inclinada com Beiral Ventilado	7
2.4. Soluções Passivas	8
2.5. Estado da Arte	9
2.6. Resumos e Conclusões	19
3. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO: COBERTURA EM TELHA CERÂMICA COM BEIRAL VENTILADO E SUB-TELHA	21
3.1. Localização	21
3.2. Clima	22
3.3. Descrição da célula-teste	23
3.4. Materiais e Métodos	24

3.5.	Cronograma	26
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	29
4.1.	Dados Obtidos da Estação Meteorológica	29
4.1.1.	Temperatura do Ar Exterior	29
4.1.2.	Vento	33
4.1.3.	Radiação Solar	36
4.1.4.	Precipitação	37
4.1.5.	Humidade relativa do ar	38
4.2.	Velocidade do ar na Caixa-de-Ar	39
4.3.	Temperatura da Telha Cerâmica	41
4.4.	Temperatura e Humidade Relativa do Ar na Caixa-de-Ar	44
4.5.	Comparação de Parâmetros	49
4.5.1.	Outubro	50
4.5.2.	Novembro	54
4.5.3.	Dezembro	59
4.5.4.	Janeiro	63
4.6.	Balço Energético ao Ar na Caixa-de-ar	67
4.7.	Análise diária	69
5.	CONCLUSÃO	75

1. Introdução

Ao longo dos tempos e com a evolução do Homem, houve uma notória evolução no sector da edificação, desde as grutas usadas pelos primeiros humanos terrestres até às grandes edificações constituídas por fundações, superestrutura, coberturas, caixilharia, instalação elétrica e hidráulica, entre muito mais, que são construídas atualmente.

Esta evolução foi muito benéfica para o Homem pois permite obter um maior conforto. Contudo, associado a este aumento de conforto verificou-se também um aumento na utilização de energia no sector dos edifícios, devido em grande parte à utilização de climatização, utilizada para manter o conforto térmico no interior dos edifícios. Assim sendo, e de modo a combater este aumento do consumo energético, tem aumentado o número de soluções passivas a utilizar na construção dos edifícios, desde coberturas ventiladas, ao uso de paredes de Trombe, chaminés solares entre outras tecnologias.

Por norma, em Portugal, as coberturas são inclinadas e revestidas com telhas cerâmicas. No entanto, este tipo de soluções pode, quando não são bem aplicadas, apresentar algumas anomalias, tais como por exemplo colonização biológica e defeitos no isolamento térmico. Uma das soluções que pode ser tomada passa pela construção de coberturas ventiladas, que eventualmente também podem levar à diminuição dos consumos a nível energético e ao aumento do conforto térmico do edifício. Estas coberturas são vistas como um sistema de proteção que tem como grande característica a existência de uma caixa-de-ar, resultante do afastamento entre o revestimento da telha e a placa inferior estrutural.

De modo a estudar e analisar o comportamento térmico de coberturas ventiladas sem desvão ventilado, foi desenvolvido na ESTG do Instituto Politécnico de Leiria, um projeto de campo com o auxílio de uma célula-teste, de modo a avaliar experimentalmente o comportamento térmico e a quantificar as características de elementos construtivos, durante a época mais fria, permitindo a comparação com a estação quente.

A Diretiva 2010/31/EU, de 19 de Maio 2010, relativa ao desempenho energético de edifícios estabelece o objetivo europeu “EU-20-20-20” para 2020, em que este passa pela redução de 20% nas emissões responsáveis pelo efeito de estufa, aumento 20% da incorporação energias renováveis e aumento de 20% na eficiência energeticamente, e

estabelece metas e planos de incentivo para a recuperação dos edifícios existentes e para a construção de novos edifícios com necessidades “quase nulas de energia”.

Relativamente à legislação nacional, o Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de Agosto, assegura a transposição da diretiva, referida anteriormente, assim como uma revisão da legislação nacional num único diploma. Assim, os Decretos-Lei nº78/2006, nº79/20006 e 80/2006 estão sistematizados, com alterações, neste diploma de forma a assegurar o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). O referido decreto já sofreu duas alterações, a primeira com o Decreto-lei nº 53/2014 e a segunda alteração pelo Decreto-lei nº 194/2015, de 14 de Setembro.

O clima em Portugal é caracterizado por grandes amplitudes térmicas quer sazonais quer diárias, com apresentando geralmente noites com forte arrefecimento. As amplitudes térmicas interferem no conforto térmico dos edifícios, dificultam o planeamento de soluções eficazes e criam necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios.

Assim serão ou não, as coberturas ventiladas, uma boa solução para estações frias ou só para as estações quentes?

1.1. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo analisar o comportamento térmico de uma cobertura com beiral ventilado, revestida com telha cerâmica e subtelha com isolamento térmico pelo interior. Em particular, avaliar nos meses do Outono e do Inverno as vantagens da integração da caixa-de-ar ventilada. Para tal, foi construída uma célula-teste para se efetuar uma análise dinâmica do comportamento da cobertura; a influência que a ventilação da caixa-de-ar oferece em relação à transferência de calor na cobertura, à salubridade e ao conforto térmico.

No presente relatório serão descritas a metodologia experimental e a instrumentação que permitiu caracterizar a transferência de calor e os perfis de temperatura e humidade relativa na caixa-de-ar e nas superfícies dos diferentes materiais que compõem a cobertura, desde a telha até ao interior da subtelha, bem como as correspondentes trocas de calor entre os diversos materiais constituintes. Para isso, são

analisados, para além dos valores referentes à célula-teste, os valores do ambiente exterior do ponto de vista meteorológico, com a finalidade de correlacionar os valores experimentais obtidos em tempo real nas superfícies da cobertura com os valores das condições exteriores. Assim, espera-se compreender o comportamento da cobertura através de fatores como a temperatura do ar exterior, radiação solar e velocidade do vento, entre outros.

Pretende-se também caracterizar a ventilação natural da caixa-de-ar, analisar em cada momento do dia a temperatura superficial dos materiais e ainda as transferências de calor ocorridas através da cobertura no período diurno, noturno, com e sem nebulosidade.

1.2. Estrutura

A dissertação está organizada em seis Capítulos, dispostos da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução: enquadramento do tema da dissertação e descrição dos seus principais objetivos.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura: apresentação da revisão bibliográfica sobre o desempenho térmico de diferentes tipos de soluções construtivas de cobertura ventilada.

Capítulo 3 – Caracterização do Caso-Estudo: descrição da célula de teste e apresentação da metodologia utilizada para medição dos valores experimentais, bem como da instrumentação utilizada.

Capítulo 4 – Metodologia: descrição dos modelos experimentais desenvolvidos, explicitação de como foi feito o tratamento dos dados obtidos e calendarização das atividades desenvolvidas.

Capítulo 5 – Resultados: exposição dos resultados obtidos através das medições realizadas e respetiva análise, incluindo a avaliação do comportamento térmico, estudo da ventilação natural, análise da temperatura superficial dos materiais e transferência de calor através da cobertura.

Capítulo 6 – Conclusão: apresentação das conclusões relacionadas com o presente trabalho e sugestões para trabalho futuro.

Por fim, apresentam-se as referências bibliográficas e os Anexos.

2. Revisão Bibliográfica

Neste Capítulo será feita uma breve abordagem à história do revestimento de coberturas com telha cerâmica, ao conceito de cobertura inclinada com telha cerâmica e beiral ventilado. Serão ainda analisados trabalhos científicos na mesma temática deste trabalho e será abordado em particular um trabalho anterior realizado na mesma célula-teste mas noutra período temporal das estações da Primavera e Verão. De modo a elaborar o Estado da Arte, foram tidas em conta publicações e referências bibliográficas científicas e internacionais, de modo a melhorar as fundamentações para a escolha de melhores estratégias a utilizar em coberturas de edifícios, principalmente ao nível da eficiência energética.

2.1. História da Telha Cerâmica

A palavra “cerâmica” provém do grego e tem como significado argila. Assim sendo, cerâmica é todo o conjunto de atividades destinadas à obtenção de objetos através do barro, originário de uma propriedade que a argila tem de se moldar facilmente enquanto húmida e adquirindo dureza por secagem ou cozedura. (Margon Portugal, 2007)

Há vários tipos de coberturas utilizadas hoje em dia em Portugal. A que mais se destaca é sem dúvida a cobertura revestidas com telhas cerâmicas, constituindo um elemento tradicional na paisagem portuguesa.

A origem das coberturas com telhas cerâmicas é incerta. Os primeiros homens existentes na Terra procuravam abrigos precários de modo a protegerem das condições climatológicas adversas. Primeiramente estas estruturas eram feitas de matérias como árvores, folhagens, peles de animais, entre outras. Numa segunda fase passaram a objetos cerâmicos, tendo sido accidental a forma como descobriram que o tratamento com o fogo conferia dureza à argila, tendo rapidamente aprendido a controlar esse uso (U.T.L., 2006/2007).

2.2. Cobertura em Telha Cerâmica

A cobertura é um conjunto de elementos resistentes e protetores destinados a fechar a parte superior de um edifício, sendo que esta pode ser inclinada e/ou horizontal.

As coberturas em telhas cerâmicas são mais resistentes às condições climáticas sendo por isso mais duradouras e, também, mais económicas em relação a outros materiais como por exemplo o fibrocimento (U.T.L., 2006/2007).

Qualidades que uma telha deve possuir (U.T.L., 2006/2007):

- Leveza;
- Resistência mecânica para suportar os agentes atmosféricos;
- Não ser rugosa de modo a não impedir o escoamento das águas;
- Impermeável, sendo esta a característica mais rigorosa pois tem de impedir a acumulação de águas de modo a não se tornar muito pesada e para evitar o desgaste derivado da humidade.

Tipos de Telhas:

- Telha Marselha [1];
- Telha de Canudo [2];
- Telha Lusa [3];
- Telha Plana [4];
- Telhas de Beiral [5].



Figura 1 - Tipos de Telhas. Adaptado de U.T.L., 2006/2007

Uma cobertura deve ter em conta 3 funções, sendo elas a função utilitária que tem como alguns parâmetros a impermeabilidade, a durabilidade, a facilidade em execução, reduzida manutenção entre outros, a função estética e a função económica (Lourenço, 2012).

Para se atingir estas funções é necessário ter em conta, aquando a execução de uma cobertura, os seguintes aspetos (Lourenço, 2012):

- Inclinação recomendada mínima – que deve ser de acordo com a geometria do produto e com a zona geográfica devido às condições meteorológicas do local do edifício;
- Exigências de rigor na aplicação;
- Ventilação na face interior da telha.

Uma cobertura inclinada em telha cerâmica, para além do revestimento em telha cerâmica possui duas estruturas, uma que sustenta este revestimento e outra sustenta a globalidade da cobertura e tem ainda na sua constituição materiais isolantes térmicos, como mantas ou placas de lã mineral, placas de poliestireno, entre outros. Nesta cobertura pode-se ainda criar uma caixa-de-ar desde o beirado até à cumeeira, formando uma cobertura ventilada, em que o escoamento do ar interior é realizado por convecção natural aquecido pela radiação proveniente do Sol e incidente na telha. (Cunha, 2011)

2.3. Cobertura Inclinada com Beiral Ventilado

Os telhados ventilados tendem a reduzir as cargas térmicas e a melhorar as condições do ambiente no interior do espaço (D’Orazio, et al., 2007). Do ponto de vista tecnológico, os sistemas de ventilação natural são sistemas que envolvem câmaras de ventilação entre a cobertura e a sub-telha. As vantagens de ter uma construção com cobertura ventilada são as seguintes (Lourenço, 2012):

- Ventilar e secar os elementos da cobertura;
- Equilíbrio da temperatura e de humidade entre o interior e o exterior da edificação;
- Renovação do ar no interior;
- Rápida secagem da chuva absorvida pela telha;
- Resistência da telha ao gelo;
- Reduzir a condução de água no interior da telha, eliminando o vapor de água;

- Melhor conforto térmico interior.

Nas coberturas inclinadas de telha cerâmica podem-se distinguir dois tipos de ventilação:

- Ventilação da face inferior da telha (micro-ventilação) – Esta deve-se à circulação de ar sob as telhas, a qual acontece quando há sistemas de ripa e contra ripa, ripados interrompidos sob suporte contínuo, colocação de telhas de ventilação e orifícios de ventilação.
- Ventilação do desvão da cobertura – Esta deve-se á ventilação do espaço entre o telhado e a laje do último piso de um edifício, típica em situação de desvão sem ocupação.

2.4. Soluções Passivas

Todas as estratégias passivas têm em conta a mesma base, ou seja, todas elas analisam o conforto térmico e tendem a melhorar o dispêndio de energia em oposição aos sistemas ativos. Assim, conforto térmico “é o estado em que o corpo se adapta ao ambiente, com menor gasto energético.” Para se conseguir determiná-lo é necessário ter conhecimento de algumas varáveis tais como por exemplo a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a radiação solar, a atividade dos ocupantes, a taxa metabólica e o vestuário dos ocupantes (Ozdeniz & Hançer, 2004).

Outros fatores a ter em conta quando se fala em desempenho térmico são os mecanismos físicos que possibilitam as trocas de calor entre os corpos envolventes e os fluidos, sendo estes a convecção, condução, evaporação e radiação (Miguel, 2013).

É cada vez mais usual o uso de estratégias bioclimáticas, que se baseiam na otimização das relações energéticas com o ambiente natural através da arquitetura do projeto (Cunha, 2011).

Um bom exemplo disso é um estudo citado por Chandel & Aggarwal (2008), em que afirma que os sistemas solares passivos e a colocação de vidros duplos permitem uma redução de perdas de calor de aproximadamente 35% e o isolamento do telhado reduz em 55% as perdas de calor por condução.

Assim, os sistemas passivos têm como objetivo promover o aquecimento ou arrefecimento natural sem qualquer gasto de energia primária.

Os sistemas de aquecimento passivo dividem-se em três categorias: sistemas de ganho direto (paredes), sistemas de ganho indireto (paredes, coberturas e pavimentos) e sistemas de ganho isolado (estufas); já os sistemas de arrefecimento passivo dividem-se em sistemas diretos (proteção solar e ventilação natural), sistemas indiretos (arrefecimento evaporativo) e sistemas separados (arrefecimento pelo solo) (Cunha, 2011).

Podem ser incorporados em edifício ambos os sistemas, isto é, aquecimento através da radiação solar na cobertura e sistemas de arrefecimento direto que utilizam a ventilação natural como meio de transferência de calor entre o ambiente e o edifício, através de estratégias construtivas (Beviss-Challinor, 2007).

2.5. Estado da Arte

O estudo das coberturas ventiladas é um processo muito complexo, dado que este requer um conhecimento detalhado sobre a taxa de fluxo de ar e das suas propriedades termodinâmicas, térmicas e físicas dos materiais. Necessita dos valores dos coeficientes de convecção, da intensidade da radiação solar, das propriedades do ar exterior e da velocidade e direção do vento. (Gagliano, et al., 2012)

Para estudos científicos, em muitos casos, há a divisão do tipo de telhados, podendo ser considerados telhados “quentes” ou telhados “frios”. Em que nos primeiros não existe espaço entre o telha e o isolamento como se pode ver na Figura 2 a). No caso do tipo de telhado “frio”, o isolamento está localizado por baixo, permitindo um espaço de ventilação (Figura 2 b). O que também pode acontecer nestes topos de telhados é que a cavidade de ventilação esteja fechada, como exemplificado na figura Figura 2 c) (Lee, et al., 2008).

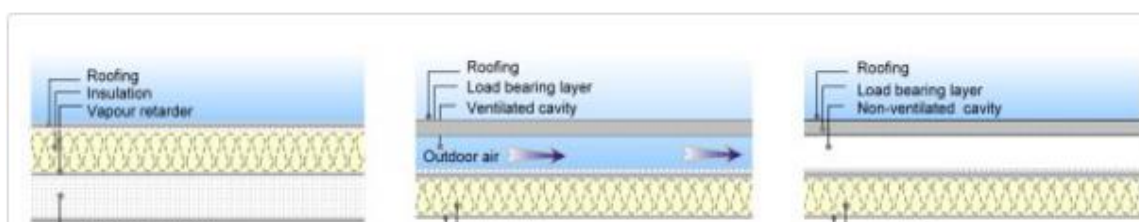


Figura 2 - Tipos de cobertura com várias configurações. (a) Cobertura Quente; (b) Cobertura fria ventilada; (c) Cobertura fria não ventilada. (Lee, et al., 2008)

No caso dos telhados “frios” ventilados estão presentes várias formas de transferência de calor, sendo possível fazer um balanço energético relativamente ao fluxo de calor que entra e sai da cobertura. A Figura 3 é uma representação do mecanismo de transferência de calor que ocorre numa cobertura ventilada.

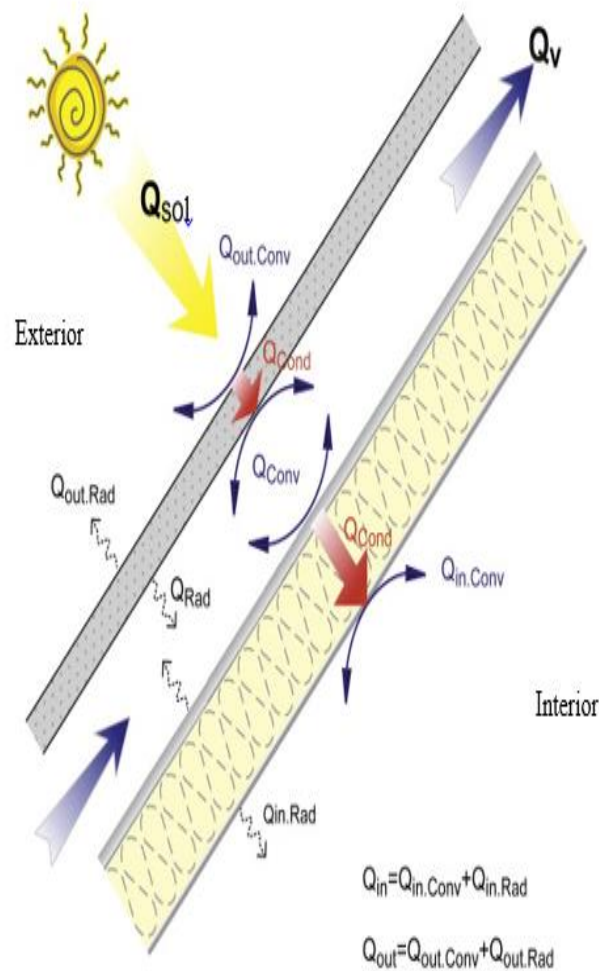


Figura 3 - Mecanismo de transferência de calor num telhado ventilado, adaptado de Lee, Park, Yeo, & Kim, (2008).

De acordo com Lee et al. (2008), o ganho de calor através da radiação solar (Q_{sol}) é equivalente à soma de todos os mecanismos de calor envolvidos, isto é, o fluxo de calor ganho pela parte exterior da cobertura (Q_{out}), o fluxo de calor interior (Q_{in}) e o fluxo de calor que ocorre devido à ventilação (Q_V). Resultando assim as seguintes equações, sendo possível calcular cada fluxo parcial bem como o fluxo geral.

$$Q_{sol}[W] = Q_{out} + Q_{in} + Q_V \quad (1)$$

$$Q_{in}[W] = Q_{in\ Conv} + Q_{in\ rad} \quad (2)$$

$$Q_{out}[W] = Q_{out\ Conv} + Q_{out\ Rad} \quad (3)$$

$$Q_V[W] = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

Para efetuar uma análise sobre os fluxos de calor envolvidos é necessário utilizar as seguintes fórmulas de transferência de energia sob forma de calor:

- Radiação térmica (Q_{rad}) [W]

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma A (T_{int}^4 - T_{ext}^4) \quad (5)$$

Em que, ε é a emissividade da superfície, σ é a constante de *Stefan Boltzman* ($5,6 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) e A é a área [5].

- Convecção (Q_{conv}) [W]

$$Q_{conv} = A_s h (T_{int} - T_{ext}) \quad (6)$$

Em que, A_s é a área da superfície, h é a altura, T_{int} é a temperatura do ar interior e a temperatura do ar exterior é T_{ext} [6].

- Condução (Q_{cond}) [W]

$$Q_{cond} = \frac{\lambda A}{\delta} (T_{int} - T_{ext}) \quad (7)$$

Em que λ é a condutividade térmica e δ é a espessura do material.

Os referidos autores anteriormente, provaram que quando não havia ventilação a temperatura da cavidade de ventilação em regime estacionário [7] era a mesma que a exterior. Por outro lado, quando a cavidade de ventilação foi aberta a temperatura do canal baixou drasticamente, atingindo-se uma diferença de cerca de $37,5^\circ$ entre o interior e o exterior da cobertura. Para que isto ocorra é necessário ter em conta uma inclinação mínima da cobertura de modo a forçar a movimentação natural das correntes de ar. Concluíram que a temperatura da superfície da cobertura aumenta de acordo com a radiação solar, tornando-se eficaz em locais ou estações com mais radiação a existência de um canal de ventilação de modo a reduzir a temperatura no interior do edifício. Para estes autores uma cobertura quadrada é mais vantajosa que uma cobertura retangular. A Figura 4 mostra a célula-teste usada neste estudo (Lee, et al., 2008).




Figura 4 – Célula-teste utilizada pelos autores Lee, Park, Yeo, & Kim (2008).

Segundo a Revisão Bibliográfica citada no artigo de *Biwole et al.(2008)*, há uma variedade de estudos já efetuados sobre coberturas ventiladas. A maioria dos estudos citados são referentes a modelos numéricos para a análise da eficiência térmica em diversas coberturas, em que se pode concluir que o grau de dificuldade destas análises numéricas é bastante elevado, mesmo usando como base avaliações experimentais recolhidas em células-teste (Biwole, et al., 2008).

Outro exemplo de estudo com coberturas ventiladas é o artigo científico dos autores *Cerne & Medved(2006)*, que analisa uma cobertura constituída por duas camadas de folha de metal fina com uma camada de isolamento térmico, com baixa inclinação, com ventilação, coberturas muito usadas atualmente em fábricas, edifícios comerciais entre outros (Tabela 1). Este tipo de material apresenta uma resistência térmica muito elevada com uma estabilidade térmica baixa quando comparado com construções maciças, o que leva a que este tipo de cobertura leve esteja muito depende da variação meteorológica. Assim, este estudo analisa a transferência de calor que ocorre através deste tipo de cobertura com duas configurações diferentes. Num primeiro caso, foi configurado apenas com a folha de metal com cavidade ventilada e no outro caso foi configurada adicionando isolamento térmico e uma barreira de radiação (Cerne & Medved, 2006).

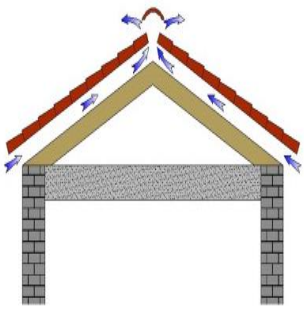
Tabela 1 – Características de uma cobertura utilizada por Cerne & Medved (2006).

Constituição	δ (mm)	λ (W/ mK)	ρ (kg/ m ³)	C_v (J /kgK)	ε	Célula-Teste	Resultados e Conclusões
Folha de Metal	0,6	43	7800	460	0,9		Foi feita uma análise multi-paramétrica, que conclui que a cobertura ventilada reduz a carga térmica dentro do edifício, sendo maior na cobertura com isolamento e barreira radiante. E quanto maior for a velocidade do vento menor será a carga térmica.
Isolamento	78,8	0,04	120	840	0,9		
Cavidade ventilação	7	0,026	1,189	1005	0		
Folha de alumínio	--	204	2700	900	0,1		
Poliuretano	--	0,035	25	1400	0,9		

A revisão bibliográfica destes autores também é muito explícita no que diz respeito à redução da temperatura do ar interior no Verão em edifícios com coberturas com cavidades ventiladas quando comparadas com coberturas com cavidades não ventiladas.

Assim, em locais com elevada intensidade de radiação solar, torna-se produtivo a construção de coberturas com cavidades ventiladas, pois tem-se vindo a comprovar que estas promovem a redução da carga térmica no interior de edifícios, durante a estação mais quente, reduzindo assim o consumo energético referente a equipamentos de refrigeração. Com o objetivo de avaliar vários tipos de coberturas os autores *Gagliano et al.* (2012) estudaram o comportamento térmico de coberturas com ventilação e sem ventilação e para cada uma analisaram a localização do isolamento, sob, sobre e metade sob e outra metade sobre a caixa de ventilação, para o período de Verão. A Tabela 2 mostra as características das camadas das coberturas (Gagliano, et al., 2012).

Tabela 2 – Característica da célula-teste utilizada por Gagliano, Patania, Nocera, Ferlito, & Galesi (2012).

Constituição	δ (m)	ρ (kgm^{-3})	λ ($Wm^{-1}K^{-1}$)	Célula-teste	Resultados e Conclusões
Telhas Cerâmicas	0,035	1800	0,75		<p>O desempenho da caixa de ventilação depende da localização da placa de isolamento;</p> <p>O telhado ventilado permite uma maior redução do fluxo de calor no interior comparativamente ao não ventilado;</p> <p>Os melhores resultados foram obtidos quando o isolamento é aplicado sob a caixa-de-ar sobre o desvão não ventilado.</p>
Ripado de Madeira	0,01	450	0,12		
Camada de ventilação (ar)	0,80	--	0,025		
Isolamento	0,04	100	0,038		
Argamassa	0,0515	2000	1,40		
Tijolo e laje de betão	0,30	1600	0,81		
Argamassa e cimento	0,015	1800	0,90		

Os autores referidos anteriormente utilizaram como fundamento as soluções numéricas de algumas equações, sendo exemplo disso as seguintes equações 8 e 9:

- [8] Temperatura Sol-ar - T_{sa} (°C): Em que corresponde à temperatura “equivalente” do ar exterior que, na ausência de transferências de calor sob forma de radiação, resultaria o mesmo fluxo de transferência de calor do ambiente exterior para a parte externa do telhado ou parede, como resultado da combinação na realidade das diferenças de temperatura entre o ar exterior e a parte exterior do telhado ou parede, e da transferência de calor por

radiação que realmente acontecem. Permite, assim, avaliar a radiação solar incidente na superfície exterior.

$$T_{sa} = T_o + \frac{\alpha I}{h_e} - \Delta T_{c\acute{e}u} \quad (8)$$

Em que, T_o corresponde à temperatura do exterior na sombra ($^{\circ}\text{C}$), α é o coeficiente que corresponde à absorvidade da superfície exterior, I refere-se à intensidade da radiação solar global (W/m^2), h_e é a condutância superficial (W/m^2) e, por fim, $\Delta T_{c\acute{e}u}$ em que é 4°C para planos aproximadamente horizontais e 0°C para planos verticais.

Através desta equação pode-se chegar ao cálculo da transferência de calor (q) que ocorre entre uma superfície e o exterior, por meio da radiação solar (Rodrigues, s.d.).

$$q \text{ (W/m}^2\text{)} = k_t \times (T_{sa} - T_{ar \text{ int}}) \quad (9)$$

Em que:

- k_t – Condutibilidade térmica ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$);
- $T_{ar \text{ int}}$ – Temperatura do ar interior ($^{\circ}\text{C}$).

A cobertura da célula de teste utilizada no presente trabalho já tinha sido anteriormente avaliada mas para os meses de Verão, nomeadamente nos meses de Maio a Junho. No presente trabalho, com o objetivo de avaliar o comportamento da cobertura nos meses do Outubro a Janeiro, pretende-se essencialmente caracterizar o desempenho nas estações do Outono e do Inverno. Contudo, também será efetuada uma comparação com os resultados dos meses de Verão acima referido. Nos Gráficos 1 a 4 apontam-se alguns dos resultados obtidos nos meses de Verão (Almeida, 2013).

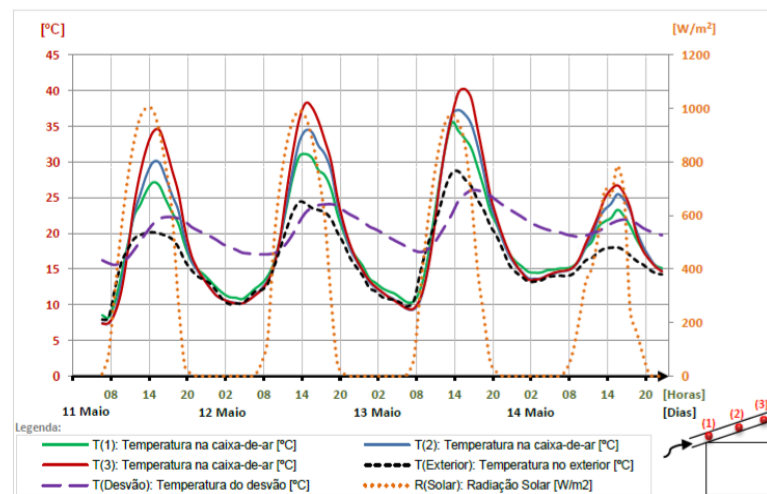
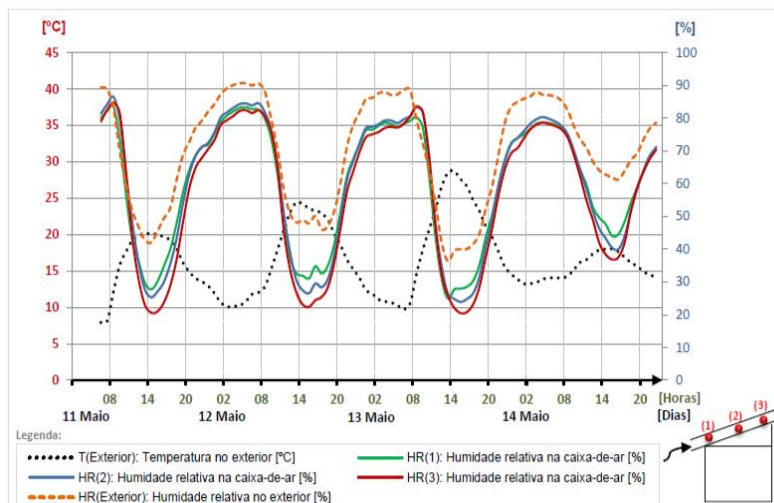


Gráfico 1 – Comparação das temperaturas com as humidades relativas e com a radiação solar. Fonte: Almeida, 2013

Em cima, pode-se perceber que nos períodos com temperatura exterior mais elevada a humidade relativa na caixa-de-ar diminui, sendo que em comparação com a do exterior diminui ainda mais nos períodos em que há aumento da temperatura exterior. Quando se comparam as temperaturas com a radiação solar percebe-se que em períodos com maior radiação solar todas as temperaturas aumentam, principalmente a T3, que é referente à caixa-de-ar no ponto com maior altitude. É ainda visível que a temperatura registada no desvão é mais constante, registando-se subidas também nestes períodos, mas não tão acentuadas.

No Gráfico 2, pode-se observar que a humidade absoluta do ar num período diurno, mas precisamente entre as 10 e 12 horas apresenta uma maior oscilação, o que mostra que a existência da ventilação é um factor importante pois possibilita a redução do vapor de água evitando condensações superficiais nos materiais.

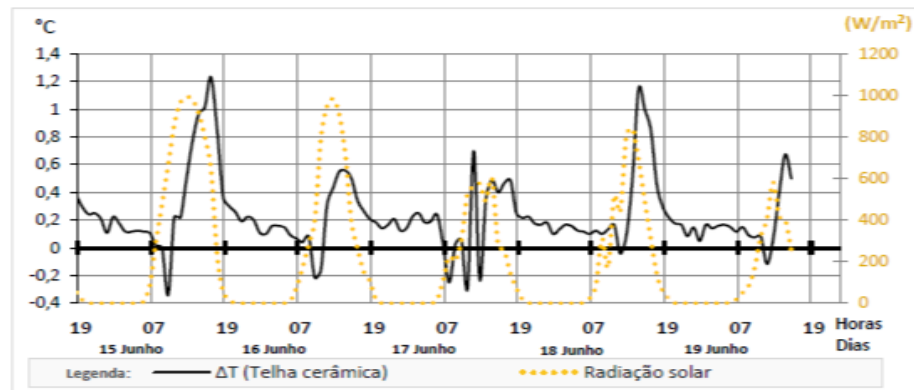


Gráfico 3 - Diferença de temperaturas na telha cerâmica em comparação com a radiação.
Fonte: Almeida, 2013

provocas um ligeiro desfazamento no tempo. No Gráfico 4 apresenta-se uma análise que o autor Almeida (2013) obteve quando comparou a velocidade do ar na caixa-de-ar com a radiação solar e com a velocidade do ar exterior. Sendo de concluir que a velocidade do ar sentida no canal de ventilação entre a subtelha e a telha tem uma maior dependência da radiação solar, em que com o aumento da intensidade desta provoca um

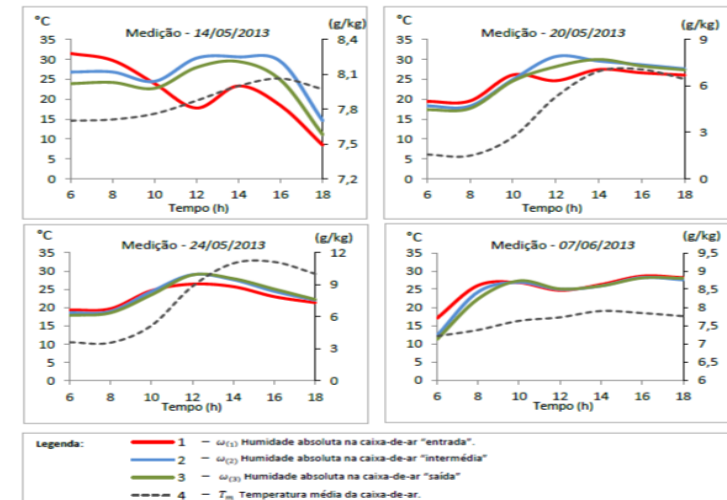


Gráfico 2 - Humidades durante um período diurno. Fonte: Almeida, 2013

O Gráfico 3 mostra uma relação entre a radiação e a diferença de temperaturas superficiais da telha cerâmica. Em que, essa variação aumenta com o aumento da radiação solar incidente naquele local, sendo que é de notar um ligeiro atraso entre o aumento da radiação e o aumento da variação de temperaturas, isto acontece devido à inércia térmica do material que

aumento da velocidade do ar. No entanto, a velocidade do ar exterior também tem a sua influência favorecendo assim uma maior ventilação da caixa-de-ar.

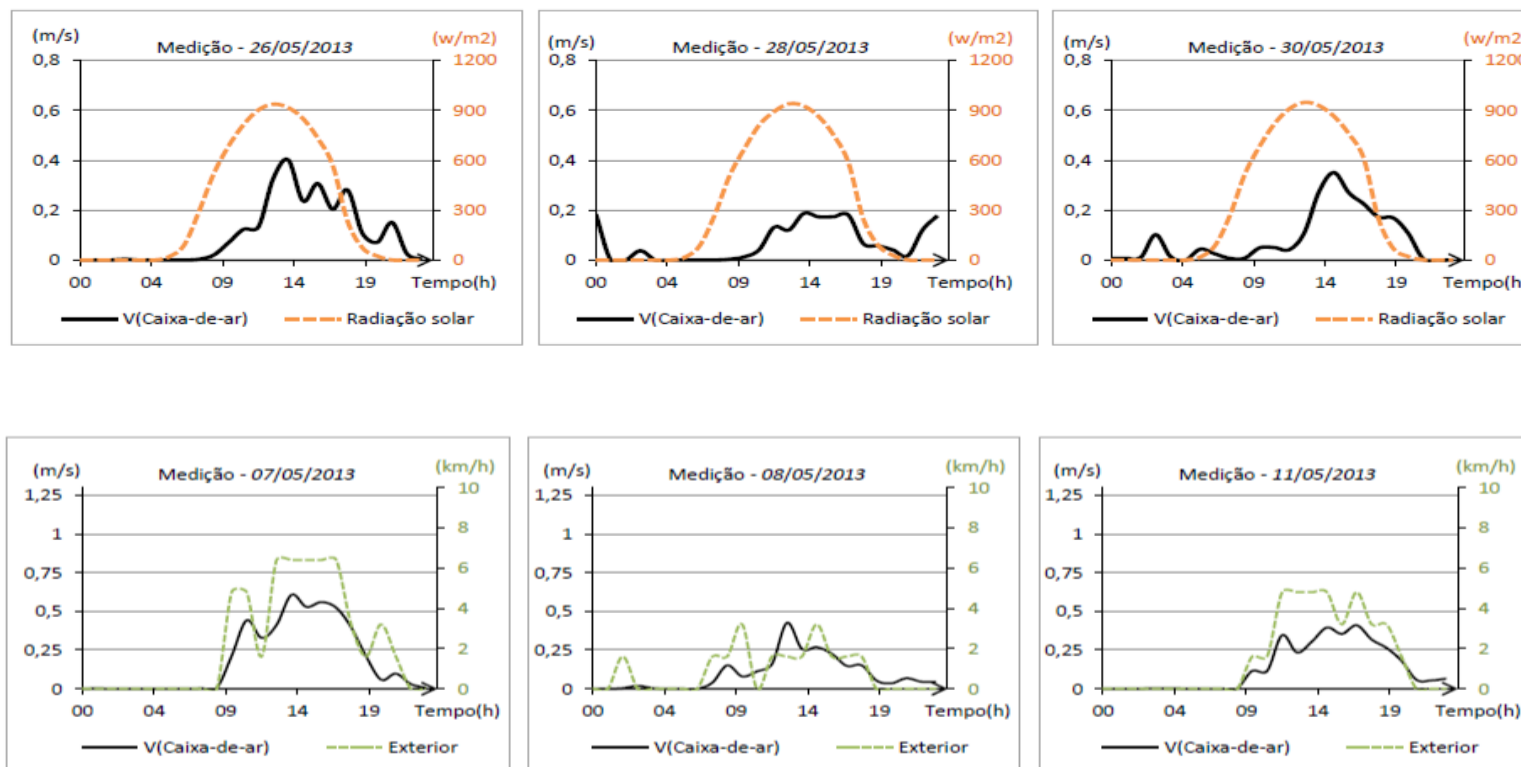


Gráfico 4 - Velocidade do ar na caixa de ar em comparação com a radiação solar e com a velocidade do ar no exterior. Fonte: Almeida, 2013

2.6. Resumos e Conclusões

Em suma, pode-se afirmar que o estudo do comportamento das coberturas de edifícios é uma área muito estudada já há algum tempo, pois é uma boa oportunidade de melhoria ao nível da redução da utilização de equipamento de climatização bem como de melhoria da qualidade do ar interior, sendo bastante favorável economicamente.

Pode-se ainda concluir que para os meses mais quentes ou em climas quentes, a cobertura ventilada é um benefício para o conforto térmico do edifício bem como para a qualidade do ar interior. Tendo em conta que se está a tornar cada vez mais frequente a utilização destes espaços como o desvão para espaços habitacionais, sendo este o piso com mais benefício aquando a existência de uma cobertura ventilada com um bom isolamento interno.

Pelos estudos efetuados, nota-se a incerteza desde tipo de cobertura em meses mais frios, não tendo sido encontrado nenhum estudo que comprova-se que o benefício em meses de frios seria igual ao previsto nos meses quentes.

De acordo com *Almeida (2013)*, a telha cerâmica apresenta uma boa capacidade de armazenar fluxos de calor que a atravessam e apresenta boas propriedades óticas. Em que, as transferências de calor entre a caixa-de-ar e o desvão aumentam com o aumento da temperatura da telha cerâmica, no entanto é de referir que há redução da temperatura interna quando a ventilação da caixa-de-ar aumenta. Em que este também conclui que em dias com maior temperatura exterior existe uma maior ventilação comparativamente aos dias com temperaturas mais baixas.

3. Caracterização do Caso de Estudo: Cobertura em Telha Cerâmica com Beiral Ventilado e Sub-Telha

De modo a avaliar o desempenho térmico da cobertura de telha cerâmica de um edifício com isolamento térmico em condições reais, foi estudada uma célula-teste construída na Escola Superior de Tecnologias e Gestão de Leiria, com a parceria da empresa Umbelino Monteiro S.A. que forneceu a cobertura e com a empresa Prélis, Lda que executou as paredes. Trata-se de uma célula-teste que tem na sua constituição paredes com tijolo térmico e telha cerâmica com beiral ventilado, orientado a Sul, de modo a aproveitar ao máximo a radiação solar.

Assim sendo, este capítulo refere-se à localização e explicação pormenorizada da Célula-Teste utilizada, e relata os materiais e metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos inicialmente.

3.1. Localização

Como foi referido anteriormente, a Célula-Teste está localizada no Instituto Politécnico de Leiria mais propriamente na Escola Superior de Tecnologias e Gestão de Leiria, em que as coordenadas da habitação experimental são 39°44'02.0"N 8°49'13.2"W como se poderá visualizar na Figura 5.

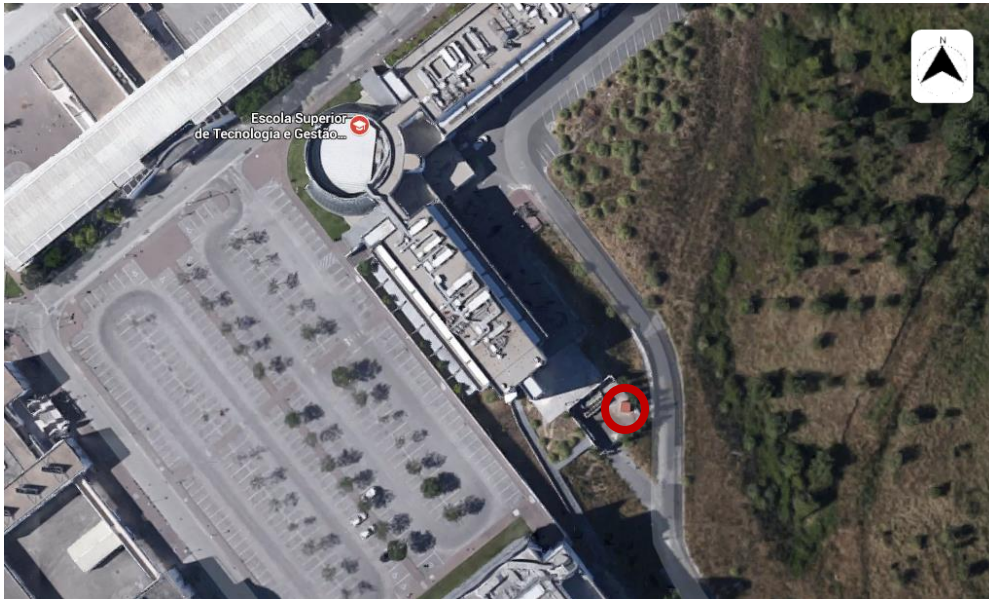


Figura 5 - Localização da célula-teste na ESTG-IPLeiair.

3.2. Clima

Leiria situa-se na região Centro e sub-região do Pinhal Litoral, em Portugal, é uma região urbana localizada nas proximidades da Costa Ocidental, apresentando, assim, um Clima Mediterrânico com influência oceânica. Ainda em relação ao clima, a Tabela 3 refere pormenorizadamente as principais características climáticas, nomeadamente as temperaturas, humidades relativas bem como precipitação e número de horas de sol. Para isso utilizou-se dados da estação mais perto de Leiria (Monte Real) entre os anos 1951 a 1980 através de normas climatológicas.

Tabela 3 - Características climáticas do local onde se situa a célula-teste (Fonte: Instituto português do Mar e da Atmosfera).

		Inverno	Primavera	Verão	Outono
Temperaturas (°C)	06-09h	8,63	15,3	18,43	10,97
	12-18h	14,5	18,97	23,47	16,97
	18-21h	10,17	14,43	17,77	11,77
	Médias	6-15,03	10,9-20,0	14,4-24,6	8,2-17,7
Humidade Relativa (%)	09h	87	77	80	88
	15-18h	65	61	58	66
	18-21h	85	82	84	87

		Inverno	Primavera	Verão	Outono
Nº horas de Sol		155	242	265	157
Precipitação (mm)	Média	120,6	53	15,9	102,1
	Total	59,96	46,4	28,1	57,8

3.3. Descrição da célula-teste

A célula-teste não é mais que uma miniatura de uma habitação real, com dois compartimentos, um compartimento térreo e um desvão não ventilado, com uma cobertura de telha cerâmica com beiral ventilado e com uma única abertura de entrada para o interior no compartimento térreo (Figura 6).

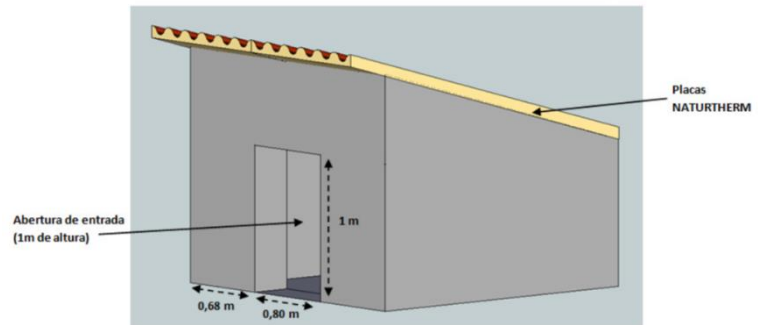


Figura 6 - Desenho da célula-teste com representação da entrada. Adaptado de Almeida, 2013.

A Figura 7 representa a célula de estudo com a representação das medidas de altura, comprimento e largura da célula. É demonstrada a separação entre o desvão e o compartimento térreo.

A parede é constituída por tijolo térmico com um revestimento de argamassa, a separação entre os compartimentos é constituída por placas de isolamento térmico XPS e a cobertura é composta por placas sub-telha *Nartutherm* revestidas com telhas cerâmicas. Estas placas servem, essencialmente, de reforço à estanquidade do telhado e conferem, ainda, um elevado grau de isolamento térmico devido à

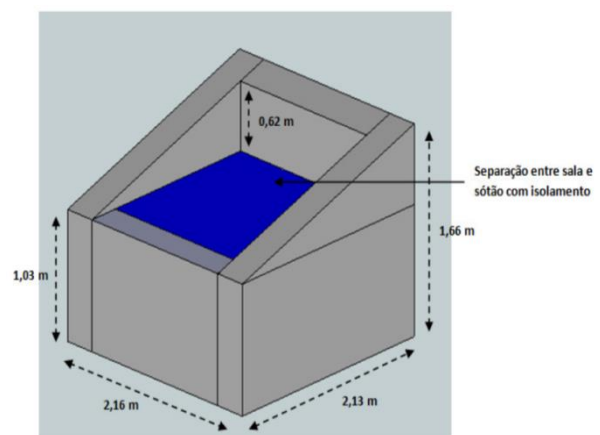


Figura 7 - Desenho da célula teste com a representação do desvão. Adaptado de Almeida, 2013.

existência de espuma de poliuretano que está aglomerada à placa de cimento rígido (Figura 9).

As telhas assentam em ripas metálicas e a fixação mecânica do beiral foi feita através de grampos metálicos. Tanto este tipo de revestimento bem como o tipo de fixação foram ambos escolhidos de modo a não obstruírem a passagem e circulação de ar entre as telhas e a placa sub-telha. Na cumeeira, foi ainda aplicada uma membrana impermeável e ventiladora e, para maximizar a circulação de ar, foi aplicada uma telha ventiladora representada na Figura 8.



Figura 8 - Telha ventiladora.

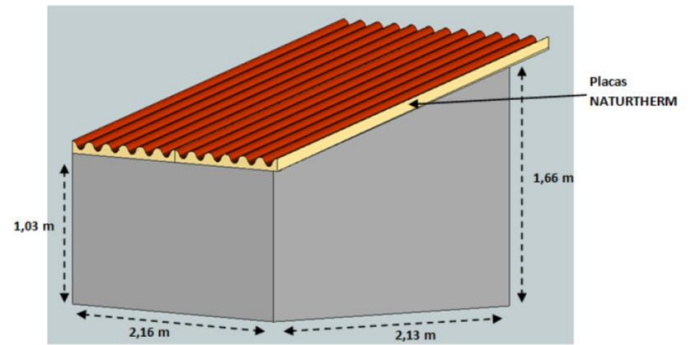


Figura 9 - Desenho da célula teste representada a Sul.
Adaptado de Almeida, 2013.

3.4. Materiais e Métodos

De modo a determinar o desempenho térmico da cobertura, foi utilizado um conjunto de instrumentação para a recolha de dados desde de dados climáticos até dados de zonas específicas da célula-teste.

Para as medições climáticas no exterior foi utilizada uma estação meteorológica, para a medição das temperaturas e humidade relativa do ar na célula-teste foram utilizados *logtag* e termopares e para a medição da velocidade do ar na caixa-de-ar entre as telhas e a sub-telha foi utilizado um anemómetro de turbina. A Tabela 4 mostra isso mesmo.

Tabela 4 - Descrições e Funcionalidades dos equipamentos utilizados nas medições experimentais.

<i>Descrição e Funcionalidade</i>	<i>Imagem</i>
<p><i>Anemómetro (marca Testo 435-2): Foi utilizada para medir a velocidade do ar na caixa-de-ar. Foi colocado ente a telha e a subtelha e foram recolhidas amostras de 15 em 15 minutos, medidas em m/s.</i></p>	 <p><i>Figura 10 - Anemómetro.</i></p>
<p><i>Logtag: Os logtag servem para medir a temperatura e a humidade relativa do ar, por um longo período de tempo com o intervalo de tempo desejado pelo utilizador. Este dispositivo mede numa gama entre -40 a +85 °C.</i></p> <p><i>Neste caso, foi utilizado um intervalo de amostragem de 15 minutos, sendo que foram colocados 3 dispositivos na caixa-de-ar, 2 no desvão, 2 dentro da casa e 2 no interior da parede (uma na parte exterior da habitação e outro na parte interior).</i></p>	 <p><i>Figura 11 – LogTag.</i></p>
<p><i>Termopares: O testo 435 permite a metodologia e cálculo da temperatura, média de 3 termopares. Também com um intervalo de 15 minutos entre as medições, os termopares foram colocados na sub-telha em três partes distintas.</i></p>	 <p><i>Figura 12 - Termopares.</i></p>

Descrição e Funcionalidade

Estação Meteorológica: A estação meteorológica utilizada é composta por um pluviómetro, anemómetro, cata-vento e por sensores de temperatura do ar, humidade relativa do ar e radiação solar global. Sendo a transmissão feita por wireless e alimentada por energia solar, em que os dados são enviados para uma consola que está representada na Figura, e armazenados no datalogger interno.. As medições, também aqui, foram feitas de 15 em 15 minutos, e a estação foi instalada junto da célula experimental.

Imagem



Figura 13 - Estação meteorológica.

3.5. Cronograma

Este capítulo destina-se à apresentação do cronograma das atividades executadas. Assim, aqui será ilustrado o período temporal destinado a cada atividade e a forma de como este projeto foi executado. Este foi um procedimento base a levar em conta durante a execução do projeto, na medida que ajudou a organizar as atividades bem como as tarefas a ter em conta de modo a realizar todas as atividades no tempo proposto.

Na Tabela seguinte, será referido que a realização do relatório será dividido em 4 fases de desenvolvimento, sendo estas:

- 1ª Parte, inclui o cumprimento da introdução, caracterização do Caso-Estudo e revisão bibliográfica;
- A 2ª parte, pressupõe a realização da metodologia utilizada e a apresentação de resultados;
- A 3ª parte, refere-se à discussão de resultados;
- E, por fim, a 4ª parte que será a conclusão de todo o relatório, desde a análise, sugestões e avaliação dos objetivos propostos, bem como a introdução de anexos no relatório.

		Meses												
Nº	Fases de Desenvolvimento	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1	Montagem dos Equipamentos	█	█											
2	Recolha de dados	█	█	█	█	█	█	█	█					
3	Tratamentos de dados analíticos		█	█	█	█	█	█	█	█				
4	Revisão Bibliográfica		█	█	█									
5	Realização da 1ª parte do relatório		█	█	█	█								
6	Realização da 2ª parte do relatório					█	█	█	█					
7	Realização da 3ª parte do relatório							█	█	█	█			
8	Realização da 4ª parte do relatório									█				
9	Finalização do Relatório									█				
10	Possíveis correções ou alterações										█	█	█	
11	Entrega da dissertação												█	█

4. Apresentação e Análise de Resultados

Este capítulo dedica-se à apresentação e respetiva discussão dos dados obtidos experimentalmente através da instrumentação colocada na célula-teste, bem como dos dados recolhidos na estação meteorológica, sendo ainda de referir que não serão apresentados todos os dados, uma vez que são muito extensos. Assim foi escolhida uma amostra representativa de cada mês, nas estações do Outono e Inverno.

4.1. Dados Obtidos da Estação Meteorológica

Nesta secção são apresentados e analisados os dados referentes à estação meteorológica, de modo isolado, isto é, serão apenas analisados dados meteorológicos sem comparação com os dados referentes à célula-teste. No anexo 1 é apresentada parte de uma tabela com os dados que foram recolhidos pela estação, visto ser muito extensa e ter sido usada durante 4 meses, apresenta-se apenas uma parte de modo a mostrar os dados que eram recolhidos. Serão apresentados dados de temperatura do ar, vento, radiação solar, precipitação e humidade relativa do ar com a duração de uma semana de cada mês, referentes aos seguintes dias:

- 30 de Setembro a 06 de Outubro, 2015;
- 05 a 11 de Outubro, 2015;
- 05 a 11 de Novembro, 2015;
- 01 a 07 de Janeiro, 2016.

4.1.1. Temperatura do Ar Exterior

Inicialmente são apresentados os valores das médias em cada mês estudado (Tabela 5). Como é possível verificar, desde do primeiro mês analisado até ao último houve uma descida de aproximadamente 5°C em média da temperatura do ar exterior, sendo que o mês de Novembro e Dezembro em média têm uma temperatura muito próxima.

Tabela 5 - Temperatura do ar exterior.

		Mês			
		Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Média mensal (°C)		18,3	13,9	13,6	12,8

Seguidamente, nos gráficos 5 a 8, são apresentados os valores máximos e mínimos de temperatura do ar registados diariamente para o período em análise.

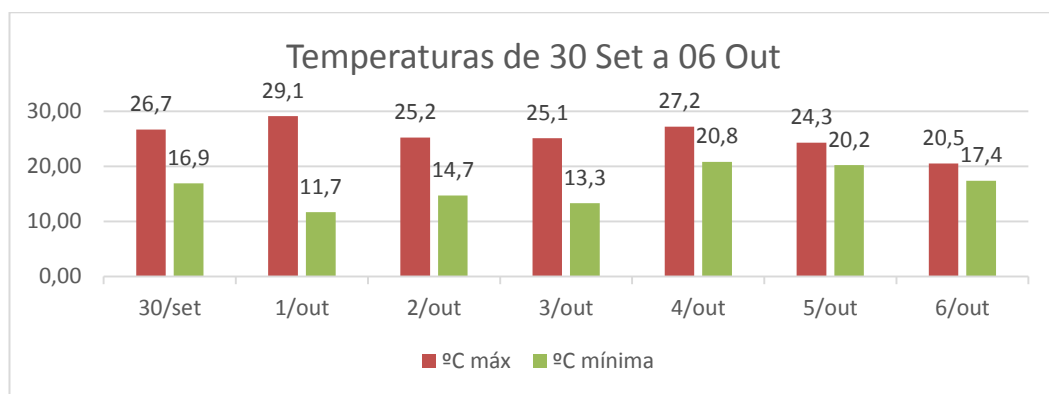


Gráfico 5 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Outubro.

Em Outubro o dia que regista a temperatura máxima mais alta é o dia 01 com 29,1°C. É também o dia que regista a temperatura mais baixa, com um valor de 11,7°C, sendo assim o dia com uma maior diferença entre a temperatura máxima e mínima, ou seja, amplitude térmica.

Através do Gráfico 6, verifica-se uma descida das temperaturas máximas quando comparadas com o mês anterior, sendo mais notável no dia 11/Novembro tanto a temperatura máxima como a mínima.

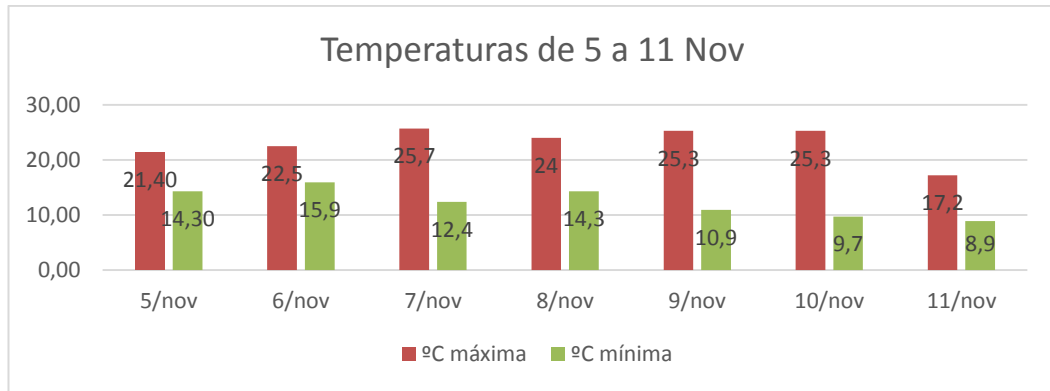


Gráfico 6 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Novembro.

Quando se observa a temperatura média de cada mês, conclui-se que a temperatura média mensal de Novembro e Dezembro (Gráfico 7) é muito próxima. Quando se analisa este período semanal é detetável que há uma diferença muito grande de temperaturas máximas e mínimas registadas neste período, em que se passa de uma temperatura máxima regista em novembro de 25,7°C para 22,1°C em Dezembro. O mesmo acontece na temperatura mais baixa registada para cada um dos períodos semanais de cada mês.

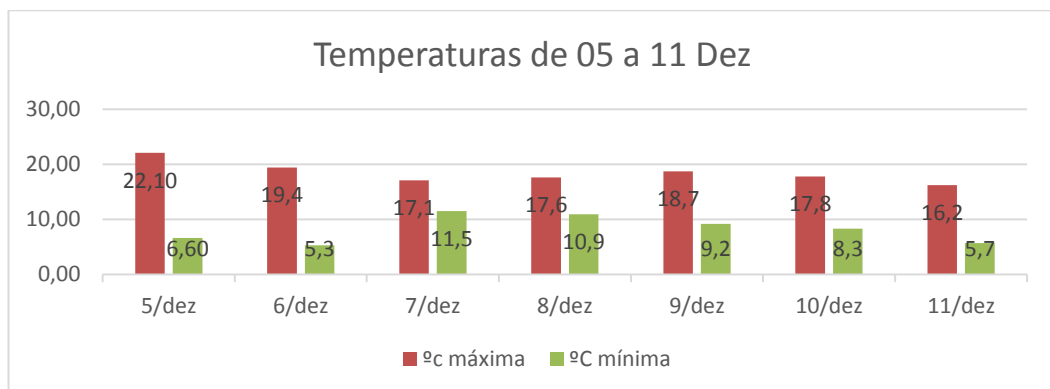


Gráfico 7 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Dezembro.

As temperaturas máximas registadas em Dezembro e Janeiro são mais semelhantes (Gráfico 8), sendo que as mínimas não são tão baixas como as registadas em Dezembro e em que a diferença entre temperaturas máximas e mínimas é mais pequena.

No geral, e como seria de esperar, visto que se passou do Outono para o Inverno, as temperaturas baixaram de mês para mês, sendo algo relevante como se verá mais adiante.

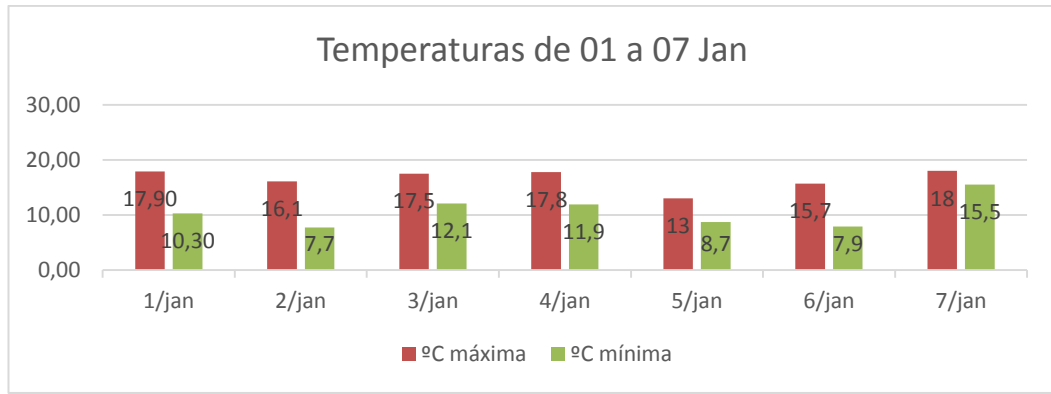


Gráfico 8 - Temperaturas máximas e mínimas diárias para o mês de Janeiro.

Nos gráficos seguintes encontram-se demonstrados os perfis das medições de 15 em 15 min para cada semana do mês respetivo.

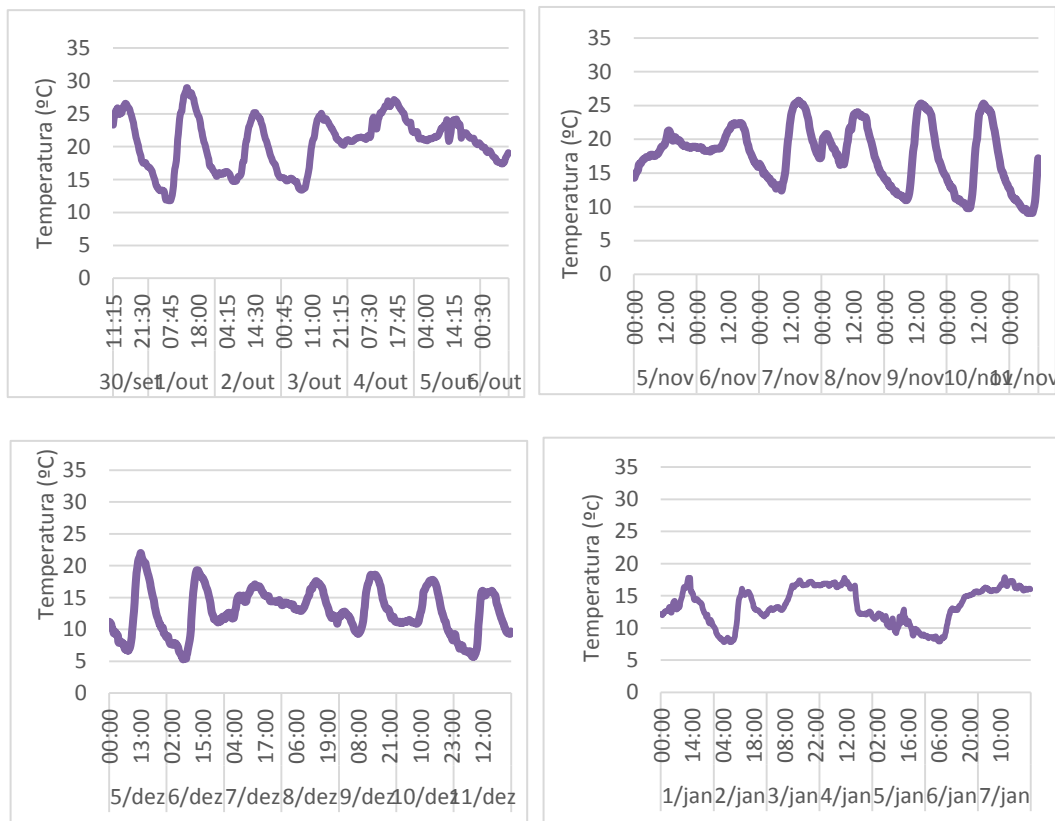


Gráfico 9 - Medições de temperatura do ar de uma semana para cada mês.

4.1.2. Vento

Relativamente à velocidade e direção do vento, são parâmetros meteorológicos que não têm um perfil característico como, por exemplo, tem a temperatura do ar ou até mesmo a radiação solar, como se vai observar posteriormente. São parâmetros dependentes das características sinópticas, geomorfológicas, insolação local, entre outros, podendo oscilar muito de hora para hora, como consecutivamente de mês para mês. O estudo da velocidade do vento é importante devido à ventilação que pode gerar na célula-teste, bem como a radiação solar e a temperatura do ar exterior.

A Tabela 6 mostra que o mês que registou uma maior velocidade do vento, em média, foi o mês mais quente, Outubro. Novembro registou o valor mais baixo.

Tabela 6 - Médias Mensais registadas da velocidade do vento em cada mês.

		Mês			
		Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
<i>Média mensal</i>	<i>(m/s)</i>	0,46	0,16	0,24	0,37

De seguida, no Gráfico 10, são apresentados os perfis para cada semana, onde se comprova os valores da tabela anterior, pois observou-se que para os meses de Outubro e Janeiro registam-se valores mais elevados.

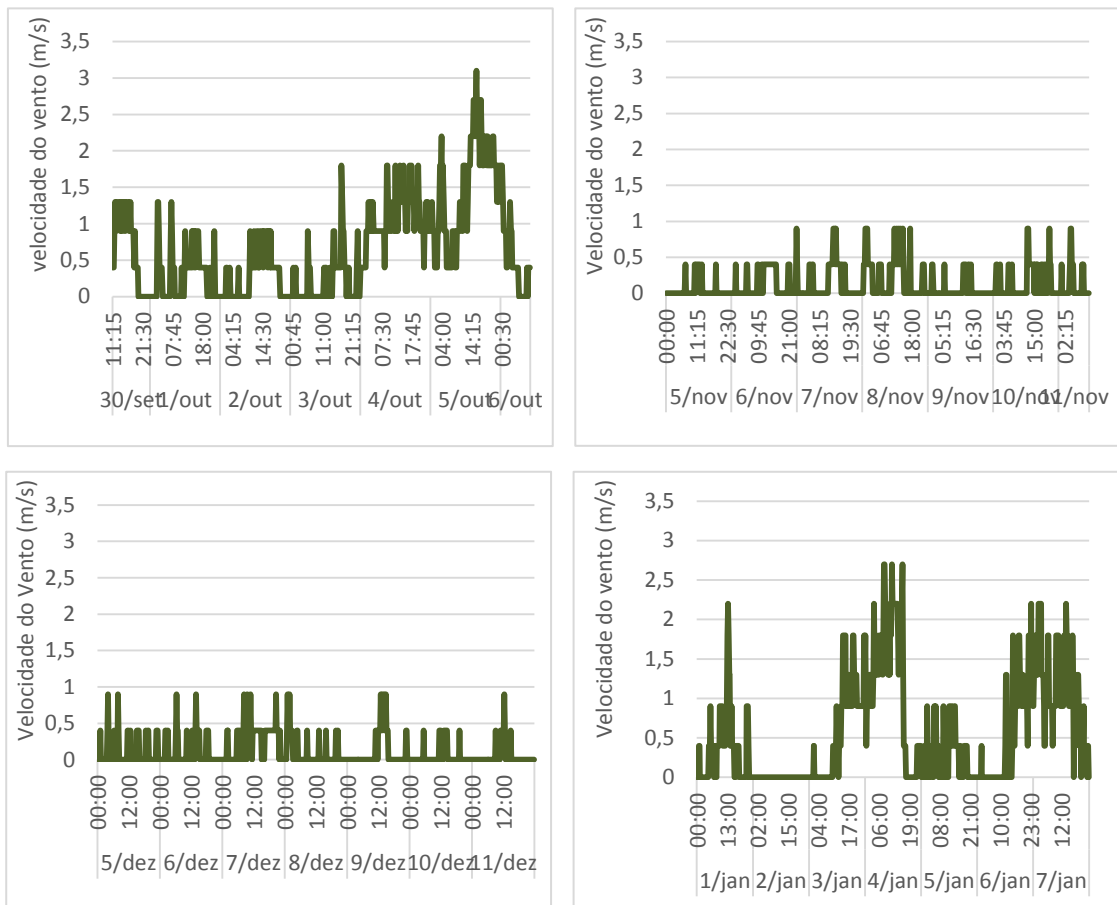


Gráfico 10 - Perfis da velocidade do vento semanais para cada mês.

No Gráfico 11, apresentam-se da direção do vento para cada mês. Verifica-se que em todo o período de estudo os ventos provieram maioritariamente do quadrante Este.

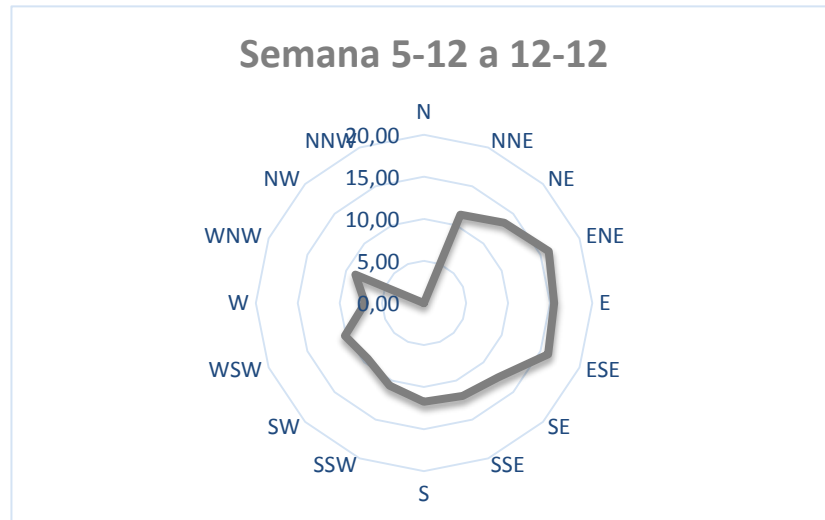
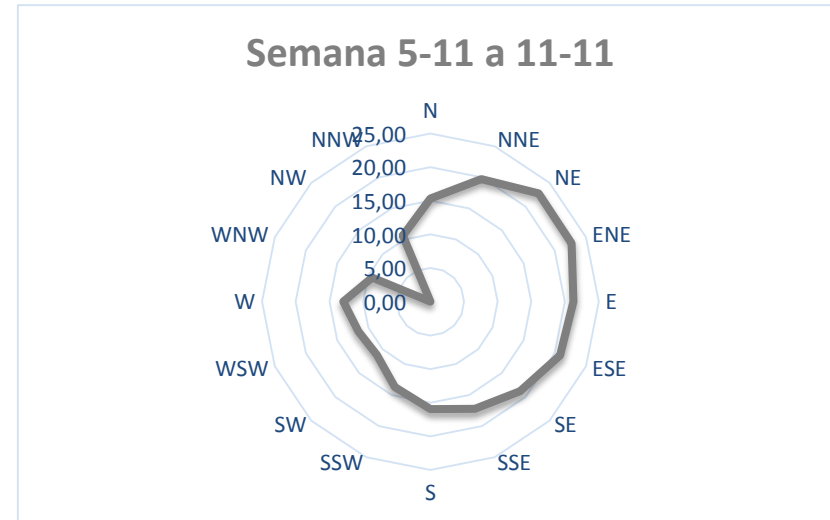
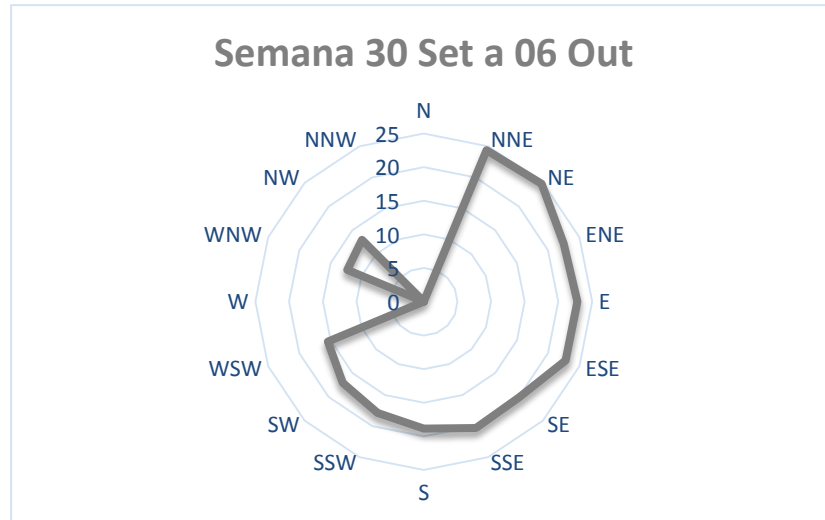


Gráfico 11 - Direção do Vento para cada mês.

4.1.3. Radiação Solar

A radiação solar recebida numa superfície e numa dada latitude depende da altura do sol mas também da nebulosidade. Assim, em meses de Inverno a intensidade da radiação solar projetada no plano horizontal do sensor será tipicamente menor. Na Tabela 7 apresentam-se os valores médios mensais de radiação solar, onde se constata um decréscimo de mês para mês, mais acentuado entre Outubro e Dezembro, quando se atinge a menor altura do sol (Solstício de Inverno).

Tabela 7 - Médias Mensais de Radiação Solar para cada mês.

	Mês			
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Média mensal (W/m ²)	94,8	62,6	47,5	46,2

As diferenças da radiação solar em cada mês verificam-se no valor máximo, porque ao nível de perfil é sempre semelhante (Gráfico 12).

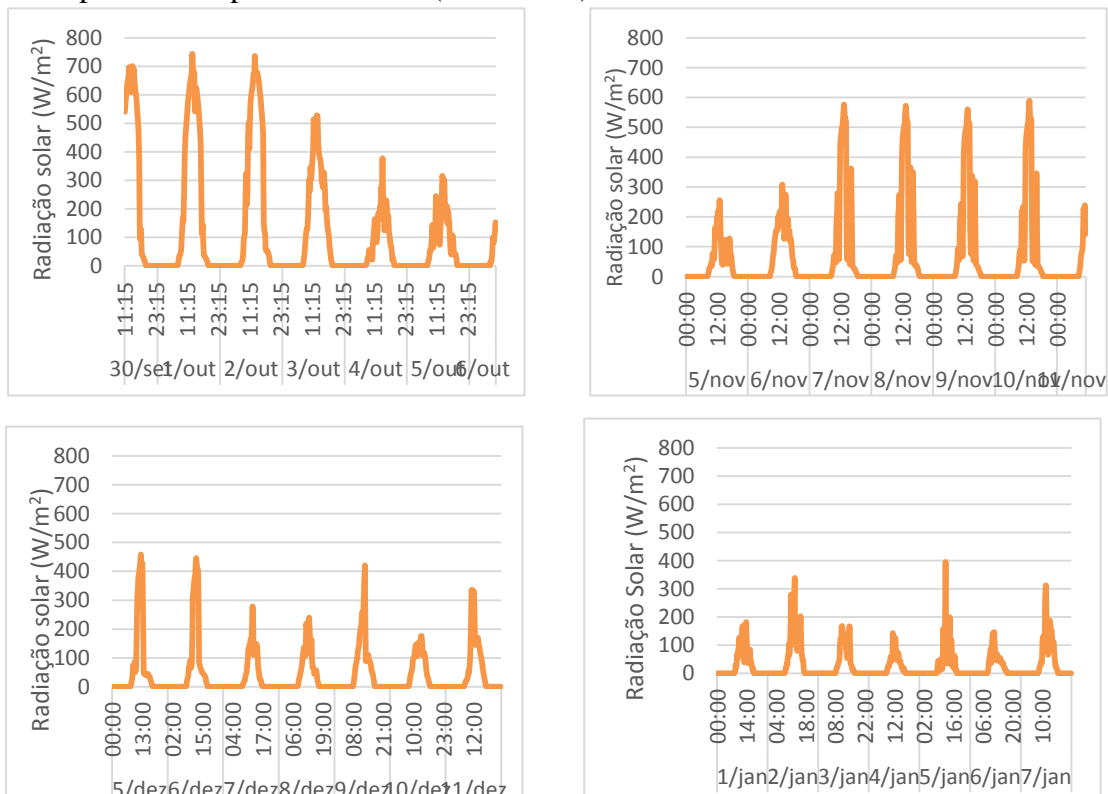


Gráfico 12 - Perfil da radiação solar a cada 15 minutos.

4.1.4. Precipitação

Relativamente à precipitação registada, o mês de Janeiro foi o mês com mais precipitação (Tabela 8).

Tabela 8 Valor acumulado de precipitação para cada mês.

	Mês			
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Média mensal (mm)	57,28	15,92	79,61	204,87

O perfil de precipitação semanal está ilustrado no Gráfico 13.

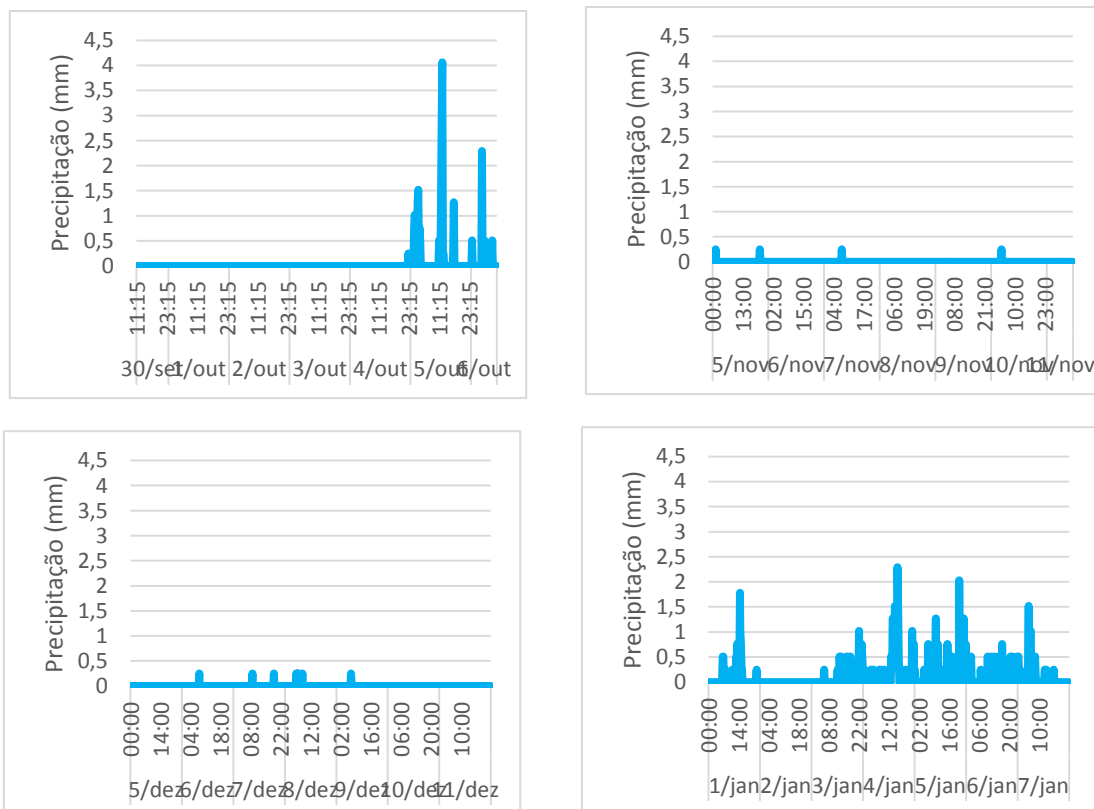


Gráfico 13 - Precipitação registada de 15 em 15 minutos para cada mês.

4.1.5. Humidade relativa do ar

A humidade relativa do ar é um parâmetro que depende apenas da temperatura do ar e da quantidade de vapor de água presente na atmosfera. Com a diminuição da temperatura do ar exterior, denota-se um aumento do valor médio da humidade relativa do ar, do primeiro mês para o último analisado, sendo que a humidade relativa média mensal de Dezembro é semelhante à de Novembro (Tabela 9).

Tabela 9 - Médias mensais da humidade relativa do ar para cada mês.

	Mês			
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Média mensal (%)	80,4	83,6	82,7	86,3

Seguidamente, pode-se observar que de mês para mês a diferença da humidade relativa do período diurno para o período noturno é cada vez menor, em que no mês de janeiro a humidade relativa mais baixa é de aproximadamente 70%.

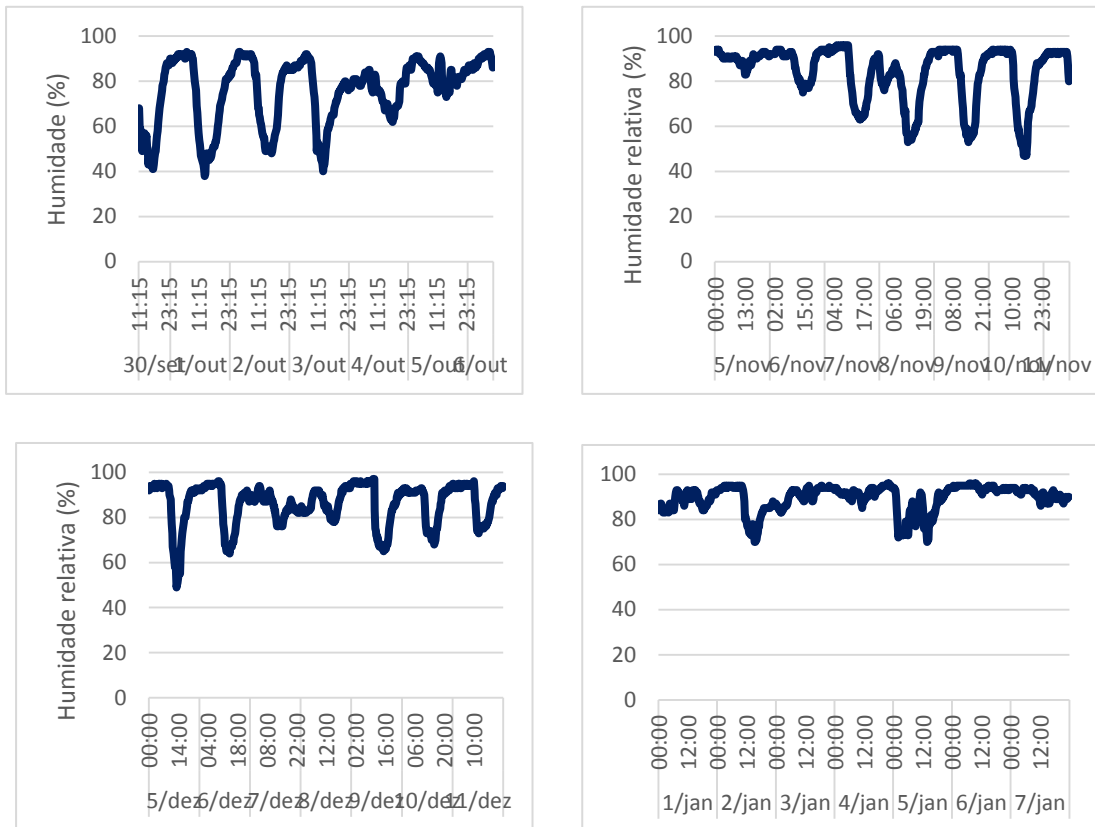


Gráfico 14 - Perfis de temperatura para uma semana de cada mês.

4.2. Velocidade do ar na Caixa-de-Ar

Em seguida, são apresentados os dados da velocidade do ar recolhidos na caixa-de-ar, ou seja, no espaço entre a telha e a sub-telha. É ainda de referir que, devido a problemas mecânicos com o anemómetro, durante o mês de Dezembro e nas primeiras duas semanas de Janeiro não foi possível efetuar essa medição. Assim só há registos para os meses de Outubro, Novembro e Janeiro. A Tabela 10 refere-se aos valores médios mensais para cada mês analisado, em que se pode observar que há um decréscimo da velocidade do ar no canal de ventilação da célula-teste, sendo de referir que durante o mês de Janeiro só há dados para as duas últimas semanas.

Tabela 10 - Média mensal da Var na caixa-de-ar para cada mês.

		Mês			
		Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Média mensal (m/s)		0,0451	0,0213	---	0,00015

No que se refere ao perfil das medições, de 15 em 15 minutos para este parâmetro (Gráfico 15), durante uma semana de cada mês, pode-se observar que os picos acontecem maioritariamente no mesmo período diurno. É um parâmetro que analisado isoladamente não se consegue retirar grandes conclusões, mas adiante será feita outra análise. É, ainda, importante salientar que para as duas semanas do mês de Janeiro em que foi medida a velocidade do ar no canal, o único dia em que houve circulação significativa do ar na caixa-de-ar foi no dia 26, num único período.

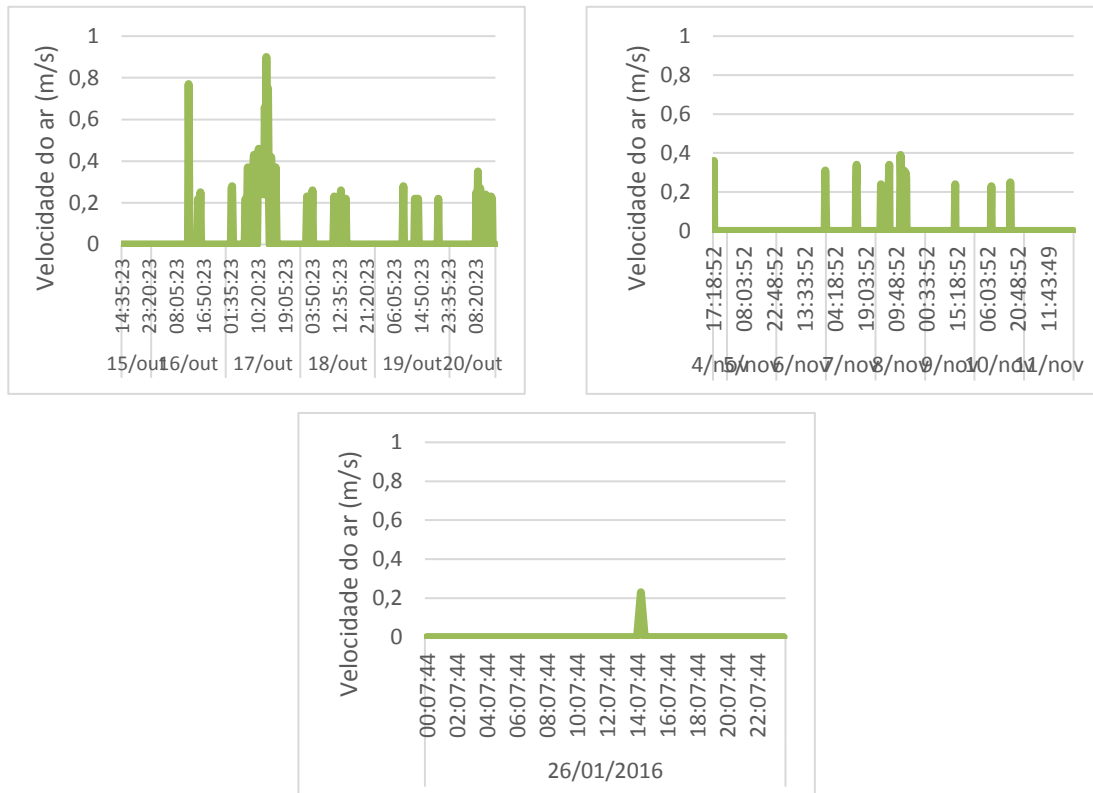


Gráfico 15 - Perfil da Var na Caixa-de-ar para os meses de Outubro, Novembro e Janeiro.

4.3. Temperatura da Telha Cerâmica

De modo a avaliar a temperatura das superfícies da telha cerâmica, e como já foi referido foi utilizado um registador com três termopares, de modo a cobrir três partes diferentes da cobertura (Figura 14), estando no anexo 2 um exemplo dos dados retirados deste equipamento. Este equipamento mede a temperatura em cada termopar e faz uma média das três temperaturas registadas. Assim, obtém-se um valor médio da temperatura da superfície inferior da telha cerâmica da cobertura. Na Tabela 11 são apresentadas as médias mensais para cada mês analisado. Em Janeiro, foram apenas recolhidos dados referentes às duas primeiras semanas do mês, uma vez que o mesmo equipamento teve que ser usado para medir a velocidade do ar na caixa-de-ar nas semanas seguintes, devido a avaria que ocorreu com um segundo equipamento.



Figura 14 - Sensor com três termopares utilizado para medir temperaturas.

Tabela 11 - Médias mensais da temperatura registada na superfície inferior da telha.

		Mês			
		Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Média mensal	(°C)	19,18	11,74	12,39	13,15

Como seria de esperar, houve um grande decréscimo da temperatura registada entre Outono e Janeiro. Nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro a temperatura é muito próxima.

Os gráficos referentes a dados de Outubro, Novembro e Dezembro, apesar de haver um notário decréscimo da temperatura, têm um perfil de curva muito idêntico. No Gráfico 19 isso já não acontece, há na mesma picos máximos durante o período diurno, mas não são tão destacáveis como acontece nos gráficos anteriores.

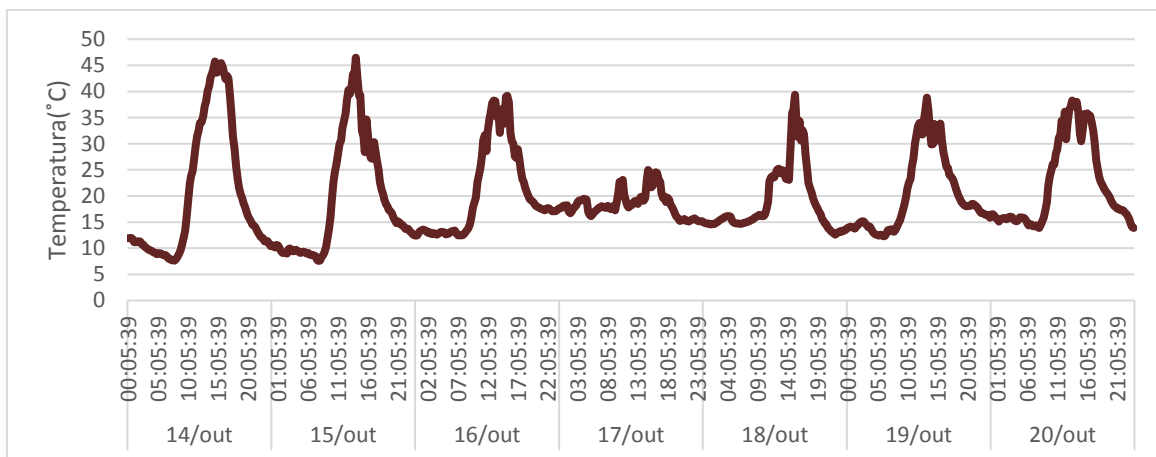


Gráfico 16 - Temperatura da Telha de 14/Out a 20/Out.

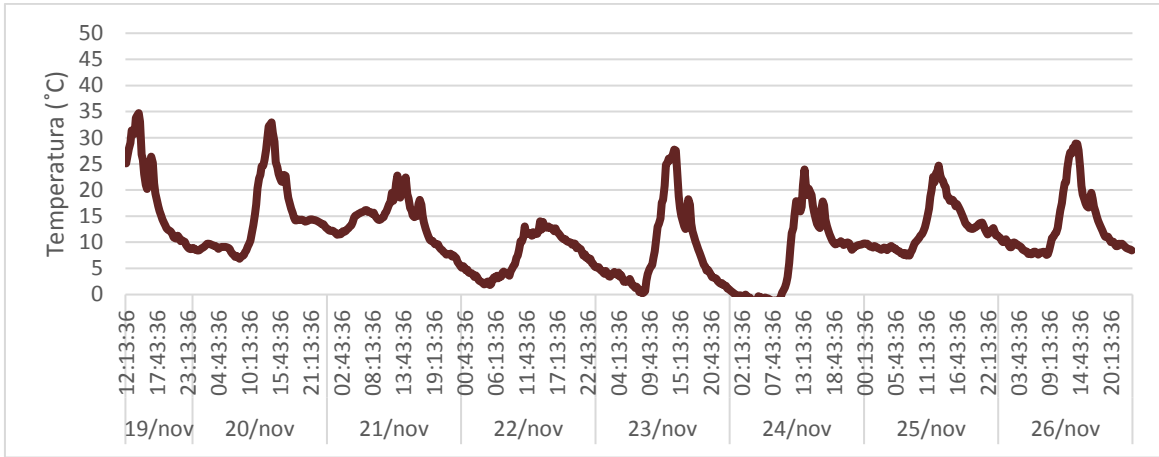


Gráfico 17 - Temperatura da Telha de 19/Nov a 20/Nov.

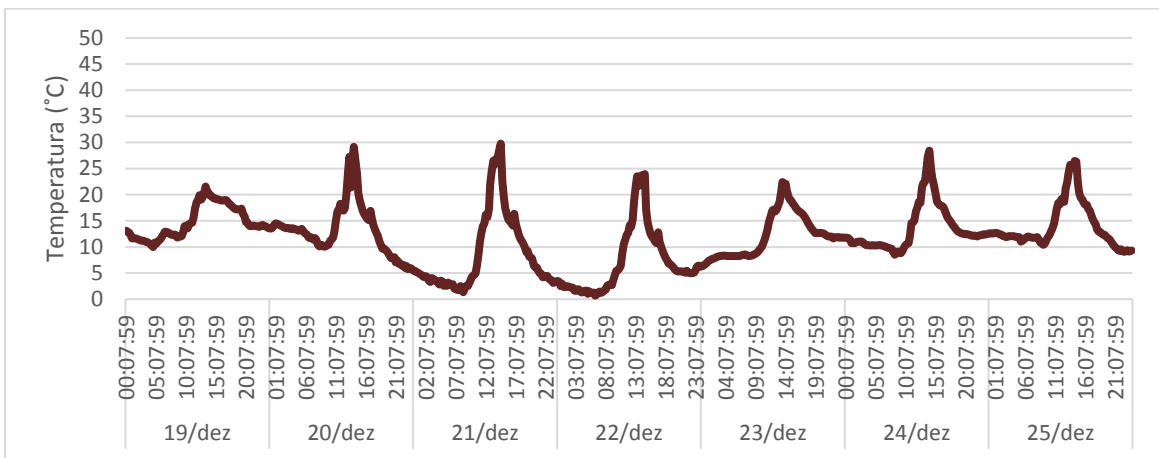


Gráfico 18 - Temperatura da Telha de 19/Dez a 25/Dez.

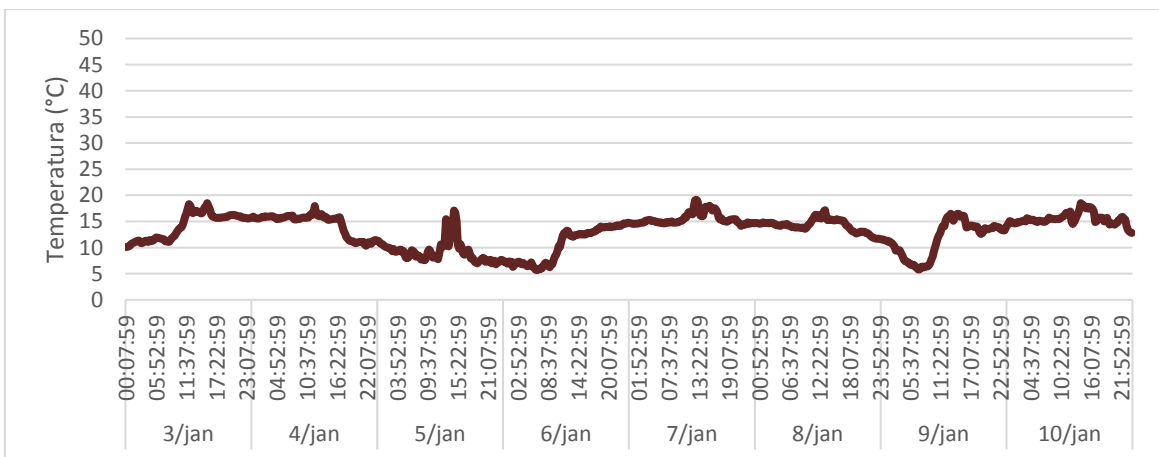


Gráfico 19 - Temperatura da Telha de 4/Jan a 10/Jan.

4.4. Temperatura e Humidade Relativa do Ar na Caixa-de-Ar

Com o auxílio dos registadores *Logtag*, colocados estrategicamente em toda a célula-teste, foi possível medir a temperatura e humidade relativa do ar. Na Figura 15 são ilustradas as localizações destes registadores e a designação utilizada em cada local.

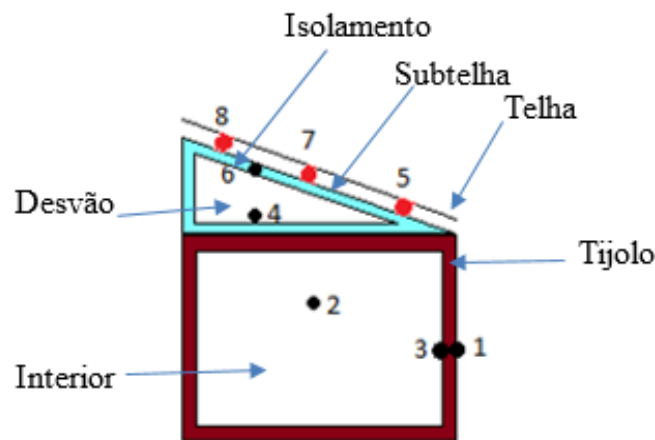


Figura 15 - Ilustração da posição dos LogTag na célula-teste.

Como se pode visualizar localizados, os *logtags* 5,7 e 8 encontram-se localizadas na caixa-de-ar entre a telhas e a sub-telha, os resultados obtidos são apresentados de seguida.

Assim, a Tabela 12 apresenta os valores médios mensais para cada um dos *logtag* e a média dos três. Nos meses de Dezembro e Janeiro os *logtag* 5 e 8 não estiveram a recolher dados, mas como é visível nos meses de Outubro e Novembro as temperaturas sobem com a altura na caixa-de-ar, isto é, o *logtag* que está mais próximo da cumeeira tem uma temperatura mais alta. No anexo 3 mostra uma parte da tabela de um dos *logtag*, como era dado pelo registador.

Tabela 12 - Média Mensal da temperatura do ar na caixa-de-ar.

Média mensal Temperatura (°C)	Mês			
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
<i>Logtag</i> 5	18,69	13,78	----	----

<i>Logtag 7</i>	19,16	14,42	----	----
<i>Logtag 8</i>	19,39	14,92	13,41	12,55
<i>Média da caixa-de-ar</i>	19,08	14,37	13,41	12,55

As temperaturas, como já foi referido, de *logtag* para *logtag* aumentam com a proximidade a cumeeira mas não apresentam grandes diferenças, como se pode ver, tanto no Gráfico 20 como no Gráfico 21. Nos dias do mês de Novembro observa-se uma repetição do perfil da curva mais uniforme que nos dias de Outubro.

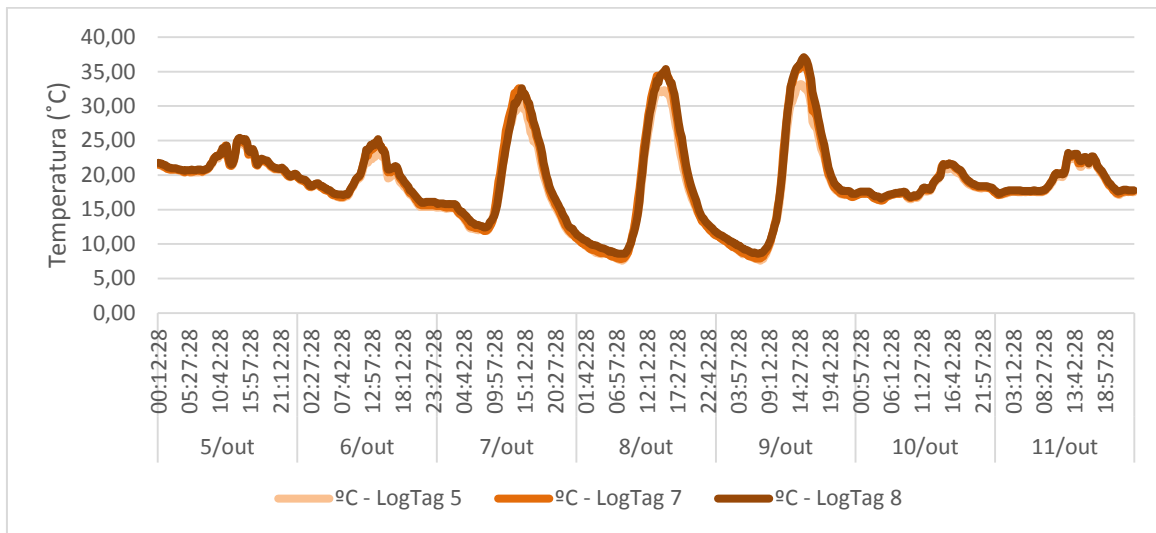


Gráfico 20 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 5 a 11/Out.

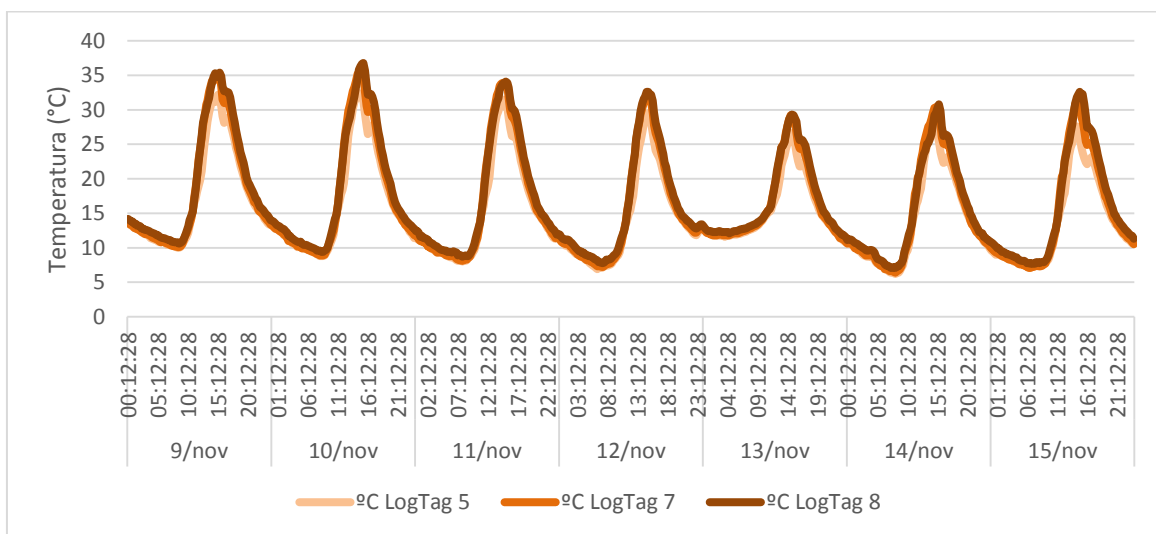


Gráfico 21 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 9 a 15/Nov.

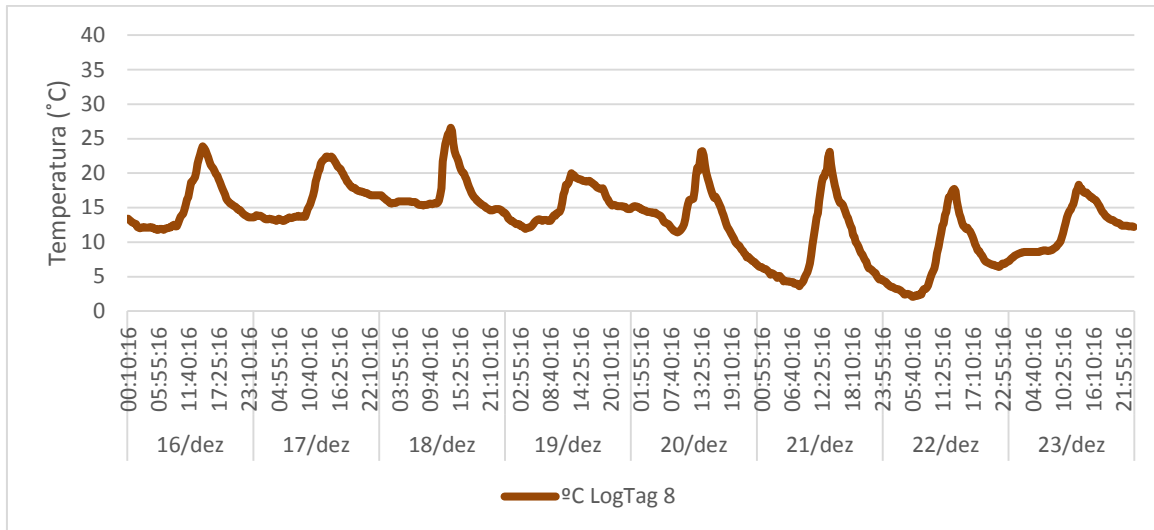


Gráfico 22 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 16 a 23/Dez.

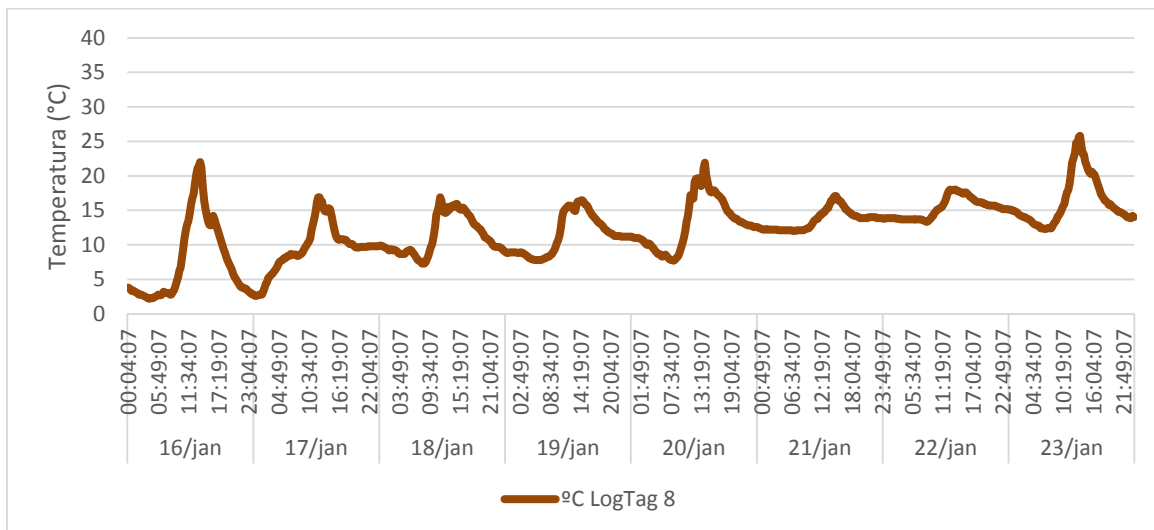


Gráfico 23 - Temperaturas registadas na caixa-de-ar de 16 a 23/Jan.

Para os meses de Dezembro e Janeiro, analisando as temperaturas registadas no *logtag* 8, junto a cumeeira, detetam-se curvas mais imperfeitas que nos meses anteriores, continuaram a apresentar os picos máximos de temperatura constantes no período diurno, mas as subidas e descidas de temperatura são mais inconstantes.

Também são apresentados os valores médios mensais para cada um e uma média dos três *logtag* para a humidade relativa registada na subtelha. Visto ser o mesmo registador que mede a temperatura, também para os meses de Dezembro e Janeiro não existem valores dos *logtag* 5 e 7 (Tabela 13).

Tabela 13 - Média Mensal da humidade relativa da Caixa-de-ar.

Média mensal Humidade Relativa (%)	Mês			
	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Logtag 5	71,66	79,76	-----	----
Logtag 7	71,29	78,26	-----	----
Logtag 8	70,53	77,04	76,99	81,69
Média da Caixa-de-ar	71,16	78,35	76,99	81,69

Sendo a humidade relativa um fator dependente da temperatura, com o aumento da altura onde se localiza o sensor a humidade relativa sofre uma descida.

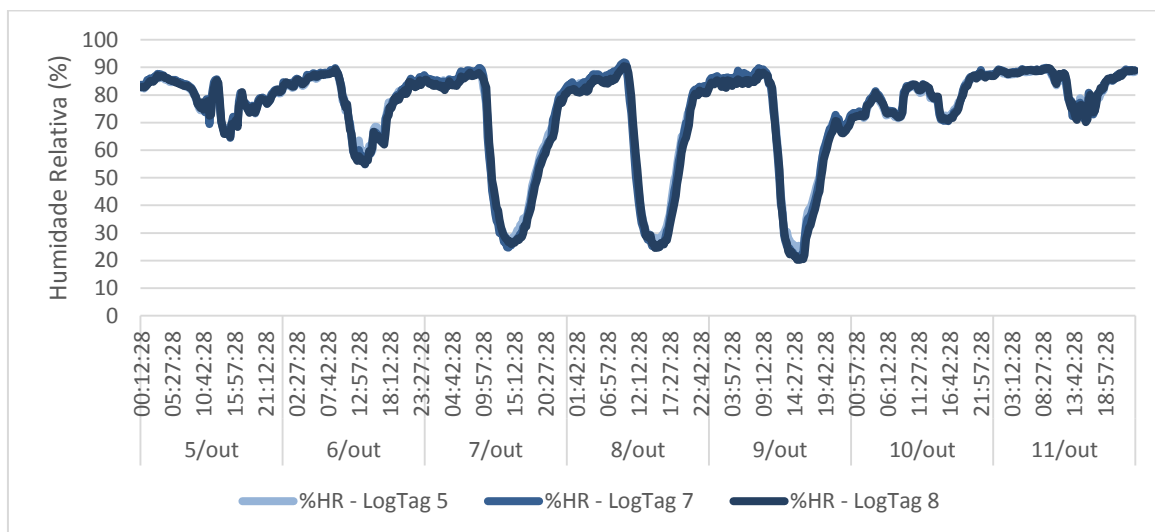


Gráfico 24 – Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 5 a 11/Out.

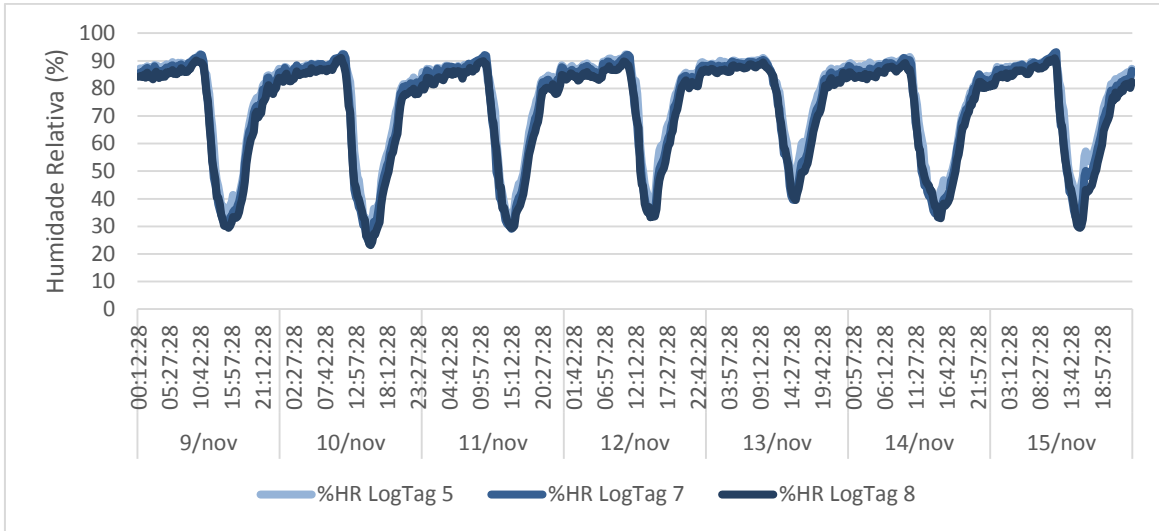


Gráfico 25 - Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 9 a 15/Nov.

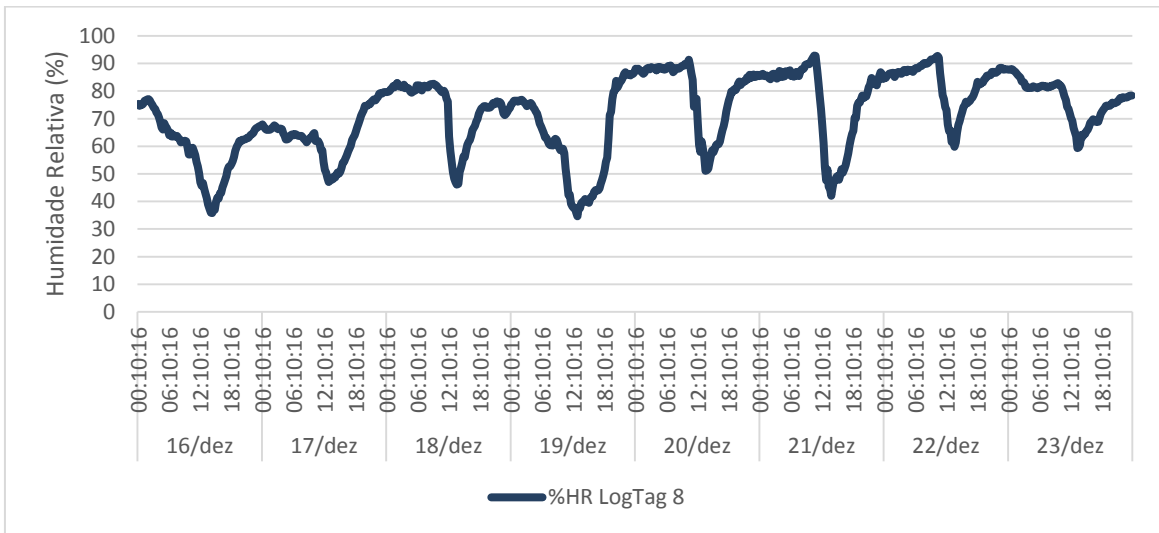


Gráfico 26 - Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 16 a 23/Dez.

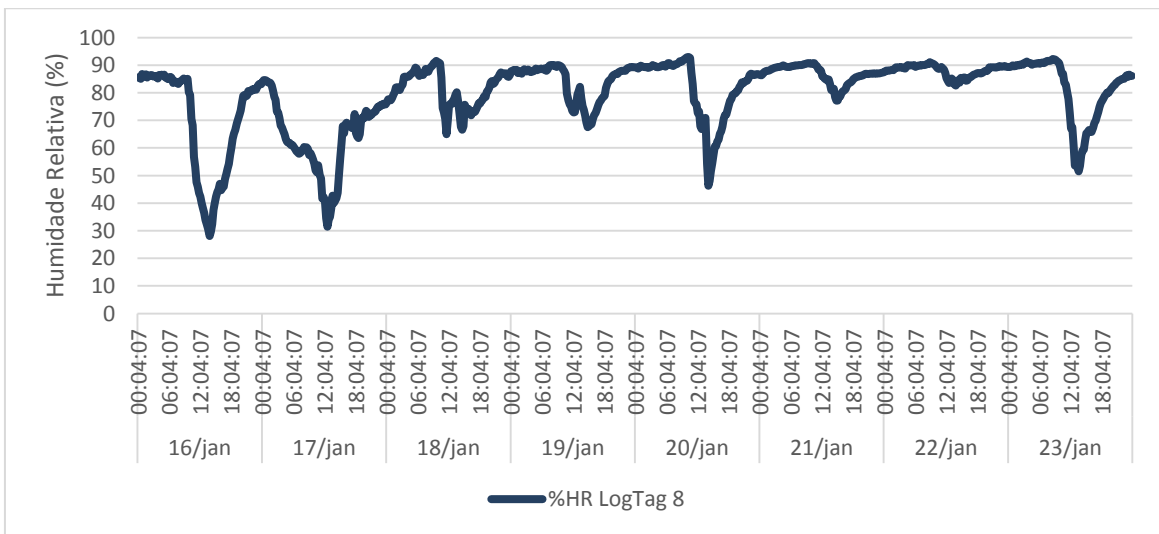


Gráfico 27 - Humidade relativa registada na Caixa-de-ar de 16 a 23/Jan.

Quando comparada com a temperatura a humidade relativa mostra um padrão de variação expectável (Gráfico 28), pois como já referido a temperatura é o fator com maior peso no seu comportamento diário. De salientar que nos meses de Outubro e Novembro na maioria dos dias a humidade relativa do ar no período diurno descia até aproximadamente 30% (Gráfico 24 e Gráfico 25) e nos meses de Dezembro e Janeiro registaram-se poucos dias com humidades relativas abaixo dos 40%.

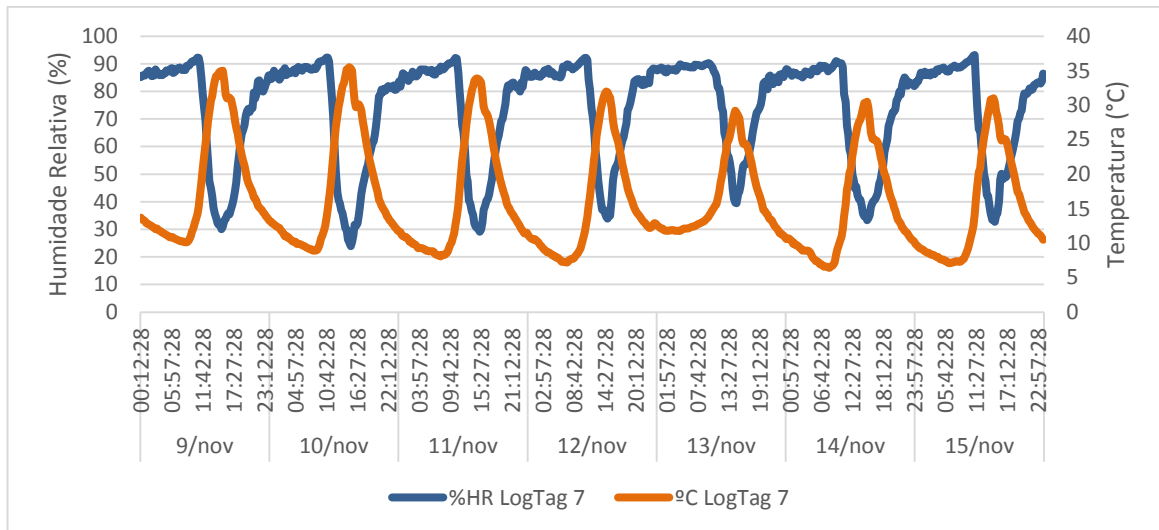


Gráfico 28 - Temperatura e Humidade relativa registada no Logtag 7 de 9 a 15/Nov.

É ainda de salientar que, as humidades relativas atingem valores noturnos de 90% ou mais, o que leva a inferir que existe probabilidade de condensação na telha nesse período curto do dia, pois a telha tenderá a ter uma temperatura inferior à do ar da caixa, levando à saturação da camada de ar que está em contacto com a telha, sendo importante comparar este facto com a radiação e com a ventilação na caixa-de-ar.

4.5. Comparação de Parâmetros

Até aqui foram analisados dados de forma isolada, observando-se o comportamento de cada parâmetro, mas não a sua interligação com os outros dados, assim como perceber a influência que cada parâmetro tem.

Assim, este capítulo aborda a comparação dos parâmetros apresentados nas secções anteriores. Aqui os dados são também apresentados de modo a existir uma análise e correlação dos dados mensais.

De modo a comprimir informação, serão analisados gráficos referentes a 4 dias de cada mês, estando presente no Anexo 4 a Tabela de um dos meses analisados, que possibilitaram a realização dos gráficos seguidamente analisados.

4.5.1. Outubro

Para o mês de Outubro, foi feita uma análise comparativa do dia 01 ao dia 04, utilizando os parâmetros: temperatura exterior do ar, temperatura da telha, temperatura da caixa-de-ar, velocidade do ar, velocidade do ar na caixa-de-ar, radiação solar e a temperatura na caixa-de-ar.

Através do Gráfico 29, pode-se observar que todas as temperaturas têm um perfil idêntico, notando-se, contudo, diferenças durante os picos, Em todos eles a temperatura do ar exterior foi mais baixa que a temperatura registada na telha e na caixa-de-ar e, em que, a temperatura da caixa-de-ar acompanha a temperatura da telha, sendo na telha que se registou a temperatura mais alta e a mais baixa, neste período, em comparação às outras duas.

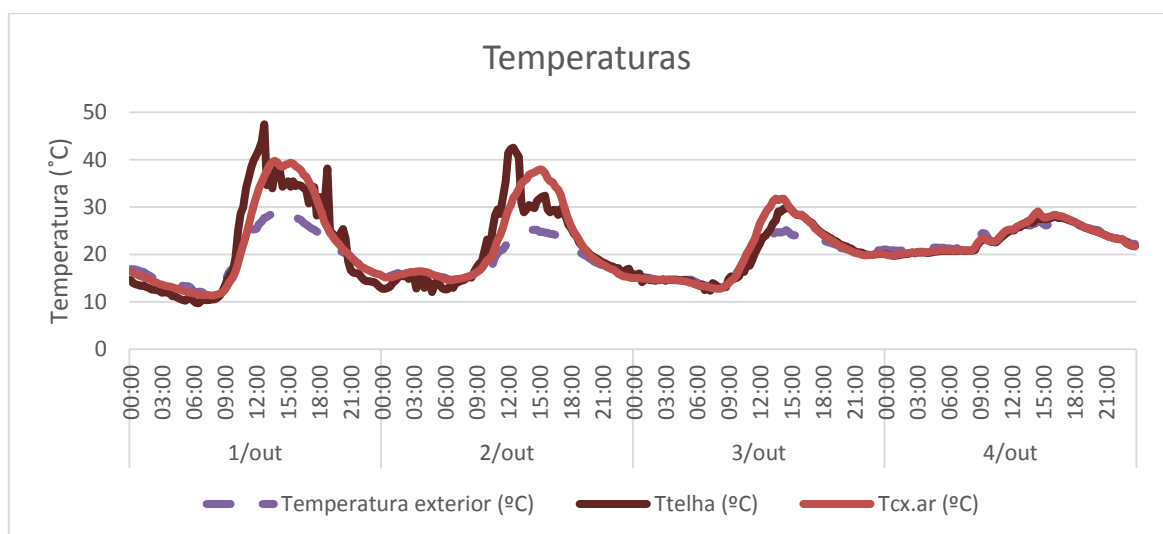


Gráfico 29 - Text, Ttelha e Tcx.ar para o mês de Outubro.

O Gráfico 30 representa as velocidades do ar exterior e a da caixa-de-ar. Pode-se verificar que geralmente quando há mais intensidade na velocidade do ar exterior também há uma maior taxa de ventilação na caixa-de-ar, no entanto nem sempre se verifica tal facto, o que pode estar relacionado com outros fatores como a direção do vento. Assim, no Gráfico 31 observa-se que a velocidade do ar na caixa-de-ar está mais relacionada com o aumento da radiação, notando-se alguns picos quando não há radiação mas há uma velocidade do ar exterior elevada, sendo estes menos frequentes. Assim, no mês de Outubro pode-se dizer que a velocidade do ar está, em grande parte, relacionada com a radiação solar incidente na telha, que por sua vez aquece o ar no interior do canal formado pela caixa de ar e o faz subir gerando um fluxo de ar na caixa-de-ar.

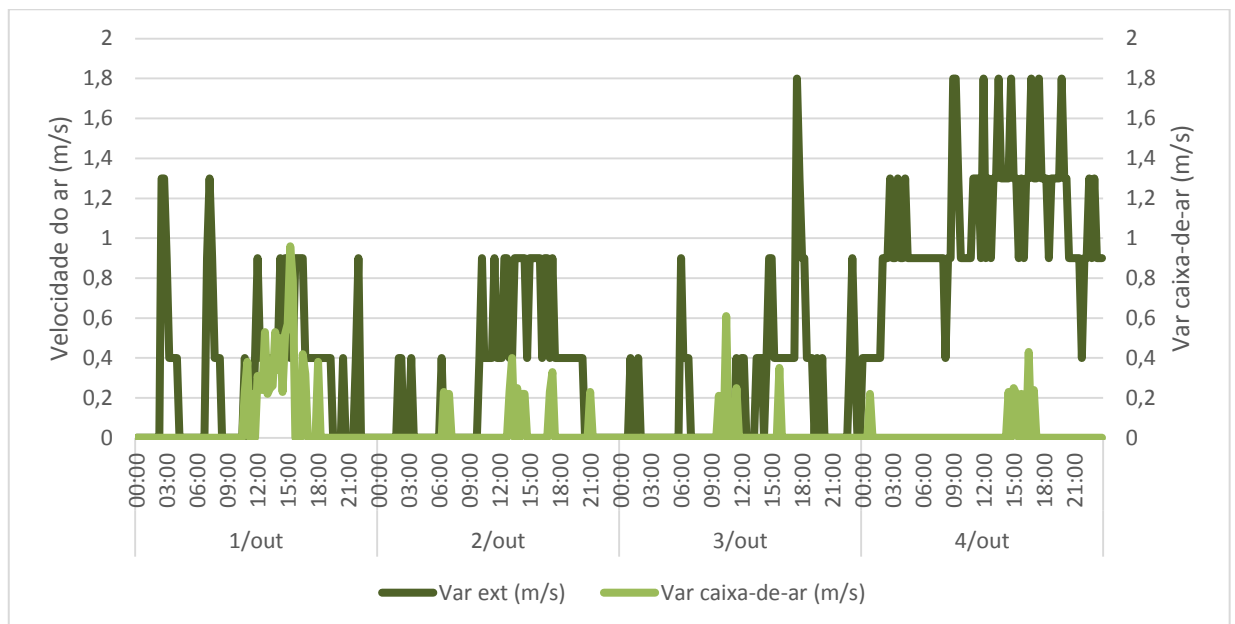


Gráfico 30 - Var e Var caixa-de-ar registadas em Outubro.

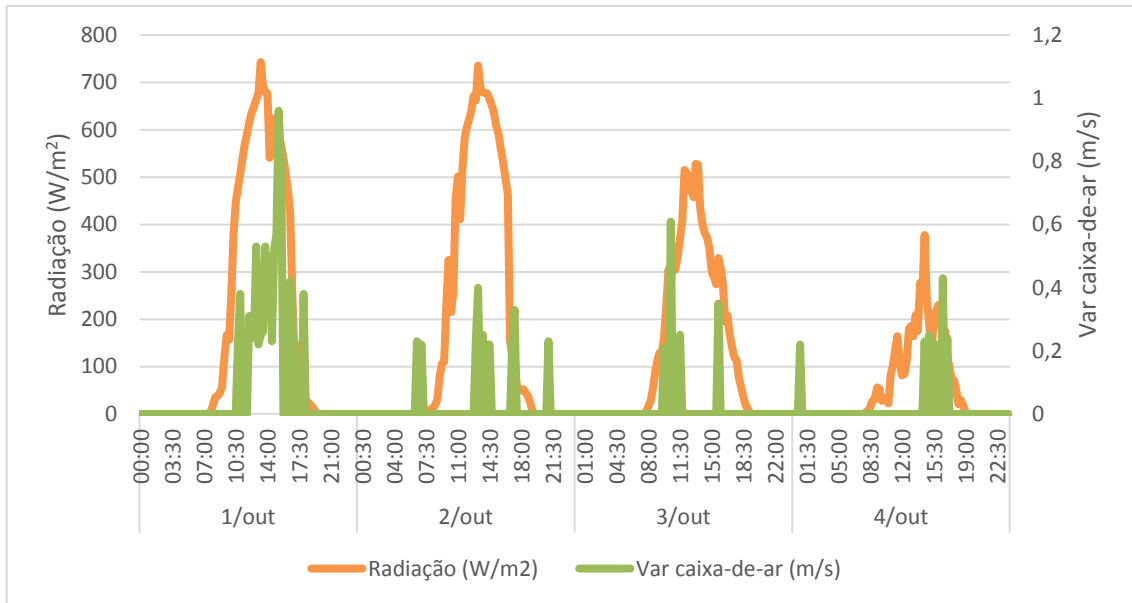


Gráfico 31 - Radiação solar vs Var caixa-de-ar em Outubro.

No Gráfico 32, e como seria de esperar, a radiação e as respetivas temperaturas têm os picos máximos de temperatura todos no mesmo período. É ainda de referir que nesse picos a temperatura do ar na caixa-de-ar é superior à temperatura exterior, sendo nos restantes momentos muito próximas uma à outra.

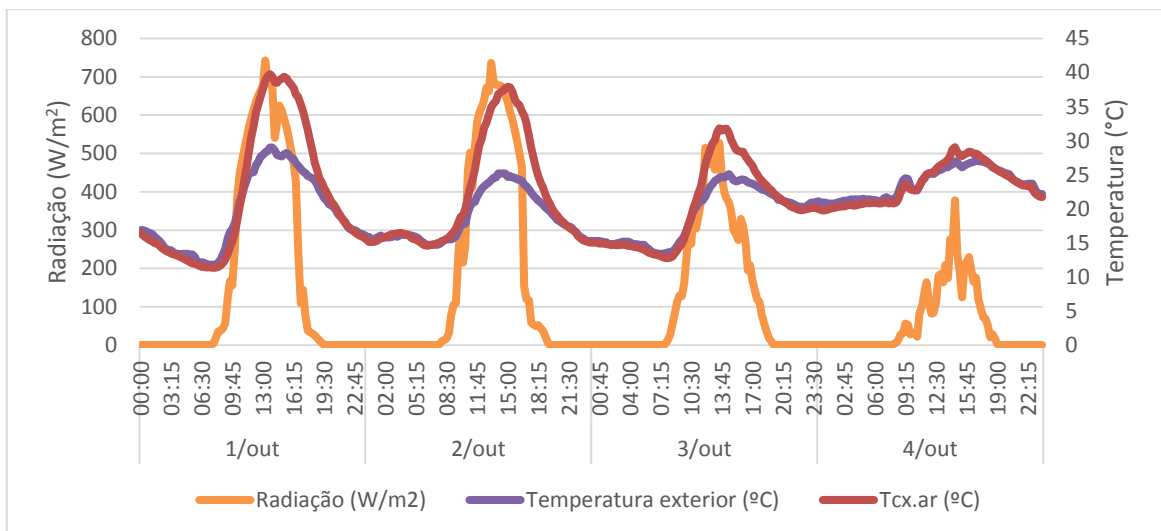


Gráfico 32 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Outubro.

Depois de avaliar as temperaturas da telha e da caixa-de-ar, foi feita uma diferença dessas temperaturas para uma melhor visualização da variação de temperatura do ar no canal, como mostra a equação seguinte.

$$\Delta T_{ar(telha-cx.ar)} = T_{telha} - T_{cx.ar} \quad (10)$$

Assim, quando há uma variação de temperatura positiva, quer dizer que a temperatura da telha está mais quente que o ar da caixa-de-ar, contrariamente, quando é negativa a superfície da telha está com uma temperatura inferior. No dia 01 e 02 houve alturas do dia em que a caixa-de-ar esteve bastante mais fria que a telha (Gráfico 33). No entanto para retirar mais conclusões é necessário observar o Gráfico 34, que revela que quando é alcançada a radiação solar máxima a variação de temperatura baixa, isto é, a caixa-de-ar começa a aquecer mais, isto pode dever-se ao movimento do ar na caixa entre a telha e a subtelha que leva ao aquecimento da caixa-de-ar, pois como a telha aquece transfere calor por convecção ao ar, levando este a uma maior movimentação e aquecimento do ar presente na caixa-de-ar e à sua ascensão.

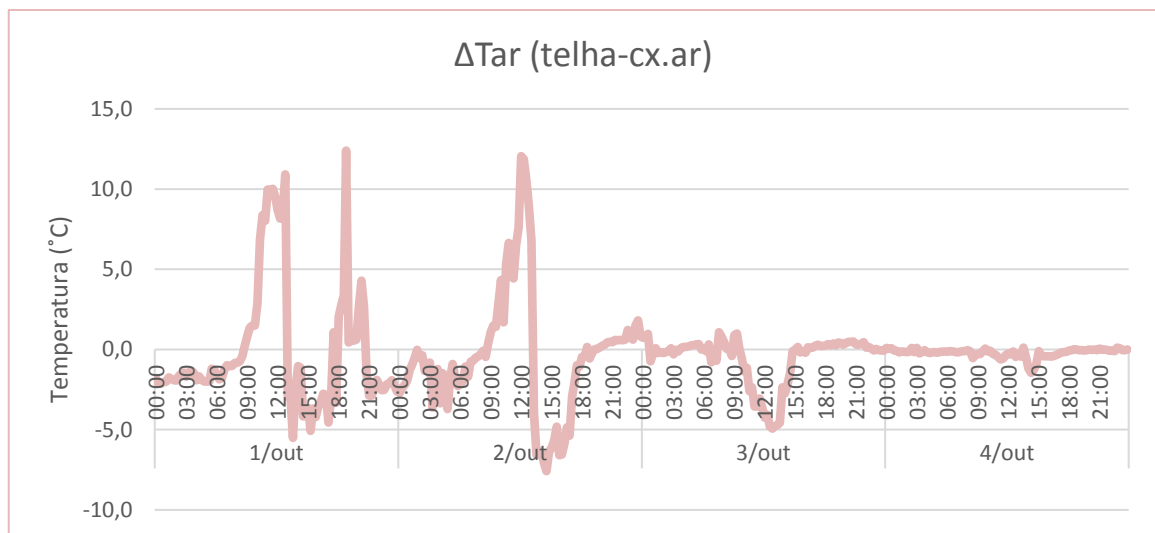


Gráfico 33 - Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre a T_{telha} e T_{cx.ar} em Outubro.

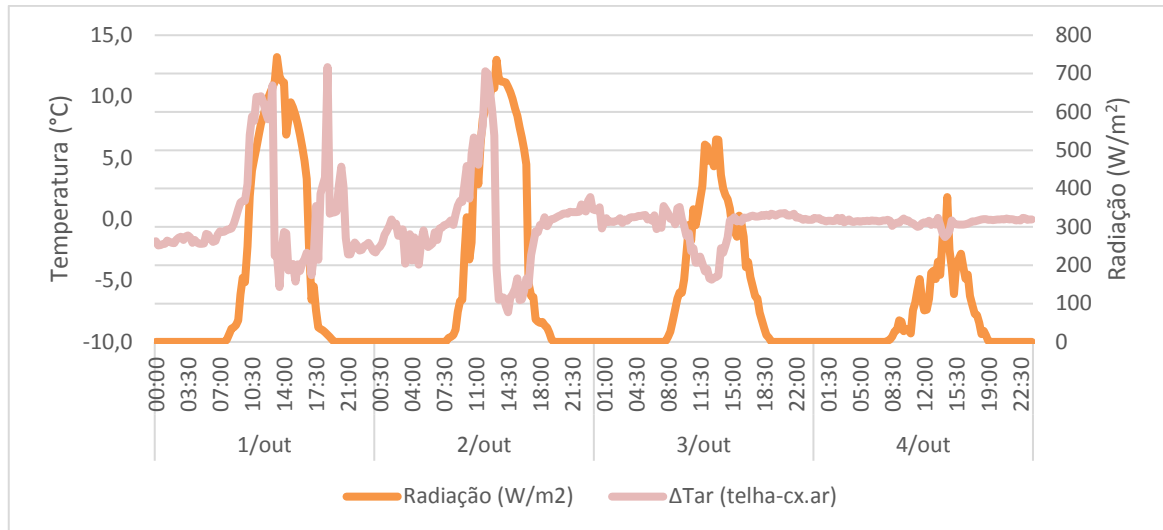


Gráfico 34 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Outubro.

4.5.2. Novembro

Para o mês de Novembro a análise comparativa efetuada foi do dia 21 ao dia 24. Neste mês todos os equipamentos estiveram a funcionar corretamente, havendo assim mais dados para comparar. Para além dos dados vistos no mês anterior, em Novembro. Também há dados da temperatura e humidade relativa do ar do desvão e temperatura e humidade na superfície do isolamento situado na subtelha. Desta forma permitiu calcular outra variação de calor diferente da apresentada, referindo-se esta à variação de temperatura entre o exterior e o interior (desvão), como é referido na equação 11, apresentada mais à frente.

No Gráfico 35 é notório que as temperaturas do desvão e do isolamento da subtelha têm um perfil diferente das restantes temperaturas, ou seja, apesar de registarem ligeiros aumentos, não se verifica grandes variações de temperatura, ou seja, são mais constantes. É ainda de referir que, quando do aquecimento da cobertura, há também um aumento da temperatura no interior mas não muito significativo. No entanto, quando há descidas muita acentuadas da temperatura na cobertura, no interior há descida mas mais suave. Pode-se constatar que há uma relação entre as temperaturas, não sendo necessariamente a esperada ou a melhor para esta altura do ano, mas adiante este tema será discutido.

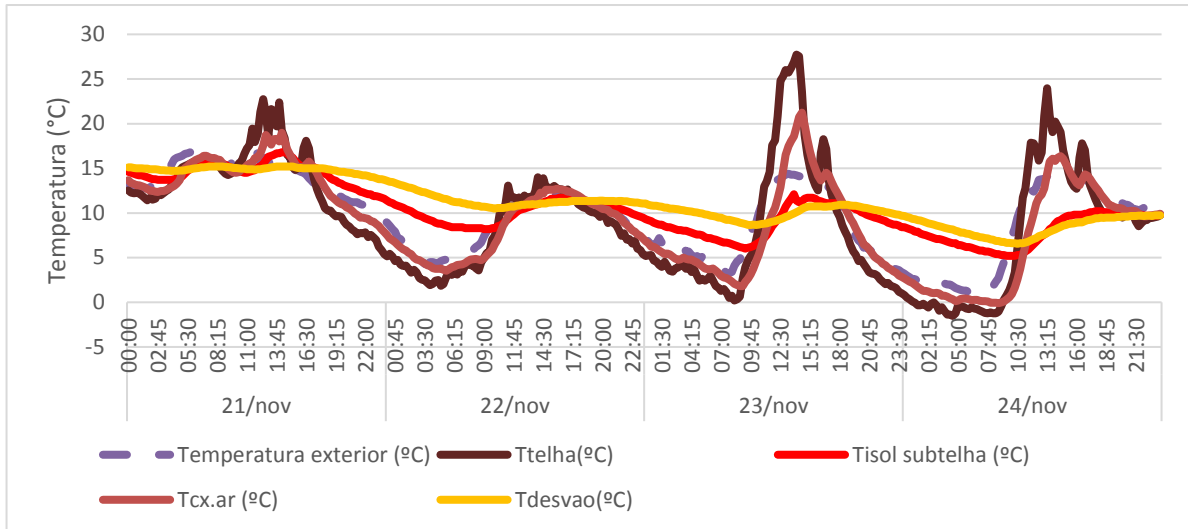


Gráfico 35 - Text, Ttela, Tcx.ar, Tisol subtelha e Tdesvão para o mês de Novembro.

Comparando o mês de Novembro com o de Outubro, é visível uma diminuição da velocidade do ar na caixa-de-ar em Novembro, mas tal como acontece no mês anterior, também aqui pode-se comparar com a velocidade do ar exterior (Gráfico 36) e com a radiação solar registada (Gráfico 37), sendo um cenário relativamente semelhante ao mês anterior.

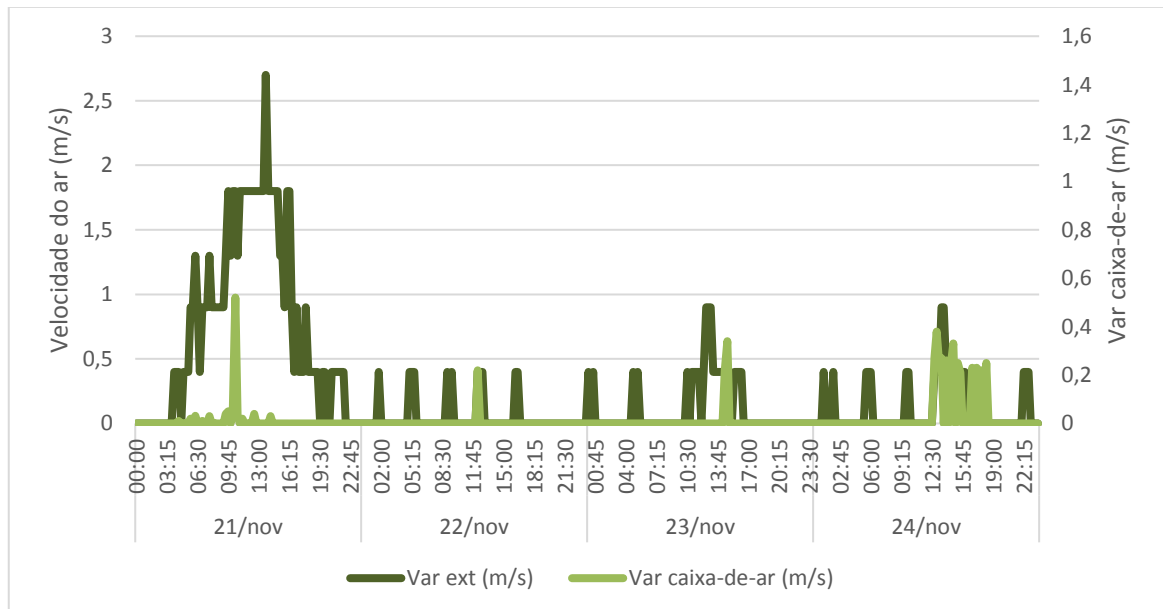


Gráfico 36 - Var e Var caixa-de-ar registadas em Novembro.

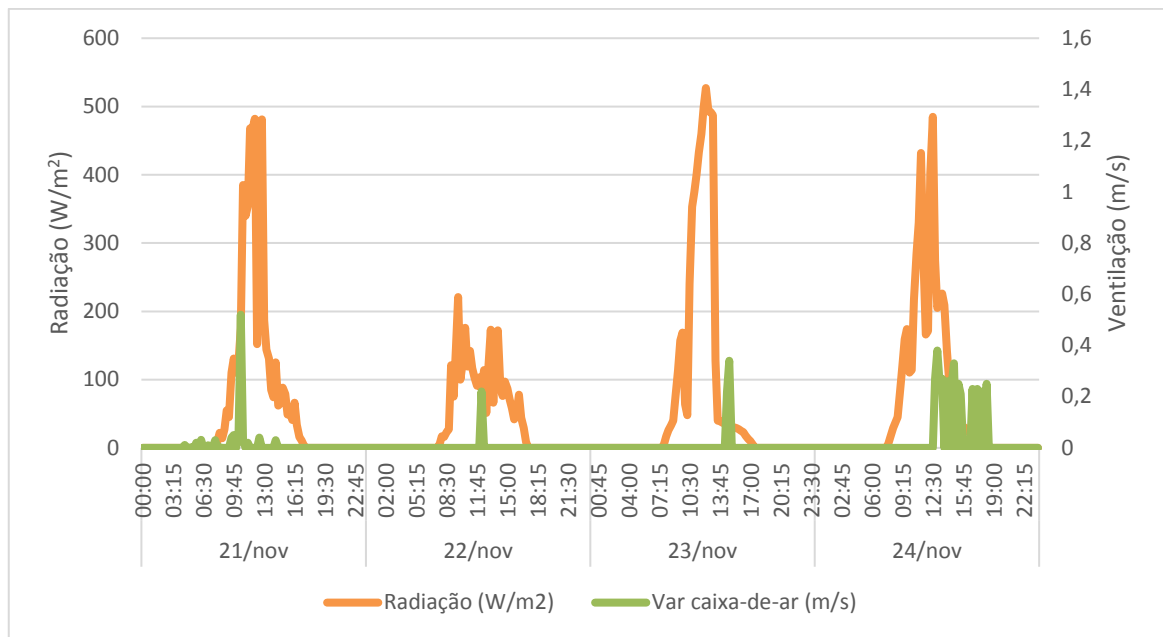


Gráfico 37 - Radiação solar vs Var caixa-de-ar em Novembro.

No que se refere à comparação da radiação com as temperaturas do ar exterior e da caixa-de-ar (Gráfico 38), neste mês a diferença, denota-se na mesma com a subida da radiação solar o aumento das temperaturas, apesar que entre a temperatura exterior e a temperatura da caixa-de-ar já não existe tanta variação como no mês de Outubro. Até na variação de temperaturas da telha e da caixa-de-ar (Gráfico 39) há períodos diários com uma variação negativa, o que nos diz que a telha está maioritariamente mais quente que a caixa-de-ar.

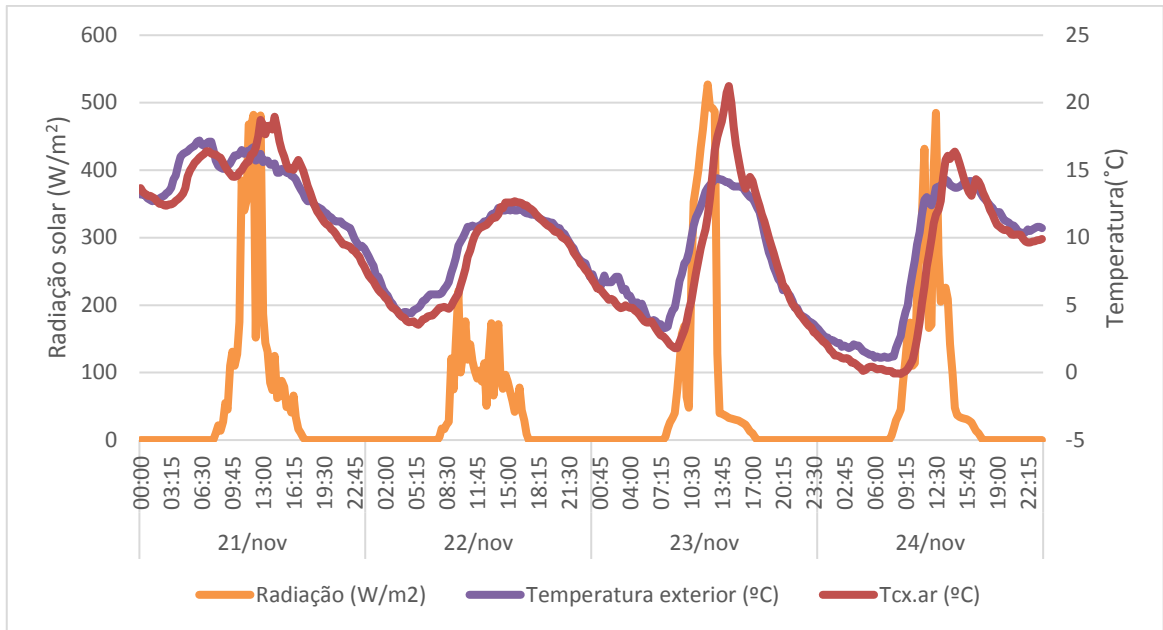


Gráfico 38 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Novembro.

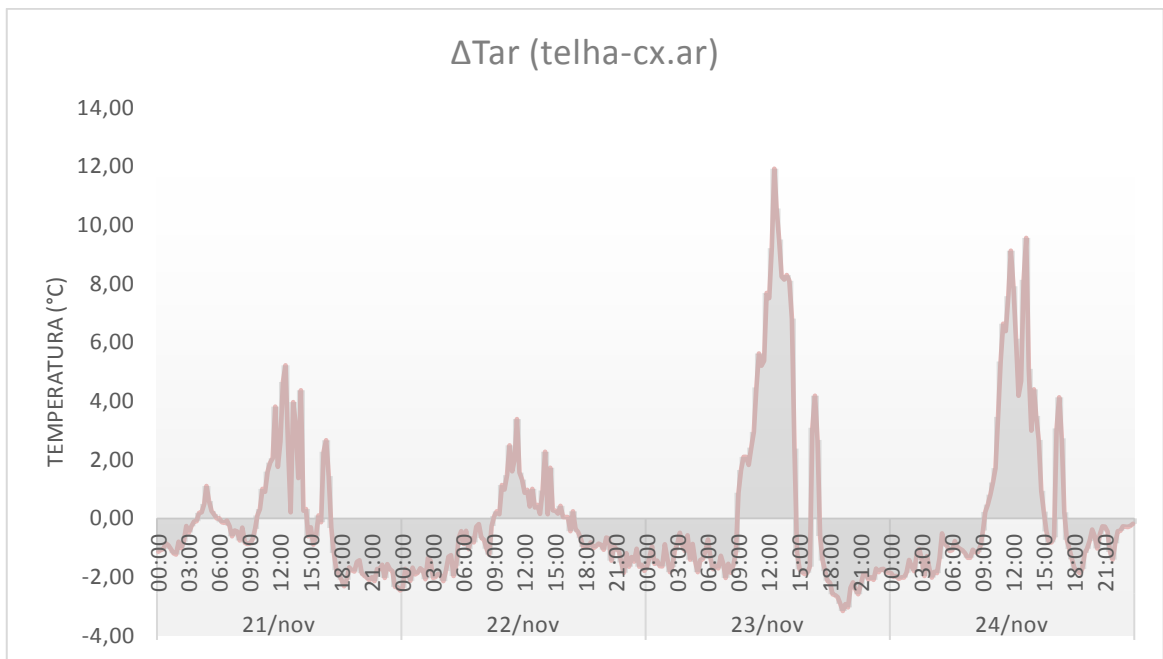


Gráfico 39 - Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre a Ttelha e Tcx.ar em Novembro.

Como já era esperado, a variação de temperaturas é mais alta, ou seja, a temperatura da telha apresenta valores mais altos que a caixa-de-ar, nos períodos com maior incidência de radiação solar (Gráfico 40).

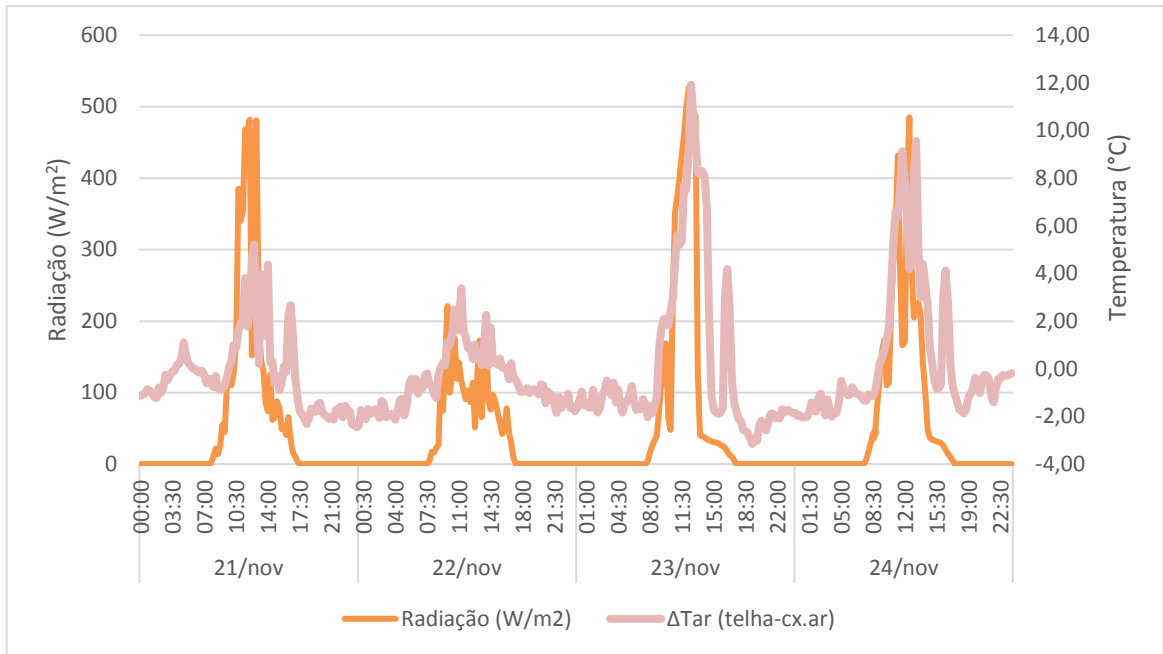


Gráfico 40 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Novembro.

Como já foi referido no início deste subcapítulo, foi feita uma análise da variação da temperatura do ar exterior para a temperatura registada do ar no desvão. Obtém-se valores negativos quando a temperatura registada no desvão é superior a do ar exterior, e o mesmo acontece contrariamente. Da análise ao Gráfico 41, verifica-se que isso acontece durante o período noturno, o que significa que a descida da temperatura do ar no interior do desvão não é tão acentuada como no exterior, algo que já se tinha constatado anteriormente.

$$\Delta T_{ext.int} = T_{ext} - T_{desvão} \quad (11)$$

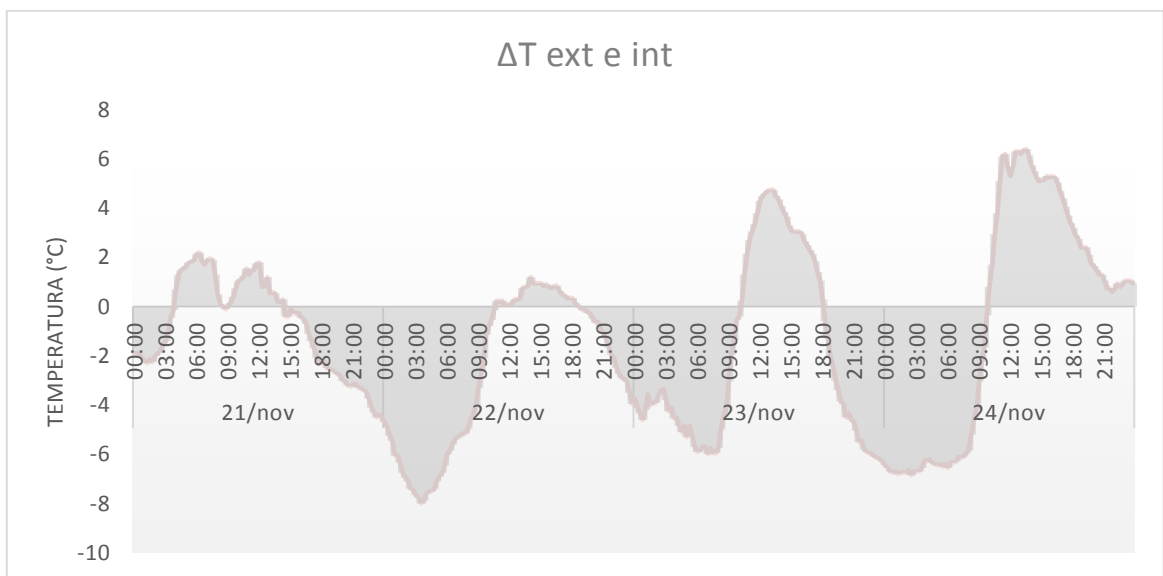


Gráfico 41 - Diferença de temperatura do ar entre a T_{ext} e a $T_{desvão}$ em Novembro.

No gráfico seguinte, há uma demonstração do comportamento das temperaturas e humidades relativas registadas no mesmo local, isto é, a curva da humidade relativa é exatamente o oposto da curva da temperatura para o mesmo local de registo, como seria de esperar.

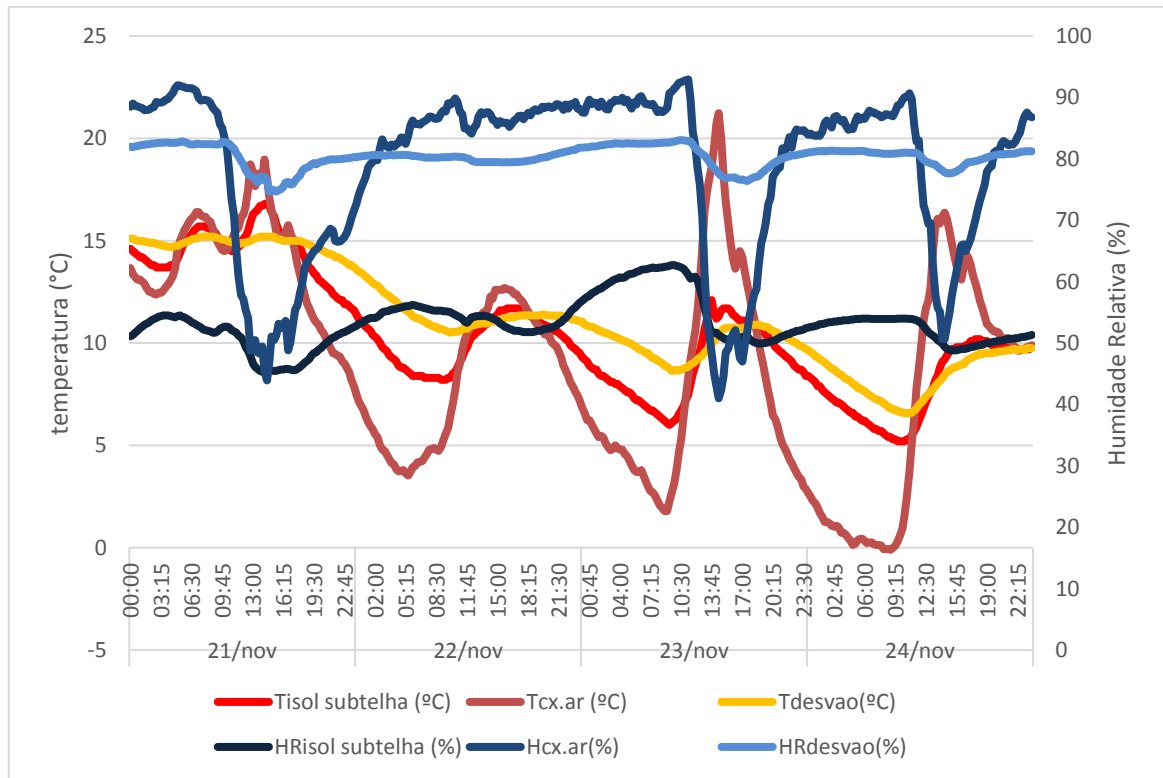


Gráfico 42 - Temperaturas vs Humidade da Célula-teste em Novembro.

4.5.3. Dezembro

Também foi feita uma análise para os dias 24 a 27 de Dezembro, mas para este Mês devido a problemas técnicos, não pôde ser feita uma análise tão completa como no mês anterior, visto não haver dados registados da velocidade do ar na caixa-de-ar.

Como já tinha sido possível verificar, as temperaturas do desvão e do isolamento são muito semelhantes e não sofrem grandes alterações diárias (Gráfico 43). No mês de Dezembro as temperaturas da caixa-de-ar voltam a ser mais altas que a temperatura do ar exterior, quando a temperatura da telha sobe devido ao aumento da radiação solar incidente (Gráfico 44).

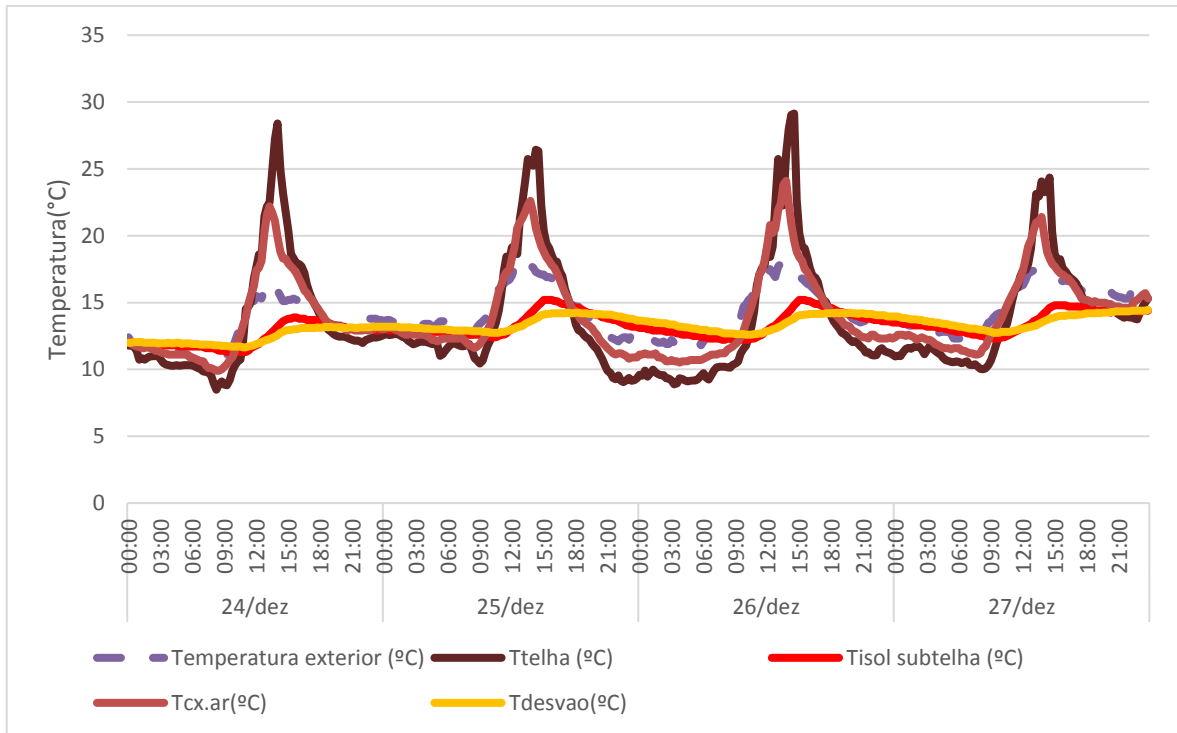


Gráfico 43 - Text, Ttela, Tcx.ar, Tisol subtelha e Tdesvão para o mês de Dezembro.

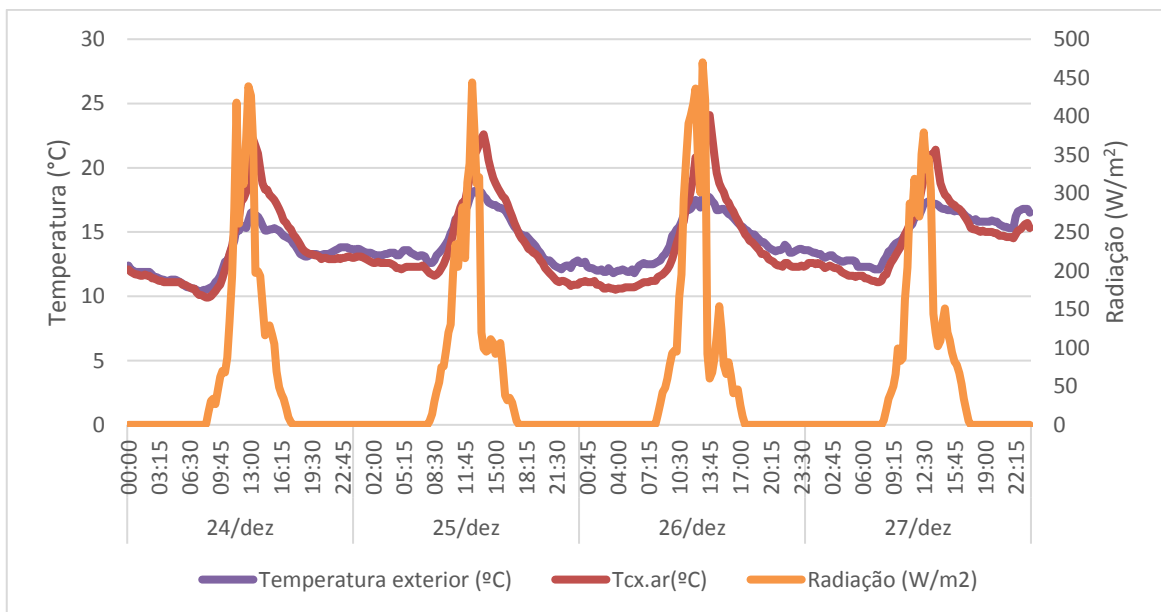


Gráfico 44 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Dezembro.

Neste mês, há uma maior frequência de uma variação negativa entre a temperatura do ar na caixa-de-ar e a superfície da telha durante as 24h de um dia, ou seja, o ar na caixa-de-ar esteve durante mais tempo com uma temperatura mais elevada (Gráfico 45), apesar de nos momentos de maior radiação solar ocorre um pico máximo na variação de temperaturas, o que é normal visto a radiação incidir sobre a telha e haver uma maior de transferência de

calor por radiação. Comparativamente aos outros meses este período é mais curto do que acontecia anteriormente (Gráfico 46).

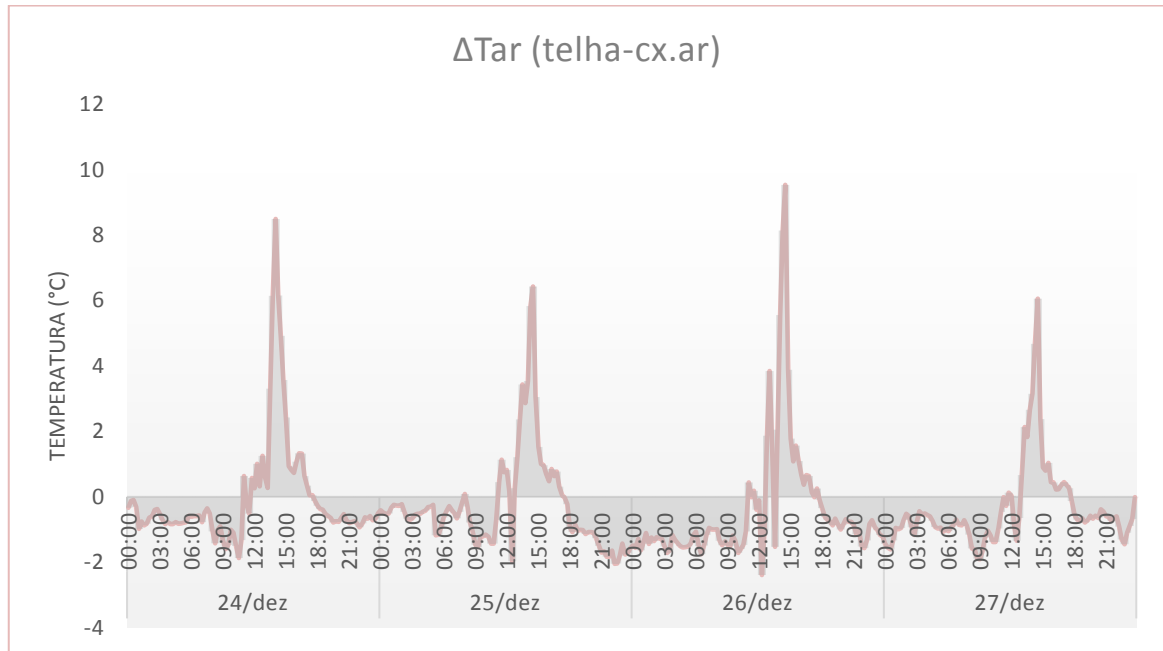


Gráfico 45 - Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre a T_{telha} e $T_{cx.ar}$ em Dezembro.

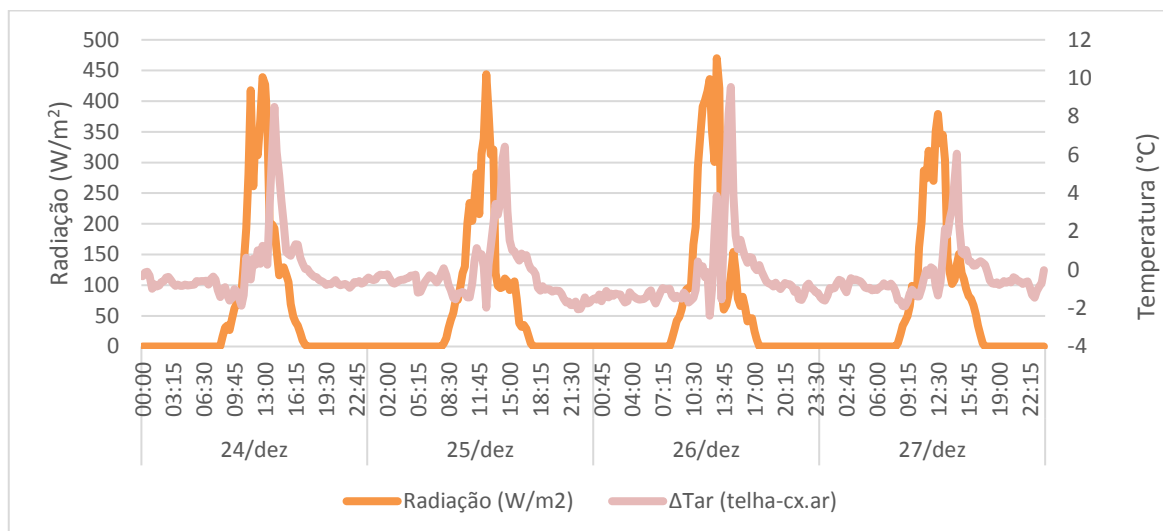


Gráfico 46 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Dezembro.

O Gráfico 47 mostra uma das preocupações deste trabalho, que é a temperatura do ar interior. Como podemos ver, na maioria dos dias a temperatura do ar exterior é mais alta, o que seria ótimo em meses quentes, mas tratando-se de uma análise para os meses frios esta situação não é a mais favorável. No entanto, nas horas noturnas, tirando no dia 24 para o dia 25, o ar interior está relativamente mais quente, tornando-se numa situação menos grave.

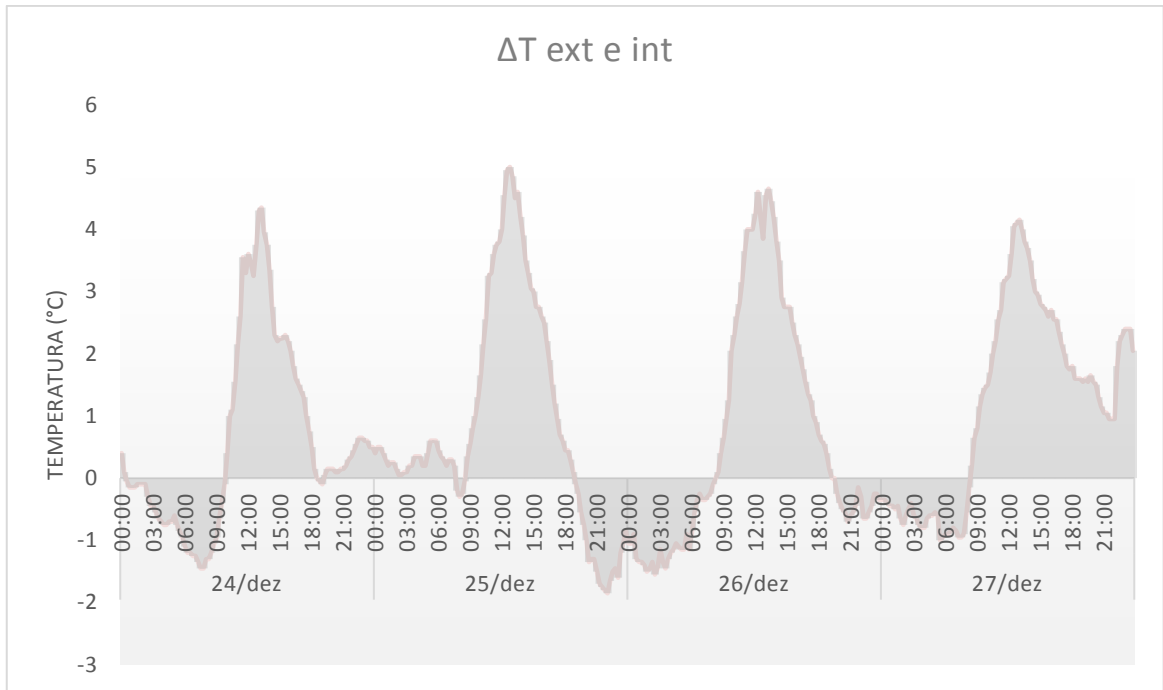


Gráfico 47 - Diferença de temperatura do ar entre a T_{ext} e a $T_{desvão}$ em Dezembro.

Porque como se pode ver no Gráfico 48, o ar exterior está com temperaturas mais altas nas horas de radiação mais elevada. O ótimo seria que essa radiação também aumentasse a temperatura do ar no desvão, mas é algo que não acontece, daí se poder dizer que este método de cobertura ventilada, deste ponto de vista, não ser a mais indicada para os meses mais frios.

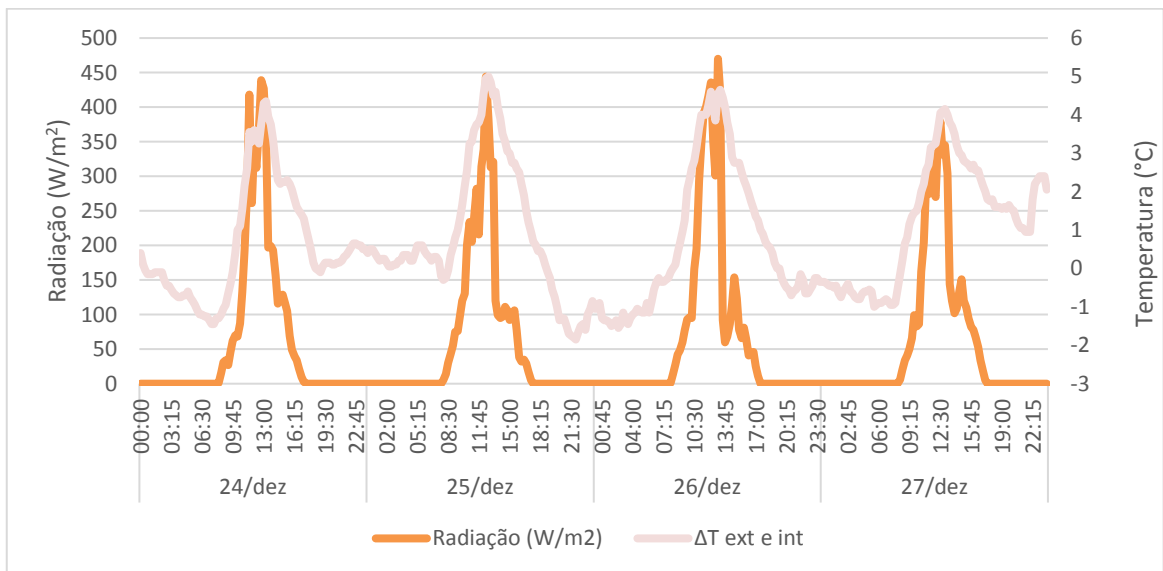


Gráfico 48 - Radiação solar vs dif. temp. ext e int em Dezembro.

O Gráfico 49 é um gráfico, como já foi referido, em que a temperatura e a humidade do ar são fatores contrários um ao outro, em que podemos ver uma temperatura e humidade

relativa praticamente constante no desvão, e na maioria dos dias a humidade relativa do desvão está mais alta que a da caixa-de-ar.

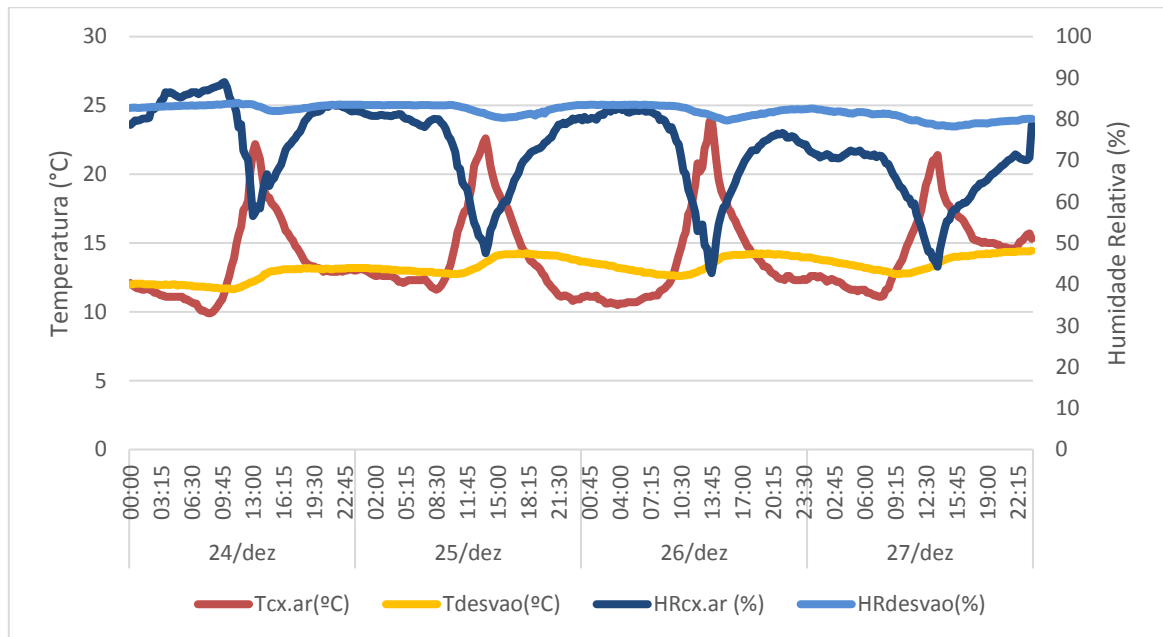


Gráfico 49 - Temperaturas vs Humidade da Célula-teste em Dezembro.

4.5.4. Janeiro

Tal como em Dezembro, a análise de Janeiro também não terá em conta os dados de velocidade do ar, devido a problemas técnicos com os equipamentos. Assim, será feita uma análise para os restantes parâmetros entre os dias 23 e 26 de Janeiro.

No mês de Janeiro, contrariamente ao que tinha acontecido até aqui, a temperatura registada na superfície inferior da telha nunca foi mais alta que todas as outras temperaturas registadas, nem no período diurno. No dia 24 para 25 foi mesmo a temperatura mais baixa registada com uma diferença razoável para as outras. No mesmo período a temperatura exterior e da caixa-de-ar também foram baixas. Nos restantes dias a temperatura mais alta registada foi a da caixa-de-ar. Relativamente à temperatura do isolamento, que até aqui era relativamente constante, mostra alguns aumentos acentuados, continuando a temperatura do ar no desvão com um comportamento semelhante aos outros meses (Gráfico 50).

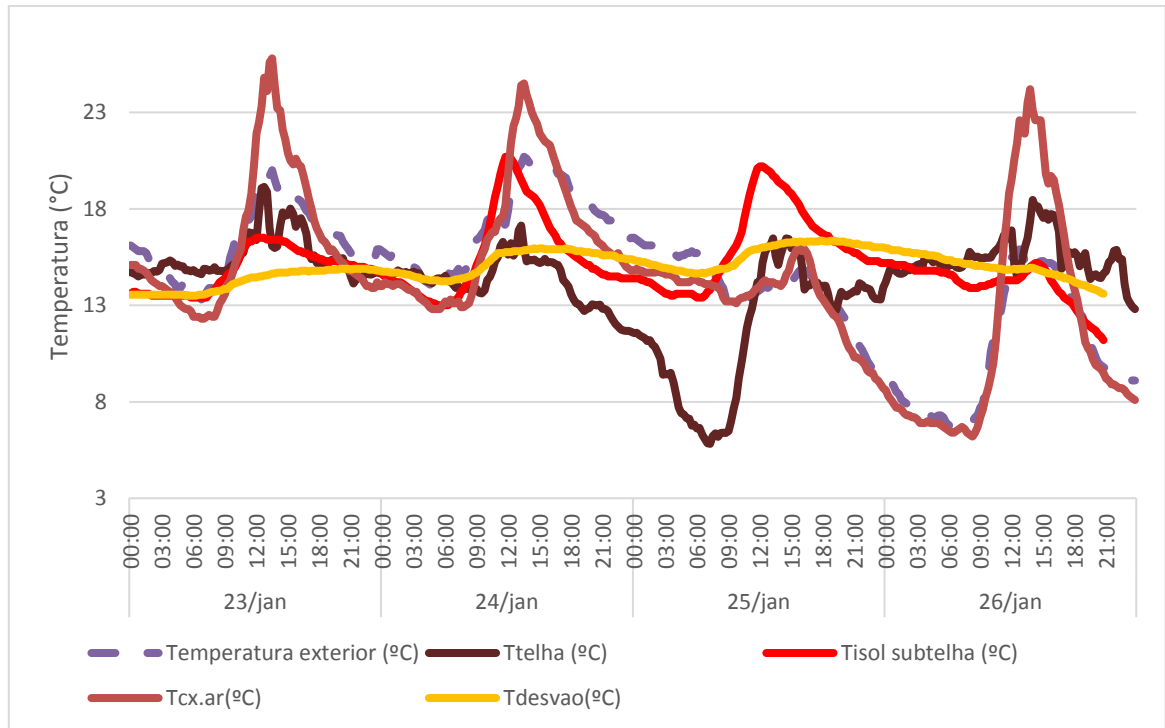


Gráfico 50 - Text, Ttela, Tcx.ar, Tisol subtelha e Tdesvão para o mês de Janeiro.

Com a comparação através do fator de radiação solar (Gráfico 51), percebe-se a descida de temperaturas mais acentuadas no dia 25, pois houve muito menos radiação solar. Nos períodos com maior radiação a temperatura do ar na caixa-de-ar foi superior à do ar exterior.

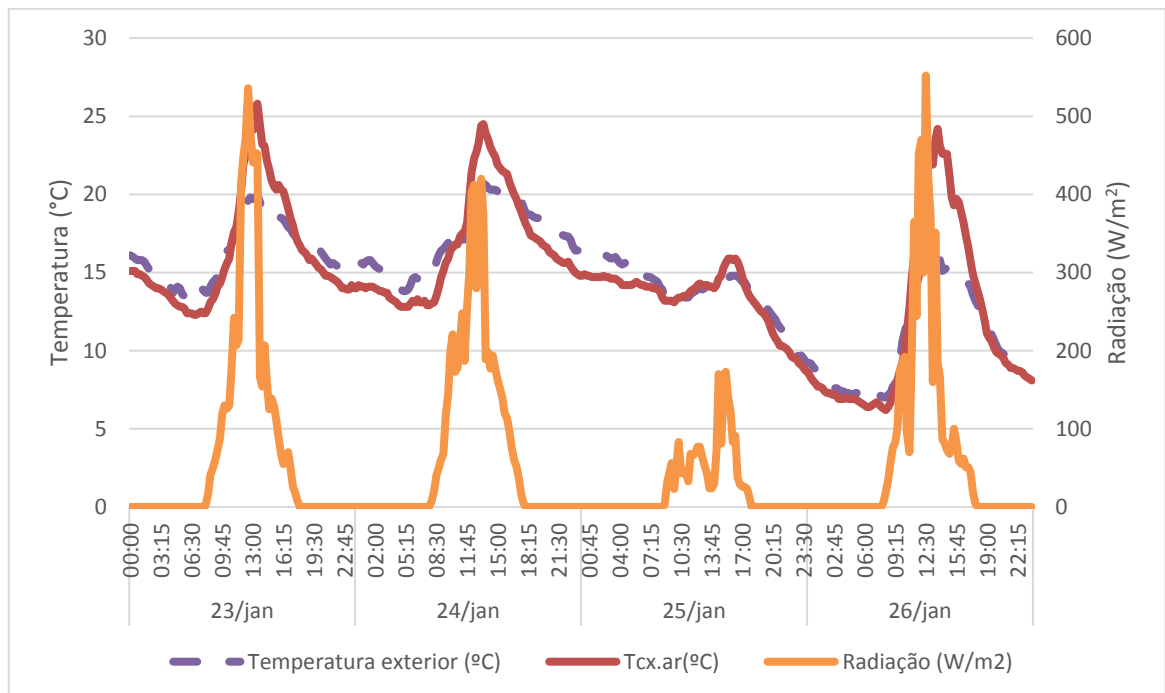


Gráfico 51 - Radiação vs Text e Tcx.ar em Janeiro.

Com a diminuição da temperatura da telha, já seria de esperar que a variação fosse na maioria negativa, como se pode ver no Gráfico 52. O período da tarde do dia 25 até à manhã de 26 teve uma variação positiva elevada devido à pouca radiação solar que houve no dia 25, que levou à diminuição do ar na caixa-de-ar, pois observa-se um aumento desde logo após haver radiação solar, isto é, demora um tempo a aquecer a caixa-de-ar, não é tão direto como a telha, visto haver mais processos de transferência de calor envolvidos (Gráfico 53).

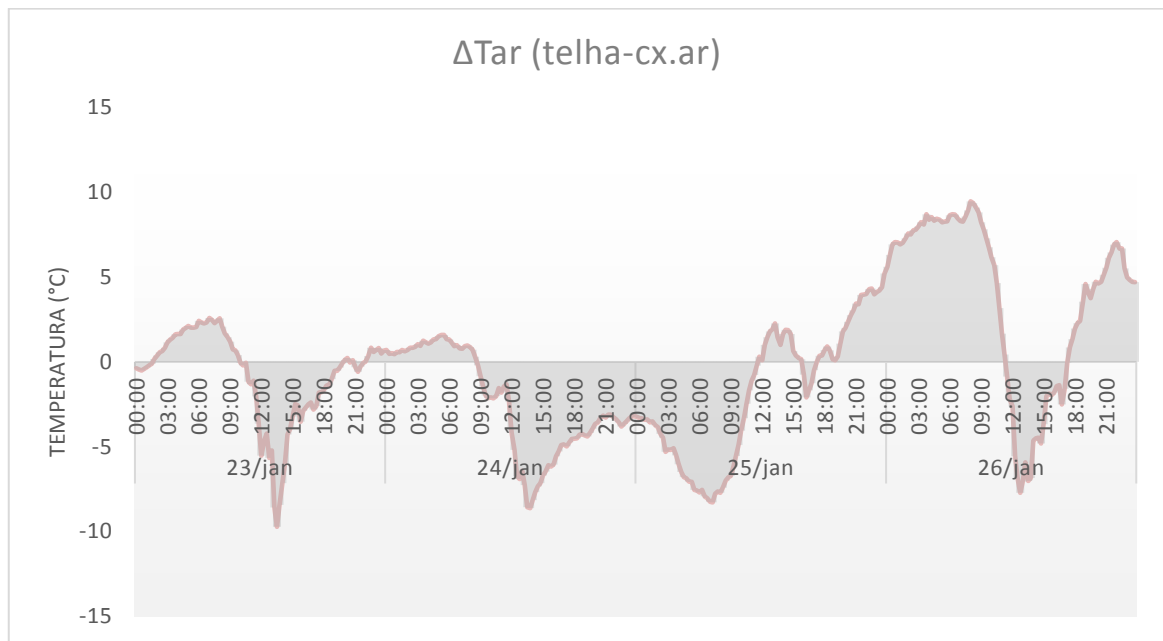


Gráfico 52 - Diferença de temperatura do ar na caixa-de-ar entre o Logtag 8 e 5 em Janeiro.

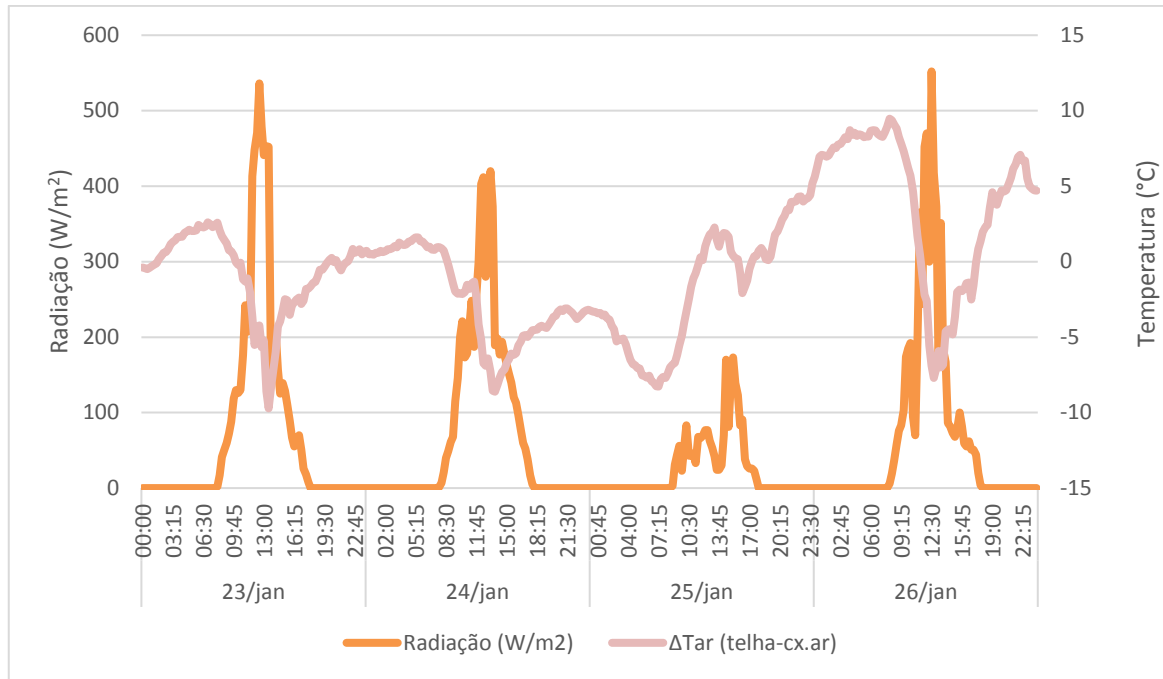


Gráfico 53 - Radiação solar vs Tar (cx.ar) em Janeiro.

Através dos Gráfico 54 e Gráfico 55, pode-se deduzir que o único dia em que as temperaturas mais altas se registaram no interior da célula de teste foi no 25 e madrugada do dia 26. Nos restantes dias, já nem se observa no período noturno valores de variação positivos, como se tem vindo a verificar nos outros meses, o que significa que o ar exterior teve sempre temperaturas mais altas que o ar interior.

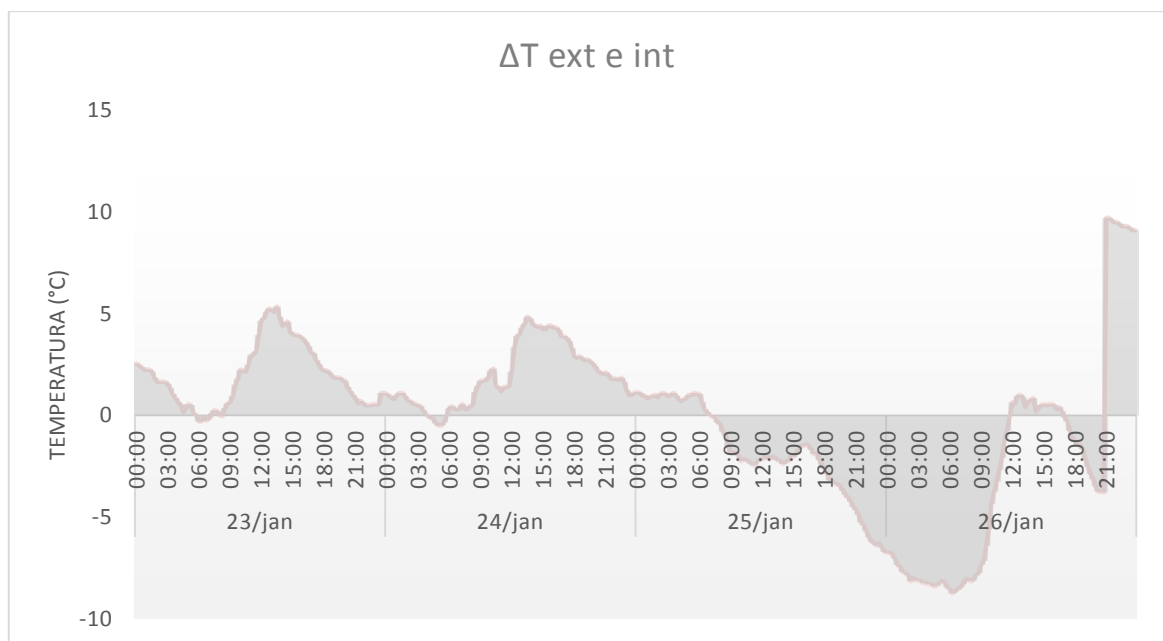


Gráfico 54 - Diferença de temperatura do ar entre a T_{ext} e a T_{desv} em Janeiro.

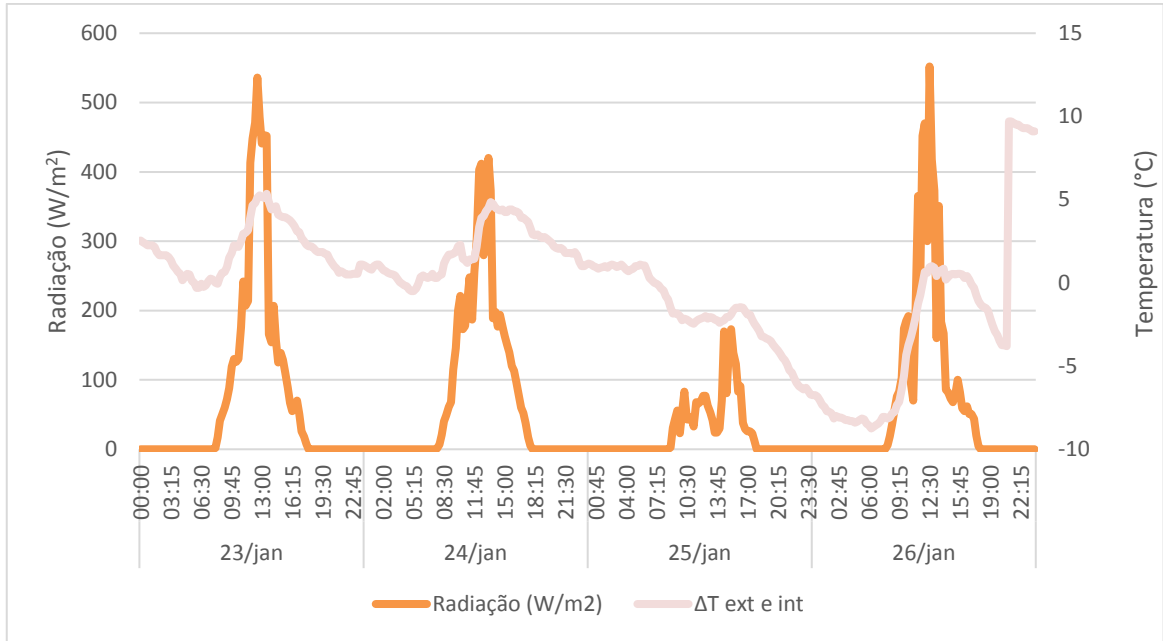


Gráfico 55 - Radiação solar vs dif. temp. ext e int em Janeiro.

4.6. Balanço Energético ao Ar na Caixa-de-ar

Um dos temas principais deste trabalho está relacionado com a recuperação de calor através da ventilação existente na caixa-de ar localizada na cobertura. De forma a avaliá-la utilizou-se a seguinte equação que retrata o balanço energético ao ar na caixa-de-ar:

$$Q = \dot{m}_{ar} \times C p_{ar} [T_8 - T_5] \quad [W] \quad (12)$$

$$\dot{m}_{ar} = \vartheta \times A \times \rho \quad [Kg/s] \quad (13)$$

$$A = \pi r^2 \quad [m^2] \quad (14)$$

Transferência de calor média mensal, Q [W]

<i>Outubro</i>	0,24
<i>Novembro</i>	0,12

Nos Gráfico 56 e Gráfico 57 pode-se observar o ganho de calor em Outubro e Novembro, sendo de realçar que não há uma transferência muito significativa devido ao reduzido caudal mássico de ar na caixa-de-ar. No mês de Outubro houve uma transferência mais frequente, mas com valores mais baixos comparativamente ao mês de Novembro, registando-se o dobro da quantidade de calor transferido através do caudal mássico do ar em Outubro. É, ainda, de realçar o facto de não haver valores negativos, uma vez que foi utilizado o módulo da diferença de temperaturas. Assim mesmo, quando a T_5 é mais baixa, o valor é positivo.

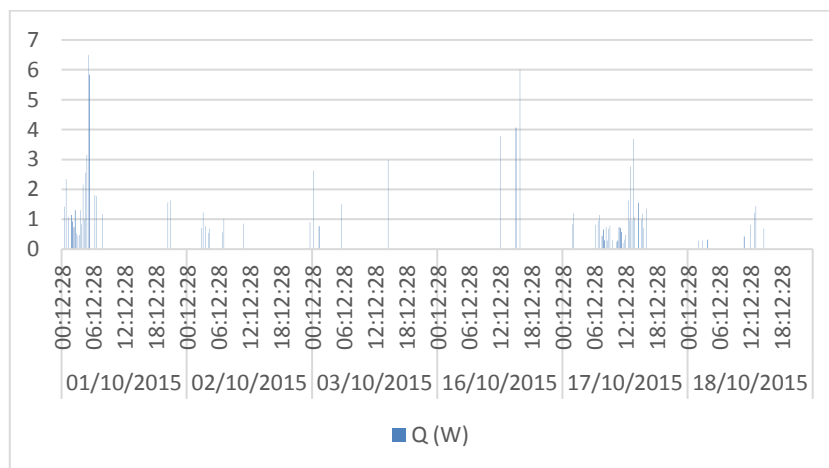


Gráfico 56 - Caudal mássico do ar em Outubro.

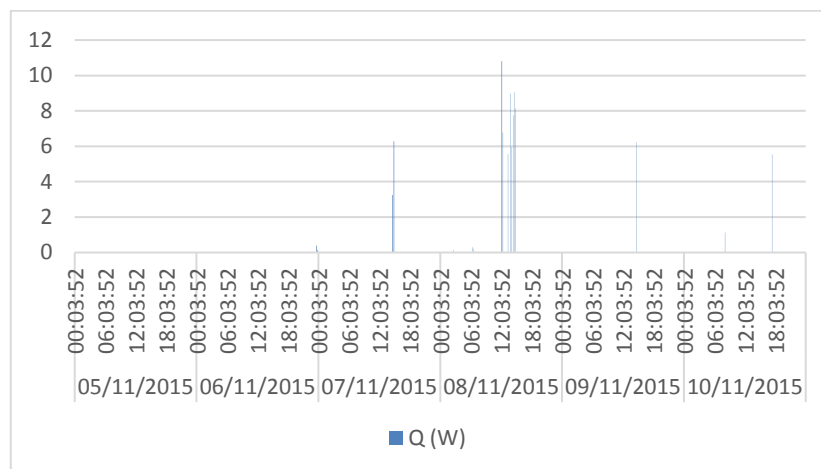








Gráfico 57 - Caudal mássico do ar em Novembro.

4.7. Análise diária

Dentro ainda do capítulo de apresentação e discussão de resultados, apresenta-se neste subcapítulo uma análise comparativa diária, para os meses de Outubro e Novembro. Pois numa análise de dados diários pode-se relacionar melhor alguns dados. Devido á compactação de resultados, também aqui se irá apresentar o estado meteorológico para cada dia em estudo, como se pode ver nas Tabela 14 e Tabela 15.

Da análise da Tabela 14 e do Gráfico 58, pode-se constatar que o dia 17 foi onde se registou uma maior velocidade do ar exterior, bem como uma maior velocidade do ar na caixa-de-ar, apesar de ser um dia chuvoso e com nuvens (logo com menos radiação solar). A velocidade do ar na caixa-de-ar, num perfil diário, acompanhou a velocidade do ar exterior e não tanto o perfil da radiação (Gráfico 59), contrariamente ao que vimos nas análises com dados registados de 15 em 15 min.

Tabela 14 - Dados médios diários para Outubro.

	Data	T exterior (°C)	Var ext (m/s)	Ttelha (°C)	Var caixa-de-ar (m/s)	Radiação solar (W/m ²)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)
	15/Out	17,16	0,42	18,92	0,00	132,91	18,48	64,56
	16/Out	18,93	0,52	20,62	0,01	123,57	20,14	66,03
	17/Out	19,72	1,99	18,44	0,12	49,16	18,87	75,15
	18/Out	18,16	0,50	18,84	0,02	77,19	18,82	75,28
	19/Out	18,94	0,56	20,25	0,01	114,07	19,96	70,28
	20/Out	20,39	1,06	22,69	0,05	195,87	21,59	63,12

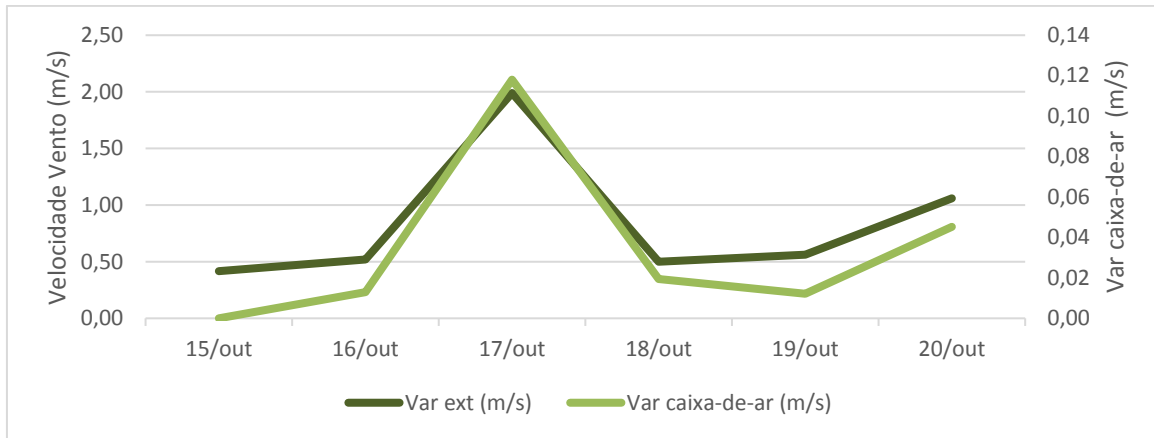


Gráfico 58 - Var vs Var caixa-de-ar diária em Outubro.

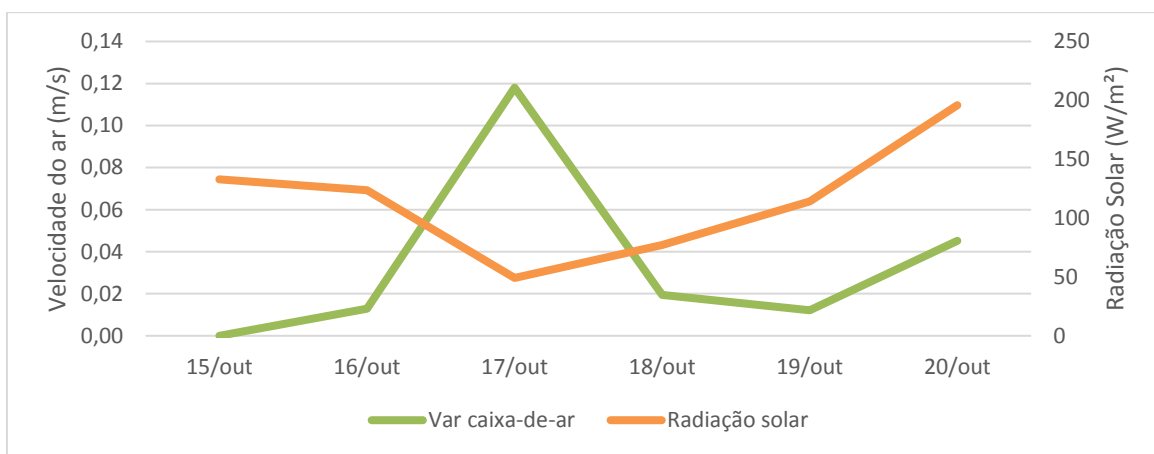


Gráfico 59 - Radiação vs Var caixa-de-ar diária em Outubro.

Através do Gráfico 60 observa-se um comportamento semelhante entre as temperaturas, com exceção do dia 17, pois foi um dia de chuva e pouca radiação, sendo ainda de salientar que as temperaturas tanto da telha como da caixa-de-ar são superiores à do ar exterior, algo que já tinha sido observado.

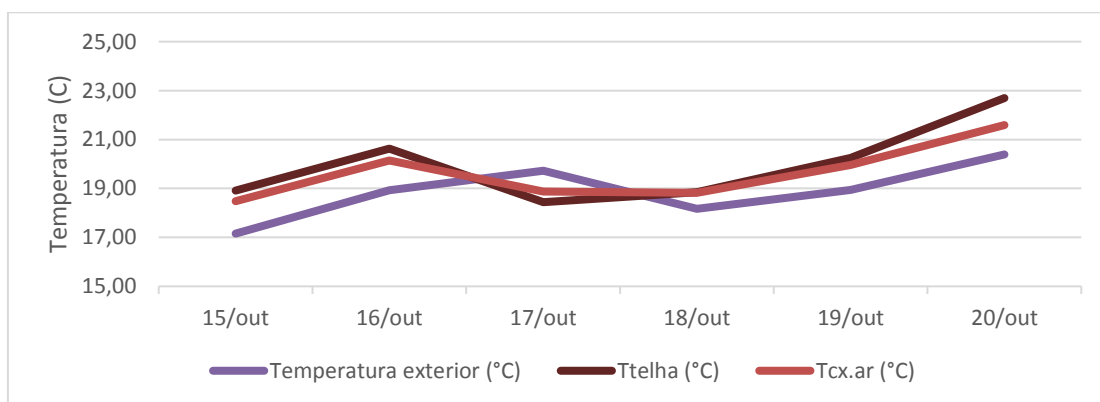









Gráfico 60 - Text, Ttelha e Tcx.ar diárias em Outubro.

Tabela 15 - Dados médios diários para Novembro.

	Data	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Ttelha (°C)	Var Caixa-de-ar (m/s)	Radiação solar (w/m ²)	Temperaturas (°C)			Humidade (%)		
							T isol subtelha	Tcx.ar	Desvão	HR isol subtelha	HRcx.ar	HRdesvão
	20/Nov	13,63	0,07	14,45	0,005	62,49	14,15	13,97	14,11	81,34	53,37	81,80
	21/Nov	14,12	0,77	13,69	0,005	59,30	14,47	13,92	14,85	72,51	50,48	80,09
	22/Nov	8,82	0,05	7,63	0,000	35,32	10,04	8,18	11,43	85,51	54,12	80,24
	23/Nov	8,13	0,12	8,07	0,002	63,16	8,94	7,82	10,04	77,01	56,33	80,62
	24/Nov	8,00	0,11	7,18	0,002	55,70	7,91	6,79	8,41	79,31	51,96	80,43
	25/Nov	13,30	0,22	12,87	0,003	68,26	11,33	12,59	11,12	83,15	52,21	81,96
	26/Nov	13,31	0,19	12,99	0,003	61,90	12,85	12,73	12,96	81,17	52,81	82,49

Os Gráfico 61 e Gráfico 62 mostram que a velocidade do ar da caixa-de-ar está dependente de ambos os fatores, velocidade do ar exterior e radiação solar, pois tem um perfil muito idêntico a ambos, apesar de mais semelhante à radiação solar, no dia 21 e 22, vê-se completamente a influência da velocidade do ar exterior, por isso não se pode dizer que só depende de um dos fatores, pelo menos em dias de sol que foi o caso desta semana.

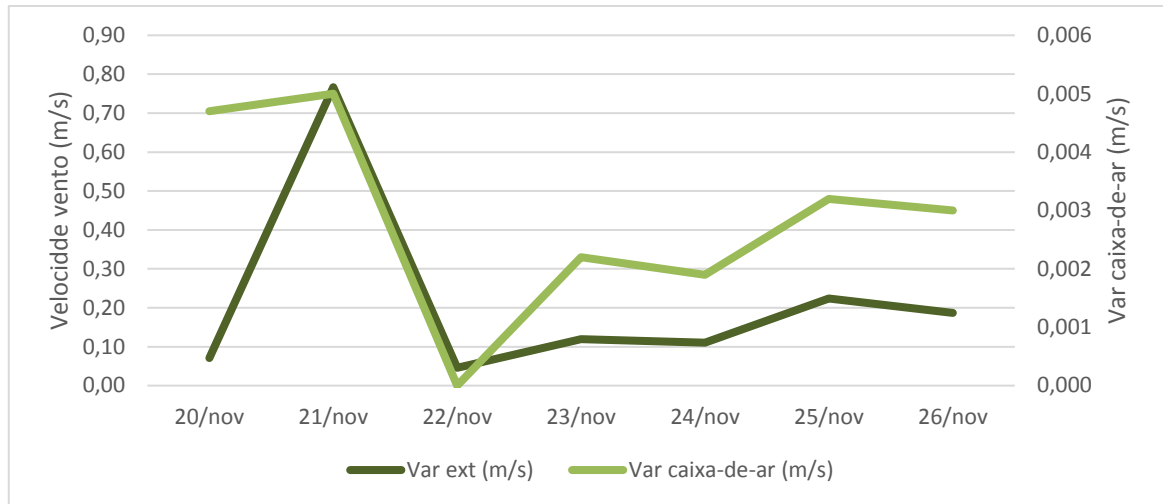


Gráfico 61 - Var vs Var caixa-de-ar diária em Novembro.

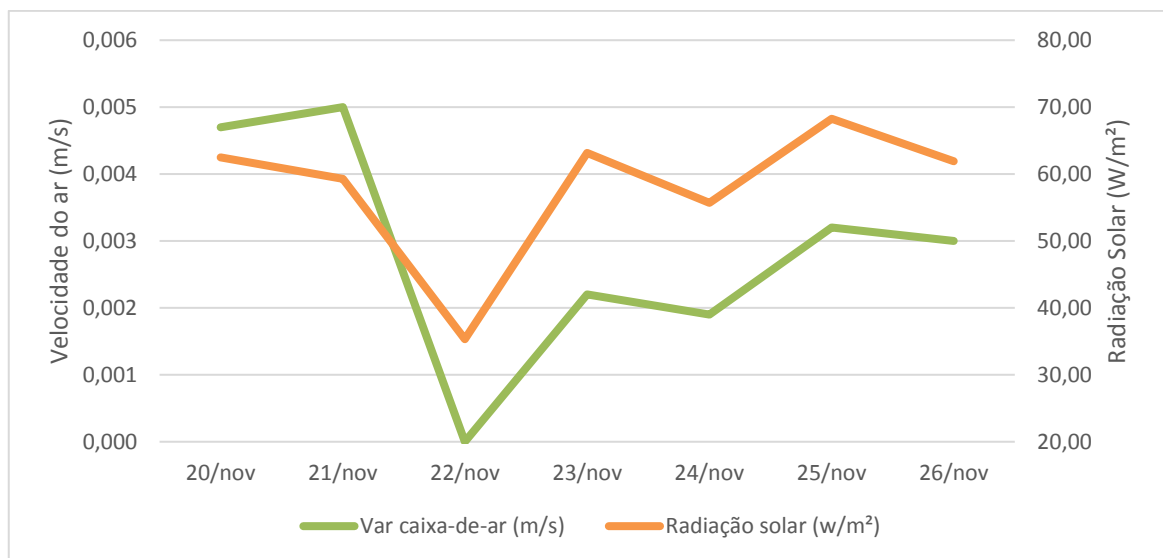


Gráfico 62 - Radiação vs Var caixa-de-ar diária em Novembro.

Numa avaliação diária, confirma-se o referido anteriormente, que o perfil da temperatura de isolamento da subtelha e a temperatura do ar no desvão são mais semelhantes que as outras temperaturas registadas. Em que todas elas dependem muita da temperatura exterior bem como da radiação.

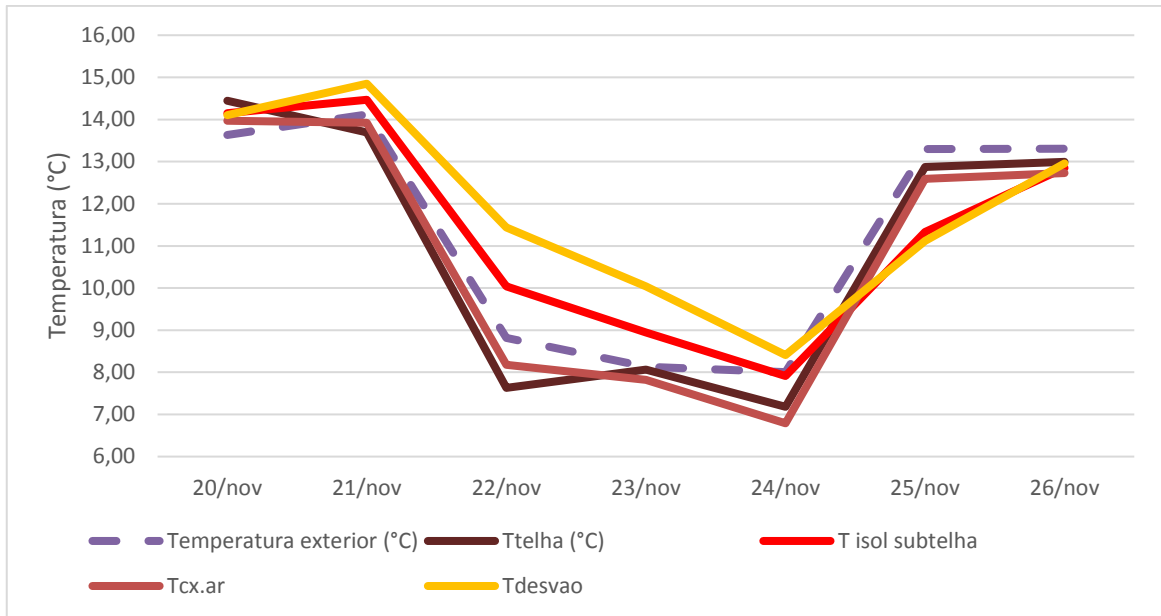


Gráfico 63 - Text, Ttelha e Tcx.ar diárias em Novembro.

5. Conclusão

Com o crescente número populacional e com a realidade energética atual, torna-se inadiável pensar de forma mais ecológica, sendo um bom exemplo disso o uso de climatização passiva nos edifícios. Na maioria das vezes pensa-se em climatização por meios elétricos, os quais estão associados a um determinado consumo de energia e a maiores gastos económicos, sendo por isso importante promover o conforto térmico através da integração de novas técnicas de captação de energias renováveis na arquitetura e soluções construtivas dos edifícios.

O objetivo deste estudo, de carácter essencialmente experimental, passou pelo uso de uma célula-teste composta por uma cobertura em telha cerâmica com beiral ventilado e subtelha e, através desta, analisaram-se os dados recolhidos de modo a caracterizar o comportamento térmico da cobertura e o impacto da ventilação da caixa-de-ar entre a telha e a subtelha, de modo a perceber a eficácia de uma cobertura ventilada nos meses mais frios do ano. (Outono e Inverno).

A instrumentação utilizada para a recolha de dados foi colocada em diversos pontos da cobertura e no desvão da célula-teste. Foi também, utilizada uma estação meteorológica para recolha de dados climatológicos da envolvente exterior onde está inserida a célula. Foi possível fazer várias análises dos dados: em primeiro efetuou-se uma análise de cada parâmetro isoladamente, de seguida uma comparação com todos os dados recolhidos, uma análise da transferência de calor através do caudal do ar na caixa-de-ar e, por fim, uma análise diária da comparação e dados.

No mês de Outubro, no que se refere as temperaturas registadas, a temperatura mais baixa foi registada no ar exterior da célula com uma média mensal de 18,3°C, comparativamente as temperaturas registadas na cobertura, com temperaturas médias mensais de aproximadamente 19,10°C. A velocidade do ar na caixa-de-ar registou uma média mensal de 0,0451 m/s. Tendo-se observado uma grande dependência da radiação solar, como também alguma influência da velocidade do ar exterior em períodos sem radiação solar mas elevada velocidade do ar exterior. Nos períodos em que a radiação solar atinge os seus máximos diários, observa-se um aumento da temperatura do ar presente na caixa-de-ar, levando a uma diminuição do ΔT_{ar} ; o aquecimento do ar, leva a uma ascensão

do ar quente havendo assim uma movimentação do ar e, por sua vez, o aumento da velocidade do ar na caixa-de-ar, o que permite a ventilação da cobertura.

Relativamente ao mês de Novembro, numa análise de comparação de temperaturas denota-se que os perfis das temperaturas do ar registadas no desvão e no isolamento da subtelha são muito semelhantes e mais constantes que as restantes temperaturas. Quando há aumentos e diminuição da temperatura na cobertura também ocorrem aumentos e descidas no desvão, mas são menos acentuadas que as registadas na cobertura e no ar exterior. Em que neste mês a temperatura média exterior já foi de 13,9°C, e a da telha foi de 11,74°C e do ar da caixa-de-ar rondou os 14,37°C, temperatura em média mais elevada comparativamente ao exterior e à telha. No que se refere a ventilação na caixa-de-ar, apresenta um comportamento muito semelhantes ao mês anterior, mas com muito menos frequência, registando um valor médio de 0,0213m/s, cerca de metade do valor registado em Outubro. Em termos de humidade relativa, a cobertura mostra-se eficaz visto que nos períodos diurnos as humidades relativas diminuem.

No mês de Dezembro, a temperatura média do ar exterior foi de 13,6°C muito próxima à registada na caixa-de-ar, sendo a da superfície da telha mais baixa, com 12,4°C. A diferença entre a temperatura do ar exterior e do ar da caixa-de-ar passa pelos aumentos e decréscimos acentuados devido à incidência da radiação solar, pois o perfil do ar exterior não regista estes picos de temperatura tão acentuados. O ΔT_{ar} é maioritariamente mais negativo, o que indica que a caixa-de-ar está mais quente na maioria das vezes, contrariamente o $\Delta T_{ext-int}$ que na maioria positivo, ou seja, o exterior regista temperaturas mais altas que o interior da célula, algo que neste mês é desvantajoso. Apesar de que, por exemplo, nos dias 21 e 22 de Dez. a temperatura da telha chega aos 0°C e na caixa-de-ar a temperatura é superior em 2-3-4 °C. Essa diferença pode ser suficiente para criar condensação na telha pois o ar imediatamente em contacto entre em saturação, porque também baixa a sua temperatura à temperatura aproximada da telha. É o que acontece nas nossas casas quando a HR é elevada; a condensação começa nos vidros pois são mais frios que as paredes, portas, etc. Sendo qu nas visitas efetuadas à coberturas diárias nunca foi detetada qualquer tipo de humidade o que pode estar a ser influenciado pela caixa-de-ar existente que através da radiação aquece o canal não permitindo condensação do ar.

No mês de Janeiro, o cenário da diferença de temperatura foi idêntico ao de Dezembro. A temperatura do ar exterior foi em média de 12,8°C, a do ar da caixa-de-ar 12,6°C e a da telha de 13,15°C, voltando a ser mais quente em comparação às outras duas. Para estes dois

últimos meses não foi possível estudar a velocidade do ar na caixa-de-ar, o que não permite retirar grandes conclusões em relação à ventilação na caixa-de-ar.

Assim sendo, só se calculou a transferência de calor (Q) para o escoamento do ar na caixa-de-ar nos meses de Outubro e Novembro. Como esta está dependente do caudal mássico do ar e como a velocidade média do ar na caixa-de-ar no mês de Novembro foi metade da do mês de Outubro, também a transferência de calor foi em média metade de Novembro.

Com tudo isto, pode-se concluir que o comportamento térmico da cobertura está muito relacionado com o ambiente onde está inserido o edifício, em que a radiação solar é um fator muito importante para o seu desempenho. A existência de ventilação na caixa-de-ar entre a telha e a subtelha torna-se muito vantajoso em termos de humidade, diminuindo a condensação por redução dos períodos de elevada humidade relativa, aumentando assim a salubridade e a durabilidade da cobertura bem como do edifício. Em relação ao conforto térmico no interior do edifício, esta técnica pode não ser a mais eficaz para os meses de Inverno. Nos meses de Outono ainda se torna vantajosa no entanto nos meses de Inverno registam-se temperaturas, na maioria das vezes, mais altas no exterior que no interior, apesar do perfil térmico ser muito constante no interior, o que não é muito prejudicial porque de facto quando há diminuições acentuadas no exterior, o interior regista diminuições, mas mais suaves.

Como já se tinha verificado em trabalhos anteriores, o uso deste tipo de cobertura nos meses de Verão é vantajoso. Assim sendo, como sugestão para trabalhos futuros, poder-se-ia estudar uma técnica em que nos meses de Verão se usaria este tipo de cobertura e nos meses mais frios outro tipo de soluções, aproveitando ao máximo estatécnica de climatização passiva.

Assim, para os meses mais frios poder-se-ia fechar a caixa-de-ar de ventilação ou fechá-la em apenas algumas alturas do dia (tipicamente período noturno). Outra solução poderia passar por permitir a ventilação natural no interior do espaço do edifício, através da movimentação do ar na caixa-de-ar, isto é, obrigar o ar quente a circular no edifício, por exemplo e, outro estudo interessante, também seria avaliar a mudança de cor da cobertura, pois observa-se que quanto mais escura for a cobertura maior é a temperatura no interior, o que poderia ser vantajoso nestes meses, apesar que teria de haver um maior caudal mássico

do ar nos meses de Verão para não sobreaquecer o interior, como aumento de técnicas de ventilação, como por exemplo através de chaminés de ventilação.

Por fim, é de realçar a importâncias que estas técnicas passivas têm, pois são bastante importantes ao nível da eficiência energética, sendo importante os seus estudos e a sua melhoria constante, de modo a que num futuro a maior parte dos edifícios sejam considerados “*Nearly zero energy buildings*”. É por aqui que passa o grande avanço tecnológico com vista a uma construção sustentável.

Referências Bibliográficas

- Almeida, L. P. R., 2013. *Estudo Experimental da Ventilação e do Comportamento Térmico de uma Cobertura em Telha Cerâmica com Beiral Ventilado e Sub-telha*, Leiria: ESTG - IPEiria.
- Beviss-Challinor, L., 2007. *Design, Build and Test a Passive hermal System for a Loft*, Stellenbosch University: s.n.
- Biwole, P., Woloszyn, M. & Pompeo, 2008. *Heat transfers in a double-skin roof ventilated by natural convection in summer time*. [Online] Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778808000352>
- Cerne, B. & Medved, S., 2006. *Determination of transient two-dimensional heat transfer in ventilated lightweight low sloped roof using Fourier series*. [Online] Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230600117X>
- Chandel, S. & Aggarwal, R., 2008. Performance evaluation of a passive solar building in Western Himalayas. *Renewable Energy*.
- Cunha, I. d. S. S., 2011. *Dissertação de Mestrado em Energia e Ambiente - Estratégias para Melhoria do Desempenho Energético de Complexos Escolares*, Leiria: ESTG - IPL.
- D’Orazio, M., Perna, D., Principi, P. & Stazi, A., 2007. Effects of roof tile permeability on the thermal performance of ventilated roofs: Analysis of annual performance. *Energy and Buildings*.
- Gagliano, A. et al., 2012. Thermal performance of ventilated roofs during summer period. *Energy and Buildings*, pp. 611-618.
- Lee, S., Park, S. H., Yeo, M. S. & Kim, K. W., 2008. *An experimental study on airflow in the cavity of a ventilated roof*. [Online]

- Available at:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308002229>
- Lourenço, P., 2012. *Cobertura com telha cerâmica, uma solução construtiva*. [Online]
Available at:
http://www.hms.civil.uminho.pt/events/coberturas_madeira/103_116.pdf
 - Margon Portugal, 2007. *História da Telha*. [Online]
Available at: <http://margonportugal.blogspot.pt/2007/03/histria-da-telha.html>
 - Miguel, A. P., 2013. *Estudo Técnico-Económico da Incorporação do Isolamento Térmico em Edifícios de Habitação com Diferentes Fatores de Forma*, Leiria: Dissertação ESTG - IPL.
 - Miranville, F., Boyer, H., Mara, T. & Garde, F., 2003. *On the thermal behaviour of roof-mounted radiant barriers under tropical and humid climatic conditions: modelling and empirical validation*. [Online]
Available at:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778803000355>
 - Ozdeniz, M. B. & Hançer, P., 2004. Suitable roof constructions for warm climates—Gazimagusa case. *Energy and Buildings*.
 - Rodrigues, E., s.d. *Conforto térmico das Construções*. [Online]
Available at:
http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf
 - U.T.L., 2006/2007. *História da Telha*. [Online]
Available at: <http://home.fa.utl.pt/~lcaldas/Telha1.pdf>
 - Universidade Minho, s.d. *Coberturas em Telhas Cerâmicas*. [Online]
Available at:
http://www.civil.uminho.pt/lftc/Textos_files/construcoes/cp2/Cap.%20IV%20-%20Coberturas%20em%20Telhas%20Cer%C3%A2micas.pdf

Anexo 2 – Exemplo de tabela dos dados do teste que registava as temperaturas da telha cerâmica

DATE	TIME	°C (termopares)	°C (equipamento)
19/11/2015	12:13:36	25,09	19,74
	12:28:36	26,54	18,68
	12:43:36	27,84	18,92
	12:58:36	29,03	19,39
	13:13:36	31,42	20,04
	13:28:36	31,42	20,87
	13:43:36	30,74	22,04
	13:58:36	33,82	22,96
	14:13:36	34,32	24,11
	14:28:36	34,71	24,21
	14:43:36	33,07	25,3
	14:58:36	26,8	24,44
	15:13:36	25,74	24,06
	15:28:36	23,01	23,65
	15:43:36	21,01	23,04
	15:58:36	20,19	22,23
	16:13:36	21,3	21,72
	16:28:36	25,35	21,52
	16:43:36	26,39	21,52
	16:58:36	25,23	21,46
17:13:36	21,31	21,26	
17:28:36	19,33	20,77	
17:43:36	17,99	20,34	

Anexo 3 – Exemplo de uma parte de tabela de um logtag

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	LogTag 8	
		Leituras (%RH)	Leituras (°C)
30/11/2015	00:10:16	82,3	5,9
	00:25:16	81,5	5,6
	00:40:16	84,4	4,9
	00:55:16	86	4,7
	01:10:16	85,7	4,6
	01:25:16	86,9	4,3
	01:40:16	86	4,3
	01:55:16	87,2	4,2
	02:10:16	86,7	4,2
	02:25:16	86,6	3,9
	02:40:16	86,5	3,8
	02:55:16	86,9	3,8
	03:10:16	86,9	3,7
	03:25:16	85,4	3,8
	03:40:16	85,8	3,8
	03:55:16	87,1	3,4
	04:10:16	86,8	3,4
	04:25:16	86,4	3,2
	04:40:16	86,7	3
	04:55:16	86,7	2,9
	05:10:16	86,4	2,8
	05:25:16	86,8	2,7
	05:40:16	85,4	2,7
	05:55:16	85	2,6
	06:10:16	86,3	2,4
	06:25:16	85,1	2,3
	06:40:16	86,7	2,3
	06:55:16	86	2,3
	07:10:16	85,1	2,2
	07:25:16	86,6	2,2
	07:40:16	87,4	2,4
	07:55:16	86,1	2,2
08:10:16	87,6	2,7	
08:25:16	88,4	3,8	
08:40:16	88,3	4,9	
08:55:16	86	5,5	
09:10:16	85,4	5,7	
09:25:16	84,4	6,2	
09:40:16	84,8	6,7	
09:55:16	81	7,7	

<i>Data</i>	Hora	LogTag 8	
		Leituras (%RH)	Leituras (°C)
	10:10:16	78	8,3
	10:25:16	78,5	8,7
	10:40:16	75,1	9,1
	10:55:16	72,3	10,2
	11:10:16	68,3	10,8
	11:25:16	66,1	12,2
	11:40:16	60,4	13,3
	11:55:16	59	14,3
	12:10:16	56,9	15,4
	12:25:16	52,5	16,3
	12:40:16	47,8	17,6
	12:55:16	46,7	18,8
	13:10:16	43,5	20,3
	13:25:16	40,7	20,9
	13:40:16	40	21,6
	13:55:16	38,6	22,1
	14:10:16	38,3	22,4
	14:25:16	38,3	22,4
	14:40:16	36,5	23,3
	14:55:16	38	22,3
	15:10:16	39,7	21,2
	15:25:16	42,4	20,1
	15:40:16	43,3	19,2
	15:55:16	45,1	18,4
	16:10:16	46,1	17,7
	16:25:16	48,3	17,2
	16:40:16	48,4	16,9
	16:55:16	48,1	17,6
	17:10:16	47,6	17,6
	17:25:16	50	17,1
	17:40:16	52,6	16,6
	17:55:16	53,7	15,9
	18:10:16	55,6	15,3
	18:25:16	57,9	14,9
	18:40:16	60,9	14,1
	18:55:16	64,1	13,5
	19:10:16	65	13
	19:25:16	69,3	12,2
	19:40:16	69,7	11,8
	19:55:16	70,7	11,3
	20:10:16	71,3	10,9
	20:25:16	73,9	10,6
	20:40:16	75,5	10,4

Anexo 4 - Exemplo de tabela usada para comparar vários fatores.

Outubro

Data	Hora	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
1/out	00:00	16,9	0	0	0	14,65	16,4	81,0	-1,8
	00:15	16,9	0	0	0	13,99	16,1	80,6	-2,1
	00:30	16,8	0	0	0	13,72	15,8	81,1	-2,1
	00:45	16,6	0	0	0	13,57	15,6	81,4	-2,0
	01:00	16,4	0	0	0	13,36	15,4	84,2	-2,0
	01:15	16,3	0	0	0	13,5	15,2	82,7	-1,7
	01:30	15,9	0	0	0	13,12	15,0	84,1	-1,8
	01:45	15,6	0	0	0	12,98	14,9	84,0	-1,9
	02:00	15,3	0	0	0	12,62	14,6	83,9	-1,9
	02:15	14,9	0	0	0	12,57	14,2	85,0	-1,7
	02:30	14,4	1,3	0	0	12,49	14,0	85,4	-1,5
	02:45	14,1	1,3	0	0	12,33	13,8	85,7	-1,4
	03:00	13,9	0,9	0	0	11,93	13,6	85,3	-1,7
	03:15	13,9	0,4	0	0	12,02	13,4	85,9	-1,4
	03:30	13,6	0,4	0	0	11,98	13,3	86,0	-1,3
	03:45	13,4	0,4	0	0	11,73	13,2	86,1	-1,5
	04:00	13,4	0,4	0	0	11,18	13,1	84,3	-1,9
	04:15	13,3	0	0	0	11,18	12,9	85,0	-1,7
	04:30	13,4	0	0	0	10,83	12,7	84,2	-1,9
	04:45	13,4	0	0	0	10,57	12,6	83,8	-2,0
05:00	13,4	0	0	0	10,36	12,4	83,5	-2,0	
05:15	13,3	0	0	0	10,22	12,2	84,4	-2,0	
05:30	13,3	0	0	0	10,8	12,0	86,1	-1,2	

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
	05:45	13	0	0	0	10,67	11,9	85,3	-1,3
	06:00	12,3	0	0	0	10,19	11,8	84,8	-1,6
	06:15	11,9	0	0	0	9,78	11,6	85,4	-1,9
	06:30	12,2	0	0	0	9,73	11,5	84,8	-1,8
	06:45	12,1	0	0	0	10,23	11,5	86,4	-1,2
	07:00	11,9	0,9	0	0	10,42	11,4	86,9	-1,0
	07:15	11,8	1,3	0	0	10,39	11,4	86,9	-1,0
	07:30	11,8	0,9	0	0	10,39	11,4	87,0	-1,0
	07:45	11,8	0,4	5	0	10,49	11,3	87,0	-0,8
	08:00	11,8	0,4	19	0	10,54	11,4	87,2	-0,8
	08:15	12,1	0,4	35	0	10,76	11,5	86,7	-0,7
	08:30	12,6	0	38	0	11,34	11,7	87,5	-0,4
	08:45	13,3	0	44	0	12,23	12,0	86,9	0,2
	09:00	14,1	0	56	0	13,39	12,6	88,3	0,8
	09:15	15,7	0	124	0	14,76	13,4	88,1	1,4
	09:30	16,6	0	167	0	15,83	14,3	87,1	1,5
	09:45	17	0	156	0	16,69	15,2	84,5	1,5
	10:00	17,9	0	249	0	19,27	16,4	83,5	2,9
	10:15	19,2	0	380	0	24,99	18,1	77,7	6,9
	10:30	21,1	0	447	0	28,64	20,3	69,2	8,4
	10:45	21,9	0,4	478	0,23	29,98	22,0	63,0	8,0
	11:00	23,1	0	507	0,38	34,02	24,0	58,8	10,0
	11:15	24,2	0	539	0	36,1	26,1	49,6	10,0
	11:30	25,2	0	569	0,22	38,36	28,3	44,5	10,0
	11:45	25,3	0,4	591	0	39,88	30,4	38,6	9,5

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
	12:00	25,4	0,9	615	0,31	40,9	32,2	33,5	8,7
	12:15	26,4	0,4	635	0,25	42,22	34,1	30,5	8,2
	12:30	26,9	0,4	650	0,24	43,79	35,2	28,9	8,6
	12:45	27,7	0,4	664	0,53	47,44	36,5	26,0	10,9
	13:00	27,9	0,4	678	0,22	34,64	37,6	24,3	-3,0
	13:15	28,3	0,4	743	0,25	35,93	38,8	22,6	-2,9
	13:30	28,5	0,4	693	0,26	33,95	39,5	21,2	-5,5
	13:45	29	0,4	680	0,53	37,36	39,8	20,1	-2,4
	14:00	29	0,4	677	0,34	38,4	39,4	24,3	-1,0
	14:15	28,6	0,9	541	0,5	37,47	38,6	25,4	-1,1
	14:30	27,9	0,4	581	0,23	34,3	38,5	25,3	-4,2
	14:45	27,8	0,9	625	0,52	34,89	38,9	24,0	-4,0
	15:00	27,7	0,9	612	0,57	35,45	39,1	23,6	-3,7
	15:15	28	0,4	591	0,96	34,29	39,4	22,8	-5,1
	15:30	28,2	0,4	567	0,79	35,46	39,1	23,1	-3,7
	15:45	27,9	0,9	540	0	34,42	38,6	23,4	-4,2
	16:00	27,5	0,9	508	0	34,69	38,3	23,7	-3,6
	16:15	27,3	0,9	473	0	34,47	37,7	24,0	-3,3
	16:30	26,7	0,9	425	0,42	34,02	36,8	25,1	-2,7
	16:45	26,3	0,4	250	0,32	33,58	36,4	25,8	-2,9
	17:00	25,9	0,4	110	0	30,78	35,3	27,1	-4,6
	17:15	25,5	0,4	145	0	31,3	34,3	28,2	-3,0
	17:30	25,3	0,4	82	0	34,18	33,1	29,4	1,1
	17:45	24,8	0,4	38	0	28,22	31,5	31,5	-3,3
	18:00	24,7	0,4	34	0,38	32,09	30,0	34,5	2,1

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
	18:15	24,5	0,4	30	0	31,33	28,6	37,8	2,8
	18:30	24,1	0,4	25	0	30,16	26,8	42,1	3,4
	18:45	23,6	0,4	19	0	38,1	25,7	45,0	12,4
	19:00	22,8	0,4	13	0	24,98	24,5	47,6	0,4
	19:15	22,2	0,4	6	0	24,42	23,9	50,5	0,6
	19:30	21,6	0	0	0	23,66	23,1	53,0	0,6
	19:45	21,2	0	0	0	23,06	22,4	54,6	0,6
	20:00	20,7	0	0	0	24,43	21,8	57,7	2,7
	20:15	20,5	0	0	0	25,35	21,1	60,0	4,3
	20:30	20,2	0,4	0	0	23,26	20,6	60,0	2,6
	20:45	19,8	0	0	0	18,57	20,1	60,3	-1,5
	21:00	19,2	0	0	0	16,66	19,5	64,4	-2,9
	21:15	18,8	0	0	0	16,1	19,0	66,1	-2,9
	21:30	18,4	0	0	0	16,03	18,4	69,3	-2,4
	21:45	18,1	0,4	0	0	15,96	17,9	70,6	-1,9
	22:00	17,3	0,9	0	0	15,26	17,4	71,9	-2,2
	22:15	17	0	0	0	14,66	17,2	71,9	-2,5
	22:30	16,9	0	0	0	14,36	16,9	73,7	-2,5
	22:45	16,9	0	0	0	14,39	16,6	74,4	-2,2
	23:00	16,7	0	0	0	14,24	16,3	75,7	-2,1
	23:15	16,4	0	0	0	14,15	16,1	75,5	-1,9
	23:30	16,3	0	0	0	13,72	15,9	75,3	-2,2
	23:45	16,2	0	0	0	13,15	15,8	73,1	-2,6
2/out	00:00	15,9	0	0	0	12,75	15,5	75,5	-2,7
	00:15	15,9	0	0	0	12,77	15,2	74,7	-2,4

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
	00:30	15,5	0	0	0	12,94	15,2	75,8	-2,2
	00:45	15,5	0	0	0	13,24	15,2	76,8	-1,9
	01:00	15,7	0	0	0	13,97	15,2	78,8	-1,3
	01:15	15,9	0	0	0	14,47	15,4	77,6	-1,0
	01:30	16,1	0	0	0	15,13	15,7	80,3	-0,5
	01:45	15,9	0	0	0	15,74	15,8	80,5	0,0
	02:00	15,8	0,4	0	0	15,35	15,9	80,5	-0,5
	02:15	15,8	0,4	0	0	15,67	16,0	79,8	-0,4
	02:30	15,8	0	0	0	14,86	16,2	80,2	-1,3
	02:45	15,9	0	0	0	15,44	16,3	83,0	-0,9
	03:00	16,1	0	0	0	15,44	16,3	84,2	-0,8
	03:15	15,9	0,4	0	0	12,79	16,4	82,2	-3,6
	03:30	16,1	0	0	0	14,99	16,5	82,0	-1,5
	03:45	16,2	0	0	0	15,24	16,5	83,6	-1,2
	04:00	16,2	0	0	0	12,98	16,3	82,4	-3,4
	04:15	16,2	0	0	0	14,78	16,3	83,0	-1,5
	04:30	16,2	0	0	0	13,92	16,1	81,8	-2,1
	04:45	16,1	0	0	0	12,06	15,8	83,0	-3,7
	05:00	16	0	0	0	13,8	15,6	82,7	-1,8
	05:15	15,9	0	0	0	14,57	15,5	83,3	-0,9
	05:30	15,7	0	0	0	13,51	15,3	83,7	-1,8
	05:45	15,3	0	0	0	12,79	15,1	83,9	-2,3
	06:00	15,1	0	0	0	12,64	14,8	84,3	-2,1
	06:15	14,8	0,4	0	0	12,65	14,6	83,4	-2,0
	06:30	14,7	0	0	0,23	13,54	14,6	84,2	-1,1

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
	06:45	14,7	0	0	0	12,97	14,7	84,4	-1,7
	07:00	14,7	0	0	0,22	14,01	14,8	83,7	-0,8
	07:15	14,7	0	0	0	14,14	14,8	83,2	-0,7
	07:30	14,7	0	0	0	14,44	14,9	82,3	-0,5
	07:45	14,8	0	2	0	14,6	15,0	82,5	-0,4
	08:00	15,1	0	10	0	14,97	15,3	83,7	-0,3
	08:15	15,4	0	13	0	15,31	15,4	83,9	-0,1
	08:30	15,5	0	18	0	15,13	15,6	83,2	-0,5
	08:45	15,5	0	32	0	16,26	15,9	82,1	0,4
	09:00	15,5	0	79	0	17,33	16,2	81,4	1,1
	09:15	15,7	0	106	0	18,09	16,6	80,0	1,5
	09:30	16	0	110	0	18,54	17,1	78,5	1,4
	09:45	16,7	0	231	0	20,85	18,0	76,4	2,9
	10:00	17,6	0,4	325	0	23,16	18,8	72,4	4,3
	10:15	17,8	0,9	215	0	20,72	19,0	72,5	1,7
	10:30	17,8	0,4	259	0	25,31	20,0	70,1	5,3
	10:45	19,4	0,4	455	0	28,25	21,6	62,8	6,7
	11:00	20,3	0,4	502	0	29,51	23,1	57,0	6,4
	11:15	20,9	0,4	411	0	28,53	24,1	51,6	4,4
	11:30	21	0,9	515	0	32,25	25,8	48,3	6,5
	11:45	21,8	0,4	582	0	35,33	27,7	43,8	7,6
	12:00	22,4	0,4	606	0	41,42	29,4	40,5	12,1
	12:15	23	0,4	622	0	42,24	30,4	37,7	11,9
	12:30	23,3	0,9	640	0	42,55	32,0	35,5	10,6
	12:45	23,6	0,9	672	0	41,57	32,6	33,4	8,9

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha- cx.ar)
	13:00	23,9	0,4	662	0,23	40,64	33,8	31,5	6,8
	13:15	24,2	0,4	736	0,4	30,92	34,9	29,6	-4,0
	13:30	24,6	0,9	687	0	28,89	35,5	28,2	-6,6
	13:45	24,6	0,9	679	0,25	29,46	35,8	26,0	-6,4
	14:00	25,2	0,9	678	0	30,45	36,8	24,1	-6,4
	14:15	25,2	0,9	677	0,22	30,07	37,1	23,6	-7,1
	14:30	25,2	0,9	665	0,22	29,75	37,3	23,6	-7,6
	14:45	25,2	0,4	652	0	31,29	37,7	22,7	-6,4
	15:00	24,7	0,9	634	0	31,8	37,9	22,9	-6,1
	15:15	24,8	0,9	608	0	32,17	37,8	22,5	-5,7
	15:30	24,6	0,9	590	0	32,39	37,2	22,8	-4,8
	15:45	24,6	0,9	560	0	29,48	36,1	24,1	-6,6
	16:00	24,3	0,9	533	0	28,88	35,4	25,1	-6,6
	16:15	24,3	0,4	502	0	29,36	35,2	24,4	-5,9
	16:30	24,1	0,9	463	0	29,45	34,3	24,5	-4,9
	16:45	23,6	0,9	154	0	28,32	33,7	24,4	-5,4
	17:00	23,3	0,4	120	0,23	29,64	32,6	25,9	-2,9
	17:15	22,9	0,9	117	0,33	28,71	30,7	29,2	-2,0
	17:30	22,4	0,4	59	0	27,99	29,0	32,0	-1,0
	17:45	21,9	0,4	53	0	26,27	27,3	35,4	-1,1
	18:00	21,6	0,4	50	0	25,48	25,9	38,0	-0,5
	18:15	21,2	0,4	52	0	24,33	24,8	40,9	-0,5
	18:30	20,9	0,4	44	0	23,96	23,8	42,1	0,2
	18:45	20,6	0,4	37	0	22,57	23,1	45,1	-0,6
	19:00	20,2	0,4	24	0	21,94	22,1	49,5	-0,2

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
3/out	19:15	19,9	0,4	6	0	21,31	21,3	53,4	0,0
	19:30	19,6	0,4	0	0	20,7	20,7	59,4	0,0
	19:45	19,2	0,4	0	0	20,13	20,0	62,7	0,1
	20:00	18,8	0,4	0	0	19,68	19,4	66,4	0,2
	20:15	18,4	0,4	0	0	19,35	19,0	68,2	0,3
	20:30	18,2	0	0	0	19,06	18,6	69,8	0,5
	20:45	17,9	0	0	0	18,68	18,2	71,9	0,5
	21:00	17,7	0	0	0,23	18,36	17,9	73,1	0,5
	21:15	17,6	0	0	0	18,13	17,5	74,7	0,6
	21:30	17,4	0	0	0	17,84	17,3	75,7	0,6
	21:45	17,3	0	0	0	17,59	17,0	75,6	0,6
	22:00	16,9	0	0	0	17,37	16,8	75,6	0,6
	22:15	16,6	0	0	0	17,08	16,5	76,4	0,6
	22:30	16,2	0	0	0	17,15	15,9	78,3	1,2
	22:45	15,8	0	0	0	16,41	15,7	78,2	0,7
	23:00	15,7	0	0	0	16,02	15,4	78,2	0,6
	23:15	15,4	0	0	0	16,79	15,3	76,0	1,5
	23:30	15,3	0	0	0	16,98	15,2	77,0	1,8
	23:45	15,3	0	0	0	15,84	15,0	77,9	0,8
	00:00	15,3	0	0	0	15,81	15,1	78,2	0,7
00:15	15,3	0	0	0	15,8	15,1	77,5	0,7	
00:30	15,3	0	0	0	15,97	15,0	78,3	1,0	
00:45	15,3	0	0	0	14,16	14,9	79,0	-0,7	
01:00	15,2	0,4	0	0	14,63	14,9	77,7	-0,3	
01:15	15,1	0	0	0	15,01	14,9	79,8	0,1	

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha- cx.ar)
	01:30	15,1	0	0	0	14,57	14,8	79,8	-0,2
	01:45	14,8	0,4	0	0	14,6	14,8	80,3	-0,2
	02:00	14,8	0	0	0	14,48	14,7	80,1	-0,2
	02:15	14,8	0	0	0	14,58	14,7	80,1	-0,2
	02:30	14,9	0	0	0	14,57	14,7	80,4	-0,1
	02:45	15	0	0	0	14,75	14,7	81,3	0,1
	03:00	15,1	0	0	0	14,4	14,7	81,1	-0,3
	03:15	15,2	0	0	0	14,71	14,7	81,3	0,0
	03:30	15,2	0	0	0	14,61	14,7	80,6	-0,1
	03:45	15,2	0	0	0	14,7	14,6	79,3	0,1
	04:00	15,1	0	0	0	14,7	14,5	79,2	0,2
	04:15	14,9	0	0	0	14,65	14,5	79,2	0,2
	04:30	14,8	0	0	0	14,6	14,4	80,1	0,2
	04:45	14,8	0	0	0	14,62	14,4	80,8	0,3
	05:00	14,7	0	0	0	14,54	14,3	80,8	0,3
	05:15	14,7	0	0	0	14,41	14,1	81,3	0,3
	05:30	14,7	0	0	0	14,3	14,0	81,7	0,3
	05:45	14,3	0	0	0	13,79	13,8	84,7	0,0
	06:00	14,1	0,9	0	0	13,63	13,6	84,4	0,1
	06:15	13,7	0,4	0	0	13,34	13,5	84,5	-0,1
	06:30	13,6	0,4	0	0	13,66	13,3	84,7	0,3
	06:45	13,5	0,4	0	0	12,47	13,3	83,9	-0,8
	07:00	13,4	0	0	0	13,06	13,2	83,6	-0,1
	07:15	13,4	0	0	0	12,34	13,0	83,7	-0,7
	07:30	13,4	0	0	0	13,94	12,9	84,3	1,1

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha- cx.ar)
	07:45	13,5	0	3	0	13,6	12,8	83,4	0,8
	08:00	13,6	0	14	0	13,2	12,7	84,0	0,5
	08:15	13,7	0	27	0	12,87	12,8	85,4	0,0
	08:30	13,7	0	53	0	13,12	13,0	84,6	0,1
	08:45	14,1	0	85	0	13,06	13,5	83,3	-0,4
	09:00	14,6	0	113	0	14,79	13,9	80,9	0,9
	09:15	15,1	0	129	0	15,39	14,4	76,7	1,0
	09:30	15,5	0	128	0	14,87	14,9	74,8	0,0
	09:45	16	0	162	0,21	15,05	15,6	71,5	-0,5
	10:00	16,8	0	228	0	15,37	16,7	69,0	-1,4
	10:15	17,9	0	305	0	16,7	17,8	61,6	-1,1
	10:30	18,7	0	264	0,61	16,33	18,9	55,2	-2,6
	10:45	19,7	0	346	0	17,81	20,2	47,3	-2,4
	11:00	20,2	0	304	0	17,62	21,2	49,6	-3,5
	11:15	20,8	0	334	0	18,72	22,3	45,4	-3,5
	11:30	21,1	0,4	372	0,25	20,15	23,2	42,5	-3,1
	11:45	21,3	0	407	0	21,26	24,9	39,8	-3,6
	12:00	21,8	0,4	515	0	22,28	26,5	36,1	-4,3
	12:15	22,6	0,4	510	0	23,6	27,7	34,5	-4,1
	12:30	23,2	0	472	0	23,85	28,7	32,4	-4,8
	12:45	23,6	0	481	0	24,63	29,6	31,4	-4,9
	13:00	24,1	0	458	0	25,33	30,1	29,3	-4,8
	13:15	24,3	0	528	0	26,52	31,2	26,5	-4,7
	13:30	24,6	0,4	527	0	27,22	31,8	25,8	-4,6
	13:45	24,7	0,4	435	0	29,11	31,5	26,9	-2,4

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha- cx.ar)
	14:00	24,6	0,4	400	0	29	31,7	28,1	-2,7
	14:15	24,8	0	383	0	29,61	31,8	31,2	-2,2
	14:30	25,1	0,4	372	0	29,66	31,1	31,9	-1,5
	14:45	24,7	0,9	348	0	29,99	30,1	34,8	-0,1
	15:00	24,2	0,9	300	0	29,37	29,4	38,2	0,0
	15:15	24	0,4	289	0	28,83	28,7	40,9	0,2
	15:30	24,1	0,4	274	0	28,31	28,5	42,1	-0,2
	15:45	24,3	0,4	329	0,35	28,27	28,4	43,5	-0,1
	16:00	24,3	0,4	309	0	28,19	28,4	43,9	-0,2
	16:15	24,2	0,4	274	0	27,87	27,7	45,8	0,1
	16:30	23,9	0,4	195	0	27,34	27,2	47,6	0,1
	16:45	23,8	0,4	208	0	26,89	26,8	49,3	0,1
	17:00	23,7	0,4	169	0	26,61	26,4	50,2	0,2
	17:15	23,5	0,4	142	0	25,83	25,5	50,9	0,3
	17:30	23,3	1,8	119	0	25,25	25,0	52,5	0,2
	17:45	23,1	1,3	113	0	24,75	24,5	55,0	0,2
	18:00	22,8	0,9	76	0	24,35	24,1	57,6	0,3
	18:15	22,8	0,9	56	0	24,08	23,7	58,9	0,3
	18:30	22,6	0,4	36	0	23,73	23,5	59,8	0,3
	18:45	22,4	0,4	18	0	23,38	23,0	61,3	0,4
	19:00	22,2	0,4	10	0	22,99	22,7	61,7	0,3
	19:15	22	0	1	0	22,77	22,3	63,8	0,4
	19:30	21,8	0,4	0	0	22,4	22,0	65,1	0,4
	19:45	21,3	0	0	0	21,99	21,7	66,5	0,3
	20:00	21,3	0,4	0	0	21,87	21,5	65,5	0,4

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m ²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
4/out	20:15	21,1	0	0	0	21,64	21,2	66,7	0,5
	20:30	21,1	0	0	0	21,41	20,9	67,1	0,5
	20:45	20,9	0	0	0	21,17	20,7	70,3	0,5
	21:00	20,9	0	0	0	20,72	20,4	71,6	0,3
	21:15	20,8	0	0	0	20,53	20,2	72,5	0,3
	21:30	20,6	0	0	0	20,45	20,1	71,1	0,4
	21:45	20,4	0	0	0	20,39	19,9	73,9	0,5
	22:00	20,3	0	0	0	19,96	19,8	74,0	0,1
	22:15	20,3	0	0	0	19,96	19,8	74,0	0,2
	22:30	20,2	0	0	0	19,93	19,9	74,5	0,1
	22:45	20,4	0,4	0	0	19,88	19,9	74,1	-0,1
	23:00	20,7	0,9	0	0	20,07	20,0	73,5	0,0
	23:15	20,9	0,4	0	0	20,06	20,1	73,4	0,0
	23:30	20,9	0	0	0	20,08	20,1	73,2	-0,1
	23:45	21	0	0	0	20,08	20,1	74,4	-0,1
	00:00	21,1	0,4	0	0	20,07	20,0	75,7	0,1
	00:15	20,9	0,4	0	0	19,9	19,8	74,8	0,1
	00:30	20,9	0,4	0	0	19,82	19,7	75,1	0,1
	00:45	20,9	0,4	0	0,22	19,73	19,8	74,9	-0,1
	01:00	20,8	0,4	0	0	19,78	19,9	75,5	-0,1
	01:15	20,8	0,4	0	0	19,86	20,0	76,3	-0,2
	01:30	20,8	0,4	0	0	19,95	20,1	76,9	-0,1
	01:45	20,8	0,4	0	0	20,03	20,2	77,4	-0,1
	02:00	20,9	0,9	0	0	20,11	20,3	77,4	-0,2
02:15	21	0,9	0	0	20,2	20,3	77,4	-0,1	

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
	02:30	21,1	0,9	0	0	20,47	20,4	77,7	0,1
	02:45	21,2	1,3	0	0	20,21	20,4	77,7	-0,2
	03:00	21,2	0,9	0	0	20,54	20,4	76,9	0,1
	03:15	21,3	0,9	0	0	20,35	20,6	77,2	-0,3
	03:30	21,4	1,3	0	0	20,44	20,6	77,3	-0,2
	03:45	21,4	0,9	0	0	20,4	20,4	77,3	0,0
	04:00	21,4	0,9	0	0	20,33	20,5	76,3	-0,2
	04:15	21,4	1,3	0	0	20,37	20,6	75,4	-0,2
	04:30	21,4	0,9	0	0	20,52	20,7	74,9	-0,2
	04:45	21,5	0,9	0	0	20,58	20,7	75,5	-0,2
	05:00	21,4	0,9	0	0	20,64	20,8	76,1	-0,2
	05:15	21,4	0,9	0	0	20,69	20,8	76,5	-0,1
	05:30	21,4	0,9	0	0	20,69	20,8	77,2	-0,1
	05:45	21,3	0,9	0	0	20,74	20,9	77,4	-0,1
	06:00	21,3	0,9	0	0	20,72	20,9	78,0	-0,1
	06:15	21,2	0,9	0	0	20,73	20,8	78,7	-0,1
	06:30	21,1	0,9	0	0	20,68	20,8	79,4	-0,1
	06:45	21,3	0,9	0	0	20,7	20,8	79,8	-0,1
	07:00	21,6	0,9	0	0	20,75	20,9	79,5	-0,2
	07:15	21,7	0,9	0	0	20,85	21,0	79,9	-0,1
	07:30	21,4	0,9	0	0	20,69	20,8	80,6	-0,1
	07:45	21,4	0,9	0	0	20,8	20,9	81,0	-0,1
	08:00	21,4	0,9	3	0	20,75	20,8	82,1	-0,1
	08:15	21,6	0,4	6	0	20,81	20,9	82,3	-0,1
	08:30	22,4	0,9	14	0	20,9	21,4	80,8	-0,5

Outubro

Data	Hora	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha-cx.ar)
	08:45	23,3	0,9	28	0	22,01	22,4	77,7	-0,4
	09:00	24,2	1,8	31	0	22,78	23,1	75,4	-0,3
	09:15	24,5	1,8	56	0	23,21	23,5	73,9	-0,3
	09:30	24,4	1,3	53	0	23,23	23,3	74,1	-0,1
	09:45	23,4	0,9	28	0	22,95	22,9	76,5	0,0
	10:00	22,8	0,9	33	0	22,64	22,8	76,6	-0,1
	10:15	22,7	0,9	32	0	22,61	22,7	76,9	-0,1
	10:30	22,7	0,9	22	0	22,55	22,8	77,3	-0,3
	10:45	23,3	0,9	83	0	23,07	23,4	75,2	-0,3
	11:00	24,2	1,3	102	0	23,52	24,0	73,4	-0,5
	11:15	24,4	1,3	136	0	24,01	24,6	71,6	-0,6
	11:30	24,9	1,3	164	0	24,51	25,1	69,9	-0,6
	11:45	25,2	0,9	112	0	24,9	25,2	69,7	-0,3
	12:00	25,2	1,8	82	0	25,01	25,3	69,8	-0,3
	12:15	25,1	0,9	84	0	25,1	25,4	69,1	-0,3
	12:30	25,4	1,3	112	0	25,74	25,9	67,9	-0,1
	12:45	25,6	0,9	180	0	25,73	26,2	66,3	-0,5
	13:00	25,7	1,3	186	0	26,18	26,4	65,2	-0,3
	13:15	25,9	1,3	164	0	26,23	26,7	63,8	-0,4
	13:30	26,2	1,8	209	0	26,98	26,9	62,8	0,1
	13:45	26,1	1,3	175	0	26,76	27,2	61,5	-0,5
	14:00	26,4	1,3	277	0	26,63	27,8	59,4	-1,2
	14:15	26,5	1,3	251	0	27,24	28,7	56,7	-1,5
	14:30	27	1,3	378	0,23	27,79	29,1	55,2	-1,3
	14:45	26,9	1,8	240	0	27,42	28,4	56,7	-0,9

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha- cx.ar)
	15:00	26,4	1,3	195	0,25	27,77	27,9	57,3	-0,1
	15:15	26,1	1,3	125	0,22	27,37	27,7	58,8	-0,4
	15:30	26,3	0,9	202	0	27,55	28,0	57,6	-0,4
	15:45	26,5	1,3	217	0,22	27,67	28,1	56,7	-0,4
	16:00	26,7	0,9	230	0	27,94	28,4	54,7	-0,4
	16:15	26,8	1,3	196	0	27,89	28,3	54,2	-0,4
	16:30	26,9	1,3	165	0,43	27,66	28,1	54,5	-0,4
	16:45	27,2	1,8	176	0	27,75	28,1	54,0	-0,3
	17:00	27	1,3	120	0,24	27,63	27,9	54,4	-0,3
	17:15	27	1,3	97	0	27,41	27,6	54,2	-0,2
	17:30	26,9	1,8	73	0	27,2	27,4	54,9	-0,2
	17:45	26,8	1,3	70	0	27	27,1	56,0	-0,1
	18:00	26,6	1,3	50	0	26,77	26,8	57,2	-0,1
	18:15	26,4	1,3	20	0	26,5	26,5	60,4	0,0
	18:30	26,1	0,9	29	0	26,25	26,2	61,1	0,0
	18:45	25,9	1,3	17	0	25,96	26,0	61,9	0,0
	19:00	25,7	1,3	3	0	25,65	25,7	62,4	-0,1
	19:15	25,6	1,3	0	0	25,45	25,5	62,8	-0,1
	19:30	25,5	1,3	0	0	25,2	25,3	63,4	-0,1
	19:45	25,3	1,8	0	0	25,06	25,1	64,6	0,0
	20:00	25,2	1,3	0	0	24,89	24,9	65,7	0,0
	20:15	25,1	1,3	0	0	24,72	24,7	70,3	0,0
	20:30	24,7	0,9	0	0	24,46	24,5	71,8	0,0
	20:45	24,2	0,9	0	0	24,2	24,2	72,5	0,0
	21:00	24	0,9	0	0	24,02	24,0	73,1	0,1

Outubro

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	Temperatura exterior (°C)	Var ext (m/s)	Radiação (W/m²)	Var caixa-de-ar (m/s)	Ttelha (°C)	Tcx.ar (°C)	HRcx.ar (%)	ΔTar (telha- cx.ar)
	21:15	23,9	0,9	0	0	23,74	23,8	74,0	0,0
	21:30	23,7	0,9	0	0	23,6	23,6	74,4	0,0
	21:45	23,6	0,4	0	0	23,41	23,4	74,9	0,0
	22:00	23,6	0,9	0	0	23,31	23,4	74,4	-0,1
	22:15	23,7	0,9	0	0	23,24	23,3	74,1	-0,1
	22:30	23,7	1,3	0	0	23,19	23,3	74,6	-0,1
	22:45	23,7	0,9	0	0	22,95	22,8	78,7	0,1
	23:00	22,9	1,3	0	0	22,34	22,3	80,4	0,1
	23:15	22,3	0,9	0	0	21,96	22,0	81,3	0,0
	23:30	22,2	0,9	0	0	21,8	21,8	81,5	0,0
	23:45	22,2	0,9	0	0	21,69	21,7	82,5	0,0

