



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Rita Isabel Pedro Malaguerra

CONFORTO TÉRMICO EXTERIOR EM ZONAS  
URBANAS: CONTRIBUTOS DE LEVANTAMENTOS  
EXPEDITOS NA PRÉ-AVALIAÇÃO DE AÇÕES

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Mendes Leal Pereira Pedroso de Lima e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Janeiro de 2021

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Departamento de Engenharia Civil

Rita Isabel Pedro Malaguerra

# **CONFORTO TÉRMICO EXTERIOR EM ZONAS URBANAS: CONTRIBUTOS DE LEVANTAMENTOS EXPEDITOS NA PRÉ-AVALIAÇÃO DE AÇÕES**

## **OUTDOOR THERMAL COMFORT IN URBAN AREAS: EXPEDITIOUS SURVEYS CONTRIBUTIONS IN THE PRE-ASSESSMENT OF ACTIONS**

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente,  
orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Mendes Leal Pereira Pedroso de Lima

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC  
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Janeiro de 2021



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

## AGRADECIMENTOS

Todas as escolhas e percursos tomados são caminhos que se fazem individualmente, mas em todas as direções seguimos, juntos, sempre apoiados por pessoas, instituições, projetos e sonhos.

À Senhora Professora Doutora Maria Isabel Mendes Leal Pereira Pedroso de Lima, minha orientadora, expresso o mais profundo agradecimento pela oportunidade de novas pesquisas, conhecimentos e saber inspirador.

Ao Senhor Professor Doutor Fernando Jorge Rama Seabra Santos, um tributo especial pela capacidade de lançar pontes e criar harmonia, inspirando-me a ser melhor a cada projeto.

Gostaria de deixar o meu profundo agradecimento ao Senhor Professor Doutor Flooris Cornelis Boogaard, do *Climate Café*, que se dignou dispensar muito do seu tempo, para responder de forma pronta e célere às minhas dúvidas e questões, mesmo quando a minha insistência era reveladora da minha curiosidade científica.

Também gostaria de deixar um agradecimento especial ao Senhor Professor Doutor Ricardo Almeida do Instituto Politécnico de Viseu, e ao Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, que prontamente cederam alguns dos equipamentos para esta pesquisa.

A todos os diretores, funcionários e demais elementos dos diferentes departamentos da Universidade de Coimbra, com destaque para FCTUC, SASUC e UC Business, o meu reconhecimento por disponibilizarem todos os dados solicitados, tornando, deste modo, possível executar este trabalho científico.

Quero agradecer aos meus pais, mas de forma especial à minha mãe que, sendo o meu apoio maior e incondicional, nunca deixou de apresentar as suas críticas e as suas sugestões, de forma contundente e imparcial, inspirando-me a fazer, e a ser, cada vez, e sempre, melhor. Ao meu pai por toda a sua irreverência e disrupção que me obrigam a pensar além do óbvio.

Ao Diogo Manuel Ferreira da Silva, por todo o apoio e amizade que manifestou ao longo de todos estes anos e, em particular, na ajuda na construção deste trabalho, dedicando muito do seu tempo ao meu tempo - um obrigada muito profundo.

Um agradecimento de reconhecimento à Engenheira Sara Diogo de Oliveira e ao Juiz de Direito Ricardo Luís Ramos de Matos Botica Quintas, pelas sábias palavras de incentivo, crítica e aconselhamento que me motivaram ao longo do meu percurso académico e, em particular, aos seus papéis cruciais na revisão deste trabalho.

Um grande agradecimento ao meu amigo e parceiro de pesquisa e discussão, Engenheiro Guilherme Cerveira por todo o entendimento e empenho nas dificuldades e nas conquistas, partilhadas ao longo deste período tão importante.

Por fim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de forma dedicada para a realização deste trabalho, obrigada!

## RESUMO

As alterações climáticas e os seus consequentes efeitos na sociedade, em particular nas zonas urbanas, são uma realidade cada vez mais presente e inevitável. Com base nesta premissa, a presente dissertação visa contribuir para a avaliação do conforto térmico e aferir o risco de *heat stress* a partir da identificação de um conjunto de parâmetros (individuais, ambientais e gerais), de metodologias e de soluções a aplicar numa área específica: o Campus Universitário Polo II, da Universidade de Coimbra.

Começou-se por realizar uma revisão bibliográfica para situar e compreender os efeitos das alterações climáticas. Em seguida, procedeu-se à recolha de dados sobre parâmetros ambientais em 6 Zonas de duas ruas na área de estudo, em dois períodos do dia (13h-14h e das 19h-20h). Posteriormente, procedeu-se a uma análise de sensibilidade por forma a aferir quais dos parâmetros ambientais recolhidos mais influenciam o cálculo do índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*). Seguidamente, procedeu-se à seleção de dois dias (um para cada período de medição), para cada uma das 6 Zonas. Depois de selecionados, os dados correspondentes a cada dia foram inseridos no *software* RayMan Pro, para determinar valores para o índice PET, que permitem avaliar o nível de perceção térmica e o nível de *stress* físico. Em seguida, os resultados obtidos foram partilhados através da aplicação Climate Scan. Por fim, propuseram-se soluções baseadas na natureza, com recurso ao *software* SketchUp Pro 2020, de modo a contribuir para a adaptação relativa do ambiente construído, para mitigar o risco de *heat stress* e melhorar o conforto térmico.

Os principais resultados desta dissertação determinaram os parâmetros ambientais que mais influenciaram o cálculo do índice PET neste estudo: a temperatura do ar, a velocidade do vento, a temperatura de superfície e a radiação solar. E concluiu-se que existe risco de *heat stress* nas 6 Zonas em estudo.

**Palavras-Chave:** resiliência, índice PET, conforto térmico, *heat stress*, soluções baseadas na natureza.

## ABSTRACT

Climate change and its consequent effects on society, particularly in urban areas, are an increasingly present and inevitable reality. Based on this premise, the aim of this dissertation is to contribute to the assessment of thermal comfort and to measure the risk of heat stress, based on the identification of a set of parameters (individual, environmental and general), methodologies and solutions to be applied in a specific area: The University Campus Polo II at University of Coimbra.

A literature review was conducted to locate and understand the effects of climate change. Then, data on environmental parameters were collected in 6 Zones of two streets in the study area, in two periods of the day (1:00 pm to 2:00 pm and 7:00 pm to 8:00 pm). Subsequently, a sensitivity analysis was performed to assess which of the collected environmental parameters most influence the calculation of the PET (Physiological Equivalent Temperature) index. In order to compute this index, two days (one for each measurement period) were selected for each of the 6 Zones. Once selected, the data corresponding to each day were entered into the RayMan Pro software, to determine values for the PET index, which allow to assess the level of thermal perception and the level of physical stress. Then, the results obtained were shared through the Climate Scan application. Finally, nature-based solutions were proposed, using SketchUp Pro 2020 software, to contribute to the relative adaptation of the built environment, to mitigate the risk of heat stress and improve thermal comfort.

The main results of this dissertation determined the environmental parameters that most influenced the calculation of the PET index in this study: air temperature, wind speed, surface temperature and solar radiation. And it concludes that there is a risk of heat stress in the 6 Zones under study.

**Keywords:** resilience, PET index, thermal comfort, heat stress, nature-based solutions.

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	v
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento da Dissertação.....	1
1.2 Objetivos da Dissertação .....	3
1.3 Organização da Dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 Problemática das Alterações Climáticas.....	4
2.2 Conforto Térmico .....	5
2.2.1 Parâmetros Individuais que Influenciam o Conforto Térmico .....	6
2.2.2 Parâmetros Ambientais que Influenciam o Conforto Térmico.....	7
2.2.3 <i>Heat Stress</i> .....	11
2.2.4 Índices que Avaliam o Conforto Térmico .....	12
2.3 Adaptação e Resiliência em Zonas Urbanas.....	15
2.3.1 Elementos Morfológicos de Intervenção.....	16
2.3.2 Soluções Baseadas na Natureza.....	19
2.3.3 Desafios e Respostas da Comunidade .....	22
3. Metodologia .....	24
3.1 Descrição do Processo .....	24
3.2 Recolha de Dados .....	25
3.3 Análise e Divulgação de Dados .....	27
3.4 <i>Hardware e Software</i> .....	28
4. Estudo de Caso.....	33
4.1 Campus Universitário Polo II, da UC.....	33
4.2 Descrição de Resultados .....	42
4.2.1 Temperatura do Ar.....	43
4.2.2 Humidade Relativa .....	45
4.2.3 Velocidade do Vento .....	48
4.2.4 Radiação Solar.....	50

---

4.2.5	Temperatura de Superfície.....	53
4.2.6	Índice PET .....	63
4.2.7	Conforto Térmico e <i>Heat Stress</i> .....	69
4.3	Proposta de Soluções Baseadas na Natureza .....	73
5.	Conclusões e Trabalhos Futuros .....	78
6.	Referências Bibliográficas .....	81

**SIMBOLOGIA**

C	Fluxo de calor convectivo
$C_b$	Calor específico
$E_D$	Último fluxo para evaporar água num vapor de água difundido através da pele
$E_{Re}$	Somatório dos fluxos de calor para o aquecimento e arrefecimento do ar inspirado
$E_{Sw}$	Taxa de evaporação do suor
$F_{cs}$	Fluxo de calor do interior do corpo humano para a pele
$I_{cl}$	Isolamento térmico da roupa
M	Taxa metabólica de produção de calor
$\rho_b$	Densidade do sangue
R	Radiação do corpo
S	Fluxo de armazenamento de calor para aquecer ou arrefecer a massa corporal
$T_c$	Temperatura central
$T_{cl}$	Temperatura superficial da roupa
$T_{sk}$	Temperatura média da pele
$v_b$	Fluxo sanguíneo do centro do corpo para a pele
W	Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo



## ABREVIATURAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
DEC	Departamento de Engenharia Civil
DEEC	Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
DEI	Departamento de Engenharia Informática
DEM	Departamento de Engenharia Mecânica
DEQ	Departamento de Engenharia Química
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>
IPCC	<i>The Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MEMI	<i>Munich Energy Balance Model for Individuals</i>
NBS	<i>Nature-Based Solutions</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	<i>Physiological Equivalent Temperature</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
SET	<i>Standard Effective Temperature</i>
SVF	<i>Sky View Factor</i>
UC	Universidade de Coimbra
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
UTCI	<i>Universal Thermal Climate Index</i>

## 1. Introdução

### 1.1 Enquadramento da Dissertação

O crescimento acelerado e exponencial da população, com a consequente pressão demográfica sobre os territórios, introduzem significativas alterações na arquitetura do mundo, tornando-o cada vez mais urbano. Esta cadeia de fatores, por sua vez, expõe a população urbana a uma maior vulnerabilidade no que diz respeito aos impactos causados pelas alterações climáticas.

Atualmente, a problemática das alterações climáticas é consensual na atribuição das suas principais causas à ação humana. É urgente que a questão das alterações climáticas esteja na agenda de decisão como um dos maiores desafios que a Humanidade enfrenta (Santos *et al.*, 2006).

Estima-se que os eventos extremos, resultantes das alterações climáticas, apresentem uma frequência e uma severidade crescentes nos diversos ecossistemas, com consequências prejudiciais no bem-estar dos cidadãos (Frantzeskaki *et al.*, 2017).

No contexto destes eventos extremos, a manifestação de diferentes parâmetros ambientais (temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e temperatura radiante média) é responsável, em diferentes graus, por impactos negativos no conforto térmico humano (Fischer, Oleson e Lawrence, 2012). Estes impactos negativos levam ao desconforto térmico e ao risco do fenómeno de *heat stress*. Este fenómeno advém da combinação dos parâmetros ambientais temperatura do ar e humidade relativa elevados, sendo responsável pelo aumento das taxas de mortalidade e morbidade (Klok e Kluck, 2018).

As vulnerabilidades das zonas urbanas face a fenómenos adversos são um dos temas da agenda mundial para o Desenvolvimento Sustentável 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Isto significa a premência em criar novas oportunidades sobre o modo como devem ser geridas as cidades e o comportamento dos seus habitantes para responder aos desafios emergentes com base na ideia de que a satisfação das necessidades das gerações atuais não pode comprometer as gerações vindouras (UN, 2016).

São essas oportunidades e desafios que instam a criar e desenvolver novas ferramentas capazes de, em tempo útil, contribuir para a formulação de respostas aos problemas com que as cidades, os seus habitantes e os seus entornos estão confrontados. Adicionalmente, às ferramentas de aplicação rápida e acessível para que a interiorização das consequências seja mais rápida e eficaz, é necessário aumentar a consciência dos cidadãos para que não

contribuam, de modo voluntário ou involuntário, para o agravamento desta situação – eventos extremos.

Assim, esta dissertação tem como objetivo contribuir para a geração de conhecimento e informação, de forma rápida e em tempo útil, de modo facilmente compreensível pelos formuladores de políticas públicas, decisores e utilizadores, estabelecendo novos vínculos entre a comunidade e a cidade, tornando-os mais sustentáveis e inclusivos, tanto no presente quanto no futuro.

Com base nesta missão, surgiu uma comunidade dinâmica e internacional – o *Climate Café* – com o propósito de reeducar e inspirar a comunidade para a adaptação às alterações climáticas, através de ferramentas aplicáveis em diferentes meios, por um amplo grupo de utilizadores, sem nunca perder de vista os aspetos relacionados com a sua funcionalidade. Isto porque uma realidade em rápida transformação exige de igual modo uma rápida adaptação (Boogaard *et al.*, 2020).

Uma das abordagens utilizadas nesta dissertação, facilitadora de partilha de novas ideias dentro da comunidade, passa pelo recurso à aplicação Climate Scan, uma plataforma interativa de mapeamento *online*, e à ferramenta Sketch&Draw, um recurso para a visualização de ideias a implementar com vista ao desenvolvimento sustentável. Ambas as ferramentas de intervenção permitem, de uma forma interativa e generalizada, avaliar os impactos das alterações climáticas, o grau de vulnerabilidade e resiliência das cidades, e aumentar o envolvimento social na resiliência socio-ecológica, com a divulgação dos dados.

É nesta senda que esta dissertação se enquadra: levantamento expedito de parâmetros (individuais, ambientais e gerais) na região de Coimbra, em 6 Zonas de duas ruas do espaço urbano do Campus Universitário Polo II, da UC, para medir e avaliar o conforto térmico e aferir o risco do fenómeno de *heat stress*; ordenação em séries temporais e descrição estatística básica dos parâmetros ambientais compilados; aferição dos parâmetros ambientais que mais influenciam o cálculo do índice PET (*Physiological Equivalent Temperature*) através de uma análise de sensibilidade; determinação do índice PET, recorrendo ao *software* RayMan Pro, para medir e avaliar o nível de perceção térmica e o nível de *stress* físico; divulgação e partilha dos resultados obtidos na aplicação Climate Scan, permitindo a sua divulgação, acesso e consulta por qualquer indivíduo em diferentes escalas espaciais; e, apresentação de propostas de soluções baseadas na natureza por forma a melhorar o conforto térmico e mitigar o risco do fenómeno de *heat stress*, recorrendo à ferramenta Sketch&Draw, com recurso ao *software* SketchUp Pro 2020.

## 1.2 Objetivos da Dissertação

Esta dissertação visa analisar o fenómeno de *heat stress* em zonas urbanas, as suas implicações para o conforto térmico e apresentar soluções baseadas na natureza para mitigar os seus efeitos não desejados.

Adicionalmente, esta dissertação formula como objetivos:

- i. compreensão dos modos como o ambiente construído influencia o conforto térmico nas zonas urbanas;
- ii. medição e avaliação do conforto térmico e aferição do risco do fenómeno de *heat stress* em zonas urbanas;
- iii. apresentação de um conjunto de soluções baseadas na natureza;
- iv. promoção e sensibilização da comunidade para os novos desafios e respostas colocadas pelas alterações climáticas no âmbito do conforto térmico;
- v. contribuição para a divulgação internacional e ativa de dados através da aplicação Climate Scan.

## 1.3 Organização da Dissertação

Capítulo 1: apresenta o tema de estudo proposto, realizando uma breve contextualização da problemática e justificando a sua importância.

Capítulo 2: apresenta a revisão bibliográfica onde são abordados todos os fundamentos científicos que estão na base desta dissertação.

Capítulo 3: apresenta e descreve a metodologia e os métodos adotados, bem como os equipamentos utilizados, os parâmetros medidos e consultados e a plataforma onde os dados são submetidos.

Capítulo 4: apresenta e justifica o estudo de caso selecionado, procede à análise e discussão dos resultados obtidos e apresenta soluções baseadas na natureza.

Capítulo 5: encerra a dissertação através do resumo das principais conclusões obtidas, apresenta sugestões e novas possibilidades para estudos futuros.

Por fim, é apresentada a lista de referências bibliográficas.

## 2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre as problemáticas das alterações climáticas, tendo como pano de fundo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da ONU. Em particular, pretende-se estudar o conforto térmico e identificar eventuais riscos do fenómeno de *heat stress* em zonas urbanas, recorrendo ao índice PET para a avaliação do conforto térmico, e apresentando algumas propostas de soluções baseadas na natureza para mitigar os riscos encontrados. Por fim, recorre-se ao conceito *Climate Café* com vista a dar visibilidade às conclusões do estudo através de ferramentas acessíveis a toda a comunidade.

### 2.1 Problemática das Alterações Climáticas

Atualmente, uma das maiores ameaças à biodiversidade e à sociedade advém do impacto das alterações climáticas (APA@2020). Através da análise do 5.º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, sigla em inglês), a ocorrência das alterações climáticas é maioritariamente provocada por um aumento da temperatura média global, mais acentuada em algumas zonas do planeta do que em outras. O 5.º Relatório refere ainda um conjunto de evidências científicas acerca dos efeitos que a atividade humana (antropogenia) tem sobre o sistema climático (IPCC, 2014), por exemplo, através do aumento das emissões de gases com efeito de estufa (Borrego *et al.*, 2014).

No ano de 2018, 55% da população mundial residia em zonas urbanas, estimando-se que em 2050 seja de 68%, um aumento que pressionará, ainda mais, a demografia nessas zonas (UN, 2018). Corroborando estes dados, o Anexo I do Diagnóstico Territorial para as Cidades Sustentáveis em 2020 (Ministério do Ambiente, 2015) refere que, na União Europeia, mais de dois terços da população vive em áreas urbanas e que o desenvolvimento urbano em Portugal acompanhou essas tendências. Este fenómeno influencia significativamente o aumento crescente da emissão de gases com efeito de estufa (IPCC, 2014).

O impacto das alterações climáticas, aplicado às características das áreas urbanas, designadamente altitude, topografia e superfície do solo, entre outros, torna estas zonas mais vulneráveis a condições climáticas adversas, afetando, por exemplo, a qualidade dos espaços públicos ao ar livre e a qualidade de vida dos seus cidadãos (Borrego *et al.*, 2014).

O sistema climático de uma cidade está intimamente associado às características da zona urbana, ou seja, os parâmetros como a rugosidade do tecido urbano, o nível de ocupação e as características térmicas dos materiais, são alguns dos exemplos que influenciam o clima de uma determinada zona. De um modo geral, existe uma relação bidirecional entre o tecido urbano da

cidade e a influência de vários parâmetros ambientais, nomeadamente a temperatura do ar, a humidade relativa e a velocidade do vento (Oliveira Panão, Gonçalves e Ferrão, 2006). O impacto das alterações climáticas é maior nas áreas urbanas, não só porque estas zonas estão cada vez mais expostas aos efeitos provocados pelas alterações climáticas, mas também porque são motores de desenvolvimento (social, cultural, económico e ambiental). Este cenário inscreve-se numa escala prioritária na adoção de medidas de resposta (Oliveira, 2014), as quais permitem que as cidades se apresentem como pilares na adoção e implementação de iniciativas com vista ao cumprimento dos ODS (UN, 2019).

## 2.2 Conforto Térmico

A norma ISO 7730 (2005) define conforto térmico como um estado mental que expressa a satisfação com o meio ambiente, sem causar *stress* térmico. Assim, é difícil especificar um ambiente térmico capaz de satisfazer todos os seus utilizadores. Contudo, é possível prever ambientes através de uma série de parâmetros individuais e ambientais que vão influenciar diretamente o conforto térmico de um indivíduo e que reúnam características que se tornem aceitáveis para um determinado número de utilizadores desse ambiente (ISO, 2005).

Em conformidade com as normas ISO 7730 (2005) e ISO 7726 (1998), respetivamente, esta dissertação considera os seguintes parâmetros:

- individuais: relacionados com as características individuais de cada indivíduo e com as características mais subjetivas, como a sensação térmica e a preferência térmica. Neste grupo de parâmetros identificam-se o género, a idade, a altura, o peso, o vestuário e o nível de atividade (ISO, 2005);
- ambientais: normalmente considerados como determinantes de um ambiente térmico e, portanto, com influência no conforto térmico em ambientes ao ar livre, como a temperatura do ar, a humidade relativa, a velocidade do vento, a radiação solar e a temperatura radiante média (ISO, 1998).

Para além dos parâmetros assinalados, importa incorporar o parâmetro ambiental temperatura da superfície presente no ambiente urbano, e os parâmetros gerais (data, hora, coordenadas geográficas, entre outros) uma vez que estes influenciam a temperatura radiante média e a determinação do conforto térmico (Matzarakis, Rutz e Mayer, 2007, 2010; Soares, 2017).

O conforto térmico é um parâmetro essencial para analisar, compreender e avaliar a satisfação ou insatisfação do clima urbano por parte dos seus utilizadores, permitindo criar soluções de mitigação para um desenvolvimento urbano mais sustentável, promovendo um melhor bem estar dos seus cidadãos (Coccolo *et al.*, 2016).

### 2.2.1 Parâmetros Individuais que Influenciam o Conforto Térmico

O corpo humano, em condições normais, apresenta uma temperatura de cerca de 37°C, podendo sofrer variações entre os 36,1°C e os 37,2°C ao longo do dia, sendo mais baixas no período da manhã e mais altas no final do dia (Frota, 2001). Esta Subsecção aborda os parâmetros individuais que afetam a sensação de conforto térmico e que condicionam a transferência de calor, a saber: género, idade, altura, peso, vestuário e nível de atividade (Frota, 2001).

- **Género e Idade**

Relativamente à perceção térmica, é sabido que existem diferenças entre indivíduos de géneros diferentes. Por exemplo, como os homens possuem um metabolismo mais rápido do que as mulheres, estas têm tendência a registar temperaturas mais altas. A idade também interfere na perceção térmica, uma vez que quanto maior for a idade de um indivíduo menor a sua atividade metabólica, levando-o a preferir temperaturas mais elevadas (Giralt, 2006).

- **Peso e Altura**

A arquitetura do corpo humano, mais especificamente a relação entre a superfície corporal e o volume corporal, influencia a perceção térmica. Esta relação é fácil de analisar através do índice de massa corporal, por exemplo: quanto mais alto e magro for um indivíduo, maior é a dissipação de energia, o que implica uma maior tolerância para diferentes amplitudes térmicas e, conseqüentemente, temperaturas mais elevadas (Giralt, 2006).

- **Vestuário**

O vestuário depende do material e da espessura que o compõe, e tem como objetivo principal ajudar a manter a temperatura corporal de um indivíduo, reduzindo as transferências de calor e oferecendo maior resistência térmica (Soares, 2017). O nível de vestuário é geralmente expresso em clo (abreviatura de *clothing*, em inglês) (ISO, 2005). Segundo a norma ISO 8996 (1987) e Höpfe (1999), os valores de referência para o vestuário são de 0,9clo, que corresponde a um indivíduo de roupa interior, calças, camisa, meias e sapatos.

- **Nível de Atividade**

Um indivíduo que realize um movimento ou uma atividade vai gerar um maior valor para a quantidade de energia produzida. Tendo em conta que um indivíduo está constantemente a produzir e a libertar energia, conclui-se que quanto maior for o nível de atividade, maior será a

energia que o corpo necessitará de produzir (Soares, 2017). O nível de atividade, em termos de energia, designa-se por taxa metabólica e pode ser expressa em watt [W] (ISO, 2005). Segundo a norma ISO 8996 (1987) e Höppe (1999), os valores de referência para a taxa metabólica são de 80W, que correspondem a uma atividade física leve.

Por fim, são apresentados no Quadro 2.1, os valores de referência para os parâmetros individuais para um homem e uma mulher média, de acordo com a norma ISO 8996 (1987) e Höppe (1999).

Quadro 2.1 – Valores de referência para os parâmetros individuais.

<b>Parâmetros individuais</b>	<b>Homem</b>	<b>Mulher</b>
<b>Género</b>	masculino	feminino
<b>Idade [anos]</b>	30	30
<b>Peso [kg]</b>	70	60
<b>Altura [m]</b>	1,75	1,70
<b>Vestuário [clo]</b>	0,9	0,9
<b>Nível de atividade [W]</b>	80	80

### 2.2.2 Parâmetros Ambientais que Influenciam o Conforto Térmico

Nesta Subsecção abordam-se os parâmetros ambientais que, combinados, têm impacto significativo nos espaços públicos ao ar livre, condições de saúde das populações e ecossistemas. Estes parâmetros podem causar conforto ou desconforto térmico, a saber: a temperatura do ar, a humidade relativa, a velocidade do vento, a radiação solar e a temperatura radiante média.

- **Temperatura do Ar**

A temperatura do ar é um dos parâmetros ambientais que oferece um importante cadastro de informação do passado e do presente, possibilitando a monitorização da sua evolução, o estabelecimento de comparações e correlações entre os dados e a antevisão e previsão do seu impacto nas populações urbanas (REA@2020). É o principal fator que se encontra na base das transferência de calor entre o corpo humano e o ambiente envolvente (Sobolewski *et al.*, 2020). De acordo com a ISO 7726 (1998), a sua transferência ocorre por convecção e é medida em graus Celcius [°C] ou em Kelvin [K] (ISO, 1998).



A avaliação da temperatura do ar, de acordo com a Comissão Nacional do Ambiente, assenta em três variáveis: latitude, altitude e época do ano. Estas variáveis condicionam o ambiente e a atividade humana (Loureiro *et al.*, 2017).

Na classificação da temperatura do ar, segundo Rivero (1985), a avaliação do conforto térmico começa nos 23°C e termina nos 35°C (ver Quadro 2.2), pelo que se pressupõe que todo e qualquer valor abaixo de 23°C e acima de 31°C gera sensação de desconforto térmico.

Quadro 2.2 – Níveis do conforto térmico a partir da temperatura do ar (Rivero, 1985).

Temperatura do ar [°C]	Sensação térmica	Nível de conforto térmico
23 a 25	Conforto térmico	Ótimo
25 a 28	Conforto térmico	Levemente quente
28 a 31	Conforto térmico	Quente
31 a 35	Desconforto térmico	Muito quente

#### • Humidade Relativa

A humidade relativa é a razão entre a quantidade de vapor de água contida no ar (humidade absoluta) com a quantidade máxima de vapor que o ar pode conter, isto é, o seu ponto de saturação (Santos *et al.*, 2006). É expressa em percentagem [%], e permite, também, determinar os valores de transferência de calor por meio da evaporação no corpo humano (ISO, 1998). Sempre que a humidade relativa atinge valores muito elevados (humidade), valores muito baixos (seca), ou uma ampliação das suas consequências na conjugação com outros parâmetros, estamos perante efeitos negativos com impacto na saúde e potenciadores de desconforto térmico no ser humano (Fouillet *et al.*, 2006).

Com o objetivo de avaliar a humidade relativa, foram definidos diferentes intervalos, permitindo obter a sua condição, como se observa no Quadro 2.3. Estes intervalos tiveram por base o trabalho de investigação de Nikolopoulou (2004).

Quadro 2.3 – Classificação da humidade relativa (Nikolopoulou, 2004).

Intervalo [%]	Condição
<20	Muito seca
20-30	Seca
30-70	Média
>70	Húmida

### • Velocidade do Vento

O vento é o movimento do ar atmosférico, fruto da variabilidade da temperatura do ar, que integra a lista das formas de transferência de energia no sistema climático. Desempenha um papel de amenizador de contrastes térmicos entre as zonas urbanas e as zonas rurais porque é responsável pelas diferenças de turbulência e trocas de energia por advecção que acabam por introduzir uma suavização das diferenças entre as duas espacialidades (Santos *et al.*, 2006).

A velocidade do vento é utilizada para a determinação da transferência do calor, por convecção e evaporação, nos indivíduos (ISO, 1998). Grosso modo, o ser humano sente-se desagradado com a velocidade do vento quando esta se aproxima do valor de 5m/s, desconfortável para valores próximos dos 10m/s e sente perigo quando atinge valores próximos dos 20m/s (Oke, 1987).

O aumento da velocidade do vento pode aumentar a perda de calor em situações em que a temperatura do ar é mais alta, com especial incidência quando a temperatura radiante média é alta e a temperatura do ar é baixa (ISO, 2005). Para uma temperatura do ar inferior a 33°C, o aumento da velocidade do vento permite reduzir a sensação térmica de calor; para valores da temperatura do ar entre os 33°C e os 37°C, a velocidade do vento não tem um efeito significativo na sensação térmica de calor; por fim, para valores acima de 37°C, o aumento da velocidade do vento pode aumentar a sensação térmica de calor (Givoni, 1998).

De acordo com a informação do IPMA (2020), a velocidade do vento poderá ser classificada a partir da sua intensidade, como se pode observar no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Classificação da velocidade do vento (IPMA@2020).

<b>Velocidade do vento [m/s]</b>	<b>Descrição do vento</b>
<4,16	Vento fraco
4,16 a 9,72	Vento moderado
9,72 a 15,27	Vento forte
15,27 a 20,83	Vento muito forte
>20,83	Vento excepcionalmente forte

### • Radiação Solar

A radiação solar é um dos elementos que mais afeta a vida no planeta Terra. A sua distribuição espectral – resultado das radiações de ondas curtas (solares) como das radiações de ondas longas (terrestres) (ISO, 1998) – bem como a energia total que atinge a superfície terrestre, têm

consequências determinantes no nível ambiental e no nível social (Pedroso de Lima, 1992). Este parâmetro é definido como o fluxo radiante total recebido pela área unitária de uma dada superfície e determina a troca de calor radiante entre o corpo humano e o meio ambiente, sendo geralmente expressa em watt por metro quadrado [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] (Oke, 1987).

Considerando o parâmetro da radiação solar para avaliação do conforto térmico, num espaço e num tempo, verifica-se que o aumento da absorção da radiação solar está relacionado com a área de exposição e do albedo. O albedo, cujo valor típico em zonas urbanas é de cerca de 15%, é a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela. Em situações em que a área exposta é maior do que a área do albedo, regista-se uma maior absorção de radiação solar (Lopes, 2006). Assim, um albedo com o valor de 0,30 traduz-se em 30% da radiação solar que é refletida quando atinge a superfície, sendo 70% absorvida por essa mesma superfície (Cortesão, 2013).

Outras variáveis que podem influenciar o comportamento do parâmetro da radiação solar são, por exemplo, o tipo de revestimento e o material usado na construção dos edifícios que, por terem propriedades refletoras distintas, influenciam as trocas de calor entre os edifícios e, consequentemente, o balanço de radiação local (Lopes, 2006). Focando a investigação nas áreas urbanas, somos confrontados maioritariamente com zonas de edifícios altos e arruamentos de geometria variável, muitas das vezes com o predomínio de ruas estreitas. Esta caracterização releva para a elevada probabilidade de se verificar um aumento da temperatura do ar, consequência da exposição à radiação solar, que pode potencialmente levar ao desconforto térmico e, consequentemente, ao fenómeno de *heat stress* (Lopes, 2006; Ali-Toudert e Mayer, 2007).

De acordo com Nikolopoulou (2004), a radiação solar é classificada com base em quatro grupos de valores, cada um dos quais encontra correspondência com a respetiva descrição da radiação solar, como se pode observar no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Classificação da radiação solar (Nikolopoulou, 2004).

<b>Radiação Solar [<math>\text{W}/\text{m}^2</math>]</b>	<b>Descrição da Radiação Solar</b>
<100	Baixa
100 a 400	Média
400 a 800	Média alta
>800	Alta

- **Temperatura Radiante Média**

A temperatura radiante média define-se como a temperatura de superfície de um ambiente circundante perfeito, o que leva a obter um mesmo equilíbrio energético que o ambiente envolvente (Fanger, 1970). Em cada ambiente, ocorre uma troca contínua de energia radiante que é refletida, absorvida e/ou transmitida que condicionam o conforto térmico, permitindo estudar e avaliar as trocas de calor radiante entre o Homem e o meio ambiente (ISO, 1998). Segundo a ISO 7726 (1998), em medições microclimáticas, a temperatura radiante média, é geralmente expressa em graus Celcius [°C] ou em Kelvin [K].

Através de um estudo sobre o conforto térmico em ambientes ao ar livre, realizado na cidade de Sydney (Austrália), Spagnolo e de Dear (2003) evidenciaram que a maioria dos indivíduos entrevistados relatou sentir-se confortável quando a temperatura radiante média estava no intervalo entre 24°C e 30°C.

### **2.2.3 Heat Stress**

Nesta Subsecção procede-se a uma caracterização expedita do fenómeno de *heat stress*, o qual depende de parâmetros que variam consoante o ambiente e o indivíduo. Estes parâmetros são: parâmetros gerais (hora, época do ano, entre outros), parâmetros individuais (vestuário, nível de atividade, entre outros) e parâmetros ambientais (temperatura do ar, humidade relativa, entre outros) (Acharya, Boggess e Zhang, 2018).

O *heat stress* define-se como um fenómeno que resulta da combinação de temperaturas elevadas e de níveis de humidade elevados (Klok e Kluck, 2018). Esta combinação tem efeitos negativos, com maior ou menor potencial de risco (Klok e Kluck, 2018), em diversos ecossistemas e subsistemas sociais, impactando o conforto térmico das comunidades (Luo e Lau, 2018). Por exemplo, à medida que as cidades se expandem, a redução da permeabilidade dos solos, ou a contração de zonas verdes contribuem para o aumento da temperatura em diferentes períodos do dia. Estas realidades provocam efeitos negativos no que diz respeito ao conforto térmico, podendo concorrer para o fenómeno de *heat stress* (Luo e Lau, 2018).

Para contrariar os efeitos do fenómeno de *heat stress*, entre outros fenómenos, importa considerar as metas dos ODS, a atingir até ao ano 2030, destacando-se o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Climática) (ONU, 2016).

No que diz respeito ao ODS 11, importa:

- aumentar a urbanização inclusiva e sustentável e as capacidades para o planeamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis;
- fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o património cultural e natural do mundo;
- reduzir o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes;
- reduzir o impacto ambiental negativo per capita nas cidades;
- proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes;
- aumentar o número de cidades e assentamentos humanos que adotem e implementem políticas e planos integrados para a eficiência e eficácia dos recursos, mitigação, adaptação e resiliência às alterações climáticas (ONU, 2016).

No que diz respeito ao ODS 13, importa:

- reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados com o clima e catástrofes naturais;
- integrar medidas relacionadas com as alterações climáticas nas políticas, estratégias e planeamentos nacionais;
- melhorar a educação e aumentar a consciencialização sobre medidas de mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce no que respeita às alterações climáticas;
- promover mecanismos para a criação de capacidades para o planeamento e gestão eficaz no que respeita às alterações climáticas (ONU, 2016).

Por forma a avaliar este fenómeno e com o objetivo de reduzir o seu impacto, têm vindo a ser utilizadas formas simples de avaliação tais como: determinação dos valores máximos, determinação dos valores mínimos e determinação de índices de avaliação de conforto térmico. Estas formas de avaliação são essenciais, uma vez que o fenómeno de *heat stress* é provocado pela combinação dos fatores gerais, individuais e ambientais (Acharya, Boggess e Zhang, 2018).

#### **2.2.4 Índices que Avaliam o Conforto Térmico**

Os avanços dos recursos tecnológicos e os estudos sobre conforto térmico, com base em parâmetros individuais (ver Subsecção 2.2.1) e em parâmetros ambientais (ver Subsecção 2.2.2), permitiram analisar e avaliar, de uma forma mais detalhada, o conforto térmico e o impacto do fenómeno de *heat stress* (Matzarakis e Amelung, 2008).

Existem diversos índices que concorrem para o estudo do conforto térmico: o PMV - *Predicted Mean Vote* (Fanger, 1970), o SET - *Standard Effective Temperature* (Gagge, Stolwijk e Nishi, 1971), o PET - *Physiological Equivalent Temperature* (Höppe, 1999) ou o UTCI - *Universal Thermal Climate Index* (Jendritzky, de Dear e Havenith, 2012), entre outros.

Reconhecendo a importância destes índices e considerando os objetivos da presente dissertação, especialmente relacionados com o conforto térmico e com o fenómeno de *heat stress*, elegeu-se o PET, um índice de conforto térmico, como o mais adequado para o estudo em questão.

A escolha deste índice prende-se com o facto de ser o mais indicado e o mais utilizado para a análise e avaliação do conforto térmico em espaços públicos ao ar livre (ruas, praças, fachadas de edifícios, entre outros) em relação aos índices apresentados anteriormente. Ainda, por este ser expresso em graus Celsius [°C] e ser facilmente determinado através do *software* RayMan Pro. Pesou, ainda, o facto dos parâmetros utilizados para a sua determinação serem quase os mesmos utilizados por outros índices de conforto térmico e, assim, abrir-se a possibilidade de futuras análises comparativas. Permite a compreensão, análise e avaliação dos valores obtidos, sendo mais facilmente lidos por qualquer indivíduo que os pode comparar com a sua experiência individual de conforto ou desconforto térmico (Matzarakis, Rutz e Mayer, 2007, 2010).

Ao utilizar o índice PET torna-se possível analisar e compreender o efeito das alterações climáticas no conforto do ser humano, possibilitando a identificação das zonas em que existe desconforto térmico e a existência do fenómeno de *heat stress* e deste modo desenhar propostas de intervenção com vista à mitigação dos mesmos (Matzarakis e Amelung, 2008).

O índice PET é a temperatura equivalente fisiológica num determinado ambiente (interno ou externo), tendo sido desenvolvido por Höppe e Mayer no ano de 1987. Define-se como a temperatura do ar em que o equilíbrio térmico do corpo humano se mantém com uma temperatura do centro do corpo e da pele iguais às condições que estão a ser avaliadas. O índice de conforto térmico está adaptado às condições externas e permite que o *stress* térmico seja avaliado durante todo o ano. Este modelo tem-se revelado como o mais adequado para avaliar as condições de conforto térmico ao ar livre (Höppe, 1999). O PET é um índice baseado no modelo MEMI (*Munich Energy Balance Model for Individuals*), que é um modelo termofisiológico de equilíbrio térmico, que se baseia na equação de equilíbrio do corpo humano:

$$M + W + R + C + E_D + E_{Re} + E_{Sw} + S = 0 \quad (2.1)$$

Em que  $M$  é a taxa metabólica de produção de calor,  $W$  é o trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo,  $R$  é a radiação do corpo,  $C$  é o fluxo de calor convectivo,  $E_D$  é o último fluxo para evaporar água num vapor de água difundido através da pele,  $E_{Re}$  é o somatório dos fluxos de calor para o aquecimento e arrefecimento do ar inspirado,  $E_{Sw}$  é taxa de evaporação do suor e  $S$  é o fluxo de armazenamento de calor para aquecer ou arrefecer a massa corporal. Esta equação é expressa em watt [W] (Höppe, 1999).

Os parâmetros individuais e ambientais são necessários para a determinação dos parâmetros apresentados: o vestuário e o nível de atividade são necessários para a determinação do trabalho físico produzido,  $W$ ; a temperatura do ar e a velocidade do vento são necessários para a determinação do fluxo do calor convectivo,  $C$  (Höppe, 1999).

O modelo MEMI é ainda baseado em mais duas equações:

$$F_{cs} = v_b * \rho_b * c_b * (T_c - T_{sk}) \quad (2.2)$$

$$F_{cs} = \frac{1}{I_{cl}} * (T_{sk} - T_{cl}) \quad (2.3)$$

em que  $F_{cs}$  é o fluxo de calor do interior do corpo humano para a pele,  $v_b$  é o fluxo sanguíneo do centro do corpo para a pele,  $\rho_b$  é a densidade do sangue,  $C_b$  é o calor específico,  $T_c$  é a temperatura central,  $T_{sk}$  é a temperatura média da pele,  $I_{cl}$  é o isolamento térmico da roupa e  $T_{cl}$  é a temperatura superficial da roupa (Höppe, 1999).

O índice PET estabelece uma interligação do equilíbrio térmico do corpo (para um nível de atividade de 80W e um vestuário de 0,9clo), com as condições de conforto térmico de espaços públicos ao ar livre. Por exemplo, para um ocupante de um espaço ao ar livre, cuja temperatura do ar é de 42°C, o índice PET determina um nível de percepção térmica de muito calor e um nível de *stress* físico de extremo *stress* para o calor. Assim, este índice permite, de forma mais adequada, comparar os efeitos das condições térmicas ambientais com a experiência interna do indivíduo (Höppe, 1999).

Para determinar o índice PET é necessário obter diferentes parâmetros individuais, ambientais e gerais. Os parâmetros individuais considerados são: género, idade, peso, altura, vestuário e nível de atividade (ver Subsecção 2.2.1). Os parâmetros ambientais considerados são: temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e temperatura radiante média (ver Subsecção 2.2.2). Os parâmetros ambientais devem ser medidos a 1,10m acima do solo, o que corresponde a uma altura média do centro de gravidade de um indivíduo em pé (Matzarakis, Mayer e Iziomon, 1999). Os parâmetros gerais considerados são: data, dia do ano, hora, localização, longitude, latitude, altitude, fuso horário, topografia e elementos morfológicos que caracterizam a área em estudo tais como a orientação, cor, tipologia, fator de visão do céu, materiais e vegetação (ver Subsecção 2.3.1).

Por forma a avaliar o nível de *stress* físico através do índice PET, com base nos parâmetros individuais, ambientais e gerais, foi construído o Quadro 2.6 para possibilitar essa avaliação e onde é possível observar os valores do índice PET (Matzarakis, Mayer e Iziomon, 1999).

Quadro 2.6 – Nível de percepção térmica e nível de *stress* físico para o índice PET. Adaptado de Matzarakis, Mayer e Iziomon (1999).

PET	Nível de percepção térmica	Nível de <i>stress</i> físico
	Muito frio	Extremo <i>stress</i> para o frio
4°C	-----	-----
	Frio	Forte <i>stress</i> para o frio
8°C	-----	-----
	Pouco frio	Moderado <i>stress</i> para o frio
13°C	-----	-----
	Levemente frio	Leve <i>stress</i> para o frio
18°C	-----	-----
	Confortável	Sem <i>stress</i> térmico
23°C	-----	-----
	Levemente calor	Leve <i>stress</i> para o calor
29°C	-----	-----
	Pouco calor	Moderado <i>stress</i> para o calor
35°C	-----	-----
	Calor	Forte <i>stress</i> para o calor
41°C	-----	-----
	Muito calor	Extremo <i>stress</i> para o calor

### 2.3 Adaptação e Resiliência em Zonas Urbanas

Atualmente, é particularmente relevante compreender em que medida as zonas urbanas e as suas características são determinantes para inverter o impacto das alterações climáticas, dotando a população de estratégias de mitigação e de adaptação e, desde aí, alcançar um melhor conforto térmico. De facto, o agravamento dos efeitos das alterações climáticas encontra-se imerso na própria morfologia urbana, seja por ações não dependentes do Homem, como as variações no sistema Terra-Atmosfera, seja por ações antropogénicas, como os materiais, a geometria e as propriedades da superfície das edificações, entre outras, que constituem uma determinada zona e que modificam localmente as sensações térmicas (Givoni, 1998).

Consideradas conjuntamente, estas ações levam a que se atinjam valores de temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e temperatura radiante média, que põem em causa, não só a saúde e o bem-estar das comunidades, mas também os padrões que definem a segurança das edificações e a pertinência dos revestimentos aplicados (Alcoforado *et al.*, 2009). Adicionalmente, outro fator pode ser considerado, por exemplo, a vegetação existente,



por forma a mitigar as condições adversas que podem ameaçar a sustentabilidade e o conforto térmico num espaço urbano ao ar livre (Soares, 2017).

### 2.3.1 Elementos Morfológicos de Intervenção

Esta Subsecção apresenta alguns dos elementos morfológicos básicos que afetam a sensação de conforto térmico, a saber: orientação, cor, tipologia, fator de visão do céu, materiais de revestimento e vegetação.

- **Orientação**

A orientação, combinada com a altitude e a topografia de uma zona, determina o grau de exposição à radiação solar e à velocidade dos ventos dominantes a que esta estará sujeita, afetando a temperatura do ar e o conforto térmico dos indivíduos que a frequentam (Duchêne *et al.*, 2003).

Uma edificação ou aglomerado de edificações, quando projetada de raiz, possibilita a escolha da melhor orientação para que se atinjam microclimas equilibrados através da conjugação da relação física dos edifícios com a topografia da zona. Assim, quando uma zona se encontra previamente edificada, a escolha das intervenções será de menor escala, mas deve retirar o melhor partido da orientação já existente para permitir mitigar o desconforto térmico. Por exemplo, edificações com orientação Este-Oeste têm maior propensão à ocorrência do fenómeno de *heat stress*, uma vez que as sombras proporcionadas pelos edifícios são bastante reduzidas (Soares, 2017). A fachada de um edifício orientada a Norte tem uma fraca exposição à radiação solar, sendo, portanto, mais fria, enquanto que a fachada de um edifício orientada a Sul, tem uma elevada exposição à radiação solar, sendo, portanto, mais quente (Gonçalves e Graça, 2004).

- **Cor**

Os edifícios estão expostos a variações meteorológicas sendo, portanto, necessário pintá-los por forma a evitar a sua deterioração. A escolha da cor para o edifício depende de fatores como a sua localização e a exposição à radiação solar. A cor é uma propriedade extrínseca dos materiais, ou seja, a cor é dependente da distribuição espectral da luz incidente, afetando o microclima de uma zona (Addington e Schodek, 2005). Por exemplo, as cores claras (frias) correspondem a valores mais altos de albedo, enquanto que as cores escuras (quentes) correspondem a valores mais baixos de albedo, absorvendo, por isso, maior radiação solar (Hegger *et al.*, 2006). Ou seja, espera-se que um indivíduo se sinta mais quente numa zona em

que as cores são predominantemente escuras e se sinta mais frio numa zona em que as cores que predominam sejam claras (Fanger, 1970). Assim, uma das estratégias para combater o desconforto térmico nas zonas urbanas passa por converter as cores dos edifícios, isto é, transitar de cores escuras para cores claras (Akbari, Pomerantz e Taha, 2001).

- **Tipologia**

A tipologia refere-se ao conjunto de características físicas que diferencia estruturas, edificações, tipos de pavimentos, ruas, zonas de vegetação, entre outras (EngenhariaCivil@2020). Este elemento morfológico, entretanto, não deve ser separado da sua função. E isso implica que as estratégias adotadas sejam adequadas para equilibrar o microclima envolvente, permitindo que os seus utilizadores tenham a sensação de conforto térmico (Soares, 2017).

- **Fator de Visão do Céu**

O fator de visão do céu (SVF, sigla em inglês) é definido como a fração do céu visível visto de um determinado ponto (Oke, 1987). É um fator adimensional que varia entre 0 e 1. A avaliação da cobertura de obstáculos à radiação solar pode ser estimada através da distinção entre a área coberta por obstáculos e a área descoberta de obstáculos, estimando a área visível do céu. Quando o fator apresenta o valor 0, significa que o céu está totalmente coberto por obstáculos, recebendo menos radiação solar. Quando apresenta o valor 1, significa que o céu não tem qualquer obstáculo, recebendo maior radiação solar (Matzarakis, Rutz e Mayer, 2007, 2010).

- **Materiais**

Os materiais, como principais elementos da edificação, ditam o impacto ambiental causado durante todo o ciclo de vida da edificação (Oliveira, 2015), e isto porque apresentam diferentes valores de albedo. A escolha de materiais adequados tem influência nas alterações das condições de conforto térmico, uma vez que é possível reduzir a capacidade das superfícies de armazenarem calor e de aumentarem a sua capacidade de libertação do calor acumulado. Tal implica que uma gama de parâmetros deva ser considerada na fase de projeto. De entre esses parâmetros, os mais relevantes para o microclima dos espaços públicos ao ar livre são os relativos à humidade (permeabilidade à água) e os parâmetros óticos (reflexão, albedo e emissividade) (Soares, 2017).

Yilmaz, Toy e Yilmaz (2007) referem que o albedo das superfícies desempenha um papel fundamental no aquecimento da camada de ar junto ao solo, isto é, a radiação solar absorvida pelos materiais de revestimento aquece as superfícies e, por sua vez, as superfícies aquecem o

ar. Isto significa que, quanto maior o valor do albedo, menor é a temperatura na superfície e, portanto, menor calor será irradiado para a camada adjacente onde as atividades são realizadas. Akbari, Pomerantz e Taha (2001) defendem que, ao utilizar materiais com um valor de albedo alto, e em que a cor das superfícies urbanas fossem mais claras, a temperatura de superfície e a temperatura do ar seriam menores, esperando-se ainda menores valores para a temperatura radiante média. Com a diminuição destes valores, torna-se exequível criar melhores condições para o conforto térmico no período estival. Um estudo realizado por Yu et al. (2008), apresentou que paredes revestidas de materiais com alto albedo fornecem proteção contra o calor durante o verão, e isolamento térmico durante o inverno. Para materiais em que as superfícies se encontrem à sombra, o valor do albedo é irrelevante (Plumley, 1977).

Materiais com um valor baixo de albedo, entre 0,05 e 0,20 correspondem ao asfalto, ardósia, ferro, água e tinta preta. Materiais com albedo médio, entre 0,20 e 0,50 correspondem ao betão, pedra, tijolo, madeira, plantas e solo seco. Materiais com albedo elevado, entre 0,50 e 0,90 correspondem ao mármore, gesso branco, cascalho, tinta branca (Soares, 2017).

- **Vegetação**

O papel da vegetação no tecido urbano influencia parâmetros ambientais como: temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e a temperatura radiante média, contribuindo para a melhoria do microclima em zonas urbanas (Mascaró e Mascaró, 2009). A vegetação permite a amenização da radiação solar, reduzindo a carga térmica recebida pelos indivíduos e edifícios através do sombreamento de ruas e zonas mais quentes. Além disto, contribui ainda para: reduzir a poluição do ar através da fotossíntese e da respiração; modificar a velocidade e direção dos ventos; constituir-se como uma barreira acústica ao ruído provocado pelo tráfego e outras atividades (Mascaró e Mascaró, 2010).

No período estival, com o céu limpo, um grupo de árvores, com diferentes portes, idade, tipo de folhagem e de copa, inserido em zonas urbanas pode filtrar a radiação solar entre 20% a 60%, pode reduzir a temperatura do ar entre 1°C a 2°C e, por fim, pode reduzir a velocidade do vento em cerca de 0,2m/s (Nikolopoulou, 2004). Devido a estas propriedades, o aumento do número de espaços verdes, pode proporcionar condições de maior conforto térmico aos seus utilizadores, bem como constituir um meio mais económico de modificar os microclimas em torno de um edifício e, assim, contribuir para a mitigação e/ou adaptação ao fenómeno de *heat stress* (Papadakis, Tsamis e Kyritsis, 2001). Segundo Dimoudi e Nikolopoulou (2003) é possível identificar um conjunto de características da vegetação que influencia a sensação térmica. De entre esses parâmetros, destacam-se, para este estudo, a transmissividade e o albedo.

A transmissividade refere-se ao efeito da vegetação em relação à exposição solar, variando de acordo com as estações do ano e o tipo de vegetação. No caso da vegetação de folha caduca, isto é, que perde as folhas em certas estações do ano, verifica-se uma menor exposição à radiação solar no verão e uma maior exposição à radiação solar no inverno, ao contrário da vegetação de folha perene, que mantém as suas folhas durante todo o ano, em que se verifica uma menor exposição à radiação solar no verão e no inverno (Dimoudi e Nikolopoulou, 2003). O albedo refere-se à quantidade de radiação solar recebida e emitida e, no caso da vegetação de folha caduca registam-se níveis menos constantes ao longo do ano, por perderem a sua folhagem nos meses mais frios, resultando em albedos com níveis mais elevados no verão e níveis mais baixos no inverno, tendo uma gama de valores esperados entre os 0,09 e os 0,18 (Dimoudi e Nikolopoulou, 2003).

### 2.3.2 Soluções Baseadas na Natureza

As cidades são ambientes urbanos que ao longo do tempo registam mudanças. A principal pode ser apontada ao nível da sua configuração espacial, uma vez que os territórios estão em constante evolução. As soluções baseadas na natureza (NBS, sigla em inglês), aplicadas aos ambientes urbanos, apresentam-se como os novos desafios para os ecossistemas e para as sociedades. Assim sendo, as NBS são cada vez mais consideradas como fazendo parte de uma ampla série de contributos adequados e equilibrados para se atingir o conforto térmico (NBS@2020). Ao desenvolver e implementar este tipo de soluções, o principal objetivo é dotar as comunidades de meios de adaptação e resiliência que se traduzem em vários benefícios, como os assinalados nos ODS 11 e ODS 13 (ONU, 2016) (ver Subsecção 2.2.3).

Como amplamente referido, o aumento da temperatura associado à expansão urbana seguirá uma previsível curva ascendente nos próximos anos, pelo que é maior a probabilidade de um maior risco do fenómeno de *heat stress* para as comunidades e para os ecossistemas. Neste panorama, é crucial formular e implementar medidas de mitigação, adaptação e resiliência ligadas ao meio ambiente (árvores, coberturas e fachadas verdes, corredores verdes, etc.) e ajustadas ao mesmo, tendo em vista o aumento da biodiversidade e, por fim, proporcionar uma melhor qualidade de vida aos cidadãos (Boogaard, Kluck e Groen, 2018). Por forma a tornar as zonas urbanas mais resilientes e adaptadas com base em soluções baseadas na natureza, existem várias soluções que podem ser aplicadas, tais como:

- **Árvores**

As árvores, isoladas ou agrupadas, permitem atenuar uma parte da radiação solar incidente impedindo que a sua totalidade atinja as superfícies envolventes. E isto acontece porque as

árvores são responsáveis pela absorção de cerca de 90% da radiação visível e de 60% da radiação infravermelha (Labaki *et al.*, 2011). Isto significa que, as propriedades físicas das árvores permitem que a radiação solar direta que atinge uma árvore é refletida, absorvida pela folhagem ou transmitida ao nível do solo (Oke, 1987). Esta solução permite moderar o aquecimento das superfícies (Labaki *et al.*, 2011) através da evapotranspiração – uma função biológica comum a todas as plantas e que consiste na perda combinada de água para a atmosfera por evaporação e por transpiração (Asimakopoulos *et al.*, 2001) – e do sombreamento (Oke, 1987).

Para a escolha das árvores deve ter-se em consideração os seus parâmetros biofísicos (categoria, altura, formato da copa, densidade da folhagem, etc.) os quais interferem nos processos de interação entre as árvores e o seu entorno (De Castro Lima *et al.*, 2006). Espera-se que as árvores com copas amplas, com alta densidade de folhagem e folha larga e espessa, contribuam para a redução da radiação solar, permitindo um maior conforto térmico e, conseqüentemente, uma minimização do risco do fenómeno de *heat stress* (De Castro Lima *et al.*, 2006). Segundo Nikolopoulou (2004), a temperatura do ar sob uma grande árvore pode ser entre 15°C a 20°C mais baixa do que a temperatura do ar na mesma área mas sem sombra.

- **Corredores Verdes**

Os corredores verdes são estruturas multifuncionais que podem ter diversas formas e funções no sistema em que estão inseridos, tendo como objetivo a proteção e a integração dos diversos elementos que constituem a zona urbana, convergindo assim, para a ideia de sustentabilidade ambiental (Bryant, 2006). Outro dos seus objetivos é a conservação das estruturas essenciais da paisagem que fazem parte do tecido urbano e que deverão ser sujeitas a um ordenamento ambiental sustentável por forma a reconhecer, conservar e promover uma estratégia favorável relativamente ao planeamento e à gestão de espaços verdes em zonas urbanas (Ribeiro e Barão, 2006), os quais podem contribuir para uma melhoria do conforto térmico e diminuição do risco do fenómeno de *heat stress* (Searns, 1995).

- **Fachadas Verdes**

As fachadas verdes são soluções inspiradas na natureza, sob a forma de jardins verticais nos quais o material vegetativo pode ser colocado na base da parede, no topo da parede ou em caixas suspensas, podendo cobrir de forma parcial ou total a fachada de um edifício (Mir, 2011). As escolhas das plantas para as fachadas verdes devem ter em atenção parâmetros ambientais como: temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento e radiação solar; e, as características biofísicas das plantas, como: caducidade ou perenidade das folhagens (Manso e

Castro-Gomes, 2015). Destaca-se a sua importância na minimização do risco do fenómeno de *heat stress*, uma vez que a vegetação arrefece o edifício através da atenuação da radiação solar, da redução da temperatura ambiente, da redução da velocidade do vento e da criação de sombra para as superfícies adjacentes e para os utilizadores da zona (Perini *et al.*, 2011).

A utilização de fachadas verdes em zonas urbanas permite melhorar a qualidade do ar, aumentar a biodiversidade, absorver CO<sub>2</sub>, contribuir para a eficiência energética e para a proteção da estrutura do edifício. Melhoram a paisagem envolvente, valorizam a zona e contribuem para o conforto térmico dos seus utilizadores (Perini *et al.*, 2011). O recurso a esta solução revela-se como um forte contributo para uma mudança ambiental mais sustentável e esteticamente mais apelativa.

### • Coberturas Verdes

As coberturas verdes inserem-se na categoria das soluções baseadas na natureza, e consistem num sistema natural ou artificial de coberturas de edifícios compostas por diferentes tipos de materiais e vegetação. As coberturas podem ser classificadas de acordo com: a espessura da camada de substrato; os tipos de vegetação utilizada; o tipo de manutenção exigida ou a inclinação da cobertura onde vai ser instalada (Krebs, 2012). As coberturas dos edifícios ocupam entre 20% a 25% da superfície urbana (Akbari, Rose e Taha, 2003) e, durante o dia, as coberturas são das superfícies mais quentes numa zona urbana (Chudnovsky, Ben-Dor e Saaroni, 2004).

Com base nestes pressupostos e evidências, transformar as coberturas dos edifícios através da implementação de soluções baseadas na natureza origina, desde logo, grandes vantagens para o tecido urbano e para o conforto térmico. Estas vantagens podem ser ambientais, sociais e económicas:

- vantagens ambientais: atenuação da temperatura da superfície, aumento da qualidade e gestão da água, redução da percentagem de humidade relativa, redução do ruído e retenção das partículas de CO<sub>2</sub>. No seu conjunto estas vantagens contribuem para o desenvolvimento da biodiversidade e a diminuição do risco do fenómeno de *heat stress* (Rola, 2008);
- vantagens sociais: promoção da diversidade visual no ambiente urbano através do aumento da área verde útil; novas formas de interação e relacionamento com o meio ambiente; melhoria do conforto psicológico dos utilizadores (Oberndorfer *et al.*, 2007);
- vantagens económicas: aumento do tempo de vida dos materiais de construção, ao proteger os edifícios contra a radiação e as temperaturas excessivas; prolongamento da vida útil do edifício; aumento do valor do edifício por via de um melhor isolamento térmico (Saiz *et al.*, 2006).

### 2.3.3 Desafios e Respostas da Comunidade

As cidades atuais estão desafiadas a formular e a implementar um conjunto de políticas públicas (Habitat, 2015), estratégias de planeamento e de ordenamento do território, tendo em vista mitigar, através da adaptação e da resiliência, os impactos resultantes da interação entre o urbano e as alterações climáticas (ONU, 2016). A pressão sobre os sistemas naturais e humanos resulta numa oportunidade para que as comunidades se envolvam, de modo participativo, na construção de soluções que lhes permitam manter a sua qualidade de vida no presente sem comprometer a qualidade de vida no futuro.

No que se refere às estratégias de adaptação, para minimizar os efeitos negativos dos impactos das alterações climáticas nos sistemas biofísicos e socioeconómicos (APA@2020), os cidadãos e as comunidades devem contribuir amplamente para a criação de cidades sustentáveis e para a disseminação generalizada deste conceito (Romero-Lankao e Dodman, 2011). No que se refere às estratégias de resiliência, ela deve traduzir-se na capacidade de responder de forma proativa aos impactos negativos em detrimento de respostas defensivas. E são estas diferentes maneiras de responder às alterações climáticas que estão na base daquilo que se designa por cidades resilientes (Admiraal e Cornaro, 2019).

Como se pode constatar, as estratégias de adaptação e de resiliência que aqui se apresentam têm a sua correspondência nos ODS 11 e 13 (ONU, 2016) (ver Subsecção 2.2.3). Tomando os ODS como linhas orientadoras surge o conceito de *Climate Café*.

O *Climate Café* surge como um conceito interdisciplinar que tem como objetivo partilhar e dotar os profissionais e as comunidades de conhecimentos e ferramentas (*low cost, low tech*), abertas e acessíveis a toda a comunidade, com vista a melhorar a consciência ambiental global (ClimateCafe@2020), que promovam a adaptação às alterações climáticas, e produzam uma consciencialização ativa com vista à mitigação dos seus riscos e impactos negativos (Boogaard *et al.*, 2020).

Enquanto comunidade global e dinâmica, promove a interdisciplinaridade e a complementaridade dos conhecimentos, reunindo investigadores, estudantes, instituições de ensino superior, organizações várias e todas as pessoas e entidades que estejam unidas por um objetivo comum: um papel ativo na defesa do meio ambiente, com especial ênfase na arquitetura de estratégias de mitigação, adaptação e resiliência às alterações climáticas (ClimateCafe@2020). De entre as aplicações e as ferramentas disponibilizadas pelo *Climate Café*, são utilizadas na presente dissertação: a aplicação Climate Scan e a ferramenta Sketch&Draw.

- **Climate Scan**

A Climate Scan é uma aplicação interativa, em crescente evolução e expansão, desenvolvida pela Hanze University of Applied Sciences (<https://www.climatescan.nl/>), com o objetivo de mapear e avaliar zonas, priorizar riscos e sugerir medidas de prevenção apropriadas (Boogaard *et al.*, 2017). Esta aplicação permite a troca de informações de projetos que abordam, por exemplo, temáticas sobre resiliência nas zonas urbanas e adaptação às alterações climáticas, permitindo partilhar e divulgar os resultados de medições, fotografias e vídeos efetuados em diferentes espacialidades e temporalidades.

Está presente em mais de 3000 projetos internacionais e envolve mais de 10000 utilizadores, sendo uma metodologia viável capaz de fornecer informação de forma rápida e a baixo custo. À medida que as informações vão sendo recolhidas pelos seus utilizadores, estas vão sendo organizadas e distribuídas por subcategorias com diferentes cores, consoante as categorias, por exemplo: água (cor azul), calor (cor vermelha), natureza (cor verde), energia (cor amarela), entre outras (ClimateScan@2020). E isto permite, através do conceito “*learning by doing*”, entre diferentes comunidades, desenvolver as melhores práticas de gestão no campo das alterações climáticas (Boogaard, Restemeyer e Venvik, 2019).

- **Sketch&Draw**

A ferramenta Sketch&Draw tem vindo a ocupar um lugar cada vez mais importante, assumindo-se como um recurso usado pela comunidade para visualizar e comunicar o conhecimento (Wang e Schwering, 2015), com graus de especialização variável, compactando a informação, através de técnicas de pensamento de *design* transformando conhecimentos inicialmente complexos, em conhecimentos acessíveis a toda a comunidade (Zelevnik, Herndon e Hughes, 2006). Esses conhecimentos podem ser comunicados através de: esquemas, gráficos, símbolos e esboços (Fernández-Fonoteca *et al.*, 2019).

Através da ferramenta Sketch&Draw, é possível tornar visível as necessidades urbanas das cidades face às alterações climáticas, permitindo identificar e planear soluções de mitigação. Assim, esta ferramenta permite que as comunidades, que são diretamente afetadas pelas alterações climáticas, se envolvam de forma participativa e ativa na adaptação e resiliência das suas cidades através do esboço. As comunidades ao utilizarem esta ferramenta, contribuem com as suas ideias e partilham soluções inovadoras para a mitigação dos efeitos adversos das alterações climáticas que, posteriormente, podem ser aplicadas no desenvolvimento urbano permitindo criar cidades mais sustentáveis (SketchCity@2020).



### 3. Metodologia

Neste capítulo descreve-se o processo metodológico, bem como os *hardwares* e os *softwares* utilizados para determinar os parâmetros necessários para calcular o conforto térmico através do índice PET e posteriormente averiguar a existência (ou não) do fenómeno de *heat stress*. Em termos metodológicos esta investigação enquadra-se no que se designa por estudo de caso único, sendo de carácter expedito, exploratório, transversal e quantitativo. Neste contexto, a presente dissertação envolve dois tipos de fonte de dados: fontes primárias, recolhidas diretamente; e, fontes secundárias, revisão bibliográfica, consulta a documentos e relatórios de organismos oficiais; consultas em diferentes *sites* da *internet* e estudos empíricos já realizados sobre a temática do conforto térmico, com especial ênfase no fenómeno de *heat stress*. Portanto, importa agora descrever e explicar o processo de levantamento de dados.

#### 3.1 Descrição do Processo

O processo iniciou-se com o levantamento expedito de parâmetros gerais (data, dia do ano, hora, localização, longitude, latitude, altitude, fuso horário, topografia e elementos morfológicos que caracterizam o estudo de caso como a orientação, cor, tipologia, fator de visão do céu, materiais e vegetação) e parâmetros ambientais (temperatura do ar, humidade relativa, temperatura de superfície que foram recolhidos; velocidade do vento e radiação solar que foram consultados) por forma a avaliar o conforto térmico e aferir o risco do fenómeno de *heat stress* numa área urbana. Levantamento esse que ocorreu durante 15 dias, em dois períodos de medição. Em seguida, procedeu-se ao registo e à análise dos dados recolhidos dos parâmetros ambientais, em séries temporais e à elaboração de uma descrição estatística básica, no Excel. É feita uma análise de sensibilidade por forma a aferir quais os parâmetros ambientais que mais influenciam o cálculo do índice PET. Depois de realizada a análise dos dados recolhidos e a análise de sensibilidade, procedeu-se à escolha de dois dias (um para cada período de medição) para cada uma das 6 Zonas em estudo em que se verificasse os valores das temperaturas e os valores de humidade mais elevados, com base na definição do fenómeno de *heat stress* (ver Subsecção 2.2.3). Os dados recolhidos para cada uma das 6 Zonas são introduzidos no *software* RayMan Pro (ver Secção 3.4), para calcular o índice PET, por forma a analisar e avaliar o risco do fenómeno de *heat stress*. Posteriormente, é feita uma partilha e divulgação dos resultados obtidos. E por fim, são propostas soluções baseadas na natureza com o objetivo de mitigar o risco do fenómeno de *heat stress* e promover o conforto térmico dos utilizadores da zona em estudo.

### 3.2 Recolha de Dados

O levantamento expedito ocorreu no período de 1 a 15 de agosto de 2020 no Campus Universitário Polo II, da UC. A escolha recaiu no mês de agosto por se tratar de um mês de verão, em que se registam as temperaturas, em média, mais altas do ano e em que o registo das condições climatéricas (por exemplo, céu limpo), mantêm alguma constância. Para a recolha de dados dos parâmetros gerais e ambientais definiram-se duas ruas no Campus Universitário Polo II, da UC: Rua Sílvio Lima (ver Figura 4.1) e Rua Luís Reis dos Santos (ver Figura 4.2). Foram ainda delimitadas 6 Zonas (ver Figura 4.3) – 4 Zonas na Rua Sílvio Lima e 2 Zonas na Rua Luís Reis dos Santos – que foram objeto de intervenção em dois períodos do dia:

- 13h-14h: selecionadas por pertencerem ao intervalo de horas com maior exposição solar e, por se tratar de um Campus Universitário, coincidir com o período de pausa para o almoço, o que tenderia a ter uma maior afluência e circulação de pessoas, em situações regulares;
- 19h-20h: selecionadas por coincidir com o cessar do funcionamento da maior parte dos serviços situados no Campus, voltando-se a supor uma maior afluência e circulação de pessoas, em ocorrências ditas normais.

A sequência pela qual foram realizadas as observações nos períodos previamente definidos, com base numa única medição para cada um dos parâmetros ambientais, manteve-se constante espacial e temporalmente, pela seguinte ordem: da Zona 1 para a Zona 6, sucessivamente. Perfazendo um total de 30 horas de monitorização distribuídas bidariamente, pelos quinze dias. As medições ao decorrerem segundo a ordem constante da Zona 1 para a Zona 6, poderão sofrer alguma interferência nos resultados da recolha e consulta de dados, uma vez que os parâmetros ambientais variam de acordo com a hora do dia. Importa referir que a previsão de afluência e circulação de pessoas que fundamentou a escolha da metodologia e dos processos, nomeadamente os horários e os espaços selecionados, não se veio a verificar devido a uma situação inusitada e anómala, impossível de ultrapassar, pelo que não foi possível ver materializada essa previsão. Este facto merece abrir, aqui, um parêntese para melhor explicar a intrusão externa e parasita que condicionou a escolha do período de levantamento dos dados, a saber: o confinamento devido à situação epidemiológica provocada pelo coronavírus SARS-CoV-2 e da doença COVID-19. Este elemento globalizado alterou a normal afluência e convivência da comunidade académica na área em estudo, com a suspensão total das aulas presenciais, a partir do início do mês de março. A expectativa de que essa interrupção seria curta (com o regresso às aulas antes do fim do ano académico) não se veio a verificar, o que forçou o adiamento da realização do trabalho de campo para a primeira quinzena de agosto. Período esse convencionado para as férias académicas, e encerramento da maior parte das estruturas existentes na área de estudo. Contudo, este facto não colocou em risco um outro fundamento base e primacial da escolha do período a avaliar, a saber: o período estival.

Os dados gerais relativos à longitude, latitude, altitude, orientação, distâncias entre edifícios, zona de implementação, altura e comprimento dos edifícios, altura e raio da coroa da vegetação e cotas foram retirados dos *softwares* Google Maps e Google Earth. Os dados relativos à cor, materiais e vegetação (tipo de vegetação, diâmetro do tronco e altura do tronco) foram recolhidos diretamente pela autora na área em estudo. Os dados relativos ao fator de visão do céu foram obtidos diretamente pela autora através de fotografias com recurso a uma lente *fish-eye* acoplada à câmara fotográfica de um telemóvel do modelo Samsung Galaxy S20+ (ver Secção 3.4). Os dados sobre os parâmetros da temperatura do ar e da humidade relativa foram diretamente recolhidos pela autora, através do uso de sensores portáteis com *data logger* (ver Secção 3.4), em duas ruas adjacentes do Campus Universitário Polo II, da UC. Foram ainda recolhidos dados sobre a temperatura de superfície, em 25 pontos exteriores nas duas ruas: passeios, faixas de rodagem, portas de entrada e fachadas de edificações (ver Quadro 4.1 a Quadro 4.6), com recurso a uma câmara termográfica portátil (ver Secção 3.4). Os critérios de seleção destes pontos exteriores foram: características morfológicas; espaços públicos ao ar livre; e, zonas com maior afluência e/ou permanência de utilizadores. A recolha de dados foi sempre efetuada nos mesmos períodos de tempo e nos mesmos pontos selecionados. Os dados sobre os parâmetros velocidade do vento e radiação solar foram indiretamente recolhidos pela autora através do uso de um *website* da *internet* que mede estes parâmetros através de uma estação meteorológica fixa localizada no Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da UC, na Rua Luís Reis dos Santos, uma das ruas em estudo (ver Secção 3.4).

A temperatura radiante média foi calculada diretamente através do *software* RayMan Pro (ver Secção 3.4). Para a temperatura de superfície foram realizadas 750 medições nos 25 pontos exteriores, utilizando uma câmara termográfica portátil. Inicialmente foram, também, projetados os mesmos números de medições nos 25 pontos exteriores para os parâmetros ambientais temperatura do ar e humidade relativa. Contudo verificou-se que nas medições definidas, e utilizando os sensores portáteis com *data logger*, os resultados surgiam sobrepostos nos pontos que se encontravam na mesma Zona. Assim, a fim de evitar duplicação e extensão de dados que dificultavam o seu tratamento e não eram expressivos, optou-se por realizar medições nas 6 Zonas em estudo, para cada parâmetro temperatura do ar e humidade relativa. Deste modo, foram realizadas 180 medições para estes dois parâmetros.

Paralelamente ao levantamento e consulta de dados, foram recolhidos dados sobre o número de alunos, docentes e pessoal técnico existente no Campus Universitário através de troca de correio eletrónico (informação dirigida aos diferentes serviços da UC). Esta recolha foi feita com vista a aplicar um questionário aos utilizadores da área em estudo e com o objetivo de recolher informações sobre os seus parâmetros individuais e, nesse seguimento, compreender a perceção térmica dos indivíduos na avaliação do conforto térmico e risco do fenómeno de *heat stress*. O mesmo não pôde ser aplicado devido à situação pandémica. Assim, os dados recolhidos são

meramente indicativos para justificar a afluência, permanência e circulação de indivíduos na área em estudo. Os dados utilizados para os parâmetros individuais são os valores de referência para um homem e uma mulher média, apresentados no Quadro 2.1 (ver Subsecção 2.2.1).

### 3.3 Análise e Divulgação de Dados

Todos os valores observados, dos parâmetros ambientais (temperatura do ar, humidade relativa e temperatura de superfície) e consultados (velocidade do vento e radiação solar), durante os 15 dias do trabalho de campo, nos dois períodos de leitura, foram introduzidos no Excel, de acordo com os parâmetros gerais (data, dia do ano, hora, localização, longitude, latitude, altitude, fuso horário, topografia e elementos morfológicos que caracterizam a área em estudo tais como: orientação, cor, tipologia, fator de visão do céu, materiais e vegetação). Os parâmetros individuais (género, idade, peso, altura, vestuário e nível de atividade) foram apresentados e organizados de acordo com a ISO 8996 (1987) (ver Subsecção 2.2.1).

Em seguida, depois do registo, procedeu-se à ordenação dos dados para cada parâmetro ambiental em séries temporais. Por forma a facilitar a sua análise realizou-se uma descrição estatística básica, assente em medidas de tendência central (por exemplo, mediana e média) e em medidas de dispersão (por exemplo, desvio padrão). Com base nos parâmetros gerais, individuais e ambientais procedeu-se à realização de uma análise de sensibilidade, permitindo aferir quais os parâmetros ambientais com mais influência no cálculo do índice PET. A recolha e tratamento dos dados, ao longo dos 15 dias, disponibilizou um conjunto extenso de informação. Da observação das séries temporais e da análise de sensibilidade efetuada, selecionaram-se dois dias em que se verificaram os valores das temperaturas e os valores de humidade mais elevados, aplicados a cada uma das 6 Zonas. Esta seleção teve por base a definição do fenómeno de *heat stress* que resulta da combinação de temperaturas elevadas com valores de humidade elevados. Depois da escolha dos dois dias para cada um dos períodos de medição nas 6 Zonas em estudo, procedeu-se à determinação do índice PET.

Para determinar o índice PET, recorreu-se ao *software* RayMan Pro (ver Secção 3.4), onde foram introduzidos os dados de entrada dos dias selecionados, para os parâmetros gerais, individuais e ambientais a fim de avaliar o nível de perceção térmica e o nível de *stress* físico, com base no Quadro 2.6. Esta avaliação permite avaliar o conforto térmico e aferir o risco do fenómeno de *heat stress* para as 6 Zonas em estudo, nos dias selecionados. Em seguida, e com base nos resultados obtidos para o índice PET, foram propostas soluções baseadas na natureza (ver Subsecção 2.3.2). Elegeram-se soluções diferenciadas e consideradas adequadas às características físicas e humanas das 6 Zonas em estudo (ver Secção 4.3). Estas propostas pretendem melhorar o conforto térmico e funcionarem como elementos de mitigação dos efeitos

negativos do fenómeno de *heat stress*. Estas propostas de soluções foram ilustradas com o recurso à ferramenta Sketch&Draw através do *software* SketchUp Pro 2020 (ver Secção 3.4).

Por forma a que este estudo possa dar o seu contributo, tanto para o meio académico como para a sociedade civil, os principais resultados obtidos para a área em estudo poderão ser acedidas através da aplicação Climate Scan (<https://www.climatescan.nl/>), nas categorias “*Opportunities for adaptation*” e “*Measures heat stress*”, com o nome de projeto designado por “*Heat stress at Campus of the University of Coimbra, Polo IP*”.

### 3.4 Hardware e Software

Os *hardwares* e *softwares* utilizados e consultados para este estudo de caso foram: sensores portáteis com *data logger* para a medição da temperatura do ar e da humidade relativa; câmara termográfica portátil para a medição da temperatura de superfície; estação meteorológica fixa para o fornecimento de dados sobre a velocidade do vento e sobre a radiação solar; *softwares* Google Maps e Google Earth para o fornecimento de dados sobre as coordenadas geográficas, altitude, orientação, distâncias entre edifícios, zona de implementação, altura e comprimento dos edifícios, altura e raio da coroa da vegetação e cotas; câmara fotográfica de um telemóvel com uma lente *fish-eye* acoplada para determinar o fator de visão do céu; *software* RayMan Pro para calcular a temperatura radiante média e o índice PET; aplicação Climate Scan para a consulta e divulgação dos dados; e por fim, *software* SketchUp Pro 2020 para o esboço das propostas de soluções baseadas na natureza.

Neste estudo de caso foram considerados os dados divulgados pela estação meteorológica fixa no *website*: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/ICOIMBRA14>, no que diz respeito à velocidade do vento e da radiação solar, uma vez que os dispositivos portáteis utilizados não cumpriam essa função. Esta decisão resultou do facto de que não tendo dispositivos portáteis para medição da velocidade do vento e radiação solar, foi necessário recorrer à estação meteorológica fixa mais próxima, assumindo esses valores para a determinação do conforto térmico e aferição do fenómeno de *heat stress*. Esta estação fixa também mede a temperatura do ar e humidade relativa, contudo esses dados não foram considerados neste estudo de caso. Também não foram investigadas as diferenças entre as medições efetuadas com os sensores portáteis com *data logger* e os sensores acoplados à estação meteorológica, no que diz respeito à temperatura do ar e humidade relativa, uma vez que se optou por considerar os valores recolhidos, em cada ponto selecionado, como os elegíveis e mais precisos para o estudo em questão.

Os sensores portáteis com *data logger* são do modelo HOBO U12-012 da *Onset* (ver Figura 3.1). Este equipamento tem sensores internos que permitem a medição dos valores de

temperatura do ar com uma precisão de  $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$  e dos valores de humidade relativa com uma precisão de  $\pm 2,50\%$  (ONSET, 2020). Os valores medidos foram transferidos por cabo para um computador que estava ligado diretamente ao aparelho, e foram lidos através do *software* HOBOWare Pro da *Onset*. Este equipamento esteve colocado a 1,10m acima do solo, resguardado, por forma a protegê-lo dos efeitos da radiação solar direta e da radiação proveniente das superfícies aquecidas na sua envolvente, com vista ao não comprometimento dos resultados obtidos.

A câmara termográfica portátil utilizada para a captura dos termogramas é do modelo FLIR C3 da *FLIR Systems* (ver Figura 3.1). A câmara termográfica tem um campo de visão de  $41^{\circ}\times 31^{\circ}$  e uma definição de  $640\times 480$  pixels, permitindo a medição e a leitura da temperatura de superfície com uma precisão de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  (FLIR, 2020). A colocação da câmara termográfica para a medição e leitura dos termogramas foi efetuada a 1,10m acima do solo. Os termogramas obtidos foram transferidos por cabo para o computador, seguindo-se o seu tratamento e análise com recurso ao *software* FLIR Tools. Este procedimento possibilitou a recolha de informações referentes à temperatura de superfície em cada um dos 25 pontos exteriores medidos (ver Quadro 4.1 a Quadro 4.6), nas 6 Zonas em estudo. Foram obtidos termogramas de cada um dos pontos exteriores definidos, nos dois períodos distintos ao longo dos 15 dias, perfazendo um total de 750 termogramas.

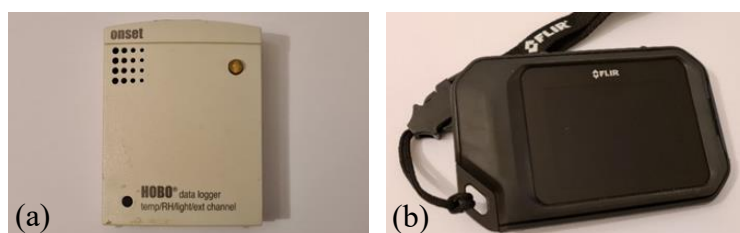


Figura 3.1– (a) Sensores portáteis com *data logger* do modelo HOBO U12-012; (b) Câmara termográfica portátil do modelo FLIR C3.

A estação meteorológica consultada para o fornecimento de dados sobre a velocidade do vento e sobre a radiação solar foi montada em 1994, denomina-se de *adai@dem.uc* e tem como identificação *icoimbra14* (ver Figura 3.2). As suas coordenadas geográficas são  $40^{\circ}11'6''\text{N}$  de latitude,  $8^{\circ}24'46,8''\text{W}$  de longitude, tem 10m de altura e está situada a uma altitude de 39,93m (Wunderground@2020). Esta estação meteorológica foi escolhida por se encontrar localizada numa das ruas em estudo, fornecendo os dados para os parâmetros ambientais da velocidade do vento e da radiação solar que de outra forma não seria possível obter. Os parâmetros são medidos a 10m acima do solo. A precisão para o parâmetro da velocidade do vento é de  $\pm 0,9\text{m/s}$  e a precisão para a radiação solar é de  $\pm 5,0\%$ , conforme informação recolhida junto do

responsável pela estação meteorológica no Departamento de Engenharia Mecânica (DEM). Apesar da distância do solo (10m) ser bastante superior à distância utilizada nos outros dispositivos (1,10m), consideraram-se na mesma elegíveis os valores consultados para o presente caso de estudo uma vez que os dispositivos utilizados para a medição dos restantes parâmetros não forneciam estes dados. Como se está perante duas ruas adjacentes e a estação meteorológica está fixa numa das ruas, assumiu-se que os valores consultados para a velocidade do vento e para a radiação solar, através da estação meteorológica, iriam ser os mesmos para as duas ruas e para os pontos selecionados em cada rua. Os valores da velocidade do vento e da radiação solar foram consultados e retirados do *website* em cima apresentado. Nesta consulta foram retirados os dados referentes aos 15 dias do estudo e aos dois períodos de medição, respetivamente. Perfazendo um total de 180 dados retirados para cada um dos dois parâmetros em consulta.



Figura 3.2 – Estação meteorológica fixa no DEM da Universidade de Coimbra.

O fator de visão do céu foi obtido através de um telemóvel do modelo Samsung Galaxy S20+ com uma lente *fish-eye* acoplada à câmara fotográfica. A câmara foi posicionada na localização da autora em cada uma das 6 Zonas (ver Secção 4.1) a 1,10m acima do solo. As fotografias foram retiradas no período de medição das 13h-14h, de forma a não haver incidência solar direta no obturador da câmara fotográfica. As fotografias foram tiradas da Zona 1 para a Zona 6.

A temperatura radiante média foi obtida através do *software* RayMan Pro (ver Figura 3.3), instalado no computador, com base nos seguintes dados de entrada: parâmetros gerais (data, dia do ano, hora, localização, longitude, latitude, altitude, fuso horário, topografia, obstáculos e o fator de visão do céu), individuais (altura, peso, idade, género, vestuário, nível de atividade e posição) e ambientais (temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e temperatura de superfície). O cálculo da temperatura radiante média está diretamente relacionado com os parâmetros assinalados anteriormente porque sem o valor dos mesmos não seria possível determinar o índice PET.

Os valores do índice PET foram obtidos através do *software* RayMan Pro, que têm como objetivo calcular os índices térmicos para os diferentes climas e regiões com base em parâmetros gerais, individuais e ambientais (Matzarakis, Rutz e Mayer, 2007, 2010):

- parâmetros gerais: data, dia do ano, hora, localização, longitude, latitude, altitude, fuso horário, topografia, obstáculos e o fator de visão do céu;
- parâmetros individuais: altura, peso, idade, género, vestuário, nível de atividade e posição;
- parâmetros ambientais: temperatura do ar, pressão de vapor, humidade relativa, velocidade do vento, cobertura das nuvens, temperatura de superfície, radiação solar e temperatura radiante média.

Os parâmetros recolhidos e consultados foram introduzidos no *software* RayMan Pro, o qual em função dos dados inseridos realiza automaticamente o cálculo dos valores dos parâmetros ambientais da pressão de vapor e da temperatura radiante média, assim como do índice PET. Na Figura 3.3 é possível observar a interface do *software* RayMan Pro para os parâmetros gerais, individuais e ambientais.

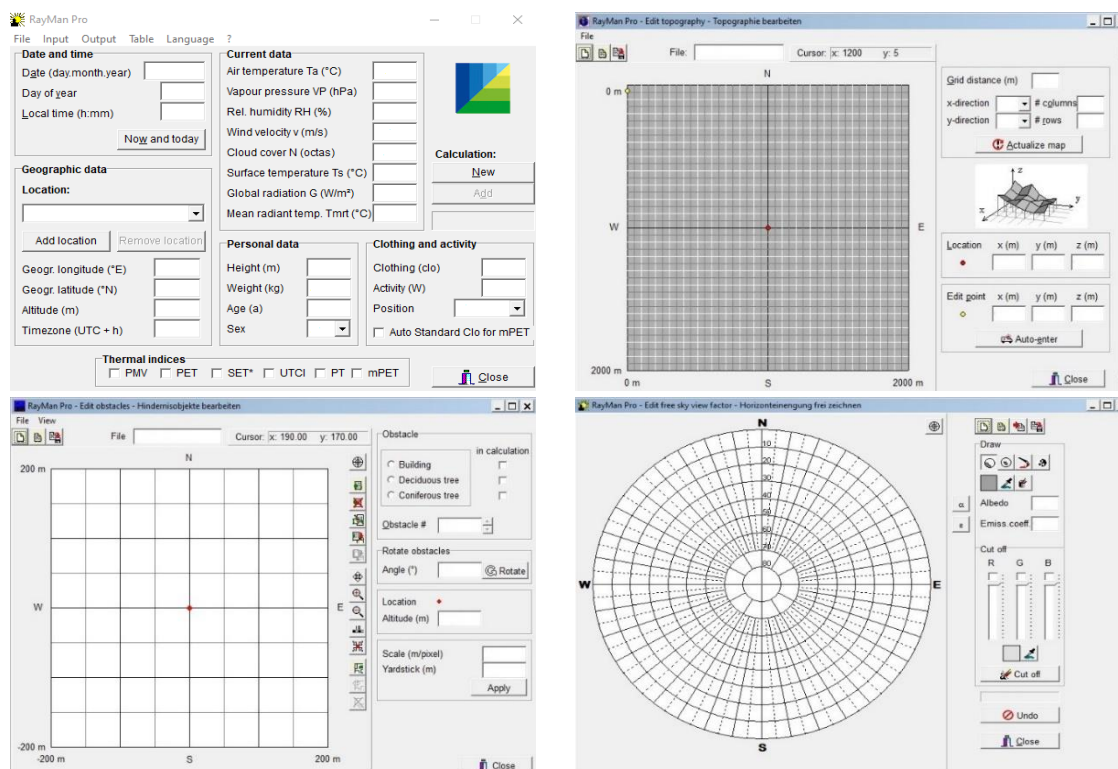


Figura 3.3 – Interface do *software* RayMan Pro para os parâmetros gerais, ambientais e individuais.



Depois de calculado os valores do índice PET, por forma a partilhar e divulgar os resultados obtidos através do *software* RayMan Pro, recorreu-se à aplicação Climate Scan. Para disponibilizar os dados nesta aplicação *online*, é necessário gerar um projeto na aplicação. A criação do novo projeto é realizada através da opção “*New project*”, como se observa na Figura 3.4. Depois de criado, é necessário o preenchimento das características do projeto: título do projeto, categoria, sumário e descrição. Sendo possível ainda proceder à anexação de imagens, vídeos, ficheiros e *links* de *websites*. Por fim e depois de inserir todas as informações, o projeto é adicionado na aplicação por forma a poder ser consultado por diferentes comunidades.

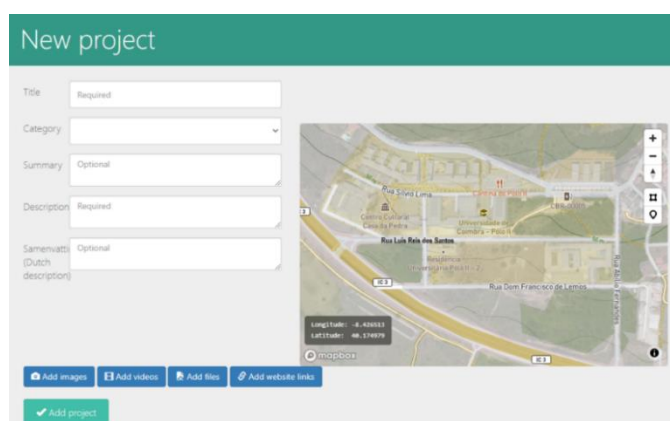


Figura 3.4 – Interface da aplicação Climate Scan: criação de novo projeto.

Os esboços das seis propostas de soluções baseadas na natureza (ver Secção 4.3) obtiveram-se através do *software* SketchUp Pro 2020. A interface do *software* SketchUp Pro 2020 pode ser observada na Figura 3.5.

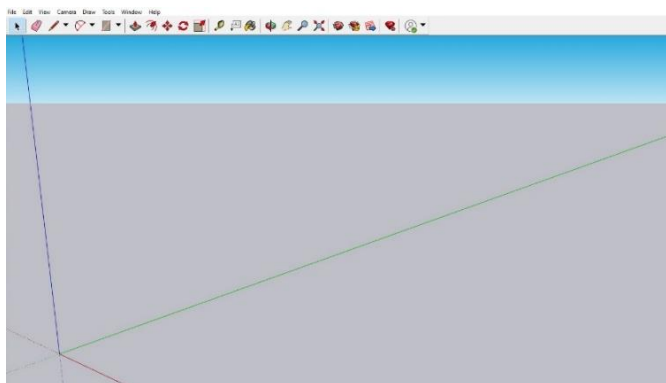


Figura 3.5 – Apresentação da interface do *software* SketchUp Pro 2020.

## 4. Estudo de Caso

Neste capítulo descreve-se o estudo de caso realizado no Campus Universitário Polo II, da Universidade de Coimbra. Para este estudo de caso foram selecionados os parâmetros ambientais mais importantes que influenciam o conforto térmico e que permitem avaliar a existência do fenómeno de *heat stress*: a temperatura do ar, a humidade relativa, a velocidade do vento, a radiação solar, a temperatura radiante média e a temperatura de superfície. São apresentados os levantamentos, recolhas e consultas efetuadas, o resumo dos resultados, a introdução dos resultados na aplicação Climate Scan e por fim são apresentadas propostas de soluções baseadas na natureza para melhorar o conforto térmico e minimizar o risco do fenómeno de *heat stress*.

### 4.1 Campus Universitário Polo II da UC

O estudo de caso desenvolveu-se na cidade de Coimbra, mais especificamente no Campus Universitário Polo II, da UC, elegendo-se duas ruas – a Rua Sílvio Lima e a Rua Luís Reis dos Santos – com o objetivo de medir e avaliar o conforto térmico, e aferir o risco do fenómeno de *heat stress*.

A cidade de Coimbra, integrada na região Centro, situa-se nas coordenadas geográficas 40°12'39,53''N e 8°25'45,16''W, encontrando-se a uma altitude de 98m acima do nível médio do mar. Em Coimbra predominam os invernos chuvosos e os verões secos, mas pouco quentes, isto é, um clima mediterrâneo (IPMA@2020).

A área de estudo insere-se no espaço urbano do Campus Universitário Polo II, da UC, que possui uma área total de aproximadamente 0,76km<sup>2</sup>, e que integra duas Unidades Orgânicas de Ensino e de Investigação: os Departamentos de Engenharia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, bem como a sede desta Faculdade, e o Instituto de Investigação Interdisciplinar. A Universidade disponibiliza ainda, neste espaço, serviços de alimentação e de alojamento.

A fundamentação da escolha das zonas de estudo assentou no levantamento expedito dos diferentes elementos morfológicos que as compõem, nomeadamente: orientação, cor, tipologia e os materiais das edificações existentes, arborização e outra vegetação. A identificação de potenciais áreas de conforto térmico ou de risco do fenómeno de *heat stress* no espaço público ao ar livre, nas duas ruas paralelas, cada uma com aproximadamente 550m de comprimento e assumindo-se como tendo o mesmo subsistema climático urbano – a Rua Sílvio Lima (Figura 4.1) e a Rua Luís Reis dos Santos (Figura 4.2).



Figura 4.1 – Rua Sílvio Lima, Polo II (GoogleMaps@2020).



Figura 4.2 – Rua Luís Reis dos Santos, Polo II (GoogleMaps@2020).

Depois de identificadas as duas ruas em que se pretendeu realizar as medições, foram selecionadas 6 Zonas (4 Zonas na Rua Sílvio Lima e 2 Zonas na Rua Luís Reis dos Santos), com um total de 25 pontos exteriores (ver Quadro 4.1 a Quadro 4.6), distribuídos pela área em estudo. Através do *software* Google Earth foram medidas as cotas das zonas, a partir do eixo da via, e os valores obtidos foram registados nos Quadros acima referidos. As zonas e os pontos exteriores foram definidos tendo em conta as suas características morfológicas, por pertencerem ao espaço público ao ar livre, e por serem pontos de acesso, passagem, e/ou aglomeração de pessoas em diversos horários (ver Figura 4.3).



Figura 4.3 – Distribuição e numeração das zonas definidas no Polo II (GoogleEarth@2020).

Cada uma das 6 Zonas selecionadas estão representadas, respetivamente, da Figura 4.4 à Figura 4.9. Em cada uma das Figuras sinalizou-se a orientação, representada a laranja, e a localização da autora na realização da recolha dos parâmetros ambientais (temperatura do ar e humidade relativa) através de um ponto representado a vermelho, de forma meramente ilustrativa. Estas Figuras são seguidas de uma breve descrição, identificando-se os principais elementos que as caracterizam. Do Quadro 4.1 ao Quadro 4.6, estão representados, respetivamente, os 25 pontos

exteriores definidos, identificando-se a cota, a denominação e o material de revestimento. Os Quadros em cima designados comportam, ainda, uma figura representativa da superfície de cada um dos pontos em análise. Os pontos em análise estão identificados a amarelo, de forma meramente ilustrativa.

- **Zona 1**

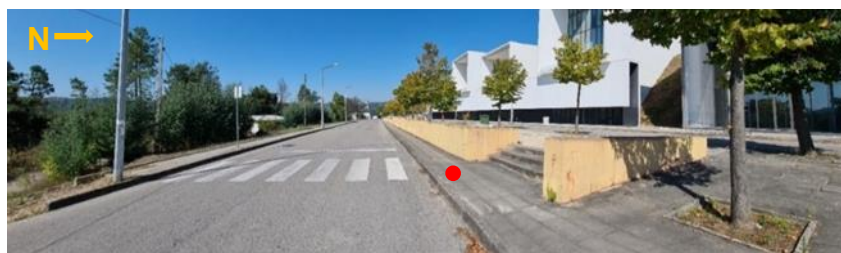





Figura 4.4 – Rua Sílvio Lima: Zona 1.

Na Zona 1, a autora localiza-se nas coordenadas geográficas  $40^{\circ}11'10,30''N$  de latitude e  $8^{\circ}24'42,70''W$  de longitude, encontrando-se a uma altitude média de 55m. A Zona 1 está orientada a Sul e é composta por uma rotunda alongada, com um muro com reboco de cimento, com aproximadamente 0,98m de altura, pintado de cor ocre. A rotunda tem no seu interior, espaçadas ente si, arborização do tipo tília, que é uma espécie de folha caduca, com aproximadamente 8m de altura, com um raio de coroa com aproximadamente 1,7m, apresentando um tronco de aproximadamente 2,4m de altura e 0,6m de diâmetro. A rotunda tem, ainda, um passeio de 1,37m de largura, revestido a lajeta de betão com dimensão 60x30cm e uma faixa de rodagem de sentido único com 7,52m de largura, revestida por uma mistura betuminosa. Do lado esquerdo, identifica-se uma zona composta por arborização diversa (carvalhos, sobreiros, pinheiros e plantas invasoras) que se estende ao longo de 230m, com um passeio de 1,40m de largura revestido também a lajeta de betão com uma dimensão de 60x30cm. É uma Zona de passagem, de acesso e aglomeração, presume-se maioritariamente oriunda do Departamento de Ciências da Terra que tem cerca de 166 alunos, 26 docentes e 3 funcionários técnicos.

Quadro 4.1 – Pontos exteriores assinalados para a Rua Sílvio Lima: Zona 1.

Cota [m]	Ponto exterior	Cor da superfície	Material de revestimento	Figura da superfície
59	Passeio – Lado direito	Cinzenta	Lajeta de betão	
	Faixa de rodagem (passadeira de peões)	Cinzenta	Mistura betuminosa	
	Passeio – Lado esquerdo	Cinzenta	Lajeta de betão	

- **Zona 2**

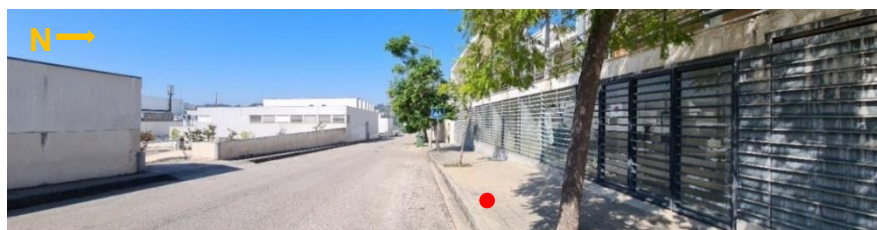






Figura 4.5 – Rua Sílvio Lima: Zona 2.

Na Zona 2, a autora localiza-se nas coordenadas geográficas 40°11'10,34''N de latitude e 8°24'52,57''W de longitude, encontrando-se a uma altitude média de 54m. A Zona 2 é composta pelo edifício referente ao complexo alimentar do Polo II (cantina), com fachada a Sul, construída entre 1991 e 1996, com 20 funcionários. A entrada da cantina é composta por um vidro simples com caixilharia de ferro fundido de cor cinzenta e a fachada com 81,6m de comprimento e 8,3m de altura, de cor branca, com zonas envidraçadas e caixilharia em ferro fundido de cor cinzenta. No lado direito tem um passeio com largura de 5m que se estende durante 47m, revestido por lajeta de betão com dimensão 60x30cm, que é reduzido para 3,1m com a reentrância de um estacionamento e tem uma arborização de jacarandás, espaçadas entre si ao longo de cerca de 190m. A jacarandá é uma espécie de folha perene e, nesta zona, apresenta aproximadamente 8,5m de altura, com um raio de coroa com aproximadamente 1,9m, um tronco de aproximadamente 2,5m de altura e 0,7m de diâmetro. O muro que se segue à fachada da cantina prolonga-se pela rua e é revestido por painéis de pedra, de cor bege, com dimensão 90x40cm. Do lado esquerdo, com a continuidade do passeio descrito na Zona 1, é possível observar a fachada Sul do edifício do DEC, com 160m de comprimento, revestido com sistema de ETICS, caracterizado por ser um revestimento delgado com isolamento pelo exterior e com

painéis de pedra colados na parte inferior com dimensões 85x50cm, de cor bege. A faixa de rodagem, revestida a mistura betuminosa, tem 2 sentidos, com 7,5m de largura prolongando-se até ao final da Rua Sílvio Lima. É uma Zona, essencialmente, de passagem, acesso e aglomeração de alunos, docentes e funcionários que frequentem a cantina, oriundos dos diferentes departamentos de ensino.

Quadro 4.2 – Pontos exteriores assinalados para a Rua Sílvio Lima: Zona 2.

Cota [m]	Ponto exterior	Cor da superfície	Material de revestimento	Figura da superfície
57	Porta Entrada – Cantina	Cinzenta	Porta de vidro simples em caixilharia de ferro	
	Passeio – Lado direito	Cinzenta	Lajeta de betão	
	Faixa de Rodagem	Cinzenta	Mistura betuminosa	
	Passeio – Lado esquerdo	Cinzenta	Lajeta de betão	

- **Zona 3**







Figura 4.6 – Rua Sílvio Lima: Zona 3.

Na Zona 3, a autora localiza-se nas coordenadas geográficas 40°11'10,29''N de latitude e 8°24'58,05''W de longitude, encontrando-se a uma altitude média de 47m. A Zona 3 é composta pela fachada a Sul do Departamento de Engenharia Informática (DEI), construído em 1994, com 97m de comprimento e 26,2m de altura, e pelo Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (DEEC), construído entre 1994 e 1996, que apresenta uma fachada Sul com 154m de comprimento e 26,2m de altura. Ambos os edifícios são de cor

branca, com grandes janelas envidraçadas e encimadas por palas que permitem criar sombras sobre a fachada. Quer a porta de entrada do DEI, como a do DEEC são compostas por vidro simples, com caixilharia em alumínio branco. Entre os dois departamentos surge uma escadaria de 153 degraus, revestida na sua maior parte a lajeta de betão de 60x30cm, com 28m de largura. Em seguida, surge um muro de 31m de comprimento pintado de cor bege, pertencente ao DEEC. No final dos 31m temos uma reentrância com 35m de comprimento com uma escadaria de 9 degraus revestidos a lajeta de betão 60x30cm. O edifício do DEEC prolonga-se ao longo de 67m seguido de reentrância de 25m que dá acesso ao parque de estacionamento. O passeio adjacente a estes dois departamentos tem 5,4m de largura, com árvores do tipo jacarandá espaçadas entre si. O DEI tem cerca de 1330 alunos, 75 docentes e 7 funcionários técnicos e o DEEC tem cerca de 733 alunos, 43 docentes e 7 funcionários técnicos.

Quadro 4.3 – Pontos exteriores assinalados para a Rua Sílvio Lima: Zona 3.

Cota [m]	Ponto exterior	Cor da superfície	Material de revestimento	Figura da superfície
52	Porta Entrada – DEI	Branca	Porta de vidro simples em caixilharia de alumínio	
	Porta Entrada – DEEC	Branca	Porta de vidro simples em caixilharia de alumínio	
	Passeio – Lado direito	Cinzenta	Lajeta de betão	
	Faixa de rodagem	Cinzenta	Mistura betuminosa	

- **Zona 4**

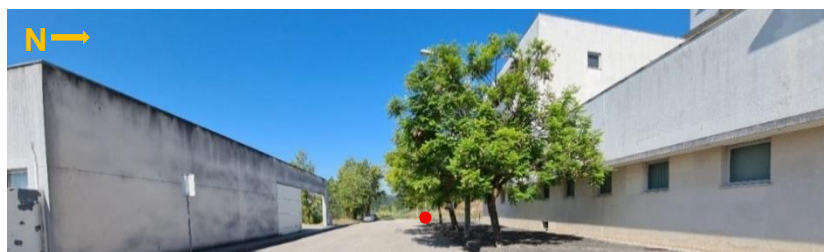

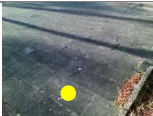




Figura 4.7 – Rua Sílvio Lima: Zona 4.

Na Zona 4, a autora localiza-se nas coordenadas geográficas 40°11'11,19''N de latitude e 8°25'4,02''W de longitude, encontrando-se a uma altitude média de 43m. A Zona 4 é composta pelo Departamento de Engenharia Química (DEQ), construído em 1998, com fachada a Norte, com 82m de comprimento e 5,2m de altura, com um revestimento composto por lajetas de betão combinado com um revestimento de reboco térmico pelo exterior (ETICS), pintada de cor branca. A porta de entrada para este departamento é composta por vidro duplo com caixilharia em alumínio branco. É composta por um passeio com 1,4m de largura revestido por lajeta de betão com dimensão 60x30cm, uma faixa de rodagem de 2 sentidos com 9,4m de largura revestido a mistura betuminosa, e ainda um passeio com 5,7m de largura revestido por lajeta de betão com dimensão 60x30cm, com arborização do tipo jacarandá espaçado entre si, com as características similares às apresentadas na Zona 2. Este departamento tem cerca de 350 alunos, 28 docentes e 6 funcionários técnicos.

Quadro 4.4 – Pontos exteriores assinalados para a Rua Sílvio Lima: Zona 4.

Cota [m]	Ponto exterior	Cor da superfície	Material de revestimento	Figura da superfície
47	Porta Entrada – DEQ	Branca	Porta de vidro duplo em caixilharia de alumínio	
	Passeio – Lado direito	Cinzenta	Lajeta de betão	
	Faixa de rodagem	Cinzenta	Mistura betuminosa	
	Passeio – Lado esquerdo	Cinzenta	Lajeta de betão	

- **Zona 5**



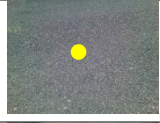



Figura 4.8 – Rua Luís Reis dos Santos: Zona 5.



Na Zona 5, a autora localiza-se nas coordenadas geográficas 40°11'7,18''N de latitude e 8°24'44,49''W de longitude, encontrando-se a uma altitude média de 42m. A Zona 5 é composta pelo Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), construído entre 1994 e 1995, com fachada a Norte, com 143,5m de comprimento e 7,1m de altura, pintada de cor branca, revestida a lajeta bujardada de cor amarelo real com dimensões 75x60cm na parte inferior, tem um passeio adjacente de 3,8m de largura revestido por lajeta de betão com dimensão 60x30cm e uma arborização espaçada do tipo castanheiro da Índia, que é uma espécie de folha caduca, com aproximadamente 6,5m de altura, com um raio de coroa com aproximadamente 1,9m, apresentando um tronco de aproximadamente 1,6m de altura e 0,7m de diâmetro. A porta de entrada para o DEM é composta por um gradeamento em ferro de cor cinzento claro. A faixa de rodagem tem 2 sentidos, com 10,5m de largura e é revestida por uma mistura betuminosa, o passeio contrário tem 3,8m de largura, revestido por lajeta de betão com dimensão 60x30cm, com arborização espaçada do tipo castanheiro da Índia, e partilhando ainda, uma arborização diversa típica da Zona 1 (carvalhos, sobreiros, pinheiros e plantas invasoras). Este departamento tem cerca de 1115 alunos, 55 docentes e 7 funcionários técnicos.

Quadro 4.5 – Pontos exteriores assinalados para a Rua Luís Reis dos Santos: Zona 5.

<b>Cota [m]</b>	<b>Ponto exterior</b>	<b>Cor da superfície</b>	<b>Material de revestimento</b>	<b>Figura da superfície</b>
<b>47</b>	Porta Entrada – DEM	Cinzenta	Gradeamento em ferro	
	Passeio – Lado direito	Cinzenta	Lajeta de betão	
	Faixa de rodagem	Cinzenta	Mistura betuminosa	
	Passeio – Lado esquerdo	Cinzenta	Lajeta de betão	

- **Zona 6**

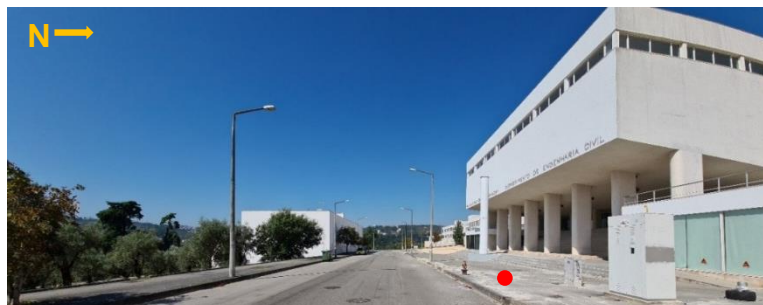


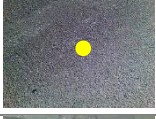




Figura 4.9 – Rua Luís Reis dos Santos: Zona 6.

Na Zona 6, a autora localiza-se nas coordenadas geográficas  $40^{\circ}11'8,40''$ N de latitude e  $8^{\circ}24'54,44''$ W de longitude, encontrando-se a uma altitude média de 39m. A Zona 6 é composta pelo Departamento de Engenharia Civil (DEC), construído em 1999, com fachada a Sul, com 50m de comprimento e 13,8m de altura. As fachadas deste edifício têm um revestimento de reboco térmico pelo exterior (ETICS), de cor branca, e têm partes revestidas com painéis de pedra colada de cor bege. Tem um pilar decorativo com 7m de altura, de cor branca, uma escadaria de 29 degraus, revestida a pedra colada de cor bege e duas zonas descampadas com aproximadamente 54m de comprimento, de terra batida com pedra gravilha calcária. A porta de entrada para o DEC é composta por vidro duplo com caixilharia em ferro, de cor branca. Este departamento tem 681 alunos, 84 docentes e 10 funcionários técnicos. Na área do departamento observa-se ainda uma cafetaria, onde trabalham 3 funcionários, com uma fachada frontal envidraçada, composta por vidro duplo com caixilharia em ferro, de cor branca, com aproximadamente 9m de comprimento e o gabinete da vice-reitoria para a inovação e empreendedorismo, com 10 colaboradores, com uma fachada frontal envidraçada, composta por um vidro duplo com caixilharia em alumínio de cor cinzenta, de aproximadamente 9m. A zona da cafetaria e do gabinete da vice-reitoria são pontos de acesso, passagem e aglomeração de muitos estudantes, docentes e funcionários, não só pertencentes ao DEC, mas oriundos de outros departamentos, sendo por isso espaços com utilização elevada. O passeio tem 3,8m de largura, revestido por lajeta de betão com dimensão 60x30cm, não possuindo vegetação. Do lado esquerdo é possível observar durante 180m uma zona de vegetação e arborização composta por oliveiras e vegetação rasteira diversa.

Quadro 4.6 – Pontos exteriores assinalados para a Rua Luís Reis dos Santos: Zona 6.

Cota [m]	Ponto exterior	Cor da superfície	Material de revestimento	Figura da superfície
42	Porta Entrada – DEC	Branca	Porta de vidro duplo em caixilharia de ferro	
	Passeio – Lado direito	Cinzenta	Lajeta de betão	
	Faixa de rodagem	Cinzenta	Mistura betuminosa	
	Passeio – Lado esquerdo	Cinzenta	Lajeta de betão	
	Fachada Cafetaria	Branca	Janela de vidro duplo em caixilharia de ferro	
	Fachada Gabinete da vice-reitoria para a inovação e empreendedorismo	Cinzenta	Janela vidro duplo em caixilharia de alumínio	

## 4.2 Descrição de Resultados

Na presente secção é apresentada a descrição e classificação dos resultados das séries temporais para os parâmetros ambientais: temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e temperatura de superfície. Apresenta-se, ainda, uma descrição estatística básica para os seguintes parâmetros ambientais: temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento e radiação solar. Não foi realizada a descrição estatística básica para o parâmetro ambiental da temperatura de superfície uma vez que a medição dos outros parâmetros é realizada em Zonas, enquanto que a medição da temperatura de superfície corresponde a valores obtidos em pontos, em cada uma das Zonas.

Importa referir que por se tratar de um levantamento expedito para a obtenção dos parâmetros ambientais (temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e temperatura de superfície) vai existir alguma incerteza dos resultados apresentados. Esta incerteza advém da calibração inicial de cada *hardware* utilizado ao longo dos 15 dias (1 a 15 de agosto de 2020), da ordem de medição das 6 Zonas (Zona 1 para a Zona 6), uma vez que a

ordem influencia os resultados de medição e por fim, dos períodos de medição efetuados (13h-14h e das 19h-20h), uma vez que as condições atmosféricas variam ao longo do dia e das semanas. No entanto, ressalva-se que durante os 15 dias foram tomadas todas as precauções possíveis com vista ao não comprometimento dos resultados apresentados em seguida.

### 4.2.1 Temperatura do Ar

O parâmetro da temperatura do ar foi recolhido através de sensores portáteis com *data logger* e a classificação foi definida com base no Quadro 2.1 (ver Subsecção 2.2.2), apresentada da seguinte forma:

- 23°C a 25°C – Ótimo;
- 25°C a 28°C – Levemente quente;
- 28°C a 31°C – Quente;
- 31°C a 35°C – Muito quente.

Os valores obtidos no parâmetro da temperatura do ar, nas 4 Zonas, na Rua Sílvio Lima podem ser observados na Figura 4.10 e os valores obtidos nas 2 Zonas, na Rua Luís Reis dos Santos podem ser observados na Figura 4.11.

Nas 4 Zonas da Rua Sílvio Lima, para os dois períodos de medição, observa-se o seguinte:

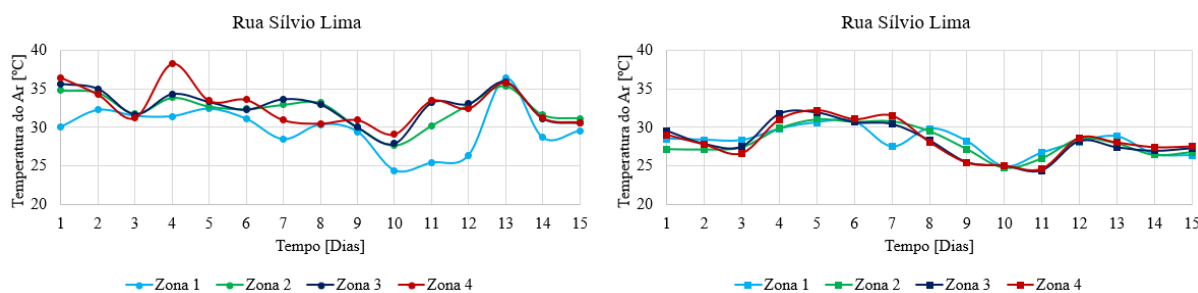


Figura 4.10 – Dados recolhidos para a temperatura do ar, na Rua Sílvio Lima, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente.

O período das 13h-14h é o que apresenta um maior número de valores superiores a 31°C (44 valores superiores e 16 valores inferiores), nas 4 Zonas. A Zona 1 é a que apresenta níveis mais baixos de temperatura do ar (9 valores inferiores a 31°C). A Zona 2 ocupa um papel intermédio com apenas 3 valores inferiores a 31°C. As Zonas 3 e 4 apresentam os níveis mais altos de temperatura do ar (13 valores superiores a 31°C). Sendo que a Zona 4 apresenta visivelmente os valores mais altos ao longo dos 15 dias. Para o período das 19h-20h nas 4 Zonas, o número de valores superiores a 31°C é menor, existindo apenas 12 valores superiores a 31°C,

independentemente do tipo de Zona que se considere. Observa-se ainda que a variação da temperatura do ar, entre cada uma das 4 Zonas em análise, é maior no período das 13h-14h, do que no período das 19h-20h.

Nas 2 Zonas da Rua Luís Reis dos Santos, para os dois períodos de medição, observa-se o seguinte:

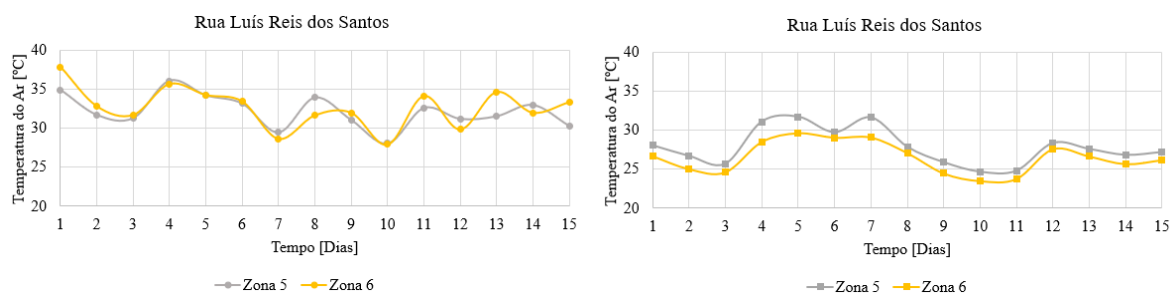


Figura 4.11 – Dados recolhidos para a temperatura do ar, na Rua Luís Reis dos Santos, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente.

O período das 13h-14h é o que apresenta um maior número de valores superiores a 31°C (24 valores superiores e 6 valores inferiores), nas duas Zonas. Para o período das 19h-20h, o número de valores superiores a 31°C é escasso (3 valores superiores). Estes três valores superiores ocorrem apenas para a Zona 5. A Zona 6 não apresenta nenhum valor acima dos 31°C. Comparando entre os dois períodos, e apesar de ambas as Zonas apresentarem 24 valores superiores a 31°C, verifica-se que, dentro desse intervalo de valores, a Zona 6 apresenta valores mais elevados do que a Zona 5 no período das 13h-14h. Este comportamento altera-se totalmente para o período das 19h-20h, em que a Zona 5 apresenta valores mais elevados do que a Zona 6.

Comparando entre as duas ruas, importa assinalar que as temperaturas mais altas em cada uma das 6 Zonas ocorrem sempre no período das 13h-14h (68 valores superiores a 31°C e 22 valores inferiores a 31°C). Embora as Zonas 5 e 6 tenham um comportamento menos variável do que as Zonas 1 a 4, em torno do valor de 31°C, para o período das 19h-20h as Zonas 5 e 6 revelam-se bastante menos aquecidas do que as Zonas 1 a 4.

O Quadro 4.7 apresenta uma descrição estatística para o parâmetro ambiental da temperatura do ar.

Quadro 4.7 – Descrição estatística do parâmetro ambiental: temperatura do ar [°C].

	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>	<b>Zona 5</b>	<b>Zona 6</b>
<b>Mínimo</b>	24,39	24,75	24,39	24,61	24,67	23,51
<b>Média</b>	29,03	30,22	30,45	30,53	29,99	29,57
<b>Máximo</b>	36,36	35,40	35,93	38,28	36,04	37,81
<b>Mediana</b>	29,19	30,07	30,45	30,23	29,63	29,72
<b>Desvio Padrão</b>	2,33	1,99	2,27	2,47	2,21	2,29

Ao observar o Quadro 4.7 referente à temperatura do ar e tendo em conta a classificação do Quadro 2.1 (ver Subsecção 2.2.2), observa-se que:

- os valores mínimos obtidos, apresentam valores entre os 23,51°C e os 24,75°C, classificando as 6 Zonas com um nível de conforto térmico “Ótimo”;
- os valores médios obtidos, apresentam valores entre os 29,03°C e os 30,53°C, classificando as 6 Zonas com um nível de conforto térmico “Quente”;
- os valores máximos obtidos, apresentam valores entre os 35,40°C e os 38,28°C, classificando as 6 Zonas com um nível de conforto térmico “Muito quente”;
- a mediana apresenta valores entre os 29,19°C e os 30,45°C, classificando as 6 Zonas com um nível de conforto térmico “Quente”;
- o desvio padrão apresenta valores baixos, indicando que os valores da amostra não se afastam muito dos valores da média.

#### 4.2.2 Humidade Relativa

O parâmetro da humidade relativa foi recolhido através de sensores portáteis com *data logger* e a classificação foi definida com base no Quadro 2.3, (ver Subsecção 2.2.2), apresentada da seguinte forma:

- <20% – Muito seca;
- 20% a 30% – Seca;
- 30% a 70% – Média;
- >70%. – Húmida.

Os valores obtidos do parâmetro da humidade relativa, nas 4 Zonas, na Rua Sílvio Lima podem ser observados na Figura 4.12 e os valores obtidos, nas 2 Zonas, na Rua Luís Reis dos Santos podem ser observados na Figura 4.13.

Nas 4 Zonas da Rua Sílvio Lima, para os dois períodos de medição, observa-se o seguinte:

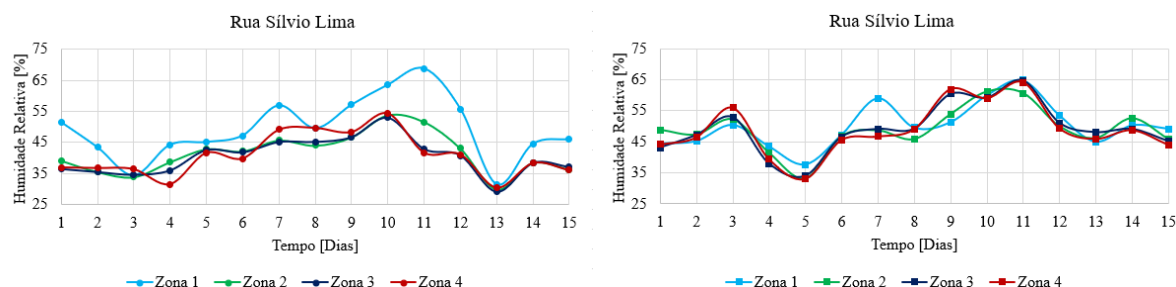


Figura 4.12 – Dados recolhidos para a humidade relativa, na Rua Sílvio Lima, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente.

No período das 13h-14h, 28 valores estão no intervalo entre 30% a 70% de humidade relativa, e apenas 2 valores estão no intervalo de 20% a 30%. A Zona 1 é a que apresenta os valores maiores mais altos de humidade relativa, com valores entre 31,45% e 68,72% em comparação com as restantes Zonas (2,3 e 4). A Zona 2 apresenta valores entre os 29,85% e os 53,78%. A Zona 3 apresenta valores entre os 28,98% e os 52,92%. A Zona 4 apresenta valores entre 30,33% e os 54,37%. No período das 19h-20h, na maior parte dos dias os valores de humidade relativa de todas as Zonas estiveram muito próximos, exceto no 7º dia em que a Zona 1 obteve um valor de 59,07%. Comparando entre os dois períodos, verifica-se que a Zona 1 é a que apresenta os valores mais altos para a humidade relativa, em qualquer um dos períodos de tempo considerados (22 valores superiores em relação às restantes Zonas). A análise dos dados permite ainda afirmar que a humidade relativa é sempre menor no período das 13h-14h do que no período das 19h-20h, com exceção do dia 11 na Zona 1 que apresenta 68,72% no período das 13h-14h.

Nas 2 Zonas da Rua Luís Reis dos Santos, para os dois períodos de medição, observa-se o seguinte:

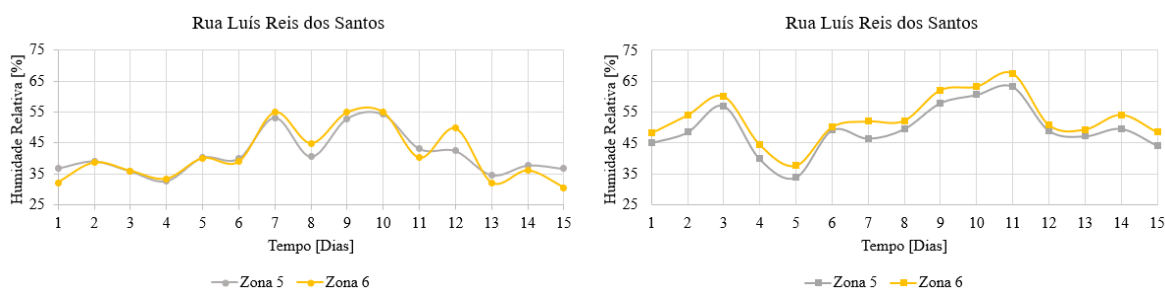


Figura 4.13 – Dados recolhidos para a humidade relativa, na Rua Luís Reis dos Santos, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente.

No período das 13h-14h, as Zonas 5 e 6 apresentam percentagens de humidade relativa muito próximas, o total de medições, 30, encontram-se no intervalo entre 30% a 70% de humidade relativa. A Zona 5 apresenta valores entre os 32,67% e os 54,22%. A Zona 6 apresenta valores entre os 30,51% e os 55,03%. No período das 19h-20h, a Zona 5 apresenta sempre valores mais baixos do que a Zona 6.

Comparando entre as duas ruas, importa assinalar que as percentagens mais altas de humidade relativa são relativamente estáveis em todas as 6 Zonas com exceção da Zona 1 que tem um pico no 11º dia no período das 13h-14h.

O Quadro 4.8 apresenta uma descrição estatística para o parâmetro ambiental da humidade relativa.

Quadro 4.8 – Descrição estatística do parâmetro ambiental: humidade relativa [%].

	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>	<b>Zona 5</b>	<b>Zona 6</b>
<b>Mínimo</b>	31,45	29,85	28,98	30,33	32,67	30,51
<b>Média</b>	49,66	45,17	44,71	44,84	45,30	47,07
<b>Máximo</b>	68,72	61,09	64,78	64,15	63,27	67,53
<b>Mediana</b>	48,35	45,37	44,92	43,25	44,49	45,44
<b>Desvio Padrão</b>	8,55	6,71	7,01	7,62	7,31	8,23

Ao observar o Quadro 4.8, referente à humidade relativa e tendo em conta a classificação do Quadro 2.3 (ver Subsecção 2.2.2), observa-se que:

- os valores mínimos obtidos, apresentam valores entre os 24,75% e os 32,67%, classificando as Zonas 2 e 3 com a condição “Seca” e as Zonas 1,4,5 e 6 com a condição “Média”;
- os valores médios obtidos, apresentam valores entre os 30,22% e os 49,66%, classificando as 6 Zonas com a condição “Média”;
- os valores máximos obtidos, apresentam valores entre os 35,40% e os 68,72%, classificando as 6 Zonas com a condição “Húmida”;
- a mediana, apresenta valores entre os 43,25°C e os 48,35°C, classificando as 6 Zonas com a condição “Média”;
- o desvio padrão apresenta um valor elevado, indicando que os valores da amostra se afastam muito dos valores da média.



### 4.2.3 Velocidade do Vento

O parâmetro da velocidade do vento foi lido através da estação meteorológica que se encontra fixa no DEM, os seus resultados foram retirados do *website* e usados para as duas ruas. Consultados estes valores, foram colocados em forma de séries temporais no Excel. A classificação do vento foi definida com base no Quadro 2.4, (ver Subsecção 2.2.2), apresentada da seguinte forma:

- <4,16m/s – Fraco;
- 4,16m/s a 9,72m/s – Moderado;
- 9,72m/s a 15,27 – Forte;
- 15,27m/s a 20,83m/s – Muto forte;
- >20,83m/s – Exceccionalmente forte.

Os valores do parâmetro da velocidade do vento registados no *website* da estação meteorológica fixa foram considerados como elegíveis para as 6 zonas das duas ruas em estudo (ver Secção 3.4), pelo que a partir daqui serão esses os valores utilizados para a análise das séries temporais e para a descrição estatística. Os valores considerados para as 4 Zonas da Rua Sílvia Lima podem ser observados na Figura 4.14 e os valores considerados para as 2 Zonas da Rua Luís Reis dos Santos podem ser observados na Figura 4.15.

Nas 4 Zonas da Rua Sílvia Lima, para os dois períodos de leitura, observa-se o seguinte:

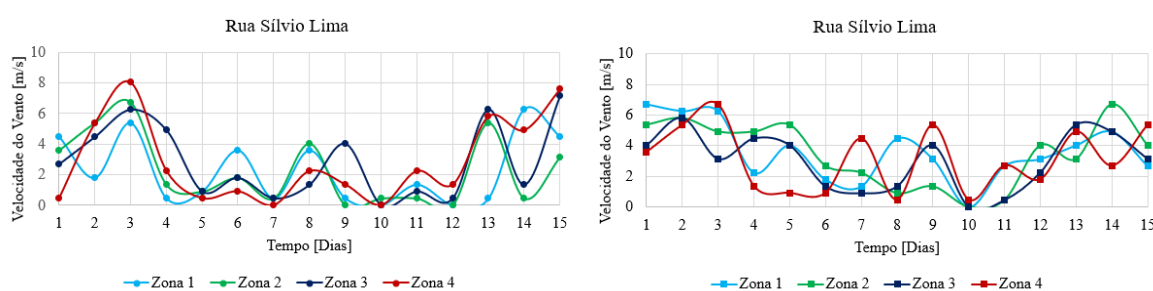


Figura 4.14 – Dados consultados para a velocidade do vento, na Rua Sílvia Lima, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente (Wunderground@2020).

No período das 13h-14h, nas 4 Zonas, são apresentados 43 valores inferiores a 4,16m/s e 17 valores superiores a 4,16m/s. O dia que apresenta, em conjunto, os valores mais altos é o 3º dia, em que a Zona 1 apresenta 5,37m/s, a Zona 2 apresenta 6,71m/s, a Zona 3 apresenta 6,26m/s e a Zona 4 apresenta o maior valor registado nos 15 dias com 8,1m/s. No período das 19h-20h, são apresentados 39 valores inferiores a 4,16m/s e 21 valores superiores a 4,16m/s. O dia que

apresenta, em conjunto, os valores mais altos apresentados é o 2º dia em que a Zona 1 apresenta 6,26m/s, a Zona 2 apresenta 5,81m/s, a Zona 3 apresenta 5,81m/s e a Zona 4 apresenta 5,37m/s.

Nas 2 Zonas da Rua Luís Reis dos Santos, para os dois períodos de leitura, observa-se o seguinte:

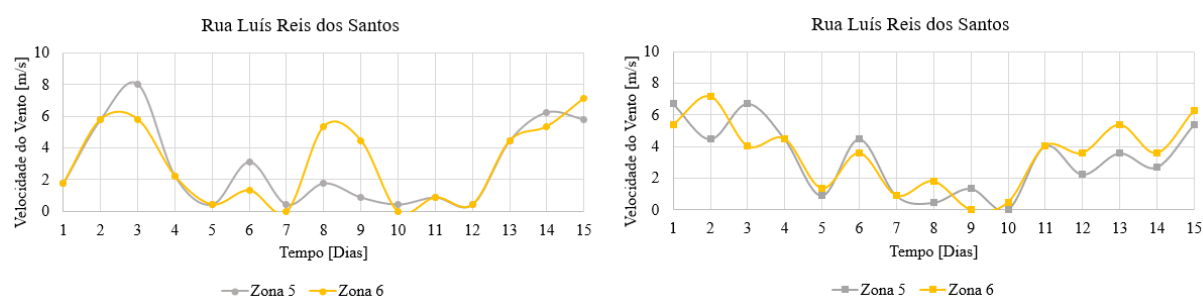


Figura 4.15 – Dados consultados para a velocidade do vento, na Rua Luís Reis dos Santos, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente (Wunderground@, 2020).

No período das 13h-14h, são apresentados 18 valores inferiores a 4,16m/s e 12 valores superiores a 4,16m/s. No 3º dia a Zona 5 apresenta 8,05m/s e a Zona 6 apresenta 5,81m/s. A Zona 6 apresenta maiores variações nos valores da velocidade do vento, sendo que a sua maior diferença, comparativamente com a Zona 5, ocorre no 8º dia, em que a Zona 5 apresenta 1,79m/s e a Zona 6 apresenta 5,37m/s. No período das 19h-20h, são apresentados 19 valores inferiores a 4,16m/s e 11 valores superiores a 4,16m/s. Os valores lidos nas Zonas 5 e 6 não apresentam diferenças de valor significativas entre si embora, com exceção do 2º dia, em que a Zona 5 apresenta o valor de 4,47m/s e a Zona 6 apresenta 7,15m/s.

Não é realizada a comparação das duas ruas e para os dois períodos de observação uma vez que os valores utilizados para esta análise foram consultados através da estação meteorológica que se encontra fixa na Rua Luís Reis dos Santos.

O Quadro 4.9 apresenta uma descrição estatística para o parâmetro ambiental da velocidade do vento.

Quadro 4.9 – Descrição estatística do parâmetro ambiental: velocidade do vento [m/s].

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Média</b>	2,91	2,86	2,94	3,00	3,13	3,25
<b>Máximo</b>	6,71	6,71	7,15	8,05	8,05	7,15
<b>Mediana</b>	2,24	2,68	2,46	2,46	2,68	2,91
<b>Desvio Padrão</b>	2,04	2,18	2,15	2,44	2,39	2,34

Ao observar o Quadro 4.9, referente à velocidade do vento e tendo em conta a classificação do Quadro 2.4 (ver Subsecção 2.2.2), observa-se que:

- os valores mínimos obtidos, apresentam valores todos nulos, não existindo vento nas 6 Zonas;
- os valores médios obtidos, apresentam valores entre os 2,86m/s e os 3,25m/s, classificando as 6 Zonas com “Vento fraco”;
- os valores máximos obtidos, apresentam valores entre os 6,71m/s e os 8,05m/s, classificando as 6 Zonas com “Vento moderado”;
- a mediana apresenta valores entre os 2,24m/s e os 2,91m/s, classificando as 6 Zonas com “Vento fraco”;
- o desvio padrão apresenta valores baixos, indicando que os valores da amostra não se afastam muito dos valores da média.

#### 4.2.4 Radiação Solar

O parâmetro da radiação solar foi lido através da estação meteorológica que se encontra fixa no DEM, os seus resultados foram retirados do *website* e usados para as duas ruas. Esses valores foram colocados em forma de séries temporais no Excel. Para a obtenção das categorias de condição para a radiação solar a classificação definida com base no Quadro 2.5, (ver Subsecção 2.2.2), é apresentada da seguinte forma:

- $<100\text{W/m}^2$  – Baixa;
- $100\text{W/m}^2$  a  $400\text{W/m}^2$  – Média;
- $400\text{W/m}^2$  a  $800\text{W/m}^2$  – Média alta;
- $>800\text{W/m}^2$  – Alta.

Os valores do parâmetro da radiação solar foram retirados da estação meteorológica, que se encontra fixa no DEM, e os seus resultados, foram considerados como elegíveis para as 6 Zonas das duas ruas em estudo (ver Secção 3.4), pelo que serão esses os valores utilizados para a análise das séries temporais e para a descrição estatística. Os valores do parâmetro da radiação solar nas 4 Zonas da Rua Sílvio Lima podem ser observados na Figura 4.16 e os valores nas 2 Zonas da Rua Luís Reis dos Santos podem ser observados na Figura 4.17.

Nas 4 Zonas da Rua Sílvio Lima, para os dois períodos de leitura, observa-se o seguinte:

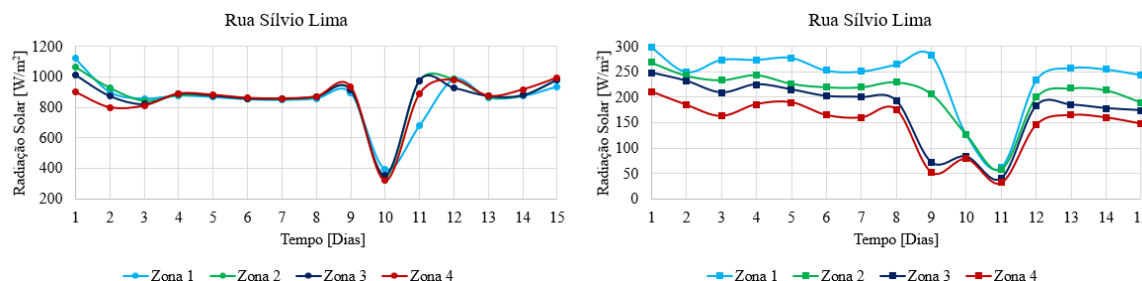


Figura 4.16 – Dados consultados para a radiação solar, na Rua Sílvio Lima, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente (Wunderground@2020).

No período das 13h-14h, são apresentados 55 valores superiores a  $800\text{W/m}^2$ , são apresentados 4 valores inferiores a  $400\text{W/m}^2$  e é apresentado 1 valor no intervalo de  $100\text{W/m}^2$  a  $400\text{W/m}^2$ . Ao analisar a Figura 4.16 observa-se que os valores nas 4 Zonas vão-se mantendo constantes verificando-se uma quebra acentuada, registada no 10º dia de leitura em que a Zona 1 apresenta um valor de  $392\text{W/m}^2$ , a Zona 2 apresenta um valor de  $343\text{W/m}^2$ , a Zona 3 apresenta um valor de  $357\text{W/m}^2$  e a Zona 4 apresenta um valor de  $322\text{W/m}^2$ . No período das 19h-20h são apresentados 52 valores inferiores a  $400\text{W/m}^2$  e são apresentados 8 valores inferiores a  $100\text{W/m}^2$ . No 11º dia as 4 Zonas apresentam os valores mais baixos, em que a Zona 1 apresenta  $62\text{W/m}^2$ , a Zona 2 apresenta  $58\text{W/m}^2$ , a Zona 3 apresenta  $40\text{W/m}^2$  e a Zona 4 apresenta  $32\text{W/m}^2$ .

Nas 2 Zonas da Rua Luís Reis dos Santos, para os dois períodos de leitura, observa-se o seguinte:

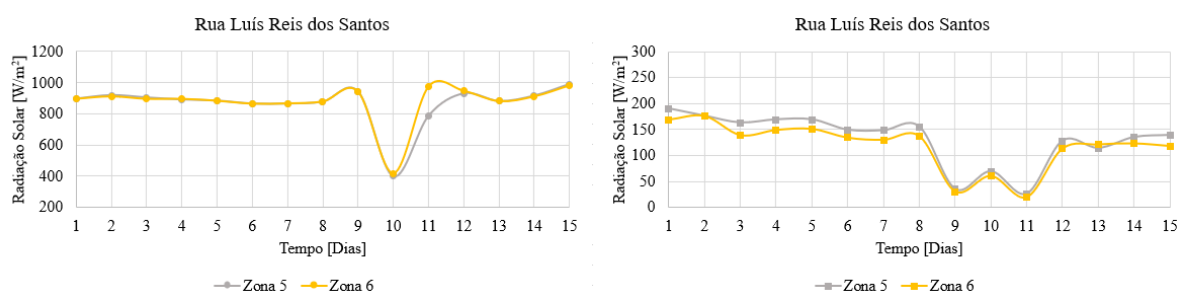


Figura 4.17 – Dados recolhidos para a radiação solar, na Rua Luís Reis dos Santos, no período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), durante 15 dias, respetivamente (Wunderground@2020).

No período das 13h-14h, são apresentados 27 valores superiores a  $800\text{W/m}^2$  e são apresentados 3 valores inferiores, no intervalo de  $400\text{W/m}^2$  a  $800\text{W/m}^2$ . No período das 13h-14h, as Zonas 5 e 6 apresentam valores de radiação solar muito próximos entre os dias 1 e 8. Observa-se uma quebra nos resultados do 10º dia, em que a Zona 5 apresenta  $401\text{W/m}^2$  e a Zona 6 apresenta  $417\text{W/m}^2$ . No período das 19h-20h, são apresentados 24 valores superiores a  $100\text{W/m}^2$  e 6 valores inferiores a  $100\text{W/m}^2$ . Observa-se que, para este período, não há diferenças substanciais de valores entre a Zona 5 (oscilam entre os  $26\text{W/m}^2$  e os  $190\text{W/m}^2$ ) e a Zona 6 (oscilam entre os  $19\text{W/m}^2$  e  $176\text{W/m}^2$ ). Observa-se ainda uma quebra nos resultados no 9º dia, em que a Zona 5 apresenta  $35\text{W/m}^2$  e a Zona 6 apresenta  $30\text{W/m}^2$  e no 11º dia em que a Zona 5 apresenta  $26\text{W/m}^2$  e a Zona 6 apresenta  $19\text{W/m}^2$ .

A comparação das duas ruas, e para os dois períodos de observação da radiação solar, não resulta pertinente na medida em que são usados os mesmos valores para as duas ruas e nos mesmos períodos, porque o equipamento utilizado foi a estação meteorológica que se encontra fixa na Rua Luís Reis dos Santos.

O Quadro 4.10 apresenta uma descrição estatística para o parâmetro ambiental da radiação solar.

Quadro 4.10 – Descrição estatística do parâmetro ambiental: radiação solar [ $\text{W/m}^2$ ].

	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>	<b>Zona 5</b>	<b>Zona 6</b>
<b>Mínimo</b>	62,00	58,00	40,00	32,00	26,00	19,00
<b>Média</b>	547,33	541,03	520,27	499,87	503,93	497,40
<b>Máximo</b>	1121,00	1067,00	1013,00	993,00	990,00	983,00
<b>Mediana</b>	561,50	549,50	535,00	522,00	519,50	513,00
<b>Desvio Padrão</b>	109,82	106,06	105,81	103,76	92,69	89,44

Ao observar o Quadro 4.10, referente à radiação solar vento e tendo em conta a classificação do Quadro 2.5 (ver Subsecção 2.2.2), observa-se que:

- os valores mínimos obtidos, apresentam valores entre os  $19,00\text{W/m}^2$  e os  $62,00\text{W/m}^2$ , classificando as 6 Zonas com “Baixa” radiação solar;
- os valores médios obtidos, apresentam valores entre os  $497,40\text{W/m}^2$  e os  $547,33\text{W/m}^2$ , classificando as 6 Zonas com “Média alta” radiação solar;
- os valores máximos obtidos, apresentam valores entre os  $983,00\text{W/m}^2$  e os  $1121,00\text{W/m}^2$ , classificando as 6 Zonas com “Alta” radiação solar;
- a mediana apresenta valores entre os  $513,00\text{W/m}^2$  e os  $561,50\text{W/m}^2$ , classificando as 6 Zonas com “Média alta” radiação solar;

- o desvio padrão apresenta um valor elevado, indicando que os valores da amostra se afastam muito dos valores da média.

#### 4.2.5 Temperatura de Superfície

A temperatura de superfície foi medida recorrendo à câmara termográfica portátil FLIR C3 (ver Figura 3.1). A título de exemplo é ilustrado o termograma referente ao ponto exterior da faixa de rodagem, obtido no dia 5 de agosto de 2020, para os 2 períodos do dia, na Zona 3, no qual pode ser lida a temperatura de superfície (ver Figura 4.18).

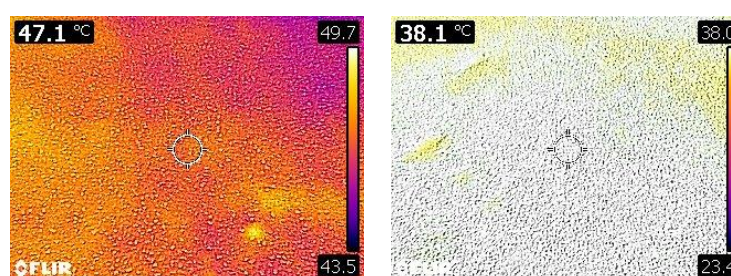


Figura 4.18 – Temperatura de superfície medida no dia 5 de agosto de 2020, para o período das 13h-14h (à esquerda) e das 19h-20h (à direita), respetivamente, no ponto exterior: faixa de rodagem na Zona 3.

Para o parâmetro da temperatura de superfície, da Figura 4.19 à Figura 4.24, apresentam-se graficamente as 6 Zonas em estudo, através da análise de 25 pontos exteriores selecionados para cada uma das zonas. Os pontos exteriores foram definidos desde o Quadro 4.1 ao Quadro 4.6.

Para a Rua Sílvio Lima, na Zona 1, observa-se o seguinte:

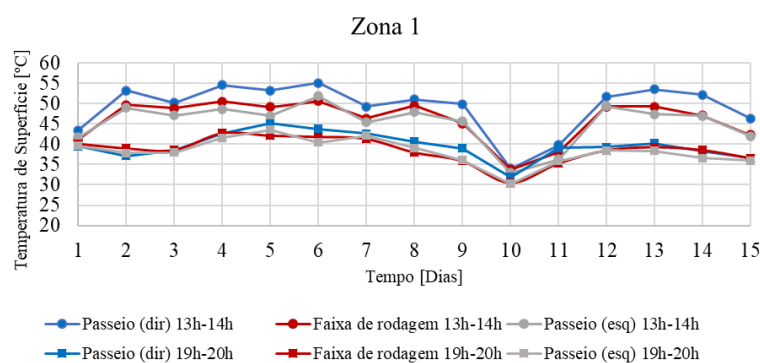


Figura 4.19 – Temperatura de superfície nos pontos exteriores: Zona 1.

Na Zona 1, no período das 13h-14h, nos 15 dias de medição, a temperatura de superfície referente ao ponto correspondente ao passeio do lado direito “Passeio (dir)” apresenta valores sempre superiores (15 valores superiores) às do ponto correspondente ao passeio do lado esquerdo “Passeio (esq)” e às do ponto correspondente à faixa de rodagem “Faixa de rodagem”. O passeio do lado direito apresenta valores entre os 34,0°C e os 55,1°C, o passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 32,9°C e os 51,8°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 33,8°C e os 50,6°C. No período das 19h-20h, acontece o mesmo cenário embora com valores substancialmente mais baixos, em que o passeio do lado direito apresenta valores entre os 31,9°C e os 45,1°C. O passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 30,3°C e os 43,5°C, por fim a faixa de rodagem apresenta valores entre os 30,6°C e os 42,7°C.

Para a Rua Sílvio Lima, na Zona 2, observa-se o seguinte:

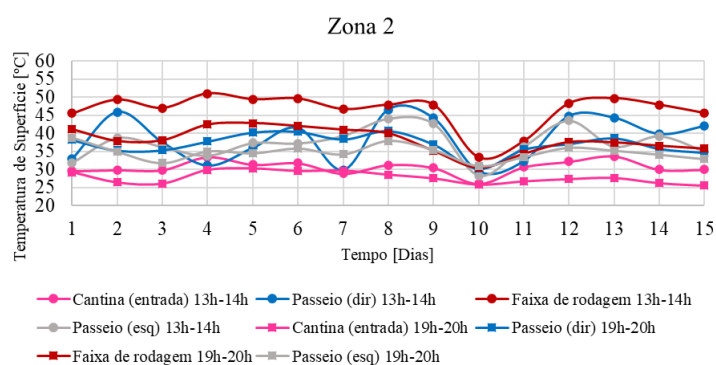


Figura 4.20 – Temperatura de superfície nos pontos exteriores: Zona 2.

Na Zona 2, no período das 13h-14h, nos 15 dias de medição, a temperatura de superfície referente ao ponto correspondente à faixa de rodagem “Faixa de rodagem” apresenta valores sempre superiores (15 valores superiores) às do ponto correspondente ao passeio do lado direito “Passeio (dir)”, às do ponto correspondente ao passeio do lado esquerdo “Passeio (esq)” e às do ponto correspondente à cantina, “Cantina (entrada)”. Observa-se também que o ponto referente à cantina apresenta os valores mais baixos. O passeio do lado direito apresenta valores entre os 29,5°C e os 46,6°C, o passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 28,3°C e os 44,1°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 33,4°C e os 51,0°C e a entrada da cantina apresenta valores entre os 26,1°C e os 33,7°C. No período das 19h-20h a situação é idêntica embora com valores substancialmente mais baixos, em que o passeio do lado direito apresenta valores entre os 35,4°C e os 40,7°C. O passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 31,0°C e os 37,9°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 30,6°C e os 42,8°C e por fim, a entrada da cantina apresenta valores entre os 25,6°C e os 29,9°C.

Para a Rua Sílvio Lima, na Zona 3, observa-se o seguinte:

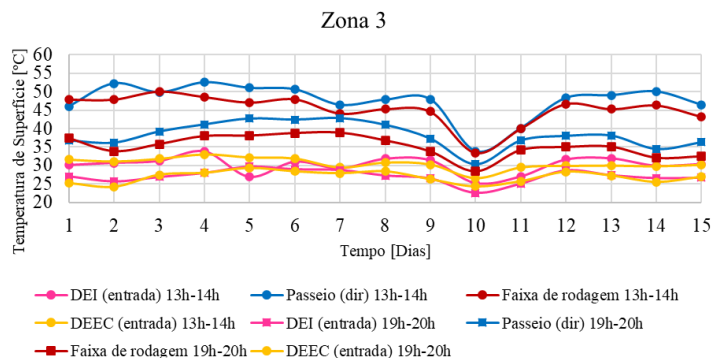


Figura 4.21 – Temperatura de superfície nos pontos exteriores: Zona 3.

Na Zona 3, no período das 13h-14h, nos 15 dias de medição, a temperatura de superfície referente ao ponto correspondente ao passeio do lado direito “Passeio (dir)” apresenta 14 valores superiores às do ponto correspondente à faixa de rodagem “Faixa de rodagem” e apresenta 15 valores superiores às do ponto correspondente à entrada do DEI “DEI (entrada)” e à entrada do DEEC “DEEC (entrada)”. O passeio do lado direito apresenta valores entre os 33,9°C e os 52,5°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 33,4°C e os 50,1°C, a entrada do DEI apresenta valores entre os 25,2°C e os 33,8°C e por fim, a entrada do DEEC apresenta valores entre os 26,6°C e os 33,0°C. No período das 19h-20h, a situação é similar embora com valores substancialmente mais baixos, em que o passeio do lado direito apresenta valores entre os 30,4°C e os 42,8°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 28,4°C e os 38,9°C, a entrada do DEI apresenta valores entre os 22,6°C e os 29,7°C por fim, a entrada do DEEC apresenta valores entre os 24,3°C e os 29,3°C.

Para a Rua Sílvio Lima, na Zona 4, observa-se o seguinte:

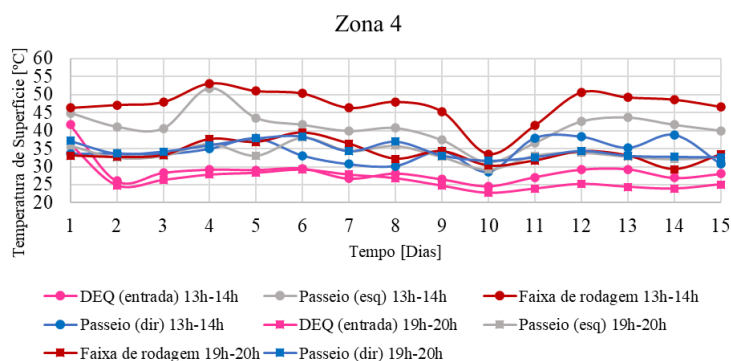


Figura 4.22 – Temperatura de superfície nos pontos exteriores: Zona 4.



Na Zona 4, no período das 13h-14h, nos 15 dias de medição, a temperatura de superfície referente ao ponto correspondente à faixa de rodagem apresenta valores sempre superiores (15 valores superiores) às do ponto correspondente ao passeio do lado direito “Passeio (dir)”, às do ponto correspondente ao passeio do lado esquerdo “Passeio (esq)” e às do ponto correspondente à entrada do DEQ “DEQ (entrada)”. Observa-se também que o ponto referente à entrada do DEQ apresenta os valores mais baixos. O passeio do lado direito apresenta valores entre os 28,6°C e os 38,9°C, o passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 31,3°C e os 51,7°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 33,5°C e os 53,1°C e a entrada do DEQ apresenta valores entre os 24,6°C e os 41,6°C. No período das 19h-20h a situação é idêntica embora com valores substancialmente mais baixos, em que o passeio do lado direito apresenta valores entre os 31,6°C e os 37,2°C. O passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 29,2°C e os 38,1°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 29,3°C e os 39,5°C e por fim, a entrada do DEQ apresenta valores entre os 22,7°C e os 36,3°C.

Para a Rua Luís Reis dos Santos, na Zona 5, observa-se o seguinte:

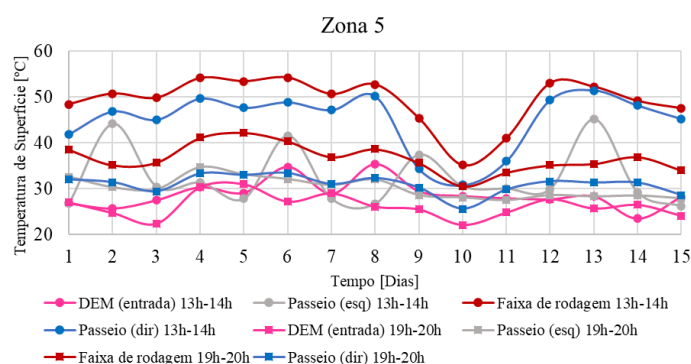


Figura 4.23 – Temperatura de superfície nos pontos exteriores: Zona 5.

Na Zona 5, no período das 13h-14h, nos 15 dias de medição, a temperatura de superfície referente ao ponto correspondente à faixa de rodagem “Faixa de rodagem” apresenta valores sempre superiores (15 valores superiores) às do ponto correspondente ao passeio do lado direito “Passeio (dir)”, às do ponto correspondente ao passeio do lado esquerdo “Passeio (esq)” e às do ponto correspondente à entrada do DEM “DEM (entrada)”. O passeio do lado direito apresenta valores entre os 30,8°C e os 50,1°C, o passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 26,2°C e os 45,1°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 35,1°C e os 54,2°C e a entrada do DEM apresenta valores entre os 23,5°C e os 35,3°C. No período das 19h-20h a situação é idêntica embora com valores substancialmente mais baixos, em que o passeio do lado direito apresenta valores entre os 25,6°C e os 33,4°C. O passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 27,5°C e os 34,7°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 30,5°C e os 42,2°C e por fim, a entrada do DEM apresenta valores entre os 22,4°C e os 31,0°C.

Para a Rua Luís Reis dos Santos, na Zona 6, observa-se o seguinte:

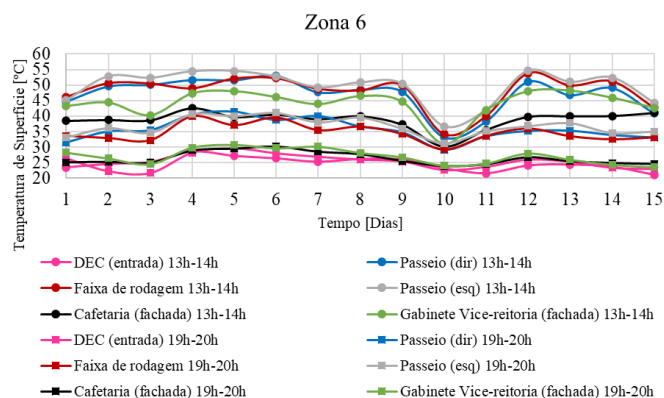


Figura 4.24 – Temperatura de superfície nos pontos exteriores: Zona 6.

Na Zona 6, no período das 13h-14h, nos 15 dias de medição, a temperatura de superfície referente ao ponto correspondente ao passeio do lado esquerdo “Passeio (esq)” apresenta valores sempre superiores (15 valores superiores) às do ponto correspondente ao passeio do lado direito “Passeio (dir)”, às do ponto correspondente à faixa de rodagem “Faixa de rodagem”, às do ponto correspondente à entrada do DEC “DEC (entrada)”, às do ponto correspondente à fachada da cafeteria “Cafeteria (fachada)” e às do ponto correspondente à fachada do gabinete da vice-reitoria para a inovação e empreendedorismo. O passeio do lado direito apresenta valores entre os 33,2°C e os 53,0°C, o passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 36,7°C e os 54,6°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 34,3°C e os 53,8°C, a entrada do DEC apresenta valores entre os 21,1°C e os 28,6°C, a fachada da cafeteria apresenta valores entre os 30,2°C e os 42,6°C e por fim, a fachada do gabinete da vice-reitoria “Gabinete Vice-reitoria (fachada)” para a inovação e empreendedorismo apresenta valores entre os 31,0°C e os 48,3°C. No período das 19h-20h, a situação é análoga embora com valores mais baixos, em que o passeio do lado direito apresenta valores entre os 29,1°C e os 41,5°C, o passeio do lado esquerdo apresenta valores entre os 31,3°C e os 41,1°C, a faixa de rodagem apresenta valores entre os 29,4°C e os 39,9°C, a entrada do DEC apresenta valores entre os 21,7°C e os 29,6°C, a fachada da cafeteria apresenta valores entre os 23,9°C e os 30,3°C e por fim, a fachada do gabinete da vice-reitoria para a inovação e empreendedorismo apresenta valores entre os 23,6°C e os 30,8°C.

Depois de realizada a descrição dos resultados da temperatura de superfície, procedeu-se a uma análise dos pontos exteriores (ver Secção 4.1) nas 6 Zonas, com base nos elementos morfológicos básicos que estão apresentados na Subsecção 2.3.1:

- para a orientação: (i) Norte – fraca exposição à radiação solar; e, (ii) Sul – elevada exposição à radiação solar (Gonçalves e Graça, 2004);

- para a cor: (i) cores claras – baixo valor de absorção de radiação solar; e, (ii) cores escuras – elevado valor de absorção de radiação solar (Hegger *et al.*, 2006);
- para o fator de visão do céu: (i) valor 0 – céu totalmente coberto por obstáculos, recebendo menos radiação solar; e, (ii) valor 1 – céu não tem qualquer obstáculo, recebendo maior radiação solar (Matzarakis, Rutz e Mayer, 2007, 2010);
- para o material: (i) 0,05 a 0,20 – baixo valor de albedo; (ii) 0,20 a 0,50 – médio valor de albedo; e, (iii) 0,50 a 0,90 – elevado valor de albedo (Soares, 2017);
- para a vegetação: (i) árvore de folha perene – menor exposição à radiação solar no verão e no inverno; (ii) árvore de folha caduca – menor exposição à radiação solar no verão e maior exposição à radiação solar no inverno; (iii) árvore com folhagem densa – menor exposição à radiação solar; e, (iv) árvore com folhagem rala – maior exposição à radiação solar (Dimoudi e Nikolopoulou, 2003).

Ao analisar a Figura 4.19 até à Figura 4.24, referentes às 6 Zonas, constata-se que:

Os pontos exteriores (ver Secção 4.1) – passeio do lado direito, passeio do lado esquerdo e faixa de rodagem – apresentam os valores mais elevados de temperatura de superfície nas 6 Zonas.

Isto acontece porque:

- os pontos exteriores em causa, são de cor cinzento escuro, e estas cores estão associadas a valores elevados de absorção de radiação solar;
- os materiais que revestem estes pontos, no caso dos passeios é a lajeta de betão e no caso da faixa de rodagem é a mistura betuminosa, que não têm um alto valor de albedo, pelo que irão absorver maior radiação solar, aquecendo mais a superfície e irradiando mais calor para as camadas adjacentes, o que conseqüentemente faz com que a temperatura de superfície e a temperatura radiante média aumentem;
- a orientação, no caso destes pontos exteriores não foi considerada, uma vez que estes pontos estão no solo;
- na Zona 1, a diferença de valores entre o passeio do lado direito e o passeio do lado esquerdo, advém da existência de uma zona de vegetação perto do passeio do lado esquerdo;
- na Zona 2, a faixa de rodagem apresenta os valores mais elevados, uma vez que está totalmente exposta à radiação solar, enquanto que o passeio do lado direito tem árvores espaçadas entre si, e o passeio do lado esquerdo recebe a sombra do edifício do DEC,
- na Zona 3, o passeio do lado direito apresenta os valores mais elevados uma vez que não existe vegetação;
- na Zona 4, a faixa de rodagem apresenta os valores mais elevados, uma vez que está totalmente exposta à radiação solar, enquanto que o passeio do lado direito tem árvores espaçadas entre si, e o passeio do lado esquerdo recebe a sombra do edifício do DEQ;

- na Zona 5, a faixa de rodagem apresenta os valores mais elevados, uma vez que está totalmente exposta à radiação solar, enquanto que o passeio do lado direito tem árvores espaçadas entre si, e o passeio do lado esquerdo recebe a sombra do edifício do DEM;
- na Zona 6, o passeio do lado esquerdo apresenta os valores mais elevados, uma vez que este ponto está totalmente exposto à radiação solar, não existindo vegetação ou sombra de edifícios.

O ponto exterior relativo à porta de entrada (ver Secção 4.1) – cantina – apresenta os valores observados na Figura 4.20 porque:

- o ponto em análise está orientado a Sul, permitindo assim ter uma maior exposição à radiação solar;
- o material que reveste este ponto é composto por vidro simples em caixilharia de ferro fundido. O ferro tem um baixo valor de albedo logo vai absorver mais radiação solar, aquecendo a superfície e irradiando calor para as camadas adjacentes, o que faz com que a temperatura de superfície e a temperatura radiante média sejam mais altas;
- a cor da caixilharia de ferro fundido é o cinzento escuro, o que leva a existir um maior nível de absorção de radiação solar;
- o edifício em que este ponto se encontra é de cor branca, com zonas envidraçadas e caixilharia em ferro fundido de cor cinzenta. Esta combinação permite que haja um maior valor de absorção de radiação solar aquecendo mais a superfície;
- as árvores existentes perto do ponto, são do tipo jacarandá, que é uma árvore de folha perene, que permite uma menor exposição à radiação solar no verão. Além de ser uma árvore de folha perene, contudo as suas folhas são ralas não proporcionando por esse motivo muita sombra.

Os pontos exteriores relativos à porta de entrada dos edifícios (ver Secção 4.1) – DEI e DEEC – encontram-se no mesmo patamar e estão afastadas por 18m, apresentando os valores observados na Figura 4.21 porque:

- os pontos em análise estão orientados a Sul, permitindo-os ter uma maior exposição à radiação solar;
- o material que reveste estes pontos é composto por vidro simples em caixilharia de alumínio. O alumínio tem um elevado valor de albedo permitindo uma menor absorção de radiação solar;
- a cor da caixilharia de alumínio é o branco, que sendo uma cor clara vai ter um baixo valor de absorção de radiação solar;
- os edifícios nas quais estes dois pontos se encontram, são de cor branca, correspondendo a um material com elevado albedo, permitindo assim ter um menor valor de absorção de radiação solar, irradiando menos calor para as camadas adjacentes e aquecendo

menos a superfície. Por cima dos pontos existem palas que permitem criar sombras sobre a entrada, permitindo assim, reduzir a absorção de radiação solar;

- verifica-se a inexistência de vegetação perto dos pontos.

O ponto exterior relativo à porta de entrada (ver Secção 4.1) – DEQ – apresenta os valores observados na Figura 4.22 porque:

- o ponto em análise está orientado a Norte, tendo uma menor exposição à radiação solar, tornando-se num ponto de passagem sensivelmente mais fresco;
- o material que reveste este ponto é composto por vidro duplo com caixilharia em alumínio, permitindo assim um menor valor de absorção de radiação solar;
- a cor da caixilharia de alumínio é o branco, tendo um baixo valor de absorção de radiação solar;
- o edifício, na qual este ponto se encontra, é revestido por lajetas de betão combinado com um revestimento de reboco térmico pelo exterior (ETICS), de cor branca. O betão, que é um material com um valor de albedo médio, tem uma maior capacidade de armazenar e conservar calor que, ao conjugar com o isolamento ETICS, que é um isolante mais leve, aquece e arrefece com maior rapidez, respondendo às alterações da exposição solar;
- verifica-se a inexistência de vegetação perto do ponto.

O ponto exterior relativo à porta de entrada (ver Secção 4.1) – DEM – apresenta os valores observados na Figura 4.23 porque:

- o ponto em análise está orientado a Norte, obtendo uma menor exposição à radiação solar, tornando-se num ponto de passagem sensivelmente mais fresco;
- o material que reveste este ponto é composto por um gradeamento em ferro. O ferro tem um baixo valor de albedo logo vai absorver mais radiação solar, aquecendo a superfície e irradiando calor para as camadas adjacentes, o que faz com que a temperatura de superfície e a temperatura radiante média sejam mais altas;
- a cor do gradeamento é o cinzento claro, obtendo um valor baixo de absorção de radiação solar;
- o edifício onde este ponto se encontra é de cor branca e é revestido a lajeta bujardada de cor amarelo real, na parte inferior. Esta cor indicia um menor valor de absorção de radiação solar e o seu revestimento enquadra-se num albedo de valor médio, existindo assim uma combinação que absorve menos radiação solar e que irradia menos calor para as camadas adjacentes, fazendo com que a temperatura de superfície e a temperatura média radiante diminuam;

- as árvores existentes perto do ponto são do tipo castanheiro da Índia que, enquanto árvore com folha caduca, têm uma menor exposição à radiação solar no verão, e a sua folha é recortada, criando uma sombra rendilhada.

O ponto exterior relativo à porta de entrada (ver Secção 4.1) – DEC – apresenta os valores observados na Figura 4.24 porque:

- o ponto em análise está orientado a Sul, apresentando uma maior exposição à radiação solar;
- o material que reveste este ponto é composto por vidro duplo com caixilharia em ferro. O ferro tem um baixo valor de albedo, absorvendo mais radiação solar, aquecendo a superfície e irradiando calor para as camadas adjacentes, o que faz com que a temperatura de superfície e a temperatura radiante média aumentem;
- a cor da caixilharia de ferro é o branco, obtendo um valor baixo de absorção de radiação solar;
- o edifício onde este ponto se encontra tem as fachadas revestidas com um reboco térmico pelo exterior (ETICS), de cor branca e ainda tem partes revestidas a painéis de pedra colada (valor médio de albedo) de cor bege. O uso de cores claras indica um menor valor de absorção de radiação solar. O uso de um isolante mais leve e o uso de uma pedra de cor clara permite criar uma combinação que absorve menos radiação solar e que irradia menos calor para as camadas adjacentes, permitindo que a temperatura de superfície e a temperatura média radiante diminuam. O ponto em análise está protegido da exposição solar porque recebe a sombra da consola do edifício;
- verifica-se a inexistência de vegetação perto do ponto.

O ponto exterior relativo à fachada (ver Secção 4.1) – cafeteria – apresenta os valores observados na Figura 4.24 porque:

- o ponto em análise está orientado a Sul, apresentando uma maior exposição à radiação solar;
- o material que reveste este ponto é composto por vidro duplo com caixilharia em ferro. O ferro tem um baixo valor de albedo, absorvendo mais radiação solar, aquecendo a superfície e irradiando calor para as camadas adjacentes, o que faz com que a temperatura de superfície e a temperatura radiante média aumentem;
- a cor da caixilharia de ferro é o branco, obtendo um valor mais baixo de absorção de radiação solar;
- o edifício onde este ponto se encontra é o mesmo do ponto relativo à porta de entrada do DEC;
- verifica-se a inexistência de vegetação perto do ponto.

O ponto exterior relativo à fachada (ver Secção 4.1) – fachada gabinete da vice-reitoria para a inovação e empreendedorismo – apresenta os valores observados na Figura 4.24 porque:

- o ponto em análise está orientado a Sul, o que permite uma maior exposição à radiação solar;
- o material que reveste este ponto é composto por vidro duplo com caixilharia em alumínio, o que permite um menor valor de absorção de radiação solar;
- a cor da caixilharia de alumínio é o cinzento escuro, tendo um elevado valor de absorção de radiação solar;
- o edifício onde este ponto se encontra é o mesmo do ponto relativo à porta de entrada do DEC;
- verifica-se a inexistência de vegetação perto do ponto.

O fator de visão do céu foi obtido através do *software* RayMan Pro para cada uma das 6 Zonas (ver Figura 4.25), obtendo-se os seguintes valores:

- 0,889 para a Zona 1;
- 0,737 para a Zona 2;
- 0,860 para a Zona 3;
- 0,765 para a Zona 4;
- 0,789 para a Zona 5;
- 0,754 para a Zona 6.

Concluindo-se que para as 6 Zonas, os valores apresentam um valor mais perto de 1, representando um céu com poucos obstáculos, permitindo assim a cada Zona receber maior radiação solar.

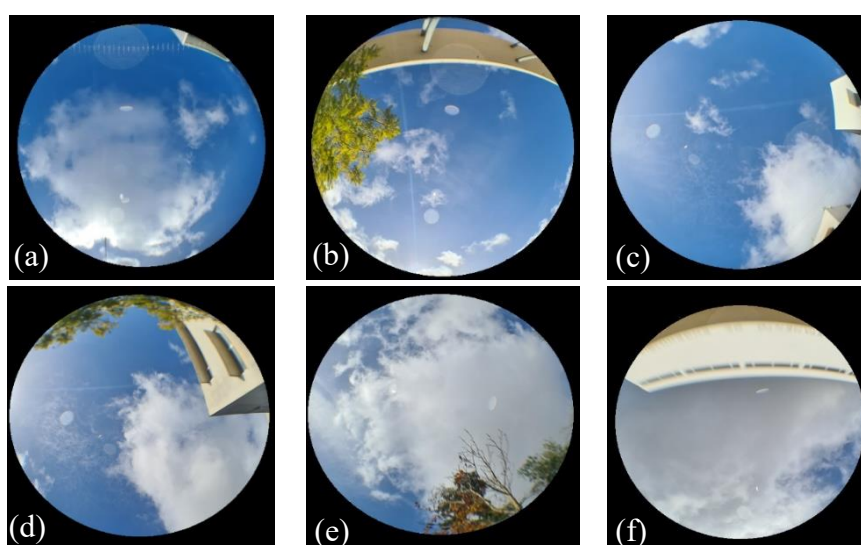


Figura 4.25 – Fotografias com recurso a uma lente *fish-eye* para determinar o fator de visão do céu na: (a) Zona 1; (b) Zona 2; (c) Zona 3; (d) Zona 4; (e) Zona 5; e, (f) Zona 6.

#### 4.2.6 Índice PET

Fröhlich e Matzarakis (2016) realizaram uma análise de sensibilidade quantitativa sobre o comportamento de três índices que avaliam o conforto térmico, sendo que um dos índices em análise foi o Índice PET. A conclusão desta análise de sensibilidade permitiu aferir que os parâmetros que mais influenciam este índice são: a temperatura do ar, a velocidade do vento e a temperatura radiante média. O parâmetro ambiental que menos influencia o índice PET é a humidade relativa.

Para o estudo de caso apresentado (ver Secção 4.1) foi realizada uma situação de simulação para avaliar de forma exploratória e quantitativa a influência no índice PET de cada parâmetro ambiental recolhido (temperatura do ar, humidade relativa e temperatura de superfície) e dos que foram consultados (velocidade do vento e radiação solar), dentro do limite dos valores obtidos no levantamento expedito. Esta análise não foi realizada para o parâmetro da temperatura radiante média, uma vez que este parâmetro foi calculado diretamente através do *software* RayMan Pro (ver Secção 3.4).

A situação de simulação selecionada ocorreu no 11º dia de medição (11 de agosto de 2020), na Zona 6 no período das 13h-14h. A escolha do dia e do período teve por base a definição do fenómeno de *heat stress* (ver Subsecção 2.2.3), em que os valores apresentados para a temperatura do ar, temperatura de superfície e humidade relativa, em conjunto, são os mais elevados neste dia e para a Zona em análise (de entre todos os dias avaliados no estudo). Para cada parâmetro ambiental, fixaram-se os valores dos parâmetros gerais e os valores dos restantes parâmetros ambientais. Os valores utilizados correspondem aos registados durante os 15 dias de medição para a Zona, data e período referido.

Os dados de entrada para os parâmetros gerais correspondem à data 2020-08-11, que corresponde ao 224º dia do ano, às 14h, na Zona 6 (Rua Luís Reis dos Santos), com as coordenadas geográficas da localização da autora nessa zona (40º11'N de latitude e -8º24'E de longitude), a uma altitude de 39m. O valor do fuso horário (UTC+h) introduzido foi zero. A hora selecionada corresponde às 14h, por ser a hora em que são realizadas as medições e a consulta de dados na Zona 6, no período das 13h-14h.

Os dados de entrada para o parâmetro geral da topografia (ver Figura 4.26), iniciaram-se com o traçar de uma grelha que abrangesse toda a área em estudo, recorrendo ao *software* Google Earth (grelha 50x50 entradas). De seguida, a grelha é guardada num ficheiro com a extensão (.kml) e convertida para a extensão (.txt). Posteriormente, este ficheiro foi editado por forma a apresentar uma única coluna de valores, referentes à altitude de cada ponto da grelha (50x50 =



2500 entradas). Seguidamente, o ficheiro é carregado no menu de topografia do *software* RayMan Pro, sendo que, para tal, foi necessário primeiramente estabelecer os parâmetros da grelha. Assim, foi indicado que seriam 50 entradas de valores para xx, e yy, com uma distância entre pontos (*grid distance*) de 35m. Para cada ponto coordenado é possível ler o valor da altitude (z) a considerar, podendo o ponto de medição ser inserido recorrendo à opção “*edit point*”.

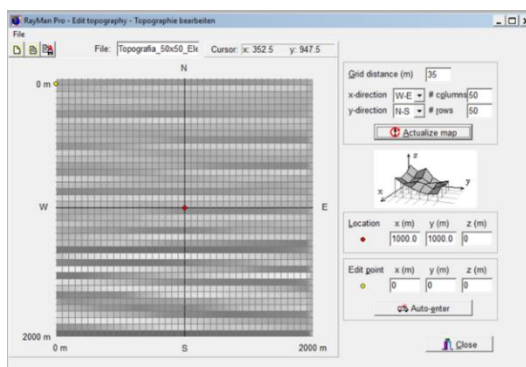


Figura 4.26 – Interface do *software* RayMan Pro para o parâmetro da topografia.

Os dados de entrada para o parâmetro geral dos obstáculos (ver Figura 4.27), começaram pelo estabelecimento de escala de  $(m/pixel)=1$ , ou seja, 1 metro corresponde a 1 pixel. Em seguida, foram desenhados os edifícios existentes, enquadrando-os na grelha coordenada do *software* RayMan Pro. Os dados gerais relativos à longitude, latitude, altitude, orientação, distâncias entre edifícios, zona de implementação, altura e comprimento dos edifícios, altura e raio da coroa da vegetação e cotas, foram retirados dos *softwares* Google Maps e Google Earth. Os dados relativos ao tipo de vegetação, diâmetro do tronco e altura do tronco foram recolhidos diretamente pela autora na área em estudo. Relativamente às coordenadas de cada edifício (ou partes do mesmo), estas referiam-se à base e ao topo (assumindo o edifício ou parte dele como um sólido geométrico), sendo que a base poderia estar elevada em relação ao solo (altura do ponto de um dado corpo é diferente da altitude do terreno nessa coordenada). As árvores foram introduzidas de acordo com as suas características (ver Secção 4.1) e zona de implantação. Colocados todos os objetos, a localização do ponto de medição é estabelecida de forma manual. O ponto vermelho representado na Figura 4.27 corresponde à localização da autora na Zona 6, a uma altitude de 39m.

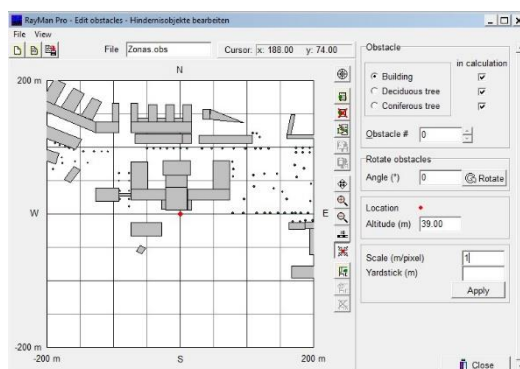


Figura 4.27 – Interface do *software* RayMan Pro para o parâmetro dos obstáculos.

Os dados de entrada, para o parâmetro geral do fator de visão do céu para a Zona 6, podem ser observados na Figura 4.28. Para esta análise, a figura carregada no *software* RayMan Pro, corresponde à Zona 6, que foi obtida com recurso a uma lente *fish-eye* acoplada à câmara fotográfica de um telemóvel do modelo Samsung Galaxy S20+ a 1,10m acima do solo, seguindo-se da sua correta orientação e dimensão (1:1) sendo guardada com a extensão (.bpm), obtendo um valor de 0,754.

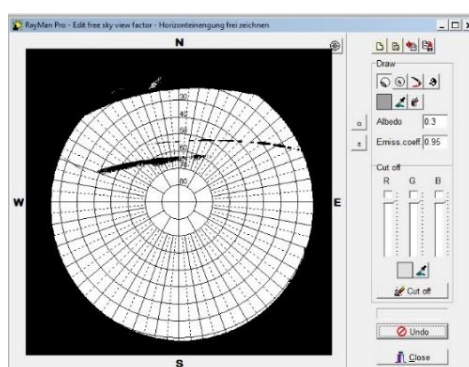


Figura 4.28 – Interface do *software* RayMan Pro para o parâmetro do fator de visão do céu.

Os dados de entrada para os parâmetros individuais utilizados foram os apresentados no Quadro 2.1 (ver Subsecção 2.2.1), optando-se, neste caso, por um indivíduo do género feminino, com 30 anos, 60kg de peso, 1,70m de altura, com um vestuário de 0,9clo e com uma taxa metabólica de 80W, a que corresponde uma atividade física leve, na posição em pé. Optou-se por se seleccionar o género feminino uma vez que segundo Giralt (2006), o género feminino tem tendência a registar temperaturas mais altas.

No 11º dia de medição, o céu encontrou-se limpo não existindo presença de nuvens assim, o valor utilizado para a cobertura de nuvens foi zero. Para a Zona 6, estão definidos seis pontos exteriores de medição para a temperatura de superfície. Contudo o valor utilizado para a

temperatura de superfície foi o correspondente ao do ponto exterior denominado de passeio – lado direito, ou seja, o passeio adjacente ao edifício do DEC, à Cafeteria e ao Gabinete da vice-reitoria para a inovação e empreendedorismo. A escolha deste ponto teve em consideração o facto de ter sido o ponto onde a autora realizou as medições dos parâmetros ambientais da temperatura do ar e da humidade relativa; por ter sido o ponto onde a autora tirou a fotografia para determinar o fator de visão do céu; e por ser um ponto de passagem, acesso e aglomeração de indivíduos. Os dados de entrada para os parâmetros ambientais podem ser consultados no Quadro 4.15.

Quadro 4.11 – Dados de entrada: parâmetros ambientais para o dia 11 de agosto de 2020, no período de leitura das 13h-14h, na Zona 6.

Temperatura do ar [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade do vento [m/s]	Radiação solar [W/m <sup>2</sup> ]	Cobertura das nuvens [octas]	Temperatura de superfície [°C]
34,11	49,78	0,89	976,00	0,00	38,30

Da Figura 4.29 até à Figura 4.33 é possível observar a influência de cada parâmetro ambiental (temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e temperatura de superfície) no índice PET.

- **Temperatura do Ar**

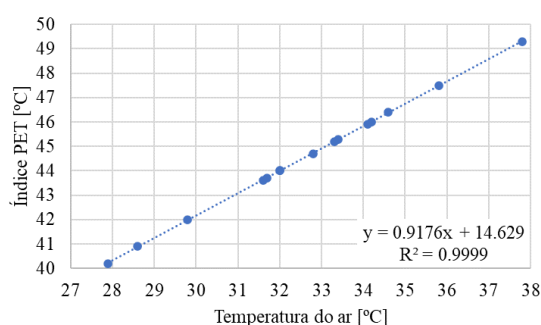


Figura 4.29 – Variação do índice PET em função do parâmetro da temperatura do ar [°C].

A análise da Figura 4.29, permite afirmar que o índice PET aumenta com o aumento do parâmetro da temperatura do ar e esse aumento ocorre de forma linear.

- **Humidade Relativa**

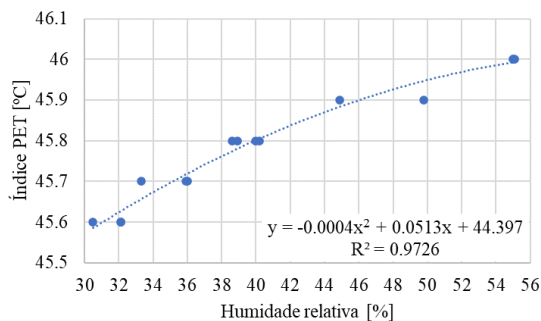


Figura 4.30 – Variação do índice PET em função do parâmetro da humidade relativa [%].

A análise da Figura 4.30, permite afirmar que o índice PET aumenta com o aumento do parâmetro da humidade relativa e, apesar deste aumento, apresenta uma menor expressão na variação dos valores do índice PET.

- **Velocidade do Vento**

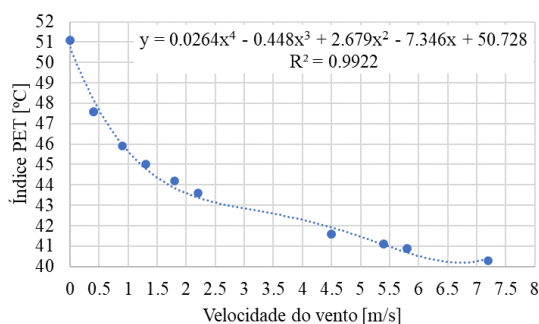


Figura 4.31 – Variação do índice PET em função do parâmetro da velocidade do vento [m/s].

A análise da Figura 4.31, permite afirmar que o índice PET diminui com o aumento da velocidade do vento, sendo o único parâmetro que faz com que o índice PET decresça.

- **Radiação Solar**

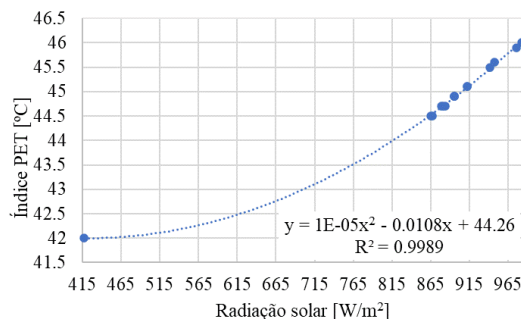


Figura 4.32 – Variação do índice PET em função do parâmetro da radiação solar [W/m²].

A análise da Figura 4.32, permite afirmar que o índice PET aumenta com o aumento do parâmetro da radiação solar.

- **Temperatura de Superfície**

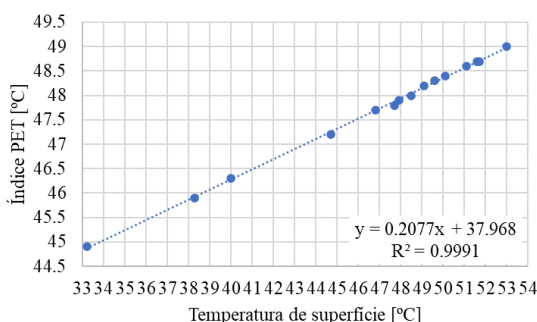


Figura 4.33 – Variação do índice PET em função do parâmetro da temperatura de superfície [°C].

A análise da Figura 4.33, permite afirmar que o índice PET aumenta com o aumento da temperatura de superfície de forma linear.

Após a análise de sensibilidade efetuada, observa-se que:

- quando a velocidade do vento é nula observa-se o maior valor do índice PET apresentado;
- o índice PET aumenta de forma linear com o aumento da temperatura do ar e a temperatura de superfície, apresentando o 2º e 3º valor mais alto, respetivamente;
- o índice PET aumenta com o aumento da radiação solar, apresentando o 4º valor mais alto;

- o índice PET aumenta com o aumento da humidade relativa, mas não se consegue inferir uma correlação padronizada do índice PET com a variação da humidade relativa;
- o valor obtido para  $R^2$  foi sempre muito próximo de 1, concluindo-se que existe um bom ajuste das linhas de tendência para os dados em análise e que os parâmetros em análise estão correlacionados com os valores obtidos no índice PET.

Assim, a conclusão desta análise de sensibilidade permitiu aferir que os parâmetros que mais influenciam o índice PET são: a temperatura do ar, a velocidade do vento, a temperatura de superfície e a radiação solar e que o parâmetro ambiental que menos influencia o índice PET é a humidade relativa. Esta conclusão vai ao encontro dos resultados obtidos na análise de sensibilidade realizada por Fröhlich e Matzarakis (2016).

#### 4.2.7 Conforto Térmico e *Heat Stress*

Por forma a medir o conforto térmico e aferir o risco do fenómeno de *heat stress*, para o género feminino e para o género masculino, no presente estudo de caso, recorreu-se ao *software* RayMan Pro (ver Secção 3.4) para determinar o índice PET e obter o nível de percepção térmica e o nível de *stress* físico com base no Quadro 2.6 (ver Subsecção 2.2.4), para os dois períodos de medição (13h-14h e das 19h-20h).

Segundo Klok e Kluck (2018), o fenómeno de *heat stress* resulta da combinação de temperaturas elevadas com níveis de humidade elevados. Decorre, no entanto, da análise de sensibilidade (ver Subsecção 4.2.6), que esta correlação no índice PET não é linear, embora determinante. Assim, por forma a aferir o risco do fenómeno de *heat stress*, teve-se em consideração os dias em que esta combinação fosse mais visível em cada uma das 6 Zonas em estudo, ou seja, quando os valores da temperatura do ar, temperatura de superfície e humidade relativa fossem mais elevados ao longo dos 15 dias, em cada um dos períodos de medição. Foram selecionados 2 dias para cada uma das 6 Zonas, referentes aos 2 períodos de medição, em que esta combinação se verificasse.

Para a temperatura de superfície, optou-se pelo ponto exterior definido por passeio direito, por ser onde a autora realizou as medições dos parâmetros ambientais da temperatura do ar e da humidade relativa; por ter sido o ponto onde a autora tirou a fotografia para determinar o fator de visão do céu; por ser um dos pontos que tem maior valor de temperatura de superfície; por ser um ponto de passagem de indivíduos; e, por ser um ponto comum às 6 Zonas em estudo (em todas elas existe o ponto de medição no passeio direito).

Os dados de entrada para os parâmetros gerais podem ser observados no Quadro 4.12 e no Quadro 4.15. O valor do fuso horário (UTC+h) e da cobertura das nuvens introduzido foi sempre zero. A localização corresponde a cada uma das 6 Zonas em estudo (da Zona 1 à Zona 6). As coordenadas geográficas para cada uma das 6 Zonas em estudo estão apresentadas no Secção 4.1. A topografia é a mesma que foi carregada no *software* RayMan Pro para determinar a análise de sensibilidade (ver Subsecção 4.2.6). O dado obstáculo é o mesmo que foi carregado no *software* RayMan Pro para determinar a análise de sensibilidade (ver Subsecção 4.2.6) alterando-se apenas a localização assinalada pelo ponto vermelho e pela altitude que varia de zona para zona. Por fim, o fator de visão de céu inserido para cada uma das zonas obteve os valores apresentados na Subsecção 4.2.5.

Os dados de entrada para os parâmetros individuais utilizados foram os apresentados no Quadro 2.1 (ver Subsecção 2.2.1), para o género masculino e para o género feminino, considerando a posição para ambos, de pé.

Em seguida são apresentados, para os dois períodos de medição, para cada uma das 6 Zonas, alguns dos dados de entrada para os parâmetros gerais (Quadro 4.12 e Quadro 4.15) e os dados para os parâmetros ambientais (Quadro 4.13 e Quadro 4.16), definidos para cada uma das 6 Zonas em estudo, seguindo-se os valores obtidos do índice PET através do *software* RayMan Pro e por fim, a sua classificação ao nível de percepção térmica e ao nível de *stress* físico, para o género masculino e para o género feminino (Quadro 4.14 e Quadro 4.17).

- **Período do dia das 13h-14h**

Quadro 4.12 – Dados de entrada para os parâmetros gerais, no período das 13h-14h, para os dias seleccionados para cada uma das 6 Zonas.

Zona	Data [AAAA-MM-DD]	Dia do ano	Hora [HH:MM]	Altitude [m]
1	2020-08-04	217	13:10	55,00
2	2020-08-08	221	13:20	54,00
3	2020-08-07	220	13:30	47,00
4	2020-08-11	224	13:40	43,00
5	2020-08-05	218	13:50	42,00
6	2020-08-11	224	14:00	39,00

Quadro 4.13 – Dados de entrada para os parâmetros ambientais, no período das 13h-14h, para os dias selecionados para cada uma das 6 Zonas.

Zona	Temperatura do ar [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade do vento [m/s]	Radiação solar [W/m <sup>2</sup> ]	Temperatura de superfície [°C]
1	31,43	44,17	0,45	877,00	54,50
2	33,18	43,97	4,03	868,00	46,60
3	33,71	45,15	0,45	856,00	46,40
4	33,45	41,67	2,24	888,00	38,00
5	34,18	40,27	0,45	884,00	47,60
6	34,11	49,78	0,89	976,00	38,30

Quadro 4.14 – Índice PET, nível de perceção térmica e nível de *stress* físico para o género masculino e feminino, no período das 13h-14h.

Zona	Género Masculino			Género Feminino		
	Índice PET	Nível de perceção térmica	Nível de <i>stress</i> físico para o calor	Índice PET	Nível de perceção térmica	Nível de <i>stress</i> físico para o calor
1	46,80	Muito calor	Extremo <i>stress</i>	46,70	Muito calor	Extremo <i>stress</i>
2	41,30	Muito calor	Extremo <i>stress</i>	41,20	Muito calor	Extremo <i>stress</i>
3	45,90	Muito calor	Extremo <i>stress</i>	45,90	Muito calor	Extremo <i>stress</i>
4	47,90	Muito calor	Extremo <i>stress</i>	47,90	Muito calor	Extremo <i>stress</i>
5	49,70	Muito calor	Extremo <i>stress</i>	49,70	Muito calor	Extremo <i>stress</i>
6	45,70	Muito calor	Extremo <i>stress</i>	45,90	Muito calor	Extremo <i>stress</i>

A análise do Quadro 4.14 revela que, para o período das 13h-14h, os valores do índice PET calculados em diferentes dias geram o nível de perceção térmica – muito calor – e o nível de *stress* físico – extremo *stress* para o calor – tanto para o género masculino como para o género feminino. Por fim, o nível de *stress* físico obtido permite aferir o risco do fenómeno de *heat stress* em todas as 6 Zonas.



- **Período do dia das 19h-20h**

Quadro 4.15 – Dados de entrada para os parâmetros gerais, no período das 19h-20h, para os dias selecionados para cada uma das 6 Zonas.

<b>Zona</b>	<b>Data</b> [AAAA-MM-DD]	<b>Dia do ano</b>	<b>Hora</b> [HH:MM]	<b>Altitude</b> [m]
1	2020-08-06	219	19:10	55,00
2	2020-08-07	220	19:20	54,00
3	2020-08-07	220	19:30	47,00
4	2020-08-07	220	19:40	43,00
5	2020-08-07	220	19:50	42,00
6	2020-08-07	220	20:00	39,00

Quadro 4.16 – Dados de entrada para os parâmetros ambientais, no período das 19h-20h, para os dias selecionados para cada uma das 6 Zonas.

<b>Zona</b>	<b>Temperatura</b> <b>do ar</b> [°C]	<b>Humidade</b> <b>relativa</b> [%]	<b>Velocidade</b> <b>do vento</b> [m/s]	<b>Radiação</b> <b>solar</b> [W/m <sup>2</sup> ]	<b>Temperatura</b> <b>de superfície</b> [°C]
1	30,78	47,69	1,79	253,00	43,70
2	30,84	48,62	2,24	220,00	38,40
3	30,49	49,09	0,89	200,00	42,80
4	31,51	46,75	4,47	160,00	34,40
5	31,62	46,88	0,89	148,00	31,00
6	29,65	51,99	0,89	130,00	40,10

Quadro 4.17 – Índice PET, nível de percepção térmica e nível de *stress* físico para o género masculino e feminino, no período das 19h-20h.

Zona	Género Masculino			Género Feminino		
	Índice PET	Nível de percepção térmica	Nível de <i>stress</i> físico para o calor	Índice PET	Nível de percepção térmica	Nível de <i>stress</i> físico para o calor
1	40,10	Calor	Forte <i>stress</i>	40,00	Calor	Forte <i>stress</i>
2	37,50	Calor	Forte <i>stress</i>	37,40	Calor	Forte <i>stress</i>
3	39,40	Calor	Forte <i>stress</i>	39,30	Calor	Forte <i>stress</i>
4	33,90	Pouco calor	Moderado <i>stress</i>	33,70	Pouco calor	Moderado <i>stress</i>
5	35,90	Calor	Forte <i>stress</i>	35,80	Calor	Forte <i>stress</i>
6	35,10	Calor	Forte <i>stress</i>	35,80	Calor	Forte <i>stress</i>

A análise do Quadro 4.17 revela que, para o período das 19h-20h, os valores do índice PET calculados em diferentes dias geram o nível de percepção térmica – calor – para cinco Zonas em estudo (Zona 1, 2, 3, 5 e 6), e o nível de percepção térmica – pouco calor – para uma Zona em estudo (Zona 4), para os dois géneros analisados. Relativamente ao nível de *stress* físico, obteve-se forte *stress* para o calor em cinco Zonas em estudo (Zona 1, 2 3, 5 e 6), e moderado *stress* para o calor numa zona em estudo (Zona 4), para os dois géneros analisados. O nível de *stress* físico obtido permite aferir o risco do fenómeno de *heat stress* em todas as 6 Zonas.

Apesar de Giralt (2006) referir que o género feminino tem tendência a registar temperaturas mais altas, para os dois períodos em análise, essa tendência não foi corroborada, muito provavelmente por este estudo não estar a trabalhar com dados reais no que diz respeito aos dois géneros, mas apenas com valores de referência.

### 4.3 Proposta de Soluções Baseadas na Natureza

As opções por zonas verdes são medidas essenciais para a mitigação dos efeitos adversos das alterações climáticas. Assim, a colocação de árvores e a utilização de materiais com um elevado valor de albedo são medidas que permitem reduzir a temperatura do ar e de superfície (Akbari, Pomerantz e Taha, 2001). A colocação de coberturas e fachadas verdes permite, de um modo geral, atuar ao nível da sensação térmica do utilizador, contribuindo para um melhor conforto térmico e deslocações esteticamente mais agradáveis (Serro, 2017).

Medições ocorridas em Melbourne, na Austrália, sugerem que um aumento de 10% na aplicação de soluções baseadas na natureza pode reduzir as temperaturas de superfície em zonas

urbanas em aproximadamente 1°C (Coutts e Harris, 2012). Teoricamente, um indivíduo necessita de 40m<sup>2</sup> de espaço verde num ambiente urbano (Paiva, 1996). As soluções apresentadas seguidamente pretendem ir ao encontro das necessidades dos indivíduos no que diz respeito ao conforto térmico.

Por forma a reduzir o fenómeno de *heat stress* e melhorar o conforto térmico, foram propostos esboços de soluções baseadas na natureza com recurso à ferramenta Sketch&Draw através do *software* SketchUp Pro 2020 para as 6 Zonas em estudo que podem ser consultadas desde a Figura 4.34 até à Figura 4.39. De acordo com o Quadro 2.6, existe um nível de perceção térmica confortável e um nível de *stress* físico sem *stress* térmico para valores do índice PET entre os 23°C e os 29°C. Assim, com o objetivo de haver uma aproximação aos níveis de conforto térmico desejáveis, é necessário combinar diferentes soluções, funcionando as mesmas quer como elementos de mitigação, quer como elementos estéticos.

Para a Zona 1, representada pela Figura 4.34, aproveitou-se a arborização existente dentro da rotunda (26 árvores), e a proposta é a seguinte: colocação de mais 3 árvores de folha caduca do mesmo tipo (tília) para colmatar as falhas existentes e manter a linha estética. Introdução de melhorias no espaço com a criação de um corredor verde, composto por relva perene do tipo grama, por ser uma relva que resiste às pisadelas, ao calor e à seca e por ser o ideal para espaços públicos com utilização frequente, com a extensão de aproximadamente 130m de comprimento e 7m de largura. No passeio do lado esquerdo, foram introduzidas 12 árvores do tipo tília, espaçadas entre si. A opção para aumentar o número mas manter o mesmo tipo de árvores visou criar uma solução harmoniosa do espaço urbano, uma vez que já se encontrava preenchido com árvores do mesmo tipo. Apesar deste tipo de árvore poder oferecer um sombreamento menor e de efeito rendilhado, apostou-se na continuidade estética.



Figura 4.34 – Proposta de solução baseada na natureza: Zona 1.

Para a Zona 2, representada pela Figura 4.35, tendo em conta que no passeio do lado direito já se encontravam árvores do tipo jacarandá, considerou-se serem em número suficiente. Para a cantina, procedeu-se à colocação de uma cobertura verde semi-extensiva estruturada em aglomerado de cortiça expandida, com uma área aproximada de 808m<sup>2</sup>, composta por plantas suculentas, pequenos arbustos e plantas aromáticas, as quais implicam menor manutenção e podem ser aproveitadas na confeção de refeições da cantina (ervas aromáticas).

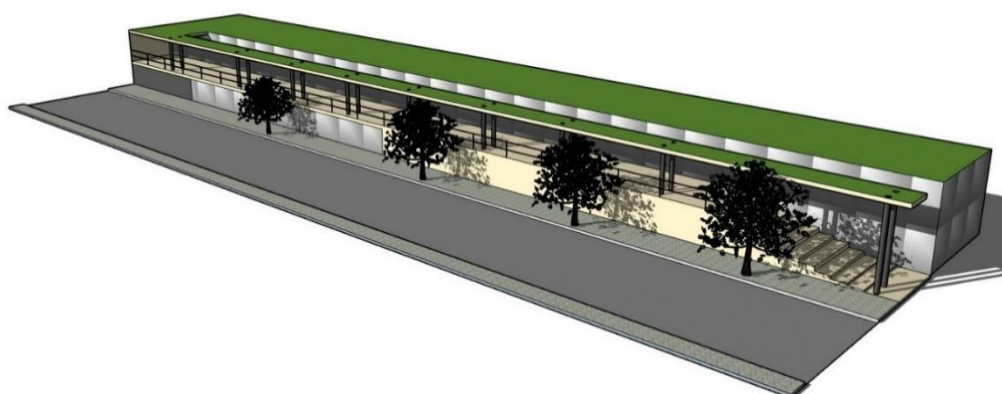


Figura 4.35 – Proposta de solução baseada na natureza: Zona 2.

Para a Zona 3, representada pela Figura 4.36, foram propostas duas fachadas verdes indirectas (as plantas são colocadas numa estrutura de suporte previamente fixada), estruturadas em aglomerado de cortiça expandida, compostas por plantas trepadeiras. Uma na fachada lateral do edifício do DEI, e outra na fachada lateral do edifício do DEEC, ambas com uma área aproximada de 700m<sup>2</sup> cada.



Figura 4.36 – Proposta de solução baseada na natureza: Zona 3.

Para a Zona 4, representada pela Figura 4.37, tendo em conta que no passeio do lado direito já existiam árvores do tipo jacarandá, considerou-se serem em número suficiente, optando-se apenas pela colocação de uma fachada verde indirecta, estruturada em aglomerado de cortiça expandida no edifício do DEQ, composta por plantas trepadeiras e ocupando uma área aproximada de 80m<sup>2</sup>.



Figura 4.37 – Proposta de solução baseada na natureza: Zona 4.

Para a Zona 5, representada pela Figura 4.38, tendo em conta que no passeio do lado direito e no passeio do lado esquerdo já se encontravam árvores do tipo castanheiro da Índia, procedeu-se à colocação de uma cobertura verde semi-extensiva estruturada em aglomerado de cortiça expandida, composta por plantas suculentas, pequenos arbustos e plantas aromáticas, ocupando uma área aproximada de 1050m<sup>2</sup>.



Figura 4.38 – Proposta de solução baseada na natureza: Zona 5.

Para a Zona 6, representada pela Figura 4.39, colocou-se um corredor verde, com relva perene do tipo grama, com a extensão aproximada de 50m de comprimento e 7m de largura, com 10 árvores espaçadas 5m entre si, do tipo castanheiro da Índia. Uma vez mais aproveitou-se a arborização existente no início da rua, por forma a manter o equilíbrio do espaço urbano. No pilar, por uma razão estética de equilíbrio aliado à sustentabilidade ambiental, colocou-se um jardim vertical, estruturado em aglomerado de cortiça expandida, composto por hera inglesa. Este jardim, porque apenso a uma estrutura que pode ser entendida como elemento artístico, é amovível e não definitiva. No passeio do lado esquerdo procedeu-se à colocação 10 de árvores do tipo castanheiro da Índia, espaçadas 5m entre si.



Figura 4.39 – Proposta de solução baseada na natureza: Zona 6.

Os esboços de soluções baseadas na natureza apresentadas para as 6 Zonas em estudo têm como objetivo mitigar os efeitos adversos das alterações climáticas, mais especificamente minimizar o risco do efeito do fenómeno do *heat stress* numa zona urbana. Ao aplicar estas propostas utilizam-se elementos naturais por forma a atingir as metas dos objetivos de desenvolvimento sustentável, a atingir até 2030 (ver Subsecção 2.2.3), objetivos esses que permitem melhorar os ecossistemas e a qualidade de vida dos cidadãos. Estas propostas permitem ainda, combinar conhecimentos de diferentes áreas, como o planeamento urbano, conservação da natureza e saúde pública através de esboços que permitem a visualização e comunicação dos mesmos a toda a comunidade, de modo a que possam de forma proativa contribuir para a criação de cidades mais sustentáveis. Por fim, estas propostas têm em vista a implementação de medidas que permitam mitigar o efeito do fenómeno do *heat stress* tornando a área em estudo menos exposta aos impactos negativos das alterações climáticas tornando-se mais resiliente e sustentável.

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

A presente dissertação surgiu no contexto da importância em identificar e compreender os efeitos dos eventos extremos, resultantes das alterações climáticas, em zonas urbanas, nomeadamente o fenómeno do *heat stress*. Este fenómeno tem consequências impactantes e prejudiciais no bem-estar da comunidade, causando desconforto térmico. Este trabalho surgiu também com o intuito de dotar as comunidades com medidas de adaptação e resiliência que permitam atenuar estes efeitos adversos.

Através da revisão bibliográfica apresentada foi possível ter uma maior amplitude de conhecimento no modo como o ambiente construído influencia o conforto térmico nas zonas urbanas. Permitirá também promover e sensibilizar a comunidade para uma maior e melhor consciência dos tipos de intervenção a adotar para mitigar os efeitos adversos das alterações climáticas em zonas urbanas, em especial no âmbito do conforto térmico.

O caso de estudo da presente dissertação visou avaliar o conforto térmico e aferir a existência do fenómeno de *heat stress*, através do índice PET, em duas ruas do Campus Universitário Polo II, da UC. Esta análise decorreu durante o período do verão, mais especificamente, entre os dias 1 a 15 de agosto de 2020, em dois períodos: 13h-14h e 19h-20h.

A calendarização dos trabalhos de campo sofreram profundas alterações em função da situação epidemiológica provocada pelo coronavírus SARS-CoV-2 e da doença COVID-19, que impediu que o estudo de caso ocorresse durante o funcionamento dos serviços académicos e do normal decurso das aulas, em tempo estival. Assim, a expectativa de realização do levantamento e observação de dados no período preferido foi interrompida de forma abrupta com o fim das aulas presenciais e com a séria limitação dos serviços académicos a partir de março.

Pelas mesmas razões não foi possível a aplicação de um questionário aos utilizadores da área em estudo, com o objetivo de recolher informação sobre os parâmetros individuais e assim avaliar o conforto térmico e aferir o risco do fenómeno de *heat stress*. De notar que a aplicação deste questionário só seria válida caso os utilizadores usufruíssem efetivamente dos espaços abrangidos por este estudo no período nele compreendido.

Este estudo concretizou-se apenas em agosto e porque a perspetiva de alteração da situação não era firme ou estável, entendeu-se, ao menos, salvar a outra variável seleccionada, o verão, para prosseguir os trabalhos académicos. De notar que à data de hoje verificam-se ainda limitações decorrentes dos sucessivos estados de emergência decretados com fundamento na verificação de uma situação de calamidade pública, com consequências em todas as dimensões da vida

humana. Como estamos perante um estudo de caso expedito e exploratório, os dados e os resultados encontrados não podem ser generalizados.

Assim, o cálculo do índice PET através do *software* RayMan Pro, surgiu como uma mais valia para avaliar o conforto térmico e aferir o risco do fenómeno de *heat stress*, através da conjugação dos elementos teóricos, apresentados na revisão bibliográfica e elementos práticos, levantados no trabalho de campo, obtendo-se, deste modo, resultados credíveis.

Por forma a existir uma maior impressionabilidade na análise dos resultados, efetuou-se uma análise de sensibilidade onde se determinou que os parâmetros ambientais que mais influenciam o cálculo do índice PET são a temperatura do ar, a velocidade do vento, a temperatura de superfície e a radiação solar. Acrescenta-se que, ao determinar o índice PET, os objetivos da dissertação consistentes na avaliação do conforto térmico e na aferição do risco de *heat stress* foram plenamente cumpridos, aumentando o potencial de intervenção para a atenuação deste risco nas 6 Zonas em estudo.

Para esta intervenção, tornou-se fundamental considerar os elementos morfológicos presentes na área em estudo, uma vez que contribuem de forma direta, em conjunto com outros parâmetros (gerais, individuais e ambientais), para a avaliação do conforto térmico e aferição do risco do fenómeno de *heat stress*, salientando, novamente, que cada caso de estudo não deve ser generalizado.

Depois de considerados todos os elementos necessários, determinou-se o índice PET, para o género masculino e para o género feminino, nos dois períodos de medição, em cada uma das 6 Zonas através obtendo-se os seguintes resultados:

- para o período das 13h-14h, obteve-se o nível de perceção térmica de muito calor e o nível de *stress* físico de extremo *stress* para o calor, em todas as 6 Zonas;
- para o período das 19h-20h, o nível de perceção térmica de calor foi registado para cinco Zonas em estudo (Zonas 1, 2, 3, 5 e 6), e o nível perceção térmica de pouco calor para uma Zona em estudo (Zona 4). Obteve-se o nível de *stress* físico de forte *stress* para o calor em cinco Zonas em estudo (Zonas 1, 2, 3, 5 e 6), e o nível de *stress* físico de moderado *stress* para o calor para uma Zona em estudo (Zona 4).

Apesar de Giralt (2006) referir que o género feminino tem tendência a registar temperaturas mais altas, essa tendência não foi corroborada para os dois períodos em análise uma vez que o nível de perceção térmica e o nível de *stress* físico obtido foi o mesmo para os dois géneros. Esta não corroboração aconteceu muito provavelmente por este estudo não estar a trabalhar



com dados reais, mas apenas com valores de referência no que diz respeito aos dois géneros, masculino e feminino.

Por fim, concluiu-se que através do nível de *stress* físico registado que existe o fenómeno de *heat stress* em todas as 6 Zonas, nos dois períodos de medição para os dois géneros.

Com o objetivo de contribuir de forma ativa para a mitigação dos efeitos adversos das alterações climáticas, os resultados obtidos foram colocados na aplicação Climate Scan permitindo a sua divulgação a toda a comunidade, nacional e internacional.

Com base nos resultados apresentados, este estudo apresentou um conjunto de propostas de soluções baseadas na natureza, tentando mitigar os efeitos do fenómeno de *heat stress* e melhorar o conforto térmico nas 6 Zonas em estudo. Estas propostas incidem sobre o património material (edificações) e natural (jardins), para de algum modo manter o equilíbrio urbano e, assim, contribuir para o combate às alterações climáticas, tornando as cidades mais sustentáveis e resilientes.

Não perdendo de vista este horizonte, a presente dissertação apresenta como hipóteses de extensão de conhecimento, melhoria de práticas e sugestões para trabalhos futuros:

- realizar estudos de caso comparados e longitudinais;
- realizar estudos fazendo uso cruzado de metodologias qualitativas e quantitativas;
- realizar questionários recolhendo informação sobre os parâmetros individuais por forma a avaliar a perceção térmica dos utilizadores da área em estudo;
- realizar estudos sobre o impacto das soluções baseadas na natureza nos valores do índice PET;
- realizar estudos sobre a orçamentação da aplicação das soluções baseadas na natureza na área de estudo.

## 6. Referências Bibliográficas

Acharya, P., Boggess, B. e Zhang, K. (2018) «Assessing heat stress and health among construction workers in a changing climate: A review», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2). doi: 10.3390/ijerph15020247.

Addington, M. D. e Schodek, D. L. (2005) *Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions*, Architectural Press, Oxford. Oxford: Architectural Press.

Admiraal, H. e Cornaro, A. (2019) «Future cities, resilient cities – The role of underground space in achieving urban resilience», *Underground Space*. Tongji University, pp. 1–6. doi: 10.1016/j.undsp.2019.02.001.

Akbari, H., Pomerantz, M. e Taha, H. (2001) «Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas», *Solar Energy*, 70(3), pp. 295–310. doi: 10.1016/S0038-092X(00)00089-X.

Akbari, H., Rose, L. S. e Taha, H. (2003) «Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos», *Landscape and Urban Planning*, 63(1), pp. 1–14. doi: 10.1016/S0169-2046(02)00165-2.

Alcoforado, M. J. *et al.* (2009) *Alterações climáticas e desenvolvimento urbano*. Editado por Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano. Lisboa, Portugal.

Ali-Toudert, F. e Mayer, H. (2007) «Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions», *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1–4), pp. 223–237. doi: 10.1007/s00704-005-0194-4.

APA@ (2020) *Agência Portuguesa do Ambiente*. Portugal. Disponível em: <https://apambiente.pt/>.

Asimakopoulou, D. N. *et al.* (2001) *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. Editado por Matheos Santamouris. Atenas: James & James (Science Publishers) Ltd.

Boogaard, F. C. *et al.* (2017) «Web-based international knowledge exchange tool on urban resilience and climate proofing cities: [www.climatescan.nl](http://www.climatescan.nl)», em *Artigo apresentado na 14th IWA/IAHR conferência internacional sobre drenagem urbana (ICUD) de 10 a 15 de setembro*. Praga, República Checa.

Boogaard, F. C. *et al.* (2020) «ClimateCafe: An interdisciplinary educational tool for sustainable climate adaptation and lessons learned», 12(9), pp. 1–19. doi: 10.3390/su12093694.

Boogaard, F. C., Kluck, J. e Groen, M. De (2018) «High Resolution Thermal Stress Mapping In Africa: Decision Maps for Urban Planning in Johannesburg», em *5th International Climate Change Adaption Conferência de 18 a 21 de junho*. Cabo, África do Sul, pp. 31–35.

Boogaard, F. C., Restemeyer, B. e Venvik, G. (2019) «Knowledge exchange on Climate

Adaptation with Nature-based solutions and Best Management Practices for Sustainable (ground) water management in Resilient Cities», em *Artigo apresentado na 46th IAH congresso*. Málaga, Espanha.

Borrego, C. *et al.* (2014) «Alterações climáticas em áreas urbanas», *Ingenium*, pp. 29–30.

Bryant, M. M. (2006) «Urban landscape conservation and the role of ecological greenways at local and metropolitan scales», *Landscape and Urban Planning*, 76(1–4), pp. 23–44. doi: 10.1016/j.landurbplan.2004.09.029.

De Castro Lima, É. *et al.* (2006) «Aspectos fisioanatômicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento», *Revista Árvore*, 30(1), pp. 33–41. doi: 10.1590/s0100-67622006000100005.

Chudnovsky, A., Ben-Dor, E. e Saaroni, H. (2004) «Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements», *Energy and Buildings*, 36(11), pp. 1063–1074. doi: 10.1016/j.enbuild.2004.01.052.

ClimateCafe@ (2020) *Climate Café*. Países Baixos. Disponível em: <https://climatecafe.nl/>.

ClimateScan@ (2020) *Climate Scan*. Países Baixos. Disponível em: <https://www.climatescan.nl/>.

Coccolo, S. *et al.* (2016) «Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards», *Urban Climate*. Elsevier Inc., 18, pp. 33–57. doi: 10.1016/j.uclim.2016.08.004.

Cortês, J. P. A. G. (2013) *Thermal retrofitting of public spaces in compact urban areas. A bioclimatic approach*. Faculdade de Engenharia do Porto. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/73872>.

Coutts, A. e Harris, R. (2012) *A multi-scale assessment of urban heating in Melbourne during an extreme heat event: policy approaches for adaptation*. Disponível em: <http://www.vcccar.org.au/publication/technical-report/multi-scale-assessment-urban-heating-in-melbourne-during-an-extreme>.

Dimoudi, A. e Nikolopoulou, M. (2003) «Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits», *Energy and Buildings*, 35, pp. 69–76.

Duchêne, C. *et al.* (2003) «Quantitative and qualitative description of building orientation», *Fifth Workshop on Progress in Automated Map Generalization*, pp. 1–10. Disponível em: [http://www.geo.unizh.ch/ICA/docs/paris2003/papers/duchene\\_et\\_al\\_v1.pdf](http://www.geo.unizh.ch/ICA/docs/paris2003/papers/duchene_et_al_v1.pdf).

EngenhariaCivil@ (2020) *Engenharia Civil na Internet*. Disponível em: <https://www.engenhariacivil.com/>.

Fanger, P. O. (1970) *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Copenhaga: Danish Technical Press.

Fernández-Fontecha *et al.* (2019) «A multimodal approach to visual thinking: the scientific sketchnote», *Visual Communication*, 18(1), pp. 5–29. doi: 10.1177/1470357218759808.

Fischer, E. M., Oleson, K. W. e Lawrence, D. M. (2012) «Contrasting urban and rural heat stress responses to climate change», *Geophysical Research Letters*, 39(3), pp. 1–8. doi: 10.1029/2011GL050576.

FLIR (2020) «Flir - direct». Disponível em: [info@flir-direct.com](mailto:info@flir-direct.com).

Fouillet, A. *et al.* (2006) «Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France», *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 80(1), pp. 16–24. doi: 10.1007/s00420-006-0089-4.

Frantzeskaki, N. *et al.* (2017) *Nature-Based Solutions Accelerating Urban Sustainability Transitions in Cities: Lessons from Dresden, Genk and Stockholm Cities*. doi: 10.1007/978-3-319-56091-5\_5.

Fröhlich, D. e Matzarakis, A. (2016) «A quantitative sensitivity analysis on the behaviour of common thermal indices under hot and windy conditions in Doha, Qatar», *Theoretical and Applied Climatology*, 124(1–2), pp. 179–187. doi: 10.1007/s00704-015-1410-5.

Frota, A. B. (2001) *Manual de conforto térmico : arquitetura, urbanismo*. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel.

Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J. e Nishi, Y. (1971) «An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response», em *Encontro semi anual ASHRAE em janeiro*. Filadélfia, Estados Unidos da América, pp. 24–28.

Giralt, R. P. (2006) *Conforto Térmico em Espaços Públicos Abertos na Cidade de Torres - RS*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Givoni, B. (1998) *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Editado por John Wiley & Sons. Michigan.

Gonçalves, H. e Graça, J. M. (2004) *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.9/1323>.

GoogleEarth@ (2020) *Google Earth*. Portugal. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/>.

GoogleMaps@ (2020) *Google Maps*. Portugal. Disponível em: <https://www.google.pt/maps/>.

Habitat, U. N. (2015) «Resiliência Urbana», em *United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development*. Nova Iorque, Estados Unidos da América, pp. 0–10.

Hegger, M. *et al.* (2006) *Construction Materials Manual*. Editado por W. de Gruyter.

Höppe, P. (1999) «The physiological equivalent temperature - a universal index for the

biometeorological assessment of the thermal environment.», *International journal of biometeorology*, 43(2), pp. 71–75.

IPCC (2014) *Resumo para Decisores, Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas.*

IPMA@ (2020) *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. Portugal. Disponível em: <http://ipma.pt>.

ISO (1987) «ISO 8996 - Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate».

ISO (1998) «Iso 7726 - Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities».

ISO (2005) «ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria».

Jendritzky, G., de Dear, R. e Havenith, G. (2012) «UTCI - Why another thermal index?», *Int.J.Biometeorol*, 56, pp. 428–428. doi: 10.1007/s00484-011-0513-7.

Klok, E. J. (Lisette. e Kluck, J. (2018) «Reasons to adapt to urban heat (in the Netherlands)», *Urban Climate*. Elsevier B.V., 23, pp. 342–351. doi: 10.1016/j.uclim.2016.10.005.

Krebs, L. F. (2012) «Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha», *Revista Destaques Acadêmicos*, pp. 101–112.

Labaki, L. C. *et al.* (2011) «Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos.», (March 2014).

Lopes (2006) «O Sobreaquecimento das Cidades Causas e Medidas para a Mitigação da Ilha de Calor de Lisboa», *Territorium 15*, pp. 39–52. Disponível em: [http://www1.ci.uc.pt/nicif/riscos/downloads/t15/Antonio\\_Lopes\\_sobraquecimento\\_das\\_cidades.pdf](http://www1.ci.uc.pt/nicif/riscos/downloads/t15/Antonio_Lopes_sobraquecimento_das_cidades.pdf).

Loureiro, J. *et al.* (2017) *Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas da CIM-Região de Coimbra*.

Luo, M. e Lau, N. C. (2018) «Increasing Heat Stress in Urban Areas of Eastern China: Acceleration by Urbanization», *Geophysical Research Letters*, 45(23), pp. 13,060–13,069. doi: 10.1029/2018GL080306.

Manso, M. e Castro-Gomes, J. (2015) «Green wall systems: A review of their characteristics», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 41(January), pp. 863–871. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.203.

- Mascaró, L. e Mascaró, J. J. (2009) *Ambiência urbana*. 3ª edição. Porto Alegre: Masquatro.
- Mascaró, L. e Mascaró, J. J. (2010) *Vegetação Urbana*. Porto Alegre: Maisquatro.
- Matzarakis, A. e Amelung, B. (2008) «Physiological equivalent temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans», *Advances in Global Change Research*, 30, pp. 161–172. doi: 10.1007/978-1-4020-6877-5\_10.
- Matzarakis, A., Mayer, H. e Iziomon, M. (1999) «Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature», *International Journal of Biometeorology*, 28(4), pp. 76–84. doi: 10.1088/0022-3727/28/4A/015.
- Matzarakis, A., Rutz, F. e Mayer, H. (2007) «Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model», *International Journal of Biometeorology*, 51(4), pp. 323–334. doi: 10.1007/s00484-006-0061-8.
- Matzarakis, A., Rutz, F. e Mayer, H. (2010) «Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model», *International Journal of Biometeorology*, 54(2), pp. 131–139. doi: 10.1007/s00484-009-0261-0.
- Ministério do Ambiente, O. do T. e E. (2015) *Cidades Sustentáveis 2020 - Anexo I: Diagnóstico Territorial*. Disponível em: <http://www.dgterritorio.pt/>.
- Mir, M. A. (2011) *Green Facades and Building Structures, Faculty of Civil Engineering*.
- NBS@ (2020) *Nature Based Solutions*. Netherlands. Disponível em: <https://www.nature-basedsolutions.com/>.
- Nikolopoulou, M. (2004) «Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach», XXXIII(2), p. 56.
- Oberndorfer, E. *et al.* (2007) «Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services», *BioScience*, 57(10), pp. 823–833. doi: 10.1641/B571005.
- Oke, T. R. (1987) *Boundary Layer Climates*. 2 ed. Taylor & Francis.
- Oliveira, A. (2014) «Alterações Climáticas no Planeamento Urbano: Da Exaustividade da Análise à Timidez da Proposição no Plano Director Municipal de Lisboa», em. doi: 10.13140/2.1.3543.0084.
- Oliveira Panão, M. J. ., Gonçalves, H. J. . e Ferrão, P. M. . (2006) «Oliveira panao Indicadores do Desempenho Térmico de Edificações Urbanas.pdf».
- Oliveira, T. (2015) *Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações*, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ONSET (2020) *HOBOWare® User 's Guide*. Disponível em: [www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com).

ONU (2016) *17 Objetivos para Transformar o Nosso Mundo, Guia sobre Desenvolvimento Sustentável*. doi: 10.1186/s12889-015-1411-4.

Paiva, J. (1996) «Coimbra: As artérias urbanas e as árvores», pp. 49–55.

Papadakis, G., Tsamis, P. e Kyritsis, S. (2001) «An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings», *Energy and Buildings*, 33(8), pp. 831–836. doi: 10.1016/S0378-7788(01)00066-4.

Pedroso de Lima, J. J. (1992) «Radiação Solar - Aspectos Físico-Químicos», *Acta Médica Portuguesa*, 5, pp. 437–442.

Perini, K. *et al.* (2011) «Greening the building envelope, facade greening and living wall systems», *Open Journal of Ecology*, 01(01), pp. 1–8. doi: 10.4236/oje.2011.11001.

Plumley, H. J. (1977) «Design of outdoor urban spaces for thermal comfort». Estados Unidos da América, pp. 152–162.

REA@ (2020) *Portal do Estado do Ambiente, Relatório do Estado do Ambiente*. Portugal. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/>.

Ribeiro, L. e Barão, T. (2006) «Greenways for recreation and maintenance of landscape quality: five case studies in Portugal», *Landscape and Urban Planning*, 76(1–4), pp. 79–97. doi: 10.1016/j.landurbplan.2004.09.042.

Rivero, R. (1985) *Arquitetura e clima. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. Editado por U. U. F. do R. G. do Sul.

Rola, S. M. (2008) *A naturalização como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de naturalização em filtrar a água de chuva, Tese*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Romero-Lankao, P. e Dodman, D. (2011) «Cities in transition: Transforming urban centers from hotbeds of GHG emissions and vulnerability to seedbeds of sustainability and resilience. Introduction and Editorial overview», *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), pp. 113–120. doi: 10.1016/j.cosust.2011.02.002.

Saiz, S. *et al.* (2006) «Comparative life cycle assessment of standard and green roofs», *Environmental Science and Technology*, 40(13), pp. 4312–4316. doi: 10.1021/es0517522.

Santos, F. D. *et al.* (2006) *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projecto SIAM II, Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projecto SIAM II*.

Searns, R. M. (1995) «The evolution of greenways as an adaptive urban landscape form», *Landscape and Urban Planning*, 33(1–3), pp. 65–80. doi: 10.1016/0169-2046(94)02014-7.

Serro, J. P. (2017) *Estudo de viabilidade da aplicação de coberturas e fachadas verdes na*

*estação ferroviária de entrecampos*. Instituto Superior Técnico de Lisboa.

SketchCity@ (2020) *Sketch City*. Suíça. Disponível em: <https://sketchcity.ch/>.

Soares, M. R. M. (2017) *Conforto Térmico do Espaço Público. Caso de Estudo*. Universidade do Porto.

Sobolewski, A. *et al.* (2020) «The influence of air humidity on human heat stress in a hot environment», *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 3548, pp. 1–11. doi: 10.1080/10803548.2019.1699728.

Spagnolo, J. e de Dear, R. (2003) «A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia», *Building and Environment*, 38(5), pp. 721–738. doi: 10.1016/S0360-1323(02)00209-3.

UN (2016) *The 2030 Agenda for sustainable development, Arsenic Research and Global Sustainability - Proceedings of the 6th International Congress on Arsenic in the Environment, AS 2016*. doi: 10.1201/b20466-7.

UN (2018) *World Urbanization Prospects, Demographic Research*. doi: 10.4054/demres.2005.12.9.

UN (2019) *The sustainable development goals report 2019, United Nations publication issued by the Department of Economic and Social Affairs*.

Wang, J. e Schwering, A. (2015) «Invariant spatial information in sketch maps - a study of survey sketch maps of urban areas», *Journal of Spatial Information Science*, 11(2015), pp. 31–52. doi: 10.5311/JOSIS.2015.11.225.

Wunderground@ (2020) *Weather Underground*. Disponível em: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/ICOIMBRA14>.

Yilmaz, S., Toy, S. e Yilmaz, H. (2007) «Human thermal comfort over three different land surfaces during summer in the city of Erzurum, Turkey», *Atmosfera*, 20(3), pp. 289–297.

Yu, B. *et al.* (2008) «Study on the influence of albedo on building heat environment in a year-round», *Energy and Buildings*, 40(5), pp. 945–951.

Zelevnik, R. C., Herndon, K. P. e Hughes, J. F. (2006) «SKETCH: An interface for sketching 3D scenes», *SIGGRAPH 2006 - ACM SIGGRAPH 2006 Courses*. doi: 10.1145/1185657.1185770.