

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Joana Fernandes Neves

A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS VERDES NOS
MICROCLIMAS DA CIDADE DE COIMBRA
CONTRIBUTOS PARA A
SUSTENTABILIDADE URBANA

Dissertação de Mestrado em Geografia Física - Ambiente e
Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor
António Manuel Rochette Cordeiro, apresentada ao Departamento
de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da Universidade
de Coimbra

Setembro 2022

Joana Fernandes Neves

FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS VERDES NOS
MICROCLIMAS DA CIDADE DE COIMBRA
CONTRIBUTOS PARA A
SUSTENTABILIDADE URBANA

Joana Fernandes Neves

Dissertação de Mestrado em Geografia Física - Ambiente
Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor
António Manuel Rochette Cordeiro, apresentada ao Departamento
de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da Universidade
de Coimbra

Setembro de 2022

FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS VERDES NOS
MICROCLIMAS DA CIDADE DE COIMBRA
CONTRIBUTOS PARA A
SUSTENTABILIDADE URBANA

Ficha Técnica

Tipo de trabalho	Dissertação
Título	A Influência das Áreas Verdes nos Microclimas da cidade de Coimbra
Subtítulo	Contributos para a Sustentabilidade Urbana
Autor	Joana Fernandes Neves
Orientador	Doutor António Manuel Rochette Cordeiro Presidente: Doutora Adélia Jesus Nobre Nunes
Júri	Vogais: 1. Doutor José Miguel Esteves Lameiras 2. Doutor António Manuel Rochette Cordeiro
Identificação do Curso	2º Ciclo em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território
Área científica	Geografia Física
Especialidade/Ramo	Ambiente e Ordenamento do Território
Data da defesa	31-10-2022
Classificação	19 valores

*“O clima influencia o homem de diversas maneiras,
e o homem influencia o clima através de suas várias atividades.”*
(AYOADE, 1986, p.286, cfr, Nunes, 2016:598).

Agradecimentos

O desempenho da seguinte dissertação só foi possível com o apoio e força de múltiplas pessoas às quais estarei eternamente grata. Manifesto, assim, o meu agradecimento a todos aqueles que direta ou indiretamente estiveram presentes no meu percurso académico, e que contribuíram para a apresentação final desta tese.

Ao Professor Doutor António Manuel Rochette Cordeiro, meu orientador, que me acompanhou ao longo deste percurso e que sempre se mostrou disponível para esclarecer dúvidas, dar opiniões e apoiar as alterações neste trabalho. Para além disto, deu-me também a oportunidade de o auxiliar no Centro de Estudos Interdisciplinares do Século XX – CEIS20, de onde retirei muita aprendizagem para o meu futuro profissional.

Não poderia deixar de agradecer a todos os professores de curso e de mestrado, que foram cruciais no meu percurso, passaram-me imensos conhecimentos e competências que culminaram na elaboração desta tese. Agradecer em especial ao Doutor Luciano Lourenço que com a sua exigência me fez crescer bastante como estudante.

Aos meus colegas de curso e de mestrado, destacando a Márcia Silva e a Joana Ferreira que estiveram sempre presentes, sempre prontas a ouvirem-me, a partilhar conhecimentos, e a terem a paciência de ouvir todos os dias as minhas preocupações. Foi também com elas que partilhei todas as minhas vitórias e toda a minha vida académica. Não poderia deixar de dar destaque ao meu colega e amigo Alexandre Ornelas, que sempre me ensinou muito e foi ele também que me mostrou como poderia ser uma melhor geógrafa, tendo sempre a tecnologia ao nosso lado.

Ao meu colega Djime Dourado que sempre se mostrou disponível para auxiliar em tudo o que foi necessário.

Não poderia deixar de agradecer à minha família, pai, mãe e irmã sem eles nada teria sido possível, a força, o carinho e o apoio que sempre mostraram foi crucial. Foram eles que me ouviram e apoiaram, tanto nos momentos de desânimo como nos de alento.

Ao meu companheiro, Rodrigo, por ter caminhado de mão dada comigo nesta etapa, pela paciência, compreensão e ajuda prestada ao longo de todo o meu percurso académico, foi ele que me deu todos os incentivos para concluir o meu mestrado, por isso digo, que foi a peça fundamental para o meu sucesso académico, muito obrigada.

Às minhas amigas, Alexandrina Martins, Inês Antunes, Francisca Silva, Francisca Miroto, Rita Mendes, entre outros que não menciono o nome, mas que sabem quem são,

amigos que tiveram sempre ao meu lado nesta fase, pelo companheirismo e força que me deram mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradecer também à Faculdade de Letras que foi a minha casa durante cinco anos.

A todos o meu sincero e profundo **Muito Obrigada!**

Resumo

As mudanças climáticas são hoje uma grande preocupação mundial, tornando-se urgente encontrar um equilíbrio para o ecossistema. Ao longo dos anos, as cidades foram sofrendo alterações, sobretudo devido ao processo de urbanização que desenvolveu múltiplas transformações ambientais, fazendo-se sentir um aumento das temperaturas nos centros urbanos em relação às áreas circundantes.

Proporcionar uma melhor qualidade de vida aos cidadãos, tendo em atenção a preservação da natureza é bastante desafiante, competindo às gerações futuras adaptar o desenvolvimento urbano às particularidades do meio físico, de forma a evitar cenários catastróficos. Neste sentido, têm vindo a desenvolver-se medidas de mitigação que promovem a sustentabilidade urbana, sendo os espaços verdes um elemento fundamental.

Os espaços verdes são considerados parte integrante do desenvolvimento de cidades sustentáveis e resilientes às alterações climáticas, pois para além de proporcionarem um maior conforto bioclimático, são também cruciais para a regulação térmica local. Desta forma, os geógrafos físicos (entre outros) têm um papel fundamental na reorganização do espaço urbano, tendo por base estratégias de planeamento que articulem a relação dos espaços cinzentos a infraestruturas verdes (e azuis) biodiversificadas.

Neste estudo, o enfoque está nas vantagens térmicas que um espaço verde pode promover na amenização térmica local, refletindo dois importantes processos físicos: o efeito de sombra e a evapotranspiração. No entanto, existe também uma componente coletiva, com o intuito de analisar o centro urbano, e ter uma maior perceção da Ilha de Calor Urbana e a sua relação com os espaços verdes existentes no espaço urbano, assim como compreender qual o papel dos espaços azuis e verdes na regulação térmica do espaço urbano.

Para a análise da influência dos espaços urbanos nos microclimas da cidade de Coimbra foram utilizados dados de temperatura provenientes de *data loggers* em três estações do ano diferentes e, ainda em três momentos do dia. Esta análise é dividida em dois níveis, temperaturas na horizontal através de percursos pedonais itinerantes, e temperaturas na vertical através de sensores fixos e levantamento do drone.

A área de estudo é na cidade de Coimbra, tendo sido selecionado um espaço verde de grande dimensão, murado e com diferentes mosaicos, o Jardim Botânico da

Universidade de Coimbra, onde se verifica uma célula de ar fresco constante comparando com o centro urbano. Dados estes resultados, e com o objetivo de analisar uma escala de pormenor microclimático, foi analisado um setor no interior deste espaço, nomeadamente, a Alameda das Tílias, aqui à semelhança do jardim verificou-se que a sua ação amenizadora depende da sua composição vegetal. As tílias sendo uma espécie caducifolia proporcionam diferenças térmicas nas diferentes estações do ano devido ao desenvolvimento da sua folhagem, isto é, no inverno denotam-se temperaturas elevadas, enquanto nos meses de primavera e verão, o efeito de sombra influencia diretamente as temperaturas mais próximas do fuste, sendo estas mais baixas.

O estudo aponta para a necessidade urgente da implementação de medidas capazes de reduzir as problemáticas associadas ao aumento de temperatura no interior dos centros urbanos, considerando-se, assim, os espaços verdes fundamentais, quer através de pequenos jardins/parques, quer do verde viário.

Palavras-Chave: Cidades Sustentáveis; Microclimatologia Urbana; Espaços Verdes; Processo de urbanização; Resiliências às mudanças Climáticas; Coimbra.

Abstract

Climate change is now a major global concern, making it urgent to find a balance for the ecosystem. Over the years, cities have been changing, mainly due to the urbanisation process that has developed multiple environmental transformations, causing an increment in temperatures in urban centres compared to surrounding areas.

Providing a better quality of life for citizens while considering the preservation of nature is quite challenging. Hence, it is up to future generations to adapt urban development to the particularities of the physical environment to avoid catastrophic scenarios. In light of this, mitigation measures have been developed to promote urban sustainability with green spaces being a fundamental element.

Green spaces are considered an integral part of the development of sustainable and climate resilient cities because besides providing greater bioclimatic comfort, they are also crucial for local thermal regulation. Thus, physical geographers, among others, have a fundamental role in the reorganisation of urban space, based on planning strategies that articulate the relationship of grey spaces to biodiverse green (and blue) infrastructures.

In this study, the focus is on the thermal advantages that green space can promote in local thermal amenity, reflecting two important physical processes: the shadow effect and evapotranspiration. However, the collective component aims to analyze the urban centre and have a greater perception of the Urban Heat Island and its relation with the existing green spaces in the urban space as well as to understand the role of blue and green spaces in the thermal regulation of the urban space.

The analysis of the influence of urban spaces in the microclimates of the city of Coimbra focuses on temperature data from data loggers in three different seasons of the year as well as in three moments of the day. This analysis is divided into two levels, horizontal temperatures through itinerant pedestrian routes, and vertical temperatures through fixed sensors and drone surveys.

The Botanical Garden of the University of Coimbra was selected as the study area in the city of Coimbra due to the large size of the green space, being walled and with different mosaics where there is a constant fresh air cell compared to the urban centre.

Considering these results and analyzing a scale of microclimatic in detail, the Alameda das Tílias, a sector inside this space, was studied. Thus, like the Botanical Garden, it was verified that its softening action depends on its vegetal composition. Linden trees are deciduous species that could provide thermal differences in the various seasons of the year due to the development of their foliage, resulting in high temperatures in winter and lower temperatures in spring and summer since the effect of shade directly influences the temperatures closer to the stem.

The study points to the urgent need for the implementation of measures capable of reducing the problems associated with the rise in temperature inside urban centres, thus considering green spaces a fundamental, whether through small gardens/parks or green roads.

Key words: Sustainable Cities; Urban Microclimatology; Green spaces; Urbanization process; Resilience to Climate Change; Coimbra

Índice

CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO	2
CAPÍTULO II	6
OBJETIVOS.....	7
METODOLOGIA	8
CAPÍTULO III	11
ENQUADRAMENTO TEÓRICO	12
3.1. <i>Estado da arte</i>	12
3.2. <i>O desenvolvimento sustentável / sustentabilidade urbana</i>	13
3.3. <i>O clima e as suas repercussões no espaço urbano</i>	20
3.4. <i>O crescimento do espaço urbano e o impacte da urbanização nas questões ambientais</i>	23
3.5. <i>A influência dos espaços verdes nas áreas urbanas</i>	25
3.6. <i>Estratégias de mitigação</i>	28
CAPÍTULO IV	30
A GEOGRAFIA DE COIMBRA	31
4.1. <i>Enquadramento geográfico</i>	31
4.1.1. O relevo e a geomorfologia.....	32
4.1.2. O Clima	34
4.1.3. Ocupação do solo	36
4.2. <i>Localização da área em estudo – Jardim Botânico da Universidade de Coimbra</i>	38
CAPÍTULO V	40
ANÁLISE TÉRMICA GERAL.....	41
ANÁLISE TÉRMICA DOS DIFERENTES MOSAICOS DO JARDIM BOTÂNICO.....	60
ANÁLISE TÉRMICA DA ALAMEDA DAS TÍLIAS.....	71
ANÁLISE EM ALTURA	76
DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	80
CAPÍTULO VI	84
CONCLUSÃO	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	92

Lista de Figuras

FIGURA 1: TINYTAG PLUS 2 -----	10
FIGURA 2: DRONE -----	10
FIGURA 3: OS COMPONENTES BIOFÍSICOS QUE COMPÕEM UM ECOSISTEMA URBANO -----	12
FIGURA 4: PILARES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL -----	15
FIGURA 5: OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL -----	18
FIGURA 6: IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO -----	27
FIGURA 7: ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA CIDADE DE COIMBRA -----	32
FIGURA 8: HIPSOMETRIA -----	33
FIGURA 9: GRÁFICO TERMOPLUVIOMÉTRICO DA CIDADE DE COIMBRA -----	36
FIGURA 10: CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA CIDADE DE COIMBRA -----	37
FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DO JARDIM BOTÂNICO -----	38
FIGURA 12: DIFERENTES SETORES DO JARDIM BOTÂNICO -----	39
FIGURA 13: CARTOGRAMA GERAL DO CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NA NOITE DE 6 DE FEVEREIRO DE 2020 DA CIDADE DE COIMBRA -----	42
FIGURA 14: CARTA SINÓPTICA DE SUPERFÍCIE (NMM), ÀS 00H UTC, RELATIVA À EUROPA (MODELO UKMO) DO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2022. -----	44
FIGURA 15: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA MANHÃ NO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2022. -----	46
FIGURA 16: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2022. -----	48
FIGURA 17: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA NOITE NO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2022. -----	49
FIGURA 18: CARTA SINÓPTICA DE SUPERFÍCIE (NMM), ÀS 00H UTC, RELATIVA À EUROPA (MODELO UKMO) DO DIA 11 DE MAIO DE 2022. -----	50
FIGURA 19: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA MANHÃ NO DIA 11 DE MAIO DE 2022. -----	51
FIGURA 20: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 11 DE MAIO DE 2022. -----	53
FIGURA 21: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA NOITE NO DIA 11 DE MAIO DE 2022. -----	54
FIGURA 22: CARTA SINÓPTICA DE SUPERFÍCIE (NMM), ÀS 00H UTC, RELATIVA À EUROPA (MODELO UKMO) DO DIA 8 DE JULHO DE 2022. -----	55

FIGURA 23: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA MANHÃ NO DIA 8 DE JULHO DE 2022. -----	57
FIGURA 24: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 8 DE JULHO DE 2022. -----	58
FIGURA 25: CAMPO TÉRMICO DA CIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA NOITE NO DIA 8 DE JULHO DE 2022. -----	59
FIGURA 26: JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA -----	61
FIGURA 27: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA MANHÃ NO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2022 -----	62
FIGURA 28: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2022 -----	64
FIGURA 29: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA MANHÃ NO DIA 11 DE MAIO DE 2022. -----	65
FIGURA 30: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 11 DE MAIO DE 2022. -----	66
FIGURA 31: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA NOITE NO DIA 11 DE MAIO DE 2022. -----	67
FIGURA 32: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA MANHÃ NO DIA 8 DE JULHO DE 2022.-----	68
FIGURA 33: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 8 DE JULHO DE 2022.-----	69
FIGURA 34: CAMPO TÉRMICO DO JARDIM BOTÂNICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA NO PERÍODO DA NOITE NO DIA 8 DE JULHO DE 2022.-----	70
FIGURA 35: CAMPO TÉRMICO DA ALAMEDA DAS TÍLIAS NO PERÍODO DA TARDE NO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2022. -----	72
FIGURA 36: CAMPO TÉRMICO DA ALAMEDA DAS TÍLIAS NO PERÍODO NAS MANHÃS DOS DIAS 11 DE MAIO E 8 DE JULHO DE 2022. -----	73
FIGURA 37: CAMPO TÉRMICO DA ALAMEDA DAS TÍLIAS NO PERÍODO NAS TARDES DOS DIAS 11 DE MAIO E 8 DE JULHO DE 2022. -----	74
FIGURA 38: CAMPO TÉRMICO DA ALAMEDA DAS TÍLIAS NO PERÍODO NAS NOITES DOS DIAS 11 DE MAIO E 8 DE JULHO DE 2022. -----	75
FIGURA 39: ANÁLISE EM ALTURA NA ALAMEDA DAS TÍLIAS NO DIA 11 DE MAIO. -----	77
FIGURA 40: ANÁLISE EM ALTURA NA ALAMEDA DAS TÍLIAS NO DIA 8 DE JULHO.-----	78
FIGURA 41: PERFIL TÉRMICO DO DIA 8/07/2022. -----	79
FIGURA 42: ALAMEDA DAS TÍLIAS NAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO, FEVEREIRO, MAIO E JULHO -----	82

FIGURA 43: DIFERENTES SETORES DA ÁREA GERAL EM ESTUDO-----	92
FIGURA 44: DIFERENTES SETORES DA ÁREA GERAL EM ESTUDO-----	92
FIGURA 45: ESPAÇO AZUL ARTIFICIAL NO INTERIOR DO QUADRADO CENTRAL DO FONTANÁRIO-----	93

Lista de Siglas e Abreviaturas

CEE – Comunidade Económica Europeia

CIM – Comunidade Intermunicipal

COP26 - Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas

COS – Carta de Ocupação do Solo

DT – Data logger

GEE – Gases de Efeito de Estufa

ICU – Ilha de Calor Urbano

INAMB - Instituto Nacional do Ambiente

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

M – Metros

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

RAN - Reserva Agrícola Nacional

REN - Reserva Ecológica Nacional

SCU – Sistema de Clima Urbano

UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

UNRIC – Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por seis capítulos, onde no capítulo I é introduzida a temática em estudo. Seguindo-se com o capítulo II onde se dá a conhecer todos os objetivos definidos e, ainda, a metodologia do estudo.

No capítulo III desenvolve-se o estado de arte que consiste num enquadramento teórico e definição de conceitos. Neste serão abordados temas como o desenvolvimento sustentável; a sustentabilidade urbana; o clima urbano e as repercussões no espaço urbano e a influencia dos espaços verdes nas cidades.

No capítulo IV serão abordadas as características físicas da cidade de Coimbra e da área em estudo, assim como a caracterização do clima e a ocupação do solo, de forma a conhecer a geografia deste território e interligá-la aos fenómenos climáticos que ocorrem na mesma.

É no capítulo V, que se inicia o estudo de caso, onde será abordado o microclima da cidade e a influência dos espaços verdes no mesmo. Desta forma, este capítulo apresenta uma análise dos resultados térmicos nas diversas áreas de estudo, nomeadamente, no enquadramento geral da cidade, no Jardim Botânico e na Alameda das Tílias. Irá desenvolver-se também a descrição dos resultados obtidos no levantamento vertical.

Finalmente, no VI chegamos às considerações finais, onde estarão presentes as conclusões e as perspetivas futuras referentes ao estudo.

Capítulo I

Introdução

Introdução

O planeta Terra enfrenta, no presente, imensos desafios sociais, económicos e ambientais, derivado da modificação dos ambientes naturais que foram substituídos por superfícies antrópicas. Estas exigem uma compreensão dos novos ecossistemas urbanos de modo a promover a resiliência às mudanças climáticas nas cidades atuais, tendo sempre presente que estas representam uma das grandes preocupações mundiais. Os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) devem ser abordados de modo a promover um futuro melhor para todos, que tenha em vista um novo modelo global para terminar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas. Por força deste modelo, no ano de 2015, foram definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) 17 ODS, os quais, globalmente, integram a Agenda 2030, a qual pretende promover um desenvolvimento sustentável, sendo este definido por *“aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”* (Instituto Marquês de Valle Flôr, 2018: 27). O sucesso destes objetivos, o que levará a um planeta mais saudável, requer um trabalho conjunto dos governos e dos cidadãos de todo o mundo. Esta missão encontra-se estreitamente relacionada com as tendências demográficas, incluindo o crescimento populacional, o envelhecimento, a migração e a urbanização (UN, 2022). Importa referir que este conceito de “sustentabilidade” se tornou uma preocupação mundial que tem crescido exponencialmente, uma vez que o verificar dos mais recentes eventos climáticos obrigam a uma crescente atenção por parte da Humanidade.

Observa-se, porém, que a população mundial continua a aumentar, embora se constate que este crescimento é bastante heterogéneo. Nos países menos desenvolvidos, o acelerado crescimento populacional, bem como a vulnerabilidade às alterações climáticas agravam os desafios de um desenvolvimento sustentável. Noutros países, à semelhança dos menos desenvolvidos, existe uma problemática associada às alterações climáticas ao mesmo tempo que se verifica o confronto com desafios vocacionados para o envelhecimento da população, e a respetiva necessidade de fornecer proteção social. A questão da urbanização é bastante pertinente no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável e às alterações climáticas, uma vez que o mundo continua a urbanizar-se, e que segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), 70% da

população mundial viverá em áreas urbanas até 2050. Estas estimativas evidenciam que estamos perante um futuro cada vez mais urbano, no qual deve ser reconhecida a importância da boa gestão das cidades, bem como os impactos provenientes da expansão urbana nas modificações drásticas dos ecossistemas existentes e dos padrões do habitante urbano (Oke, *et al.*, 2017). É de destacar que a Agenda 2030, apresenta um objetivo focado nas cidades, planeando tornar as cidades mais sustentáveis, seguras, resilientes e menos vulneráveis (UN, 2019). Este é o objetivo 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, no qual esta dissertação terá bastante enfoque.

O crescimento do espaço urbano têm-se intensificado desde o final da Revolução Industrial, sendo atualmente para a maioria da população, o ambiente mais valorizado, e consequentemente, o espaço que necessita de uma maior intervenção no diz respeito às estratégias de gestão dos recursos naturais. Este acelerado processo de urbanização e as drásticas mudanças no uso do solo associada à atividade antrópica, tem vindo a desenvolver efeitos que têm alterado, substancialmente, a função dos ecossistemas (Marland *et al.*, 2003). Portanto, torna-se importante que se respeitem as funções e hierarquias dentro do espaço urbano, para que todos os elementos funcionem em harmonia, sendo sustentáveis e fiéis ao bem-estar do cidadão. É importante referir que as mudanças climáticas têm estado a interagir com estes impulsionadores, pondo à prova a resiliência dos sistemas naturais, sendo cada vez mais importante tornar as infraestruturas urbanas resilientes, em prol dos fenómenos extremos provocados por estas alterações (Hathway e Sharples, 2012). Segundo Oke, *et al.*, (2017), o clima urbano é um bom exemplo das alterações climáticas e do impacto indireto das atividades antrópicas na atmosfera.

Em todas as cidades verificam-se efeitos urbanos sobre o ambiente, ou seja, denota-se que há um impacto intenso do crescimento urbano no uso do solo e consequentemente nos processos da baixa atmosfera, e por consequência, o desenvolvimento de climas urbanos distintos. O sistema urbano contribui então, para a modificação climática e a composição atmosférica em escalas locais, regionais e até globais. As variáveis climáticas influenciadas pelas cidades, afetam os seres humanos através da temperatura (afetada naturalmente pela radiação solar), humidade, vento e precipitação. As alterações na temperatura são consideradas a modificação mais pronunciada, e também a que requer mais atenção devido às implicações práticas para o conforto humano, morbilidade, poluição do ar, entre outras. Posto isto, não surpreende,

que o fenómeno da ilha de calor urbano (ICU), seja considerado uma característica icónica do clima urbano (Roth, 2021). A ICU está relacionada com as atividades antrópicas sobre a superfície, sendo um fenómeno climático que ocorre em zonas fortemente urbanizadas. Para caracterizar, observar e modelar as ilhas de calor torna-se necessário compreender as diferentes escalas climáticas urbanas. Os fenómenos urbanos fazem parte de um complexo espectro de escalas, que variam desde a microescala (dezenas de metros (m), por exemplo, relacionadas a facetas urbanas individuais, como paredes, telhados ou folhas) até à mesoescala (dezenas de quilómetros, por exemplo, cidade inteira ou floresta urbana) (Roth, 2021).

Com a evolução do estudo sobre o clima urbano, chega-se ao microclima urbano, sendo definido como qualquer área em que o clima difira da área ao seu redor, apresentando-se como um estudo de clima pormenorizado (Andrade, 2022). Existem vários trabalhos científicos em que os seus autores mostram que o clima urbano no seio de uma cidade não se apresenta como homogéneo, mas sim composto por uma variedade de microclimas. Monteiro e Mendonça (2003) definem o microclima *“como a formação de condições climáticas na escala intra-urbana, derivadas diretamente da heterogeneidade, tanto do sítio, quanto da estruturação, morfologia e funcionalidades urbanas, gerando, paralelamente ao clima da cidade, bolsões climáticos intra-urbanos diferenciados, como ilhas de calor, topoclimas e microclimas”*(Monteiro e Mendonça, 2003 cfr. Andrade, 2022:15). Já Duarte e Serra (2003) consideram que a cidade é composta por mosaicos microclimáticos distintos, *“os mesmos fenômenos que caracterizam o mesoclima urbano existem em pequenas escalas por toda a cidade, como pequenas ilhas de calor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no fluxo dos ventos”* (Duarte e Serra, 2003 cfr. Andrade, 2022:15). As condições deste conceito são afetadas pelo ambiente físico, juntamente com o clima da região, a morfologia em que o espaço urbano se desenvolve, e ainda outros fatores externos, como a cobertura vegetal, os edifícios e o material que os compõem (Nordqvist, 2018). Estes diferentes fatores acabam por moldar os microclimas urbanos, tanto no interior como no exterior dos edifícios da cidade.

É importante referir que as alterações na temperatura, mencionadas anteriormente, surgem sobretudo devido à potencialização da infraestrutura cinzenta sobre o espaço verde, verificada nas últimas décadas (Mascaró e Bonatto, 2013). As insuficientes

infraestruturas verdes trazem, portanto, impactos negativos, como a baixa qualidade do ar, inundações recorrentes¹, um aumento do aquecimento urbano e das ilhas de calor.

Assim, a mitigação destes impactos assume-se como um tópico fulcral no planeamento urbano.

Novos espaços verdes e a vegetação são muito importantes para a criação de cidades agradáveis e resilientes, pois contribuem para inúmeros efeitos positivos, como a biodiversidade na cidade, a paisagem urbana, a saúde e o bem-estar do cidadão, bem como a oferta de espaços recreativos para o mesmo. Para além disto, servem também como atenuante de desastres naturais e influência o microclima urbano, através do arrefecimento evaporativo e de superfícies sombreadas que absorvem a radiação de ondas curtas (Nastran et al., 2019).

Nos últimos anos têm sido debatidas estratégias para tentar combater problemáticas que condicionam o bom funcionamento de praticamente todas as cidades do mundo, problemas estes diretamente ligados ao ambiente, principalmente, às alterações climáticas que prejudicam a vida da população, a fauna e flora. Para além da Agenda 2030, existe uma quantidade imensa de planos e acordos que pretendem avançar com o desenvolvimento sustentável e reduzir significativamente os riscos e impactos das alterações climáticas. A Lei do Clima faz parte desses planos, foi aprovada pelo Parlamento Europeu, em junho de 2021, e defende que todos os estados-membros devem atingir a neutralidade climática até 2050 (Jornal Oficial da União Europeia, 2021). Revela-se bastante importante, pois promete fazer a diferença no esforço pela sustentabilidade.

É necessário pensar no futuro e planeá-lo, tendo sempre em conta que “O clima influencia o homem de diversas maneiras, e o homem influencia o clima através de suas várias atividades.” (Ayode, 1986: 286). Urge a necessidade de projetar cidades sustentáveis e resilientes.

¹ A existência de espaços verdes aumenta a permeabilidade dos solos e consequentemente o crescimento da taxa de infiltração.

Capítulo II

Objetivos

e

Metodologias

Objetivos

Este trabalho vai desenvolver-se numa lógica de enquadramento ao conceito de microclimatologia urbana tendo por base uma revisão bibliográfica e um diagnóstico à cidade de Coimbra.

O trabalho concentra-se na cidade de Coimbra, mais especificamente no interior do Jardim Botânico. É aqui que é analisada a distribuição da vegetação da área verde, com o objetivo de analisar em pormenor a distribuição das temperaturas nos diferentes espaços do jardim, assim como a relação existente entre os espaços verdes e os cinzentos.

Os instrumentos que fazem o registo contínuo de temperatura do ar apresentam-se como ferramenta fundamental para o desenvolvimento do estudo. Para além disto, e dando destaque à tecnologia, com o drone e um data logger a ele acoplado vai ser possível visualizarmos as diferenças de temperatura em altitude.

Com esta dissertação, pretende-se responder à seguinte questão: Qual poderá ser a influência da vegetação nas condições microclimáticas na cidade de Coimbra? Para tal, os objetivos deste trabalho são os seguintes:

- Comprovar que existem microclimas diversos, isto em função da tipologia do revestimento vegetal – o caso interno de um espaço verde público;
- Procurar as relações existentes entre o espaço verde e a área envolvente construída;
- Procurar encontrar as diferenças que se podem encontrar entre os valores térmicos de superfície e os valores em altitude;
- Demonstrar que a Geografia Física acrescenta bastante nos estudos do clima.

Metodologia

Existe uma variedade imensa de microclimas urbanos, a pesquisa e investigação tem sido feita sobretudo em configurações urbanas comuns, como ruas, parques e praças. Neste caso em específico, o estudo é direcionado num espaço verde, o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, com o objetivo de compreender qual a influência das áreas verdes nos microclimas da área em estudo.

Do ponto de vista metodológico esta dissertação divide-se numa componente teórica e numa componente prática, observando-se também todo um trabalho de relação entre as duas componentes.

Numa primeira parte, mais voltada para a análise bibliográfica, vai ser feita uma revisão literária em artigos, teses, trabalhos e livros entretanto publicados, relacionados com as diferentes temáticas abordadas, tais como, as mudanças climáticas, os objetivos de desenvolvimento sustentável, o processo de urbanização, a influência do mesmo clima urbano, e ainda, a importância dos espaços verdes no microclima urbano. Nesta fase pretende-se compreender de que modo o desenvolvimento das cidades, e o seu impacto, influencia o cidadão.

Por outro lado, numa componente prática, desenvolve-se uma recolha de dados em trabalho de campo que incide diretamente sobre o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (o qual funciona como “laboratório” de terreno), com a utilização direta de instrumentos que fazem o registo contínuo de temperatura, mais especificamente, data loggers (figura 1). Estes apresentam-se como ferramenta fundamental para o desenvolvimento do estudo, assim como o drone (Figura 2) quando acoplado com o data logger, permitindo a visualização das diferentes temperaturas a diferentes altitudes e ainda as imagens de satélite que proporcionam observações mais pormenorizadas.

Metodologicamente, de modo a avaliar a influência dos espaços verdes no ambiente urbano procedeu-se à instalação de 3 data loggers fixos – designadamente, dois instalados na Alameda das Tílias e um na Estufa Fria (Bambuzal). Estes registadores foram colocados a cerca de 3 metros de altura em cada um dos locais e um a cerca de 6 metros, no contexto da Alameda das Tílias.

Posteriormente, foram realizadas campanhas de observação itinerantes, em três momentos diferentes (épocas do ano – 28 de fevereiro, 11 de maio e 8 de julho), e através de três percursos diários (manhã, tarde e noite), com pontos previamente definidos.

Iniciou-se o percurso com o auxílio de uma sonda (data logger) que fez o registo de temperatura do ar, de 10 em 10 segundos e a aproximadamente a 1,5m de altura do solo. Em cada ponto fez-se paragens de cerca de 1 minuto, tendo sido sempre registada a hora do início e fim do levantamento. É importante salientar que se teve o cuidado de proteger o data logger da exposição solar direta, para que não houvesse interferências nos resultados.

Num contexto geral da cidade de Coimbra, e tendo em vista, uma perspetiva global do espaço urbano, foram definidos três percursos pedonais com pontos comuns que encaixam uns nos outros. Importa referir que esta dissertação foi realizada em paralelo com outras temáticas idênticas e cujas campanhas foram realizadas simultaneamente, de modo a observar o campo térmico geral de Coimbra. Para isto, foram definidos 150 pontos integrando diferentes espaços urbanos como, os verdes, azuis e os distintos espaços construídos, com o objetivo de entender como estes podem influenciar o microclima urbano.

Com vista a obter informações climáticas no interior de um espaço verde, e fundamentalmente avaliar a relação dos espaços verdes com o arrefecimento dos centros urbanos, neste trabalho foi definido como “laboratório” de terreno um setor bem específico – Jardim Botânico da Universidade de Coimbra. A metodologia utilizada foi a mesma acima referida, no entanto neste percurso em concreto foram definidos estrategicamente 33 pontos em diferentes espaços dos jardins, incluindo zonas de vegetação arbórea densa (destacando aqui a Alameda das Tílias), vegetação esparsa, zonas de clareira, a estufa e a própria alameda que limita o Jardim Botânico a leste (corredor lateral). De referir, que no levantamento do dia 28 de fevereiro, por questões burocráticas, não foi possível realizar o levantamento noturno.

De forma a obter dados climáticos de maior pormenor, foi escolhido o setor da Alameda das Tílias para a análise microclimática em duas vertentes – horizontal e vertical. No que diz respeito à análise horizontal, a metodologia utilizada foi a mesma referida anteriormente, no entanto neste percurso em concreto foram definidos 27 pontos, e pelas mesmas questões acima referidas, no dia 28 de fevereiro, não foi possível fazer o levantamento na manhã e na noite. Já na vertical, para a recolha de dados, foi utilizado um VANT (drone) acoplado a um data logger, de modo a obter as medições térmicas em altitude.

Por fim, realizada a recolha de dados, através da plataforma “MyGeodata Converter” foram convertidos todos os dados. Posteriormente, com o auxílio do excel e tendo os pontos devidamente identificados e com as suas respectivas coordenadas, realizou-se a média da temperatura dos últimos 30 segundos de cada minuto. Com os dados todos organizados, procedeu-se à elaboração de todos os mapas térmicos no programa ArcgisPro através da ferramenta “Empirical Bayesian Kriging”. Como já referido anteriormente, no dia 28 de fevereiro, por questões burocráticas, não foi possível realizar alguns levantamentos, nomeadamente o da noite, sendo a origem deste mapa proveniente da elaboração do “kriging” e não do levantamento de dados reais.



Figura 1: Tinytag Plus 2



Figura 2: Drone **Fonte:** Cordeiro et, al.,
2022

Capítulo III

Enquadramento Teórico

Enquadramento teórico

3.1. Estado da arte

O ambiente é constituído por inúmeros ecossistemas que integram componentes bióticas e abióticas, que estabelecem inter-relações, garantindo a manutenção do planeta. O Homem, enquanto agente ativo do meio que o circunda, contribui para a modificação do ecossistema natural, criando o seu próprio habitat, mais propriamente a cidade. Esse ambiente, constitui um ecossistema próprio, produto das ações sociais e económicas. Desta forma, o ambiente urbano pode ser considerado como um ecossistema próprio adaptado às necessidades humanas (Oke *et al.*, 2017 - Figura 3). O funcionamento do mesmo implica a responsabilidade pela maioria das modificações ambientais da cidade (Barbosa, 2005).

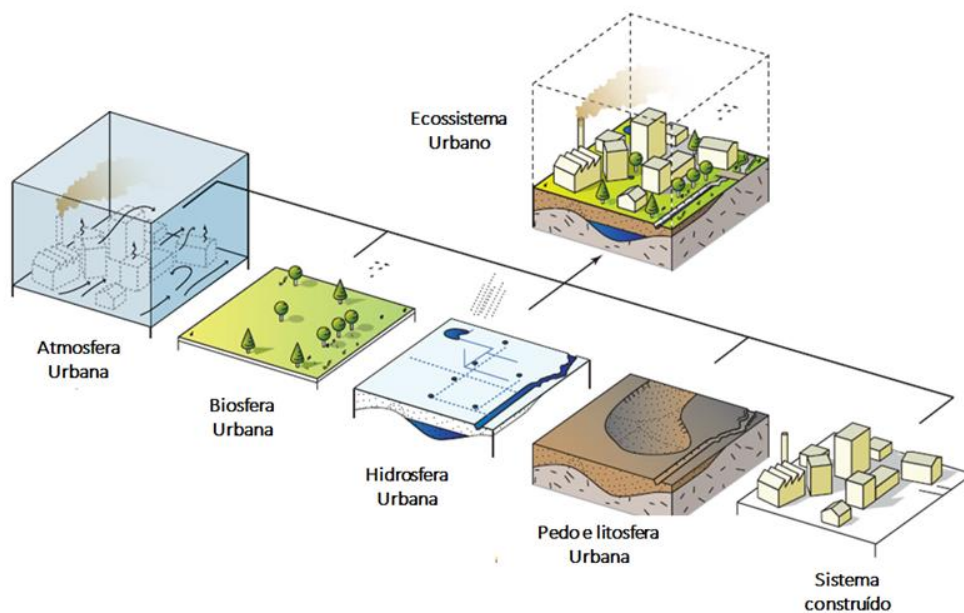


Figura 3: Os componentes biofísicos que compõem um ecossistema urbano **Fonte:** Oke, et al; 2017: 3

Foi nos últimos dois séculos, que se sentiram severamente estas modificações, muito devido à revolução industrial, pois o Homem passou a intervir intensamente no meio ambiente. Importa referir que nesta altura os recursos do planeta eram dados como garantidos, recicláveis e até mesmo inesgotáveis (Costa, 2016).

Assistiu-se a um desenvolvimento urbano como nunca tinha sido atingido, tendo as cidades sofrido uma mudança drástica, tanto a nível económico como demográfico. Claro que esta transformação acabou por proporcionar um crescimento descontrolado e desorganizado provocando diversas complicações para a sociedade atual (Santos, 2020).

É inegável que humanidade está num patamar de desenvolvimento tecnológico e social que tem vindo a causar danos para a natureza, e este processo não só altera a ocupação do solo, como afeta diretamente o ser humano em várias questões. Nos últimos anos, a crescente quantidade de veículos a circular pelas ruas, fez aumentar os índices de gases nocivos que prejudicam a saúde na atmosfera. A poluição, que cresce juntamente com o desenvolvimento social. O lixo nas ruas que muitas vezes causa entupimento, e consequentemente, dificulta o escoamento das águas pluviais, sendo que, quando este escoamento ocorre, há a possibilidade de transporte de detritos diretamente para os cursos de água, sendo assim, um meio indireto, mas eficiente de se poluir a água. Será ainda de referir que o aumento das cidades de forma irresponsável contribui severamente para a desflorestação, as árvores são cortadas e, como resultado, a cobertura natural é substituída por superfícies artificializadas (Loureiro et al., 2013). “As cidades são sistemas complexos, abertos a fluxos de energia e massa e caracterizados por um contínuo processo de mudança” (Andrade, 2005: 68).

3.2. O desenvolvimento sustentável / sustentabilidade urbana

Atualmente vivemos um período de constatação crescente das alterações climáticas globais, isto é, numa constante alteração do clima, das estações do ano, das discrepâncias de temperatura entre o dia e a noite, e entre outras problemáticas ambientais verificadas. Por conseguinte, o ambiente tem-se tornado um tema que necessita de uma intervenção urgente, pois “*Compreende-se que, na situação de antagonismo Ambiente/Homem que se acentuou com este novo modo de vida, se tenham traçado caminhos cada vez mais divergentes e conflituosos entre os interesses do Homem e os do Ambiente*” (Costa, 2016:129).

A falta de planeamento das cidades coloca em risco a sustentabilidade do ambiente urbano. Já alguns anos que este planeamento prevalece os aspetos sociais, culturais e económicos, ignorando as possíveis consequências das modificações ambientais provocadas pelo processo de urbanização (Barbosa, 2005).

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu, na década de 1980, durante a Comissão de Brundtland, sendo Bro Harlem Brundtland, primeira-ministra norueguesa, a apresentar a seguinte definição para o conceito: “*É a forma como as atuais gerações satisfazem as suas necessidades sem, no entanto, comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades*” (Estender, et al., 2008:22).

Com o passar dos anos denota-se que este conceito é cada vez mais debatido e continua a evoluir, a definição por parte dos diferentes autores vai variando, no entanto todas acabam por se complementar. Segundo a ONU, a definição de desenvolvimento sustentável é “aquela que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”, indo de encontro ao relatório “*Our Common Future*”, apresentado por Gro Harlem Brundtland (Estender, 2008). Camargo menciona uma outra definição para o termo: “*Em essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas*” (Camargo, 2003:43 cfr Estender, 2008). Já para Elkington (2001), o desenvolvimento sustentável era entendido como a harmonia entre a questão financeira e ambiental Elkington, 2001 cfr. Estender, 2008).

A questão da capacidade de regeneração dos recursos naturais era uma crescente discussão, sabendo-se que esta ficaria comprometida em função do consumo de forma descontrolada. Desta forma, percebeu-se que a questão a ser resolvida não era somente ambiental ou económica, mas sim uma questão social. Foi assim que o conceito de desenvolvimento sustentável foi evoluindo, chegando à composição de três pilares: social, económico e ambiental, sendo imperativo que o crescimento económico e o bem-estar social estejam conectados com a preservação ambiental (Figura 4).

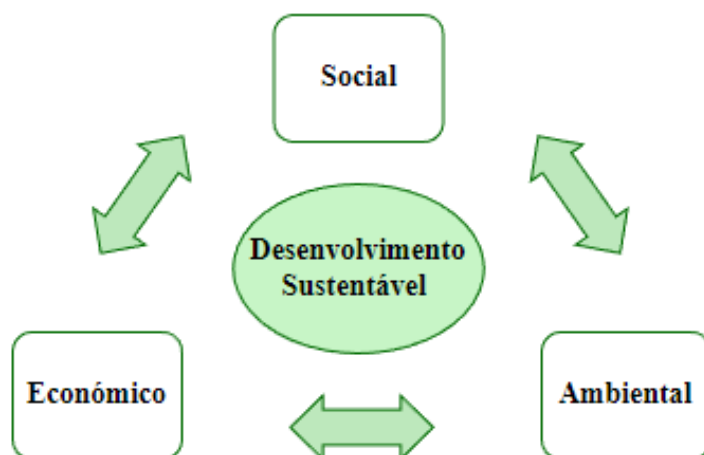


Figura 4: Pilares do Desenvolvimento Sustentável **Fonte:** Adaptado de Almeida, 2018

Em busca do equilíbrio do ecossistema urbano ocorreu a iniciativa de encontrar métodos que conciliem o desenvolvimento social e tecnológico com a conservação dos recursos naturais. É necessário reduzir os impactos da expansão urbana, uma vez que inevitáveis. O desenvolvimento sustentável implica mudanças do ponto de vista do cidadão, enquanto ser individual, tendo em atenção como age cotidianamente, e também nas novas políticas públicas (Loureiro et, al. 2013).

A sustentabilidade tornou-se uma preocupação mundial e tem vindo a crescer exponencialmente. Ao longo dos anos, foram postos em prática acordos e medidas com vista numa melhor qualidade de vida de toda a população. Para além disto verificam-se diariamente movimentos ambientalistas que tem por base a preservação do ecossistema e a proteção da saúde humana e do Meio Ambiente.

Estas preocupações na Europa arrancaram, ainda que indiretamente, em 1957, no Tratado de Roma, onde era defendida a promoção de um “desenvolvimento harmonioso das atividades económicas e a redução das desigualdades entre as diversas regiões” (Ferreira et, al. 2014). Porém, foi em 1972, que ocorreu o primeiro grande passo global no âmbito do desenvolvimento sustentável, na Conferência de Estocolmo e na Cimeira de Paris, onde a Comunidade Europeia passou a dar prioridade a ações de preservação e melhoria do meio ambiente. De referir que este ano é um marco no que diz respeito à melhoria das políticas ambientais, pois foi no mesmo que se criou o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), sendo esta “(...) a primeira instituição mundial a focar-se na melhoria da qualidade de vida da população mundial, estimulando o desenvolvimento de parcerias em benefício do ambiente” (Almeida, 2018:8). Foi

também neste ano que se elaborou o relatório, “Os Limites do Crescimento”, que pretendia impor limites no desenvolvimento do planeta (Almeida, 2002).

Em 1987, foi atribuída uma base jurídica específica à matéria ambiental na qual foram definidos objetivos e princípios fundamentais da ação da Comunidade Europeia e dos Estados-Membros a esse nível. No caso português, é de realçar a aprovação da “Lei de Bases do Ambiente”, a “Lei das Associações de Defesa do Ambiente”, bem como a criação do Instituto Nacional do Ambiente (INAMB), e ainda o arranque da publicação dos Relatórios do Estado do Ambiente (Almeida, 2018). Como já referido anteriormente foi nesse mesmo ano que foi apresentada a definição de “Desenvolvimento Sustentável” no relatório da comissão de Brundtland.

Mais tarde, no ano de 1992, ocorre a assinatura do Tratado de Maastricht, que defendia a promoção do Desenvolvimento Sustentável destacando a necessidade de integração dos objetivos ambientais, sociais e económicos e o estímulo da participação pública na execução da maioria das políticas comunitárias (Guerra e Schmidt, 2009). Ainda neste ano, decorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, no Rio de Janeiro (ECO-92), onde foram aprovados dois documentos de grande importância para o desenvolvimento sustentável, a Agenda 21, que apresentava um programa de ações ligadas ao Desenvolvimento Sustentável Global, e a Declaração do Rio, que estava mais direcionada para as responsabilidades dos Estados (Ferreira et, al. 2014).

Posteriormente, em 1994, dá-se a Primeira Conferência das Cidades e Vilas Sustentáveis, de onde surge a “Carta de Aalborg”, que definiu valores e estratégias para o Desenvolvimento Sustentável nas áreas urbanas. O principal objetivo desta carta era estabelecer políticas de sustentabilidade locais, mais especificamente, a participação da comunidade, a equidade social, a economia urbana, a mobilidade urbana, o clima mundial e a conservação da natureza (Almeida, 2018). Em 1996, com o objetivo de passar da “carta à ação” ocorre a Segunda Conferência das Cidades e Vilas Sustentáveis (Guerra e Schmidt 2009).

Em 1997, o Protocolo de Quioto veio introduzir a temática da redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), ficando definidos compromissos importantes no que diz respeito à proteção do ambiente (Garrana, 2011).

Em setembro de 2000, os dirigentes mundiais reuniram-se na Cimeira do Milénio comprometendo-se a atingir um conjunto de objetivos, designados de “Objetivos de

Desenvolvimento do Milénio”, com o intuito da promoção de um desenvolvimento sustentável coletivo e o combate da pobreza.

Importa referir que ao longo dos anos o assunto foi sempre debatido e atualizado. Temos o exemplo do Rio-92, que passados 20 anos, isto é, no ano de 2012, voltou a reunir numa nova conferencia das Nações Unidas (Rio+20), no qual foram discutidos novos objetivos e estratégias sobre o grande tema da sustentabilidade (Almeida, 2018).

Mais recentemente, no ano de 2015, foi aprovada a Agenda 2030, sendo caracterizada por um plano de ação global para as pessoas, o planeta e a prosperidade de todas as partes (Mizutani, 2019). Esta agenda busca fortalecer a paz universal e a erradicação da pobreza, sendo este um requisito indispensável para o Desenvolvimento Sustentável. É plano coletivo, atuando sempre em parceria colaborativa. Trata-se de um plano bastante abrangente, tendo objetivos sobre várias temáticas do desenvolvimento sustentável, com intenção de combater as desigualdades, injustiças, fomentar a paz e mitigar as alterações climáticas. No fundo, todos estes objetivos procuram obter avanços, assegurando os direitos humanos de todos, alcançar a igualdade de género, e sobretudo manter o equilíbrio das três grandes dimensões do desenvolvimento sustentável: a economia; a social e a ambiental (ONU, 2017).

Importa referir que estes objetivos têm como base as lições aprendidas com os objetivos do milénio, estabelecidos entre 2000 e 2015, e provêm do trabalho conjunto de governos e cidadãos de todo o mundo.

A agenda 2030 é uma agenda alargada e ambiciosa que é constituída por 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável que se dividem 169 metas, que deverão ser cumpridas até 2030 (Figura 5).



Figura 5: Objetivos do desenvolvimento sustentável **Fonte:** Organização das Nações Unidas

Sendo que atualmente vigora a Agenda 2030, é relevante salientar dois objetivos de bastante importância para o estudo que está a ser realizado, destacando-se o *objetivo 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis* e o *objetivo 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima*.

No que diz respeito ao *objetivo 11* este pretende tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros e sustentáveis até 2030. Para isso foi imprescindível delinear metas específicas para o sucesso do objetivo, isto é, “(...) até 2030, garantir o acesso de todos a habitação adequada, segura e a preço acessível, e aos serviços básicos, bem como assegurar a melhoria das condições dos bairros de lata”; “(...) proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos”; “(...) aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planeamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis, em todos os países.”; “reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros”; “proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, em particular para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência”; “apoiar relações económicas, sociais e ambientais positivas entre áreas

urbanas, periurbanas e rurais, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento”; “apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais”, entre outras (ONU, 2015:22 e 23).

O **objetivo 13** tenciona adotar medidas urgentes de combate às mudanças climáticas e ao seu impacto, e com isso pretende alcançar as seguintes metas “Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados com o clima e as catástrofes naturais em todos os países”; “Integrar medidas relacionadas com alterações climáticas nas políticas, estratégias e planeamentos nacionais”; “Melhorar a educação, aumentar a consciencialização e a capacidade humana e institucional sobre medidas de mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce no que respeita às alterações climáticas”; “Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas de mobilizarem, em conjunto, 100 mil milhões de dólares por ano, a partir de 2020, através de diversas fontes, de forma a responder às necessidades dos países em desenvolvimento, no contexto das ações significativas de mitigação e implementação transparente; e operacionalizar o Fundo Verde para o Clima por meio da sua capitalização o mais cedo possível”; “Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planeamento e gestão eficaz no que respeita às alterações climáticas, nos países menos desenvolvidos e pequenos Estados insulares em desenvolvimento, e que tenham um especial enfoque nas mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas”; “Reconhecer que a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas é o principal fórum internacional e intergovernamental para negociar a resposta global às alterações climáticas” (ONU, 2015: 26).

Seguindo ainda a ordem de acontecimentos relacionados com a temática da sustentabilidade, o ano de 2016 ficou assinalado, pois foi neste que entrou em vigor o Acordo de Paris, com o intuito de dar uma resposta global e eficaz à urgência de travar o aumento da temperatura média global e resolver a problemática das alterações climáticas (Silva e Fernandes, 2020).

Muito recentemente, no ano de 2021, foi realizada em Glasgow, a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP26), com o propósito de acelerar a ação climática para desempenhar o Acordo de Paris. Na COP26 foi realçada a urgência e a oportunidade de avanço em direção a uma economia neutra em carbono.

No caso específico de Portugal várias foram as políticas públicas efetuadas relacionadas com a Conservação da Natureza, como por exemplo, a criação do Serviço Nacional de Parques, Reservas e Património Paisagístico em 1975, bem como a criação da Reserva Agrícola Nacional (RAN, 1982) e da Reserva Ecológica Nacional (REN, 1983). Todavia foi em 1986, ao integrar a CEE, que se verificou o impulso das políticas europeias em questões relacionadas com o ambiente (Ferreira e Valente, 2014).

Assim, para concretizar as políticas de ambiente pensadas nas últimas décadas existe não só, um conjunto de instituições europeias, nomeadamente, o Parlamento Europeu, a Comissão Europeia e a Agência Europeia do Ambiente, mas também uma série de instrumentos que tencionam a aplicação das mesmas.

3.3. O clima e as suas repercussões no espaço urbano

Nos últimos séculos, a evolução das cidades resultou em grandes transformações na paisagem natural, por força de modificações nas formas de relevo, à atmosfera, aos cursos de água, à vegetação natural, entre muitos outros. Estas alterações, advindas do processo de urbanização, desencadearam outros problemas globais, já discutidos na anteriormente, como o crescimento demográfico, poluição, saneamento, produção de alimentos e aumento progressivo das fontes de energias, assim como, as problemáticas climáticas, tema que tem sido bastante debatido na atualidade (Santos, 2020). Portanto, o rápido processo de urbanização tem causado mudanças drásticas no uso do solo, principalmente, nas áreas urbanas, sendo que a modificação mais manifestada é o aumento das temperaturas dentro das cidades, comparando com as áreas circundantes.

A complementar o referido anteriormente, (Roth, 2021), afirma que as cidades influenciam grande parte das variáveis meteorológicas que prejudicam a população, como é o caso da temperatura, da humidade, do vento, entre outros. Recentemente, as elevadas temperaturas têm recebido muita atenção devido às implicações práticas para o conforto humano - mortalidade, poluição do ar, ecologia ou o uso de energia relacionada com a formação de gases de efeito estufa. Desta forma, é natural, que o fenómeno da ilha de calor urbano se assuma como uma das características do clima urbano, aliás como já referido anteriormente.

Os fenómenos climáticos tem sido o foco de variadas discussões ambientais, as preocupações são muitas, sobretudo quando diz respeito à ocorrência de eventos extremos e dos seus respetivos impactos nas áreas urbanas. É um assunto relevante que tem sido

interpretado por geógrafos e meteorologistas, que pretendem analisar de que forma a atmosfera das e nas cidades ocorre, se movimenta e como se constitui numa configuração própria, convencionalmente o chamado “Clima Urbano” (Júnior, 2019).

O clima urbano começou a ser alvo de pesquisa no século XVII, devido à intensidade da poluição e das alterações climáticas, geradas pelo forte processo de industrialização. Foi nesta altura que ficou marcado o início da popularização dos estudos do clima urbano, destacando-se as perspetivas de Landsberg (1970), de Oke (1974) ou de Monteiro (1999) cfr. Júnior, (2019).

Segundo (Oke, et al., 2017), o clima urbano é um ótimo exemplo das alterações climáticas e do impacto indireto das ações antrópicas na atmosfera. As cidades contribuem para a alteração da composição atmosférica, tanto a escalas locais, como a escalas regionais. Em contrapartida, a atmosfera, através de fenómenos extremos, causa também impactos na cidade, nas suas infraestruturas, na saúde e na segurança da população.

Ao contrário das propostas de Landsberg (1970) e Oke (1974), Monteiro (1962) classificou as cidades como princípio base do estudo geográfico do clima urbano, sendo que atingia diretamente o bem-estar e a qualidade da vida urbana. Segundo Monteiro, o clima urbano é um sistema que engloba o clima de um dado espaço terrestre (fenómeno natural) e a sua urbanização (processo social). Claro que esta sua interpretação fortalece a ideia da impossibilidade de separação dos elementos naturais e antrópicos, uma vez que, a sua perspetiva pressupunha que toda cidade possui um clima próprio, que é resultado da influência de todos os elementos (naturais, ambientais e urbanos) processados no limite urbano (Monteiro, 2003 cfr Júnior, 2019). Monteiro destaca-se desde há muito por integrar no clima não só a dinâmica natural e social, mas também a componente ambiental. Esta sua contribuição no entendimento do clima urbano foi crucial, já que o conceito de derivação ambiental é muito importante para a geografia e para a climatologia geográfica. Desde o século XVII a geografia, em particular a climatologia geográfica, tem contribuído notoriamente para o entendimento do clima urbano. Na climatologia geográfica, o clima urbano tem sido entendido como produto de alteração da paisagem natural e da sua consequente substituição por um ambiente construído (Júnior, 2019). Para além disto, na sua opinião o clima urbano não é só um processo direto da dinâmica climática (ilha de calor, degradação e qualidade ambiental, regime de ventos, etc...), ele também se apresenta por outros processos associados à dinâmica dos lugares (adaptação

das infraestruturas e configuração da malha urbana, poluição atmosférica, etc...) (Júnior, 2019).

Para o Sistema Clima Urbano (SCU), o clima urbano é interpretado como um sistema, e a sua interpretação passa, pela identificação dos processos de retroalimentação, interpretação cognitiva, das formas de adaptabilidade, transformação e mudança do clima urbano (Júnior, 2019).

A primeira obra a abordar esta temática, é intitulada de “Fumifugium” e foi escrita por John Evelyn, no ano de 1661. Ainda hoje é uma referência histórica, e foi desenvolvida em consequência do incidente ocorrido em Londres, que causou a morte de cerca de quatro mil pessoas devido à alta concentração de poluentes. Em 1833, depois da 2ª Revolução Industrial, Londres voltou novamente a ser estudada. “The climate of London” foi a obra apresentada pelo químico Luke Howard, onde foram descritos grande parte dos elementos climáticos, os ciclos sazonais e mensais, foram detetados os níveis de contaminação do ar e ainda se observou diferenciações da temperatura do ar na cidade em comparação às áreas periféricas, vizinhas e rurais (Júnior, 2019).

De então para cá, numerosos estudos sobre diversas cidades têm sido feitos, temos o grande exemplo de Moreno (1990;1992; cfr. Ganho, 1999), que interpreta a problemática da ilha de calor. Diante a notoriedade dos estudos sobre clima urbano, conclui-se que a difusão dos mesmos ganha ênfase em função da industrialização intensa, da acelerada urbanização pós-guerra e a consequente expansão territorial das grandes metrópoles, e ainda do crescimento demográfico (Júnior, 2019).

Em Portugal, e de acordo com o referido por N. Ganho (1999), o primeiro estudo que abordou a componente climática urbana foi a tese de doutoramento de M. J. Alcoforado (1988; 1992) sobre “Clima da Região de Lisboa”. Neste estudo a autora analisou a ilha de calor de Lisboa e fez a comparação do regime térmico de dois bairros distintos. Pouco mais tarde, a cidade do Porto também se tornou alvo de estudo, por A. Monteiro, que apresentou na sua tese de doutoramento “O clima Urbano do Porto” (1993). No ano seguinte, e de novo em Lisboa, o clima urbano volta a ser abordado na tese de mestrado de H. J. N. Andrade (1994) como “Poluição Atmosférica e Clima em Lisboa”. No mesmo ano, o estudo “Padrões Térmicos do Clima Local na Região de Oeiras”, apresentado por A. M. S. Lopes (1994), aborda a temática da topoclimatologia de uma zona urbanizada, onde os efeitos climáticos da ocupação urbana do solo se fazem sentir (Ganho, 1999).

No caso específico de Coimbra, os trabalhos de investigação no domínio da climatologia surgiram no início da década de 90, tendo sido o autor N. Ganho (1992) a apresentar o primeiro trabalho como tese de mestrado “O Clima Urbano de Coimbra”. A investigação tem continuado tendo após isto publicados vários artigos sobre o tema (Ganho, 1999).

Pesa que embora a temática do clima urbano seja hoje bastante discutida em Portugal, ainda é pouco compreendida, mesmo por aqueles que trabalham em ordenamento urbano.

3.4. O crescimento do espaço urbano e o impacte da urbanização nas questões ambientais

O ambiente urbano é definido como complexo e dinâmico, sendo maioritariamente considerado como o local onde os problemas socioambientais ocorrem com maior intensidade (Sant e Neto, 2012). O desenvolvimento do espaço urbano retrata um marco histórico, geográfico e, sobretudo, social no processo de evolução da humanidade (Santos, 2020).

Como já referido anteriormente, a urbanização moderna teve origem na Revolução Industrial, marco ligado aos avanços na tecnologia baseada no uso intensivo de combustíveis fósseis. Na sua maioria as cidades até então eram moldadas pelas estruturas precárias da era medieval. As migrações do campo para as cidades, e a crescente mecanização da agricultura, alteraram as estruturas, tecidos e coberturas urbanas e obviamente, provocou várias mudanças ambientais, económicas e socioculturais, conferindo um novo significado à forma, função e uso dos espaços urbanos (Santos, 2020).

Os espaços urbanos foram crescendo desordenadamente fazendo com que as cidades industriais atingissem condições insalubres, problemas de superlotação, usos incompatíveis da terra, pobreza, expansão urbana, poluição, falta de espaços verdes e congestionamento. É notório que entre todos os problemas, os relacionados ao clima são os mais evidentes.

Ao mesmo tempo que a população se foi fixando em áreas urbanas, proporcionando grandes oportunidades civilizatórias, a cidade também se tornou uma armadilha no que diz respeito às relações sociedade-natureza, relacionando-se a fragilidade dos ambientes urbanos com os episódios naturais extremos. O processo de

urbanização manteve-se como uma tendência mundial durante todo o século XX. Atualmente, e em grande parte devido ao crescimento demográfico, as regiões menos desenvolvidas sofrem transformações urbanas em muito pouco tempo, contrariamente às regiões mais desenvolvidas do globo, que demoraram mais de 250 anos para se consolidar. Conforme mencionado anteriormente, ao longo do último século o processo de urbanização foi crescendo desprovido de ordenamento do território, sendo que a preocupação das cidades era a competição de investimentos no espaço comercial. Claramente estas características transformaram os espaços urbanos, alterando as formas físicas dos edifícios e espaços envolventes (Santos, 2020).

A urbanização pode ser entendida como a parte crescente de uma população que vive em zonas urbanas, com reflexos em dois processos distintos. O primeiro, nas mudanças de vida dos seres humanos, isto é, o desempenho de funções urbanas, os padrões de atividade que necessitam de um fluxo contínuo de materiais e pessoas, e o segundo, o processo que se refere à transformação física da cobertura natural da paisagem urbana, isto é, a composição topográfica e materiais da cidade que produzem coberturas urbanas muito distintas (Mills *et al.*, 2010; cfr. Santos, 2020).

No fundo a cidade, que representa a organização social e económica, o domínio da natureza e a tecnologia, significa também, o aumento da exposição das sociedades urbanas aos riscos naturais, tornando-as mais vulneráveis e menos resilientes (Sant e Neto, 2012).

Devido a estes padrões de crescimento urbano, e no que diz respeito ao clima urbano e às alterações climáticas, a Ilha de Calor Urbano é considerado o melhor exemplo das modificações climáticas induzidas pelo Homem, como já mencionado anteriormente. Este termo, segundo Mills (2008), aparece na literatura científica de língua inglesa no final dos anos 50 do século XX, caracterizado pela diferença de temperatura entre as áreas rurais e urbanas. A forma e o tamanho exato desse fenómeno variam no tempo e no espaço, como resultado das características meteorológicas, locais e urbanas (Oke, 1987; cfr Santos, 2020).

A ICU surge, não só, mas também, através do processo de urbanização, existindo uma relação direta com a poluição do ar e ondas de calor, o que proporciona impactos negativos para a cidade (Oke *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2019). Repensar o planeamento urbano de modo a mitigar estes impactos é algo fulcral, sendo necessário inserir novos espaços verdes ou corpos de água, para que seja possível existir uma alta capacidade

térmica e um efeito de evaporação que proporcione um arrefecimento do ambiente microclimático (Wu, *et al.*, 2019).

Conclui-se que problemáticas relacionadas com a concentração de calor, a presença de ozônio estratosférico, os efeitos da poluição na saúde humana, o aumento dos gases efeito estufa, entre outros, tem sido bastante discutido, mas ainda nada se fez notar, sobretudo nos países em desenvolvimento. Em grande parte das cidades, o progressivo processo de urbanização contribui nitidamente para as mudanças na forma urbana e as questões climáticas locais e globais (Reis e Lopes, 2019).

No entanto, e embora a cidade acarrete todos estes riscos, não há dúvida que constitui um dos traços mais universais da sociedade. No período atual da história da humanidade, as características mais relevantes estão associadas à globalização e à urbanização (Vale, 2016). São vários os autores que veem nas cidades a maior intervenção humana, sendo nelas onde se verificam melhores níveis de qualidade de vida (Hall, 2001). Ainda que sejam vários os autores (Lynch, 1972; Lima e Roncaglio, 2001; Drew, 2005 e Troppmair, 2004) que definem a cidade como o local de degradação física e humana, a mesma é o lugar que possibilita o crescimento social e económico (Fialho, 2009).

O espaço urbano é hoje um grande desafio para os agentes intervenientes, tanto no âmbito da busca de um desenvolvimento sustentável e qualidade de vida, e ao mesmo tempo, a mobilidade. O ordenamento do território, os materiais utilizados, as características urbanas e a distribuição dos espaços verdes, influencia significativamente o microclima urbano.

3.5. A influência dos espaços verdes nas áreas urbanas

O processo de urbanização contribuiu severamente para a alteração das características das superfícies urbanas, tornando as cidades em lugares cada vez mais complexos, multifuncionais e de difícil gestão.

Nas últimas décadas o desenvolvimento urbano focou-se na infraestrutura cinzenta. Várias foram as políticas públicas que incentivaram a utilização exaustiva do carro nas cidades, bem como as obras com objetivo de melhorar a circulação automóvel, urbanização uni funcional de serviços, entre outras. Esta potencialização da infraestrutura cinzenta sobre o espaço verde levou à manifestação de interferências e bloqueios de dinâmicas naturais. O surgimento destes fenómenos colocou em causa as funções e a qualidade do meio ambiente (Mascaró e Bonatto, 2013).

As cidades influenciam grande parte das variáveis meteorológicas, sendo as discrepâncias de temperaturas no interior das cidades a alteração mais pronunciada. De acordo com o afirmado por Nastran *et al.*, (2019: 33), nas cidades o aumento de temperatura da superfície e do ar é consequência dos aspetos físicos da paisagem, nomeadamente o uso do solo, da morfologia urbana, dos materiais utilizados, de condições antrópicas e de condições meteorológicas. Assim, a ausência de vegetação numa cidade, é uma característica que parece influenciar o aumento da temperatura do ar, devido ao aquecimento das superfícies ao longo do dia e na redução de superfícies evaporativas. Para além disto, outros fatores, relacionados com as novas estruturas na cidade contribuem, como por exemplo, a geometria do tecido urbano, uso dos materiais que acumulam grande parte do calor devido às suas propriedades térmicas e emissão de calor antropogénico gerado pela queima de combustível fóssil (Shinzato e Duarte, 2018). Portanto, a estrutura urbana, a envolvente do edifício e os materiais tem influência direta nas condições atmosféricas.

Os espaços verdes urbanos, são por norma, mais frios do que a sua área envolvente, isto é, existe uma diferença entre a temperatura do ar no interior dos espaços verdes urbanos e as áreas construídas ao seu redor pois estes têm um efeito de “ilha de frescura urbana”, ou como os autores de língua anglo-saxã designam de “Urban Cool Island” (Wu, *et al.*, 2019). Isto acontece devido a dois processos físicos, um deles associado ao efeito de sombra e outro à evapotranspiração (Reis e Lopes, 2019).

As áreas verdes são consideradas o “pulmão da cidade”. Embora a sua área de influência seja de escala local é notório que os espaços verdes influenciam na melhoria das condições de vida urbana, pois contribuem para o conforto bioclimático, para a mitigação das ilhas de calor e para a redução da poluição atmosférica (Leal et al., 2007-2008). Luciana Leal (2012), considera que a plantação de árvores, seja importante para a atenuação do aquecimento urbano, tanto a micro como a macro, sobretudo no centro das cidades, onde há uma maior concentração de edifícios. É um facto que a vegetação tem sido considerada fundamental para a qualidade de vida da população urbana, sobretudo quando se tem em conta as mudanças climáticas induzidas pelas atividades antrópicas, que por sinal, acarretam consequências na saúde e no conforto térmico humano (Reis e Lopes, 2019). Moreno-Garcia (2019) considera que os espaços verdes, contribuem na diminuição da intensidade da ICU, referindo ainda, que um dos impactos mais significativos das áreas verdes é a redução da entrada de radiação solar, devido à

proteção advinda da copa das árvores, mas o processo mais importante é a evapotranspiração, que consome energia solar e aumenta a transferência de calor latente para a atmosfera (Figura 6).

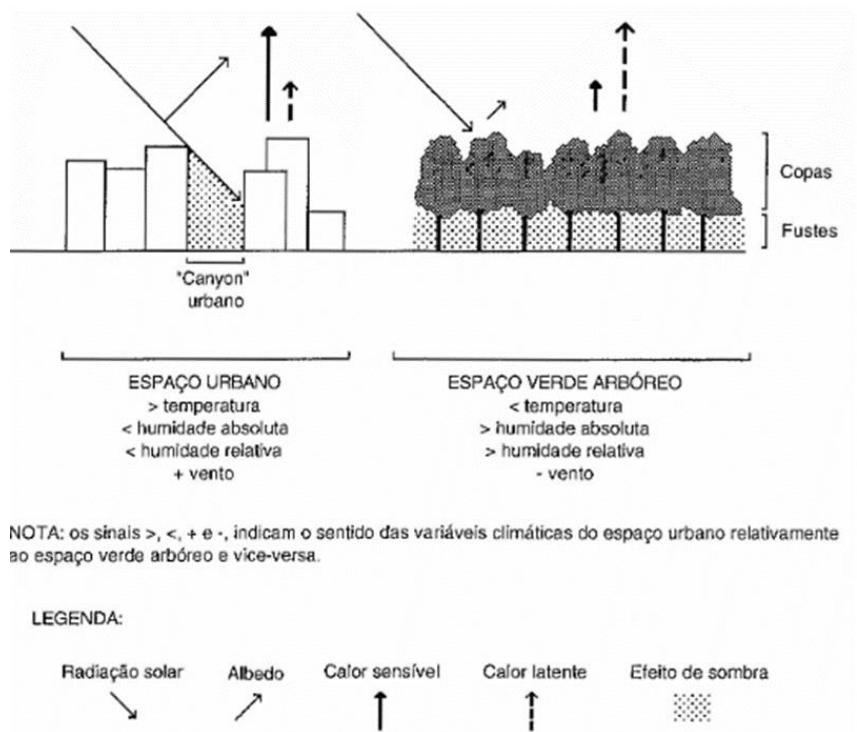


Figura 6: Importância da vegetação **Fonte:** Ganho 1996 p.36

Para além dos benefícios no clima urbano, os espaços verdes também são deveras importantes para a manutenção e conservação da biodiversidade, qualidade do ar, benefícios hidrológicos, redução dos níveis de ruído, proteção contra ventos fortes, redução do risco de erosão do solo, e ainda, a vantagem de colecionar espaços socioculturais de qualidade, tornando as cidades mais atrativas (Reis e Lopes, 2019). Porém, neste estudo, o enfoque está direcionado para os benefícios térmicos da vegetação urbana.

Portanto, as cidades contribuem intensivamente para a modificação da composição atmosférica, tanto a escalas locais, como a, escalas regionais. Em troca, a atmosfera tem, também, impactos na cidade, na saúde e na segurança da população, através da ocorrência de fenómenos extremos. Não se deve permitir que a dinâmica do processo de urbanização destrua a vegetação urbana (ou, em alternativa a renaturalização de espaços urbanos com base predominantemente de arbóreo), pois a mesma potencializa o conforto humano nas áreas urbanas, sendo a parte integrante da criação de cidades agradáveis e resilientes. Importa destacar, que a vegetação não é o único elemento urbano

que tem um impacto no microclima, pois a forma e os materiais do ambiente construído, bem como as funções exercidas também influenciam. Aliás, segundo Lopes (2008) o impacto da ilha de calor urbano pode ser reduzido alterando a forma e utilização de determinados materiais na construção das infraestruturas para que o albedo aumente e assim o ambiente urbano fique mais fresco. No entanto a vegetação é a maneira mais versátil de modificar o microclima (Nordqvist, 2018).

3.6. Estratégias de mitigação

Sendo o aumento das temperaturas a modificação mais pronunciada depois do processo de urbanização, é importante pensar em medidas de mitigação eficazes.

Shinzato e Duarte (2018) afirmam que, segundo Stone (2012), as três principais estratégias de mitigação numa perspectiva arrefecimento dos grandes centros urbanos são:

- A plantação de árvores e o planeamento de novas construções que incorporem o uso da vegetação (telhados verdes; paredes verdes; jardins ao longo dos edifícios);
- Aumento do albedo, através da incorporação de técnicas para um menor aquecimento das coberturas ou a substituição de materiais mais refletivos; e
- Implementação de programas de eficiência energética com o compromisso de reduzir as emissões de gases do efeito estufa.

Desta forma, a inserção e otimização dos espaços verdes em áreas urbanas é uma das principais e mais eficientes estratégias para mitigar o aquecimento nas cidades (Shinzato e Duarte, 2018).

É ainda de destacar, que as árvores devem ser plantadas em grupos, pois, a existência de apenas uma árvore terá um impacto limitado, influenciando apenas o microclima local, enquanto um número significativo de árvores trará benefícios bastante positivos tanto para o microclima local como para o ambiente das áreas envolventes (Leal, 2012).

Para a mitigação do aquecimento urbano, é importante que exista um bom planeamento urbano, sendo a presença tanto de espaços verdes, como de corpos de água cruciais, uma vez que proporcionam um arrefecimento do ambiente microclimático. Portanto, para a redução do impacto das ilhas de calor é necessário introduzir novos espaços verdes e vegetação, para a contribuição no processo de arrefecimento, através da

evaporação e de superfícies sombreadas que absorvem a radiação, e ainda, reduzir ou mesmo alterar a forma e alguns dos materiais utilizados na construção das infraestruturas para que o albedo aumente e o ambiente urbano se torne mais fresco (Lopes, 2008).

A infraestrutura verde, torna-se fundamental para o desenvolvimento do espaço urbano pois possibilita conexões entre os elementos naturais, sendo também, um elemento-chave para a qualidade de vida da população urbana, especialmente considerando os cenários de mudanças climáticas, com variadas consequências no conforto térmico humana e na saúde (Wu, *et al.*, 2019).

Capítulo IV

A Geografia de Coimbra

A Geografia de Coimbra

4.1. Enquadramento geográfico

Com uma área de aproximadamente 319,4 km², o concelho de Coimbra é o principal centro urbano da Região Centro de Portugal Continental, situando-se no setor mais litoral - latitude de 40°12'N e uma longitude de 8°25'O -, o qual apresenta, devido a este posicionamento, clima de características mediterrânicas, embora claramente influenciado pela relativa proximidade do oceano atlântico. O concelho é um dos que faz parte da Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, e assumindo-se como Pólo fundamental da região, beneficiando de uma localização estratégica, com boas ligações rodoviárias, facilitando as relações entre o litoral e o interior e o norte e sul.

Com base na atual carta administrativa que está em vigor (CAOP, 2021), o concelho da Coimbra está dividido em dezoito freguesias, das quais a sua maioria apresenta ainda um forte cariz rural ou periurbano, mais especificamente, as freguesias de Almalaguês, Brasfemes, Ceira, Cernache, São João do Campo, São Silvestre, Torres do Mondego, e as uniões de freguesias de Antuzede e Vil de Matos, Assafarge e Antanhol, Eiras e São Paulo de Frades, São Martinho de Árvore e Lamarosa, Sousela e Botão, Taveiro, Ameal e Arzila e a Trouxemil e Torre de Vilela. Já a zona urbana, setor onde habita a maior parte da população do município é composta pela freguesia de Santo António dos Olivais e as uniões de freguesias de a união de freguesia de Coimbra (Sé Nova, Santa Cruz, Almedina e São Bartolomeu), de a união de freguesias de Santa Clara e Castelo de Viegas e de São Martinho do Bispo e Ribeira de Frades (Figura 7).

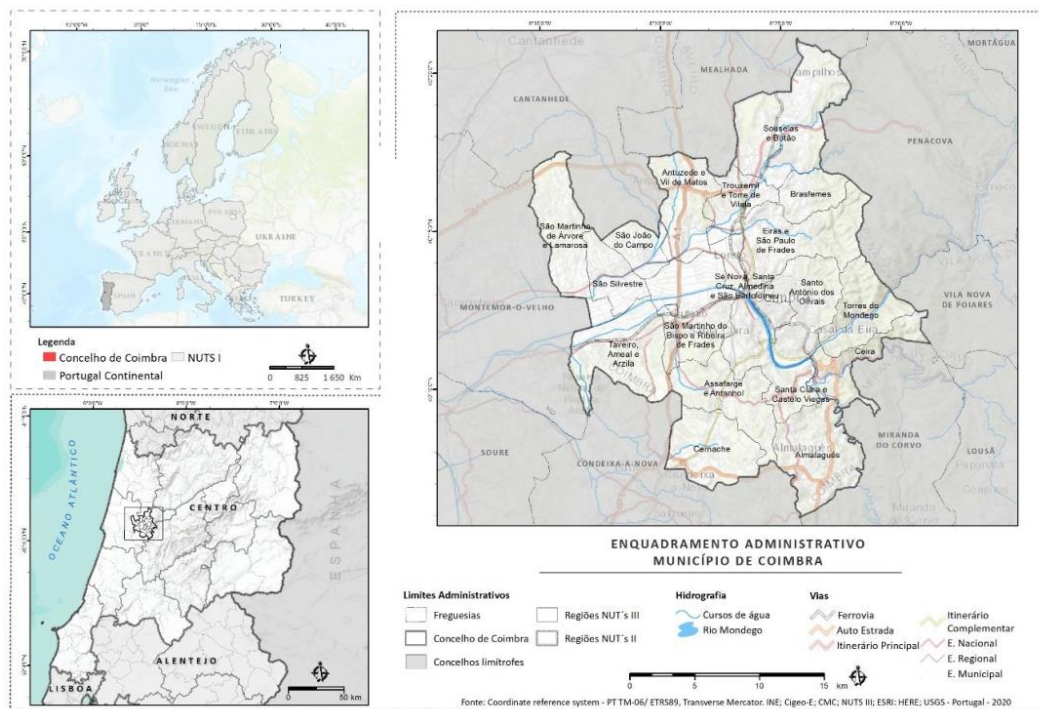


Figura 7: Enquadramento Geográfico da cidade de Coimbra **Fonte:** Silva, inédito

4.1.1. O relevo e a geomorfologia

Do ponto de vista estrutural e morfológico, verificamos que o concelho de Coimbra é muito particular, sendo que o seu território se desenvolve por duas unidades morfoestruturais, o Maciço Ibérico e a Orla Ocidental. O setor oriental desenvolve-se em rochas que integram o Maciço Hespérico, enquanto os setores central e ocidental se desenvolvem em materiais da Orla Mesocenoica Ocidental, resultando, em dois setores com características litológicas e morfológicas bastante distintas, e consequentemente, os declives. Importa referir que estas diferenças se refletiram ao longo dos tempos no desenho urbano e no povoamento da cidade. Na separação entre estas duas unidades geomorfológicas ergue-se a falha Porto-Tomar, com uma clara estrutura de horst em escadaria, o Maciço Marginal de Coimbra, isto no setor ocidental urbano. A diferença de altitudes no concelho é significativa visto que encontramos uma grande diferença a oriente (Figura 8), com altitudes a rondar valores entre os 401 e os 505 metros aproximadamente, que rapidamente decrescem a ocidente.

Sucintamente a oriente destacam-se os relevos de metassedimentos do Maciço (Cunha e Dimuccio, 2018). Marginal de Coimbra, setor montanhoso com altitudes que chegam a passar os 500 metros, nos níveis do Roxo e da Aveleira, e que se encontram

recortados pelos vales os passam os rios Mondego e Ceira e ainda alguns dos seus afluentes. Por outro lado, a ocidente existem as formas suaves de colinas arenoconglomeráticas e calcárias, que muito dificilmente, ultrapassam os 200 metros. Claro que a génese estrutural do município e o seu traçado de acidentes geográficos, os vales, são grandes influenciadores do clima urbano, sendo que por norma, as áreas de baixa altitude são cercadas por áreas mais altas ou até por atividade fluvial, nomeadamente o Vale da Ribeira de Coselhas (NE-SW), Eiras (E-W) e o Vale do Rio dos Fornos em Souselas (NE-SW).

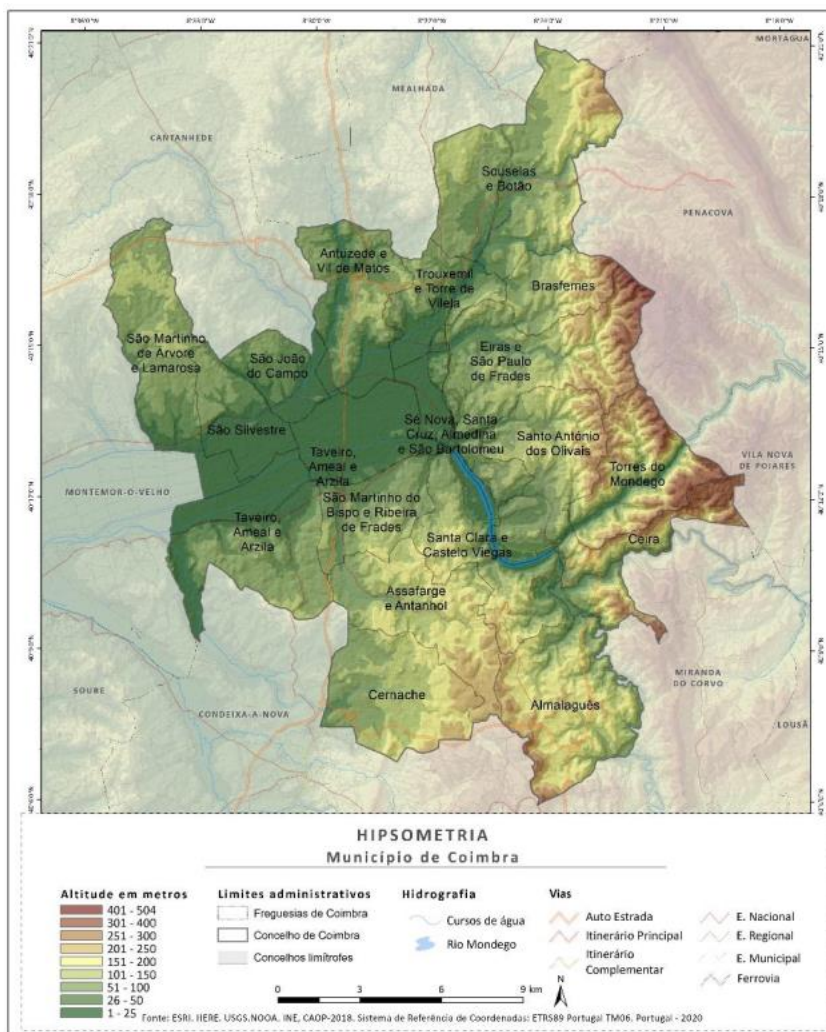


Figura 8: Hipsometria Fonte: Silva, inédito

Mais especificamente, a análise geral vai consistir numa área inserida num setor composto: a) pelas cumeadas da Conchada e Montes Claros, área densamente urbanizada e com forte exposição solar ao longo de todo o dia; b) pela colina de topo aplanado onde se localizam os edifícios da Universidade e a Alta da cidade, apresentando-se igualmente urbanizada; c) por duas vertentes, uma que apresenta exposição aos quadrantes sul (preferencialmente a SW) e outra, exposta aos quadrantes de norte; d) um vale em “cutilada”, onde hoje está instalada uma das principais vias rodoviárias da cidade - Avenida Sá da Bandeira (Rebelo, 1999), e por fim, na base sul da colina da Alta, área que integra verdadeiramente a área em estudo, apresenta-se e) um valeiro onde se desenvolve hoje o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, caracterizado por uma morfologia desigual e declivosa, que inclui no seu interior uma pequena ribeira, que hoje faz parte da estrutura ecológica. Este estende-se quase até ao f) à vasta planície aluvial, designada por “os Campos do Mondego”. Nestes campos atravessa o rio Mondego – a componente azul - sendo as suas margens conhecidas pelos principais espaços verdes da cidade, nomeadamente, os Parque Doutor Manuel Braga, Parque Verde do Mondego, Parque do Choupalinho e o Parque da Canção.

4.1.2. O Clima

O território de Coimbra apresenta um clima tipicamente mediterrâneo, embora atenuado pela influência do oceano que de acordo com a classificação para as Regiões climáticas de Portugal Continental, integrando-se assim no domínio atlântico (Ferreira, 2005). Esta influência atlântica deriva da localização de Portugal Continental (e neste caso particular a região de Coimbra), numa zona de transição entre o anticiclone dos Açores e a zona de depressões subpolares.

Coimbra reflete essas mesmas características - clima mediterrâneo com influência atlântica -, com a manifestação de verões quentes e secos (média dos valores máximos de temperatura de 21°C), de elevada luminosidade, insolação intensa e carência de chuvas e, invernos amenos e pluviosos (média de valores mínimos de temperatura de 10,7°C).

Importa referir que apesar da influência amenizadora do ar marítimo no campo térmico, a manifestação de fenómenos extremos, tais como, a ocorrência de vagas de ar frio e ondas de calor, têm vindo a apresentar-se como riscos bem reais, aliás como se observou neste último caso, no corrente ano de 2022.

Embora o clima urbano e os contrastes térmicos serem influenciados por vários fatores, isto é, morfologia urbana, características do território, uso do solo e as próprias dinâmicas urbanas, o centro urbano de Coimbra, por norma, apresenta invernos frescos e chuvosos, sobretudo nos meses de novembro e janeiro. Já o verão é seco e morno, com o céu frequentemente sem nuvens. Normalmente, ao longo de todo o ano, as temperaturas variam entre os 3°C e os 29°C, sendo poucas as vezes que a temperatura é inferior a 0°C e superior a 35°C.

Os meses mais quentes do ano, e tendo por base as temperaturas médias do ar, são junho, julho, agosto e setembro com temperaturas que variam entre os 20°C e os 30°C. Já os meses mais frescos são dezembro, janeiro e fevereiro com temperaturas entre os 12°C e os 15°C. Importa referir que as diferenças de temperaturas entre os meses mais frios e os meses mais quentes rondam os 15°C.

No que diz respeito às condições meteorológicas o ano de 2022 está a ser caracterizado como um ano bastante atípico, tornando-se importante analisar simultaneamente o período anterior, ou seja, do ano de 2021. Para isso foram utilizados os dados meteorológicos, cedidos pelo IPMA, desde julho de 2021 até julho de 2022 (Figura 9). Tendo em conta precipitação, verifica-se desde logo, que o país está a atravessar um período de seca extrema. Verifica-se que os meses que apresentam níveis mais elevados são outubro de 2021, dezembro de 2021 e março de 2022, com valores que variam entre os 0,14mm e os 0,19mm. Em contrapartida, os meses mais secos, são os meses mais quentes, isto é, julho, agosto e setembro em 2021, e em 2022 também se destaca o mês de maio com uma precipitação muito baixa. Relativamente às temperaturas médias do ar verifica-se que os meses que se destacam com temperaturas mais elevadas são, julho, agosto e setembro de 2021, com temperaturas que variam entre os 19°C e os 23°C. Em 2022 o mês que se apresenta mais quente é o mês de julho, mês em que foi efetuada uma das campanhas. Por outro lado, os meses que se apresentam com temperaturas mais baixas são novembro de 2021, janeiro e fevereiro de 2022, com temperaturas médias entre os 9°C e 11°C.

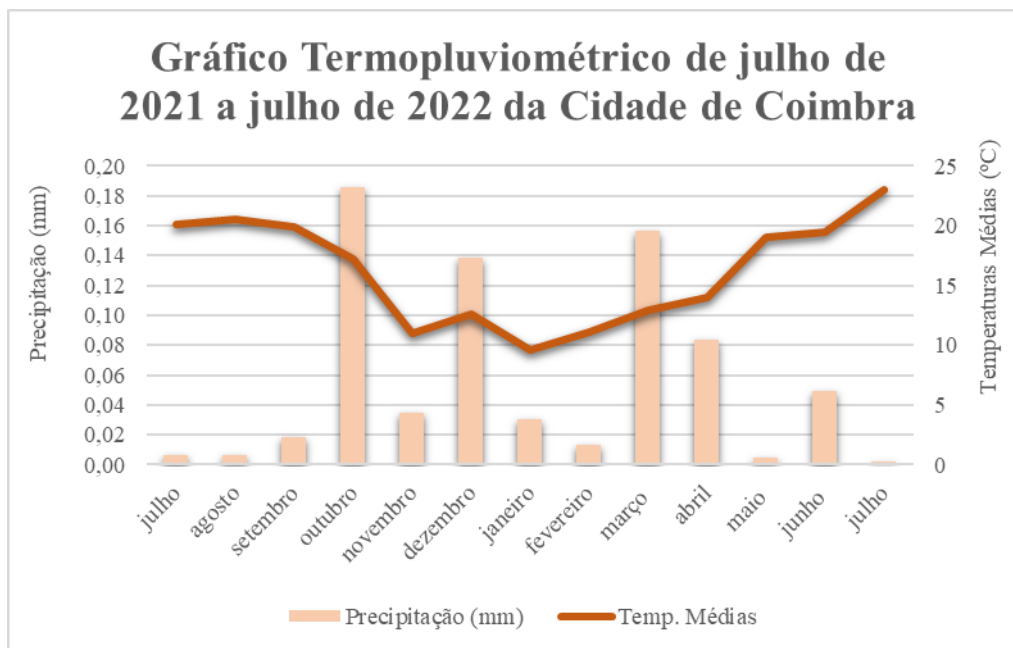


Figura 9: Gráfico Termopluviométrico da Cidade de Coimbra **Fonte:** Ipma

4.1.3. Ocupação do solo

Para um melhor conhecimento da área em estudo a caracterização do uso e ocupação do solo é crucial. Assim sendo, através da Carta do Ocupação do Solo (COS) de 2018, verifica-se que as áreas predominantes no município de Coimbra são a floresta e a agricultura (Figura 10). Denota-se que os territórios artificializados se encontram distribuídos por todo o município, sendo, no entanto, na cidade de Coimbra e nas suas áreas envolventes onde apresentam maior destaque. De referir que esta zona apresenta uma percentagem significativa da população do município e ainda um grande número de serviços, o que justifica a sua mancha notória de territórios artificializados. Seguem-se as classes dos matos e das pastagens, com manchas significativas associadas às freguesias mais rurais e periféricas do município. Como não poderia deixar de ser, é visível a mancha dos parques e jardins associada ao Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, sendo um dos maiores espaços verdes da cidade.

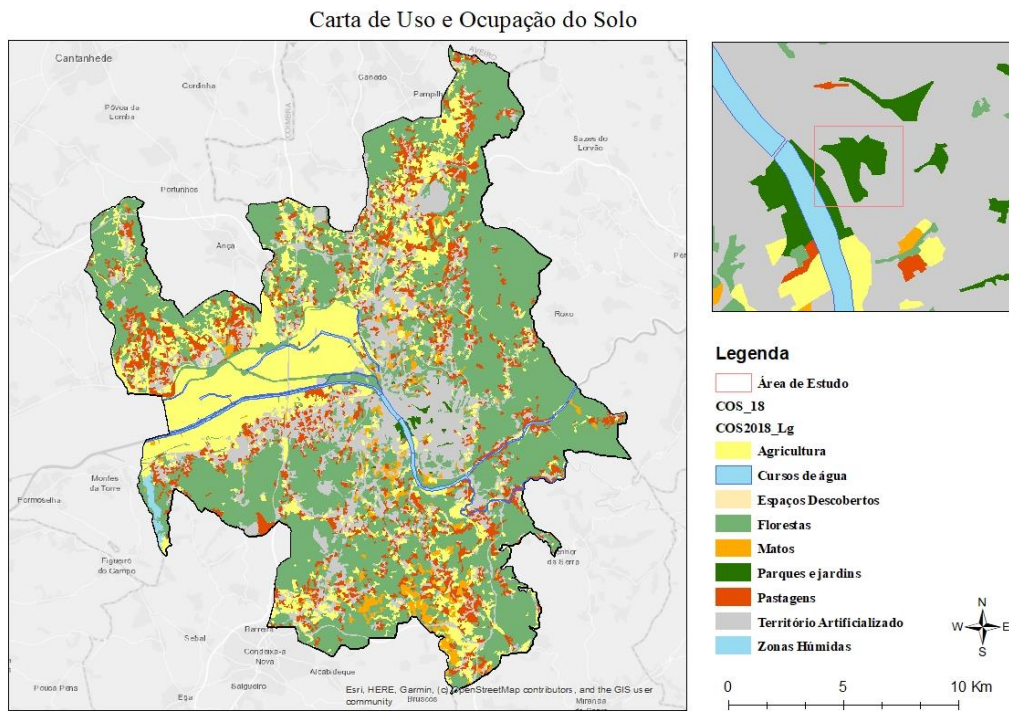


Figura 10: Carta de uso e ocupação do solo da cidade de Coimbra

4.2. Localização da área em estudo – Jardim Botânico da Universidade de Coimbra

Para o presente estudo foi selecionado um espaço verde da cidade de Coimbra, o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra. Este localiza-se na margem direita do rio Mondego, na “Alta” da cidade e em posição topográfica de vale, encontrando-se rodeado por edifícios de alturas variáveis (Figura 11). É considerado um dos mais emblemáticos parques de uso público de Coimbra, que detém de um substrato arbóreo e arbustivo denso, com uma grande diversidade de espécies autóctones e exóticas, sendo a vegetação arbórea, tanto caducifólia como perene. Para o estudo em questão estas características apresentam-se como muito importantes uma vez que a estação influencia os resultados (Leal et al., 2007-2008).

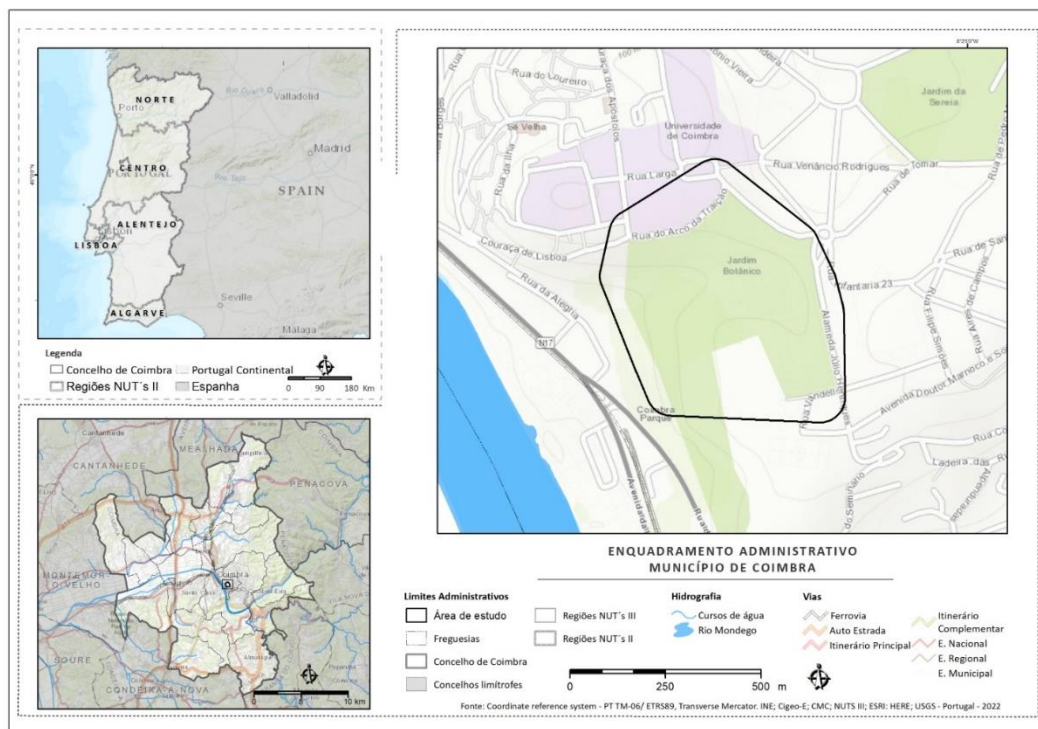


Figura 11: Localização do Jardim Botânico **Fonte:** Silva, inédito

No interior deste jardim existem vários setores diferenciados, que se desatíbueem por vários patamares, escadarias e vias pedonais (Figura 12): 1) o pomar; 2) a mata, onde predomina a arborização densa de grande porte e um substrato arbustivo bastante desenvolvido; 3) o bambuzal, composto por uma imensidão de bambus, junto à mata; 4) a Alameda das Tílias; 5) o Quadrado Central do Fontanário; 6) a Estufa Quente, mais propriamente a grande estufa de vidro ali inserida, e por fim, 7) a Alameda que limita o Jardim Botânico a leste, mais especificamente o corredor central. É ainda de mencionar a existência de dois pequenos lagos e um repuxo – a componente azul.



- | | |
|---------------------------|---|
| 1. Pomar | 5. Quadrado central do Fontanário |
| 2. Mata | 6. Estufa Quente |
| 3. Estufa Fria (Bambuzal) | 7. Alameda que limita o Jardim Botânico a leste |
| 4. Alameda das Tílias | (Corredor Central) |

Figura 12: Diferentes setores do Jardim Botânico

Capítulo V

Resultados do Campo Térmico de Coimbra

Análise Térmica Geral

No contexto da elaboração desta dissertação, deve ser referido que o objeto desta foi realizado em paralelo com outros de temáticas idênticas e cujas campanhas foram realizadas simultaneamente, oferecendo uma perspetiva global do espaço urbano relativamente ao campo térmico de Coimbra. Projeto que, como referido anteriormente, vem na sequência de outras campanhas realizadas em 2019, 2020 e 2021², no ano de 2022 foram realizados percursos itinerantes acompanhados por sensores que foram registando dados em vários pontos da cidade pré-estabelecidos, integrando diferentes espaços urbanos, como os verdes, os azuis e os diferentes espaços construídos – densidade; forma; altura, entre outras -, com o objetivo de perceber de que modo cada um destes espaços pode influenciar o microclima urbano. A obtenção dos dados refletem particularidades, que a muito se assemelham ao que foi constatado nas campanhas anteriores, no entanto, observa-se, muito pela experiência entretanto adquirida, especificidades muito particulares que se devem, sobretudo, à escala a que se trabalhou.

Desde já importa referir, que a campanha de 2022 teve como objetivo um conhecimento mais pormenorizado do setor do centro urbano na margem direita do rio Mondego, em particular o que tinha sido perspetivado nos anteriores trabalhos publicados sobre a temática, assim como as reflexões entretanto efetuadas das campanhas mais recentes, isto tanto relativamente à Ilha de Calor Urbana e a sua relação com os espaços verdes existentes no espaço urbano – anel verde -, assim como compreender qual o papel dos espaços azuis e verdes na regulação térmica do espaço urbano.

A linha orientadora da análise deste conjunto de dados partiu dos trabalhos de Nuno Ganho (1998; 1999) e Marques *et al.*, (2009) de Leal *et al.*, (2009), embora já com o conhecimento da informação a ser desenvolvida nas presentes campanhas (Cordeiro *et al.*, 2022; Cordeiro *et al.*, *in press*). Aliás, as áreas definidas baseiam-se no contexto geral do mapa térmico da cidade de Coimbra elaborado a partir dos dados recolhidos em

² Estas campanhas tiveram lugar no âmbito de unidades curriculares não só do Mestrado – Espaços Urbanos Sustentáveis -, mas também da unidade curricular de Suportes Físicos em Planeamento Regional e Local, esta de 1º ciclo do curso de Geografia. É de salientar que muitos dos levantamentos tiveram a minha participação efetiva.

viaturas automóveis no início da noite de Inverno de um dia de estado de tempo anticiclónico³ (Figura 13).

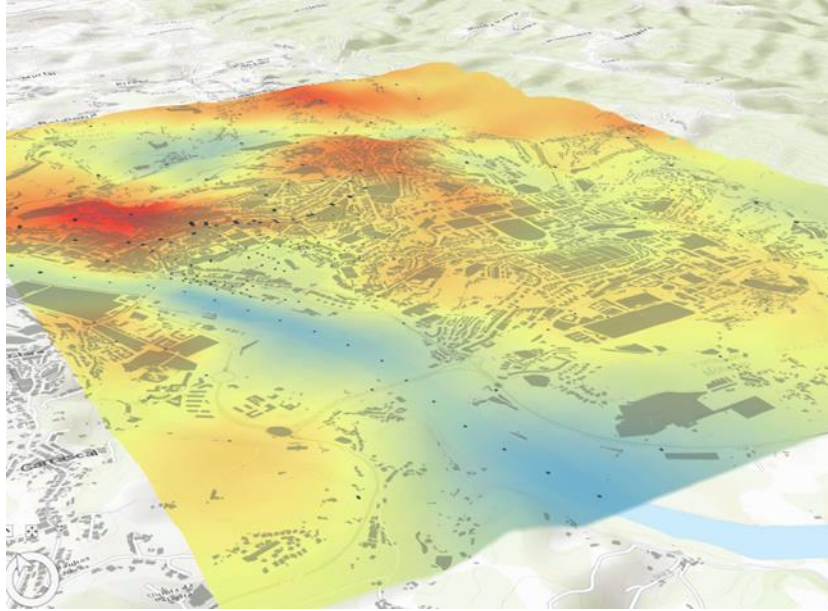


Figura 13: Cartograma geral do campo térmico da cidade de Coimbra na noite de 6 de fevereiro de 2020 da cidade de Coimbra **Fonte:** Cordeiro, Ornelas e Silva, inédito, 2022

Com base neste primeiro enquadramento, o objetivo, como foi referido anteriormente, foi o de procurar a obtenção de dados de maior pormenor, pelo que foram definidos três percursos pedonais para esta campanha (que se encaixavam uns nos outros e com pontos comuns), sendo importante referir que os levantamentos foram realizados em três estações do ano - fevereiro (inverno), maio (primavera) e em julho (verão). Estes registos foram retirados nos pontos estabelecidos e seguiram uma ordem previamente definida, como mencionado na metodologia. É ainda de destacar que o ano de 2022, até à data, se apresenta como um ano invulgarmente quente, sendo que o mês de julho foi o mais quente desde 2000 (IPMA, 2022). É ainda de referir que os percursos realizados nos meses de maio e de julho, foram efetuadas sob efeito de ondas de calor, fenómeno que

3 Os levantamentos destes dados foram efetuados num veículo automóvel, em dois dias distintos, no dia 4 de dezembro e no dia 6 de fevereiro de 2019, tendo início cerca das 21h30 (duração de 2 horas). Neste sentido, com o sensor de medição de temperaturas colocado fora da janela do automóvel parou-se em cada ponto cerca de 1 minuto, no qual era apontado o minuto inicial e o minuto final. De seguida, depois de todo o percurso finalizado, os dados obtidos foram retirados do sensor e realizaram-se mapas através do ArcGis, com o objetivo de apresentar as temperaturas obtidas e mostrar as diferenças térmicas presentes na cidade de Coimbra.

começa a apresentar uma maior frequência a cada ano que passa. A onda de calor do mês de julho foi a mais intensa, aliás como se pode comprovar pelas temperaturas registadas quer nas estações meteorológicas, quer nos *data loggers* fixos e dados dos percursos pedonais itinerantes.

A metodologia já referida anteriormente, os percursos foram desenvolvidos em três momentos do dia – manhã, tarde e início da noite -, e foram efetuados através de três percursos (um deles devido à sua extensão efetuado em subpercursos – o do setor construído), que correspondem a três dissertações distintas, desenvolvidas em simultâneo e com pontos pré-definidos em que os diferentes autores adquiriam dados nos mesmo pontos e à mesma hora. Esta metodologia proporcionou um conjunto de informação vasta que possibilitou uma abordagem mais específica e de maior pormenor, isto relativamente aos percursos efetuados através de automóvel em 2020. Para uma melhor compreensão a área em estudo foi dividida por vários setores (Figuras 43 e 44 em anexo).

Dia 28 de fevereiro de 2022

Para esta parte do trabalho decidiu-se fazer a apresentação dos dados conjuntos por dia (estação do ano) e por os diferentes momentos desses mesmos dias, começando pela análise do dia 28 de fevereiro de 2022, dia esse que é caracterizado por condições climáticas algo complexas, mas favoráveis para o levantamento das temperaturas.

Neste dia, Portugal Continental encontrava-se sob influência de uma depressão localizada a norte das Ilhas Britânicas, sendo, portanto, de se esperar, um dia de mau tempo (Figura 14). No entanto, e como se pode observar na carta sinótica, é perceptível, uma frente quente muito próxima do continente, o que fez com que o ciclone não se manifestasse, proporcionando um dia de céu limpo. Esta frente funcionou como uma espécie de barreira, permitindo que existisse a formação de um corredor de ar quente vindo de sudoeste, influenciando todo o território de Portugal Continental. De destacar ainda, que o anticiclone dos Açores se encontrava a oeste, ou a sul do arquipélago (IPMA, 2022), bloqueando as frentes mais instáveis, originando assim, um tipo de corredor com uma massa de ar quente.

Importa referir, a presença de uma frente quente permite que nas horas anteriores à sua chegada se observe um aumento das temperaturas, e posteriormente, a formação de nebulosidade. Neste mesmo dia, esta tendência confirmou-se, uma vez que por volta das

15h, o céu deixou de estar limpo, sendo visível a formação de alguma nebulosidade em alguns setores do território nacional, o que não se verificou no caso de Coimbra.

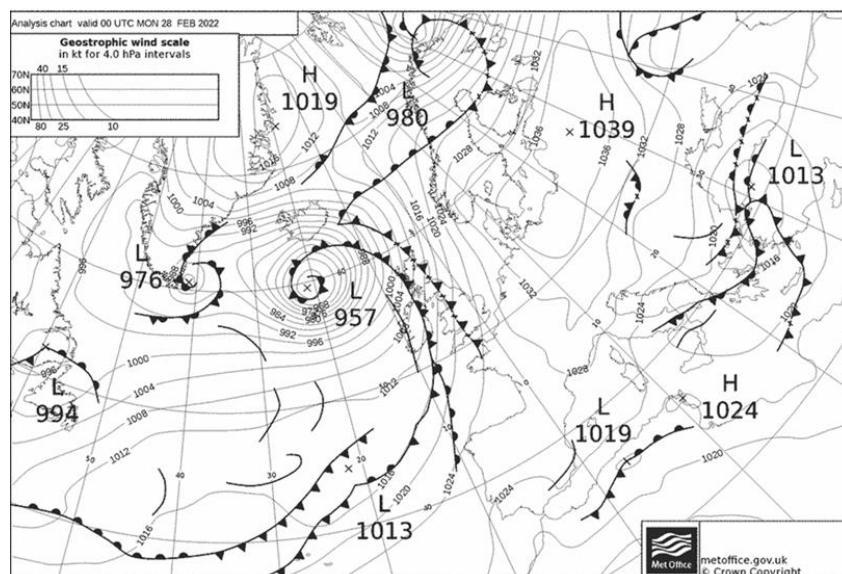


Figura 14: Carta sinóptica de superfície (mm), às 00h UTC, relativa à Europa (modelo UKMO) do dia 28 de fevereiro de 2022. **Fonte:** Wetterzentrale

→ **Manhã (início às 9:30 horas):**

Se observarmos os mapas de enquadramento geral da manhã do dia 28 de fevereiro de 2022 verificamos que se destaca um amplo setor da cidade onde se observam as temperaturas mais baixas, e que corresponde à colina onde se situa a “Alta”, o Jardim Botânico, assim como também o Parque Manuel Braga (Figura 15). A presença de ar mais fresco, potencialmente devido à influência de ar fresco e húmido proveniente do rio Mondego, da proximidade dos espaços verdes que rodeiam as áreas descritas, mas também o efeito de sombra que a morfologia de base da área em análise, as quais se encontram ainda sem receção de radiação solar direta.

Esta última justificação deve-se em grande parte à constatação de em áreas como as cumeadas da Conchada e Montes Claros, ou mesmo da Praça da Canção na margem esquerda, observa-se a presença de temperaturas comparativamente mais elevadas, mostrando que a esta hora do dia o papel da radiação direta parece apresentar-se como fundamental nas diferenças térmicas observadas o espaço urbano. Numa observação mais pormenorizada do cartograma e dos valores registados, retém-se que a exposição das vertentes se assume, a esta hora, como o principal fator nas diferenças térmicas observadas, destacando-se o ponto junto ao edifício Avenida, na Rua Antero Quental

(com orientação aos quadrantes de leste e de sul) com uma temperatura máxima de 20,6°C. Destacam-se pontos da margem esquerda, onde as temperaturas se apresentam já consideravelmente acentuadas, quando comparadas com os valores registados na margem direita (Parque Manuel Braga⁴, mostrando de forma evidente a importância da exposição solar nestas leituras (espaços expostos a oriente)⁵.

É de destacar ainda, os setores do Jardim Botânico apresentam valores relativamente mais elevadas, nomeadamente nos patamares mais elevados e de exposição a leste, assim como junto às estufas de vidro e no Quadrado Central. Isto explica-se não só pela estação do ano em que este levantamento foi efetuado – inverno – encontrando-se grande parte da vegetação arbórea destes setores sem folhagem, possibilitando que a radiação solar penetre até ao solo, mas também, pelo facto do setor dos terraços e da estufa não apresentarem grande vegetação arbórea.

Relativamente à manhã de 28 de fevereiro de 2022 (aliás, algo que se vai constatar nos restantes dias de recolha de dados), esta apresentou uma diferença térmica considerável, - 9,9°C – uma vez que a temperatura máxima foi de 20,6°C (Rua Antero de Quental) e temperatura mínima foi de 10,7°C (Rua Larga – Alta da Universidade).

⁴ De referir que este setor durante grande parte da manhã se encontra sem radiação solar direta, muito devido à sombra proporcionada pela colina da Universidade.

⁵Particularmente os pontos mais a norte deste setor também apresentam temperaturas mais elevadas, e por se encontrarem junto a uma estrutura de ferro da Praça Da Canção e no início da ponte de Santa Clara, poderá justificar-se um reforço artificial destas estruturas - materiais metálicos de mais fácil e rápida condução do calor, e ainda o facto de ser uma zona de grande afluência automóvel, originando o aquecimento desta área.

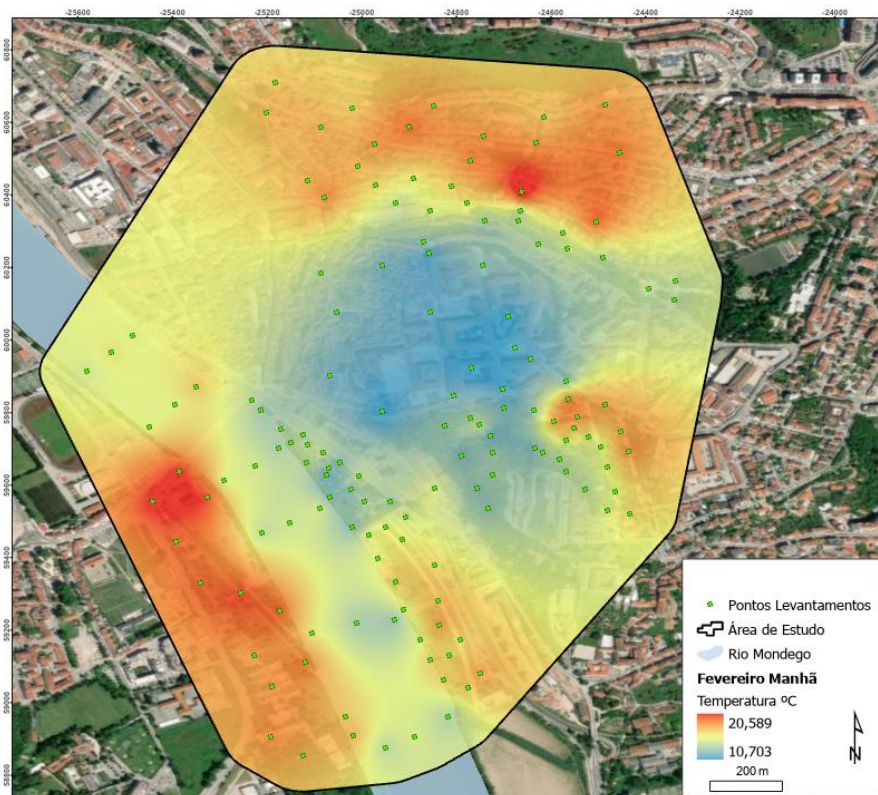


Figura 15: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da manhã no dia 28 de fevereiro de 2022.

→ **Tarde (início às 15 horas):**

No que diz respeito à análise do cartograma da tarde do dia 28 de fevereiro, verifica-se que os setores da Alta, Montes Claros⁶, Praça da República⁷ e a Avenida Sá da Bandeira apresentam temperaturas mais elevadas que as áreas envolventes (Figura 16). Certamente que esta diferença está relacionada com a interação entre setores de vegetação caducifólia e vegetação perene, bem como a capacidade de retenção do calor por parte do edificado, sendo que no momento o posicionamento do Sol se observa nos quadrantes oeste, levando a que nas cumeadas e níveis onde se desenvolvem os locais descritos, as temperaturas tendam a ser mais elevadas, muito devido ao edificado destes setores e ao próprio tráfego viário. O mesmo se verifica no setor menos arborizado do Parque verde, em particular na margem direita (na margem esquerda apresenta a mesma tendência, embora com menos intensidade), o mesmo se observando na Alameda das Tílias (Jardim Botânico), refletindo particularmente a ausência de folhagem das caducifólias,

⁶ Locais de forte exposição solar

⁷ Local com uma extensa superfície desenhada em calçada portuguesa

influenciando decisivamente a existência de temperatura mais elevada⁸. Neste setor do lençol de água do Açude, torna-se interessante observar o facto das temperaturas registadas a 1,5 metros da superfície do Mondego se apresentarem sempre mais elevadas não sector norte (eixo junto à estação de Coimbra A/EB Silva Gaio e Largo da Portagem/Estádio Universitário), – 22,13°C – muito provavelmente associado à estrutura de rocha/betão definida ao longo do rio, a jusante do setor da restauração (“Docas”), enquanto que as temperaturas a montante (desses eixos se apresentam sempre com temperatura inferior – 19,23° C⁹).

Observando as restantes áreas, como a Conchada, Montes Claros, quase a totalidade da área do Jardim Botânico e o Parque Verde identifica-se a presença de ar um pouco mais fresco comparativamente com as áreas já abordadas anteriormente. Este ar fresco, no setor da Conchada e Montes Claros, é algo atípico que poderá justificar-se não só à sombra entretanto observada (o sol encontra-se muito baixo), mas provavelmente também à formação de nebulosidade que se desenvolveu no decorrer da tarde.

Constata-se, portanto, que a diferença térmica observada entre os diferentes setores da cidade onde se desenvolveram os levantamentos da tarde do dia 28 de fevereiro foi na ordem dos 5,0°C, sendo a temperatura máxima registada de 22,9°C (parque de estacionamento do Parque Verde – margem direita) e a temperatura mínima de 17,9°C (Jardim Botânico).

⁸ De referir que a obra de reabilitação do Parque Manuel Braga poderá ter tido alguma influência nos resultados, uma vez que na data de realização das medições o parque encontrava-se vedado por cerca sem aberturas, levando a dificuldades na ventilação do espaço, assim como o próprio uso de maquinaria pesada no interior do mesmo. Esta situação, e quando se efetua a comparação com a campanha de 2021, não se observa, pelo que se julga que este fator se apresenta como algo decisivo.

⁹ É de referir que esta situação é comum nas diferentes campanhas, sendo que os eixos a montante se apresentam sempre uma temperatura mais baixa de um a grau e meio de diferença relativamente aos levantados a jusante.

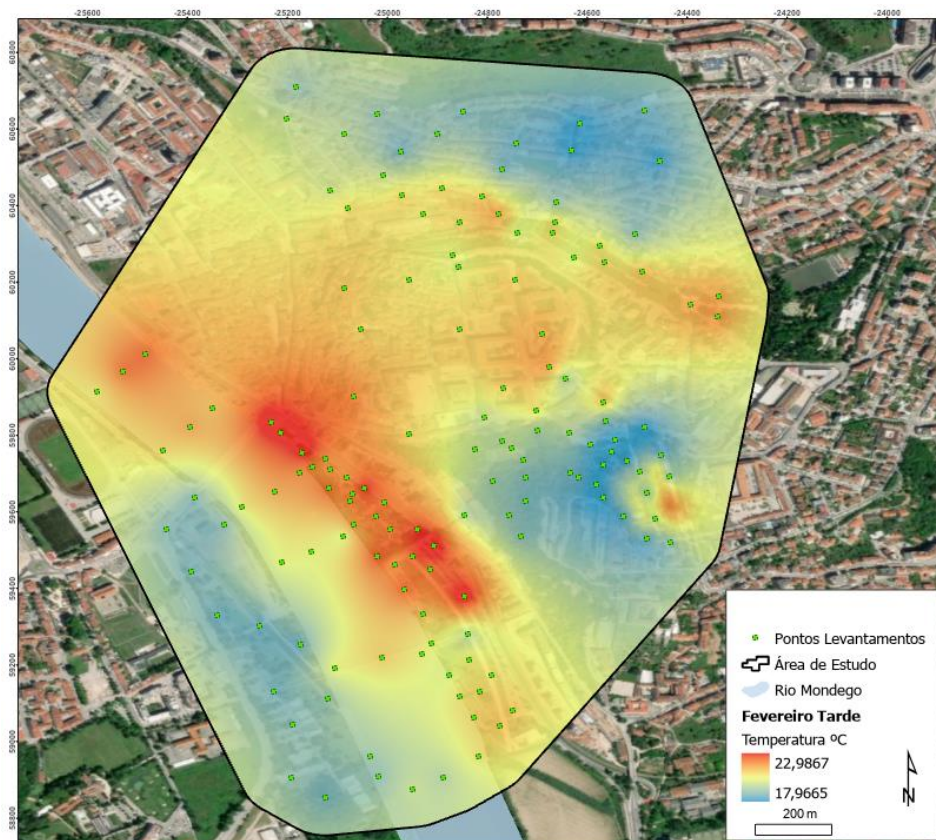


Figura 16: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da tarde no dia 28 de fevereiro de 2022.

→ **Noite (início às 21 horas):**

Nos percursos noturnos deste dia tornou-se evidente o fenómeno climático já referido e analisado por Ganho (1998) e Marques et al., (2009) - a presença de uma “Ilha de Calor Urbano” muito bem definida no setor de maior edificação do casco urbano, o qual se diferencia muito bem dos setores de temperaturas mais baixas (diferença de 4,5°C) das margens do Mondego (em particular na esquerda) (Figura 17). Na sequência dos levantamentos efetuados, constata-se agora, que a ICU apresenta uma forma quase circular na colina da Alta da cidade, sendo na área do Polo I da Universidade, o local onde se registam as temperaturas mais elevadas, muito por força do edificado presente neste setor, originando a libertação do calor por irradiação que se foi acumulando ao longo do dia nos materiais dos edifícios durante a exposição solar diurna. A presença de temperaturas mais quentes verifica-se também nos setores da Conchada e Montes Claros, muito pela influência da ICU existente devido à aglomeração urbana, não tendo nenhum ponto de destaque a nível térmico.

Já no Parque Verde/Parque Manuel Braga, e tal como acima descrito, verifica-se a presença de ar mais fresco, que poderá estar associado à influência que o plano de água apresenta no atenuar das temperaturas, sendo por este motivo que nas margens do rio as temperaturas são mais baixas¹⁰. Porém, não pode deixar de se refletir sobre as temperaturas ligeiramente mais “quentes” que se observam no lençol de água do Mondego, mas que devido a metodologia de construção do cartograma através do kriging, não mostra o que se parece depreender de que as temperaturas a 1,5 metros acima do lençol de água se encontram mais quentes que os pontos equivalentes nas margens, quer direita, quer esquerda, mostrando assim como o “azul” pode influenciar as temperaturas no espaço urbano.

A diferença térmica no período da noite, e tendo em conta as dificuldades de registo no setor do Jardim Botânico, apresentou um valor de 4,5°C, já que foi registado uma temperatura máxima de 14,4°C (Museu Machado Castro) e uma mínima de 9,9°C (junto às piscinas do Mondego).

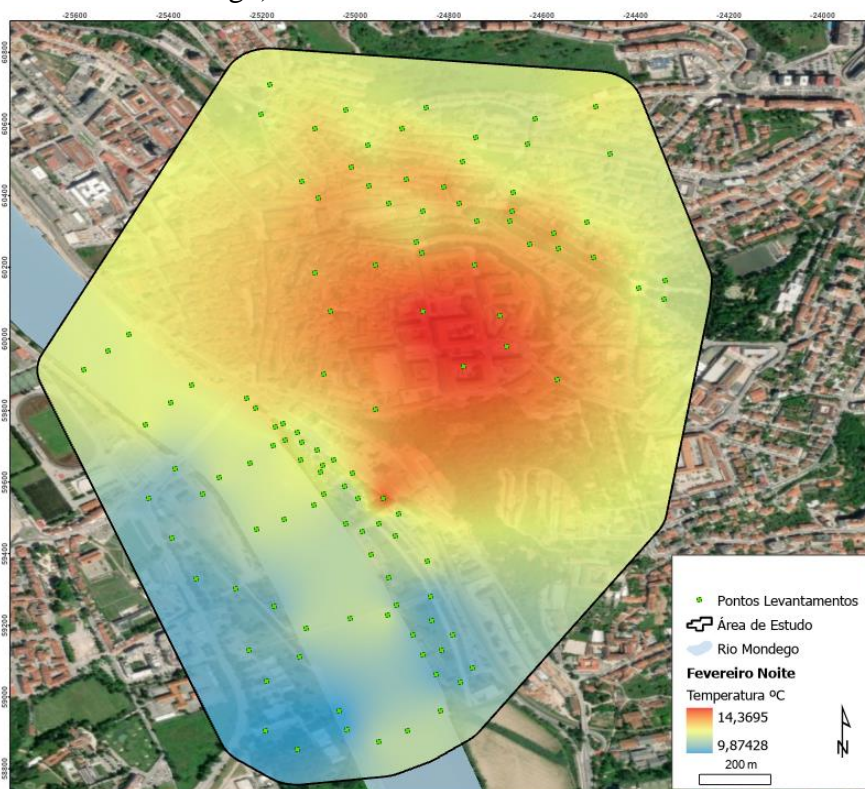


Figura 17: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da noite no dia 28 de fevereiro de 2022.

¹⁰ De referir que as temperaturas do Jardim Botânico se apresentam como amenas muito devido aos dados noturnos deste dia não terem origem do levantamento dos dados reais (dificuldades burocráticas) mas sim de uma elaboração do kriging (razão pela qual não devem merecer fiabilidade).

Dia 11 de maio de 2022

No período primaveril a recolha de dados de temperatura ocorreu no dia 11 de maio, dia que como podemos observar no mapa sinóptico (Figura 18) estávamos sob influência do anticiclone dos Açores que se encontra a noroeste do Arquipélago dos Açores. O facto do estarmos sob influência do anticiclone açoriano, mas também muito por força de uma depressão localizada a noroeste da Galiza, permitiu a movimentação de ar quente em direção ao território continental,

Todavia, na parte da manhã deste dia verificou-se a ocorrência de nevoeiro, que se pode justificar devido à presença da frente fria que vemos na carta sinóptica. A partir das 10h30 o céu começou a ficar limpo e bastante soalheiro, até ao final do dia.

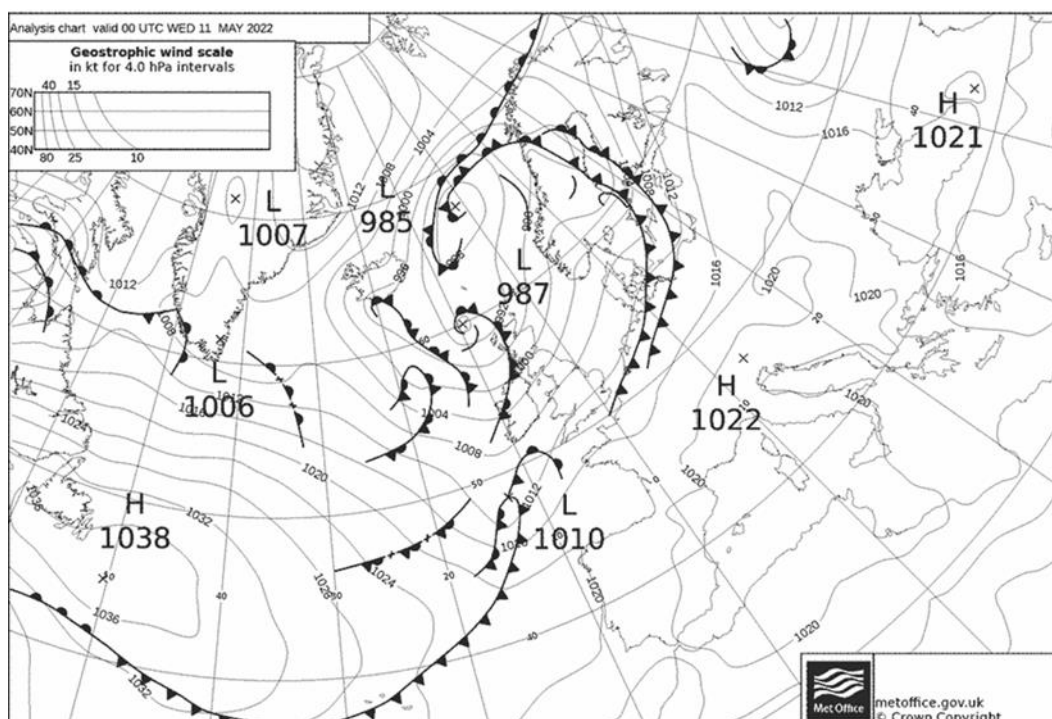


Figura 18: Carta sinóptica de superfície (nmm), às 00h UTC, relativa à Europa (modelo UKMO) do dia 11 de maio de 2022. Fonte: Wetterzentrale

→ Manhã (início às 9:30 horas):

No percurso da manhã do dia 11 de maio é importante referir que os primeiros resultados, refletiram a presença de nevoeiro (até cerca das 10:30), o que resultou em temperaturas mais frescas, em praticamente toda a cidade, nomeadamente nos setores mais baixos da área em estudo (margens do Mondego), como também na Alta, na mata e

pomar do Jardim Botânico, e ainda nas cumeadas de Montes Claros e Conchada (Figura 19). As exceções encontram-se em locais dos diferentes percursos onde o horário de registo refletia já o dissipar do nevoeiro como são os casos da rua Montarroio (onde as temperaturas registadas foram ligeiramente mais elevadas que as ruas envolventes), e do setor da margem esquerda do rio Mondego – setor do Parque da Canção – onde se observam as temperaturas mais elevadas, muito devido a este local se encontrar no momento de recolha de dados se encontrar já totalmente exposto a radiação solar, e pelo facto de uma parte significativa de solo se desenvolver em terra batida e sem qualquer cobertura arbórea.

Considerando as diferentes condições encontradas nestes percursos, verifica-se uma significativa diferença térmica - 8,1°C -, tendo como valor mais elevado de 20,2°C (Parque da Canção) e a temperatura mais baixa 12,1°C (Rua Larga), valor que deve ser analisado tendo em consideração que desde o início até ao final do levantamento dos diferentes percursos, as condições de estado de tempo – início com nevoeiro e final já com este dissipado.

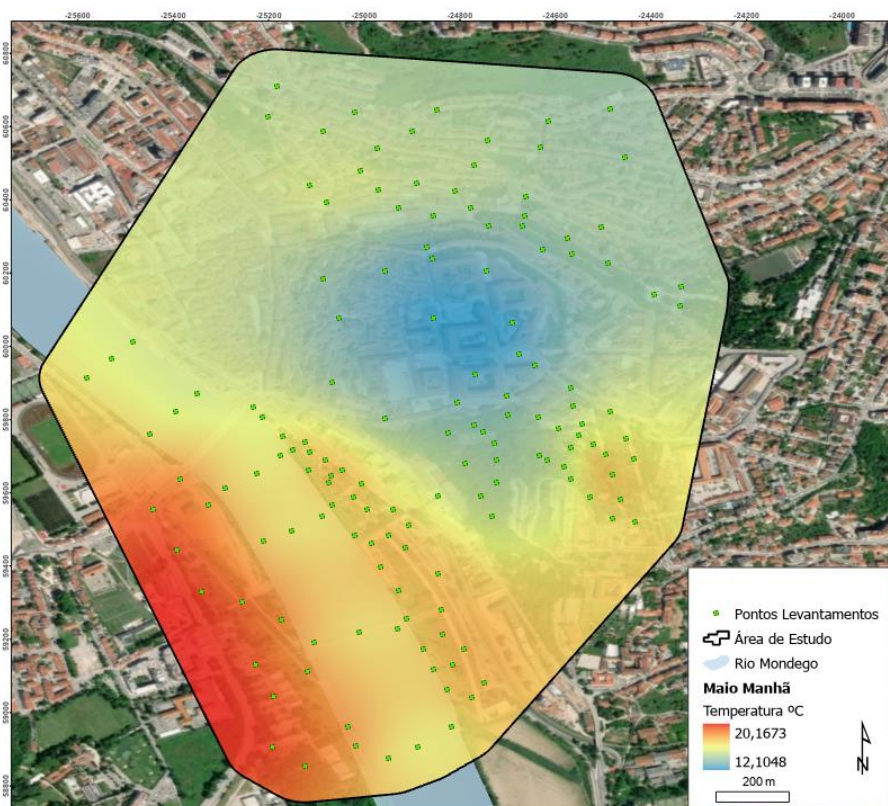


Figura 19: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da manhã no dia 11 de maio de 2022.

→ Tarde (início às 15 horas):

Ao observarmos o cartograma relativo ao percurso da tarde, constata-se que as circunstâncias mudaram, com grandes espaços do espaço urbano já a apresentar no arbóreo caducifólio folhagem bem desenvolvido, situação que gera uma espécie de proteção à radiação solar direta (proporcionando sombra), levando a que setores como a Av. Sá da Bandeira, o Parque Manuel Braga e alguns dos setores do Jardim Botânico (em particular a Alamedas das Tílias) apresentem a 1,5 metros de altura, temperaturas mais baixas que em outros setores da cidade – células de frescura (Figura 20). Por seu turno, na margem direita do Parque Verde (junto à estação de serviço, ao setor de restauração – as “Docas” ao Parque Infantil e ao parque de estacionamento) reconhecem-se temperaturas mais elevadas que as dos setores envolventes, muito por força dos materiais de revestimento nestes locais deterem de uma maior capacidade de absorção. Porém, é na Alta e na cumeada da Conchada e de Montes Claros onde se registam as temperaturas mais elevadas da tarde¹¹, destacando-se em particular a área da rua de Montarroio, a Travessa de Montarroio e a rua de Saragoça.

Esta situação parece justificar-se através não só da densidade de construído, mas também por se localizarem na vertente exposta aos quadrantes de sul (com aquecimento praticamente durante todo o dia), tal como a própria direção das ruas - a rua de Montarroio que se encontra direcionada a oeste -, pelo que a radiação direta que se observa a meio e a fim da tarde. Portanto, estas áreas não usufruem de sombra por parte dos edifícios neste horário, o que faz com que sejam os locais com valores mais elevados de temperaturas neste percurso, mesmo com os registos a serem efetuados mais tarde.

Ainda assim, deve ser referido que mesmo com estas condições atmosféricas e da diferenciação que foi referida para os diferentes setores do espaço urbano, a diferença térmica da tarde de dia 11 de maio foi de apenas de 2,8°C, uma vez que o valor mais elevado registado foi de 27,9°C e a menor de 25,1°C.

11 Deve-se ter em conta que as temperaturas mais baixas na Avenida Sá da Bandeira provêm do efeito de sombra proporcionado pelas copas das árvores e pela própria morfologia da colina, que funciona como um corredor mais fresco entre as cumeadas.



Figura 20: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da tarde no dia 11 de maio de 2022.

→ **Noite (início às 21 horas):**

Na observação dos dados recolhidos nos três percursos da noite e respetivo cartograma (e mesmo tendo em consideração uma certa alteração do registo de temperatura que mostrou um relativo arrefecimento associado à aproximação massas de ar mais instáveis) verifica-se que a par da definição bem clara de uma ICU no espaço urbano correspondente ao tecido urbano consolidados da colina do polo 1 universitário e da área da Conchada/Montes Claros¹², a presença de células de ar fresco nomeadamente no associado ao Jardim Botânico, em grande parte do Parque Verde¹³ (Figura 21). Estas temperaturas mais frescas observam-se também presentes na Praça da República, em particular a Avenida Sá da Bandeira. É de referir que uma das temperaturas mais elevadas foi registada na rua da Saragoça (18,8°C). Ao observarmos os registos no rio Mondego¹⁴,

¹² Neste setor, as células de ar fresco devem-se à influência da sombra que a vegetação arbórea exerceu durante o dia, garantindo aos edifícios e superfícies que não tivessem expostos à radiação solar direta, e permitindo que não houvesse tanta irradiação de calor.

¹³ Porém, é de referir que neste dia, as temperaturas noturnas no Parque Dr. Manuel de Braga, devem continuar a refletir a ausência de ventilação que o cercado de zinco e acrílico que delimitava parecia provocar e que oferecia alguma diferença térmica entre as duas margens.

¹⁴ De referir que foram traçados 6 eixos em todo o setor de contacto entre a cidade e o curso de água.

neste início de noite, denota-se que as temperaturas da superfície da água se encontram mais amenas comparativamente às margens, e ainda que se verificam diferenças na temperatura a montante, sendo mais frescas, devido muito provavelmente à ventilação existente na margem, e a jusante mais elevadas muito provavelmente devido à estrutura de betão de vários metros que se observa neste setor em ambas as margens.

No percurso da noite deste dia a diferença térmica também foi relativamente baixa (2,3°C.), sendo que a temperatura máxima registada foi de 18,1°C (Rua da Couraça) e a temperatura mínima foi de 15,8°C (Parque Verde – margem esquerda – mata do exploratório), valores estes que parecem mostrar que uma análise feita às diferenças entre setores será sempre muito relativa, ainda que nos proporcione um enquadramento térmico idêntico ao que foi apresentado até agora.



Figura 21: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da noite no dia 11 de maio de 2022.

Dia 8 de julho de 2022

No período de verão a escolha de campanha de recolha de dados de temperatura recaiu num mês e ano que se assume como um dos mais quentes desde que há registo em Portugal e em Coimbra - 8 de julho -, um dos dias em que Coimbra esteve sob a influência de uma onda de calor. Portugal Continental neste dia estava sob influência de um anticiclone posicionado a NW do continente, proporcionando um dia de estabilidade atmosférica, e, portanto, um dia bastante soalheiro e limpo, no entanto, e em comparação com alguns dos outros dias da onda de calor, observando uma brisa ligeira (Figura 22). Como se verifica na carta sinóptica, ao redor de Portugal Continental não se observa qualquer frente que possibilite a mudança, muito por força do efeito de bloqueio provocado pelo anticiclone a NW de Portugal, e que oferecia a toda a Península (a grande parte do continente europeu) massa de ar muito quente e seco.

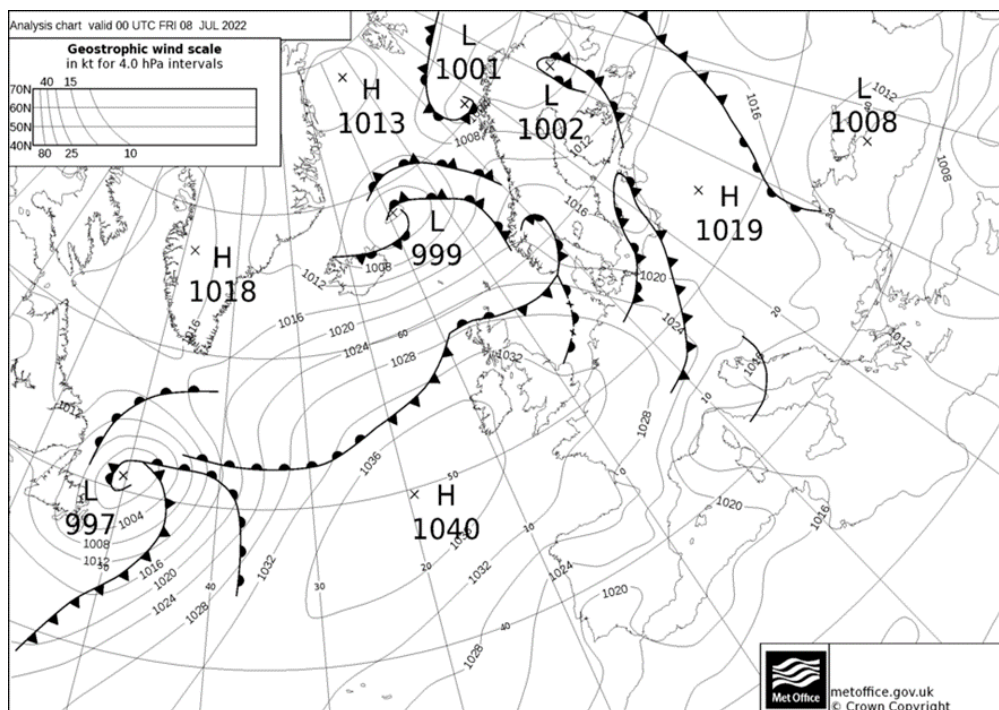


Figura 22: Carta sinóptica de superfície (nmm), às 00h UTC, relativa à Europa (modelo UKMO) do dia 8 de julho de 2022. **Fonte:** Wetterzentrale

→ Manhã (início às 9:30):

Na campanha da manhã do dia 8 de julho verificam-se diversos contrastes ao longo de toda a área, isto é, se observarmos a zona do Parque Verde – margem esquerda – verificamos temperaturas amenas, denotando-se bastante a influência do ar fresco que advém do rio Mondego. Porém, na margem direita e no Parque Manuel Braga as temperaturas registadas são já relativamente elevadas¹⁵, sobretudo em locais artificializados e com pouca vegetação arbórea, isto é, junto ao parque de estacionamento e ao museu da água (Figura 23). No Jardim Botânico também se encontram diferenças no registo de temperaturas (embora no sentido observado nas restantes campanhas), vemos uma grande célula de ar fresco em toda a mata e no pomar, contrastando com temperaturas mais elevadas nos terraços e sobretudo na Alameda das Tílias. Na Alta constata-se temperaturas distintas resultantes do efeito de sombra que o edificado (em especial o da universidade) provoca, apresentando-se assim as mais elevadas, junto ao Museu Machado de Castro e em todo o setor mais exposto a leste e sudeste, locais onde o sol incide logo pela manhã, e as mais frescas, na parte N e NE da Alta, estando isto associado à sombra proveniente dos edifícios e da própria morfologia. Por fim, na cumeada da Conchada e Montes Claros, mais especificamente nas ruas Nicolau Chanterene e António José de Almeida e no Largo da Conchada, verifica-se, e ao contrário do que seria expectável por força dos observado nas anteriores campanhas, a presença de ar fresco, julgando-se que este ar fresco se encontra às referidas brisas e à importância do posicionamento relativamente à ventilação das cumeadas.

Portanto, a manhã do dia 8 de julho, devido às suas particulares condições atmosféricas, originaram registos bastante distintos do que foi observado nos outros dias analisados, registando uma diferença térmica ao longo dos percursos realizados de 7,7°C, uma vez que a temperatura máxima registada foi de 32,9°C (Rua Saragoça) e a mínima foi de 25,2°C (mata do Jardim Botânico) embora na linha observada nas diferentes campanhas de este ser o momento em que as diferenças térmicas se apresentam mais significativas.

¹⁵ É de referir que os valores observados neste percurso - margens do rio Mondego – foi efetuado neste dia em sentido inverso, de modo a observar-se quais as diferenças verificadas que resultavam do momento/hora em que os registos são efetuados. Na realidade, o que se constata é que a hora que nas anteriores campanhas foram efetuadas no Parque da Canção levaram a que uma maior exposição solar desde o nascer do sol, introduzem claras interferências no resultado dos cartogramas.



Figura 23: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da manhã no dia 8 de julho de 2022.

→ **Tarde (início às 15 horas):**

Ao verificar os resultados da tarde de 8 de julho, é perceptível a clara das alterações relativamente ao cartograma da manhã (Figura 24). Verifica-se a existência de temperaturas bastante elevadas em toda a cidade, sobretudo na vertente voltada a sul do setor de Montarroio¹⁶, bem como, e ao contrário do que seria expetável, no setor mais a norte do Parque Verde da margem direita (parte traseira do espaço da restauração e posto de abastecimento), o que se justifica com os materiais de cobertura do solo e com a ausência de arbóreo. As únicas exceções encontradas passam pela presença de pequenas células de ar fresco na Avenida Sá da Bandeira (derivada não só, da sombra proporcionada pela vegetação arbórea e pela colina da Universidade, como também do pequeno lago artificial presente no eixo central da avenida) e no Jardim Botânico (a zona dos terraços, Alameda das Tílias e no Quadrado Central do Fontanário) devido à sombra

¹⁶ As temperaturas mais elevadas da tarde, foram registadas em zonas onde se tem observado a mesma situação nos outros dias do ano - na rua da Saragoça, rua Montarroio e Travessa de Montarroio -, devido às altas temperaturas que se fizeram sentir no dia do levantamento, pela orientação das ruas não permitir o efeito de sombra dos edificios nesta parte da tarde, e portanto, pelo conseqüente, número de horas de radiação solar direta, e também, pela intensa aglomeração urbana destes locais.

promovida pela copa das árvores e pelo espaço azul presente no Quadrado Central, o que significa, que tanto os espaços verdes, como os espaços azuis apresentam-se como atenuadores das temperaturas. Aliás, o espaço azul no setor do rio Mondego regista também temperaturas inferiores, algo que a experiência do dia a dia reflete.

Em suma, na tarde de verão do respetivo levantamento as temperaturas registadas foram bastante significativas, mais especificamente, com uma máxima de 38,5°C e uma mínima de 36,4°C, o que significa que a diferença térmica foi apenas de 2,1°C. Estes valores requerem uma reflexão futura sobre a descrição anteriormente referida pois parece evidente que seria exatável a existência de amplitudes maiores com diferenças maiores entre os setores cinzentos e as áreas verdes.

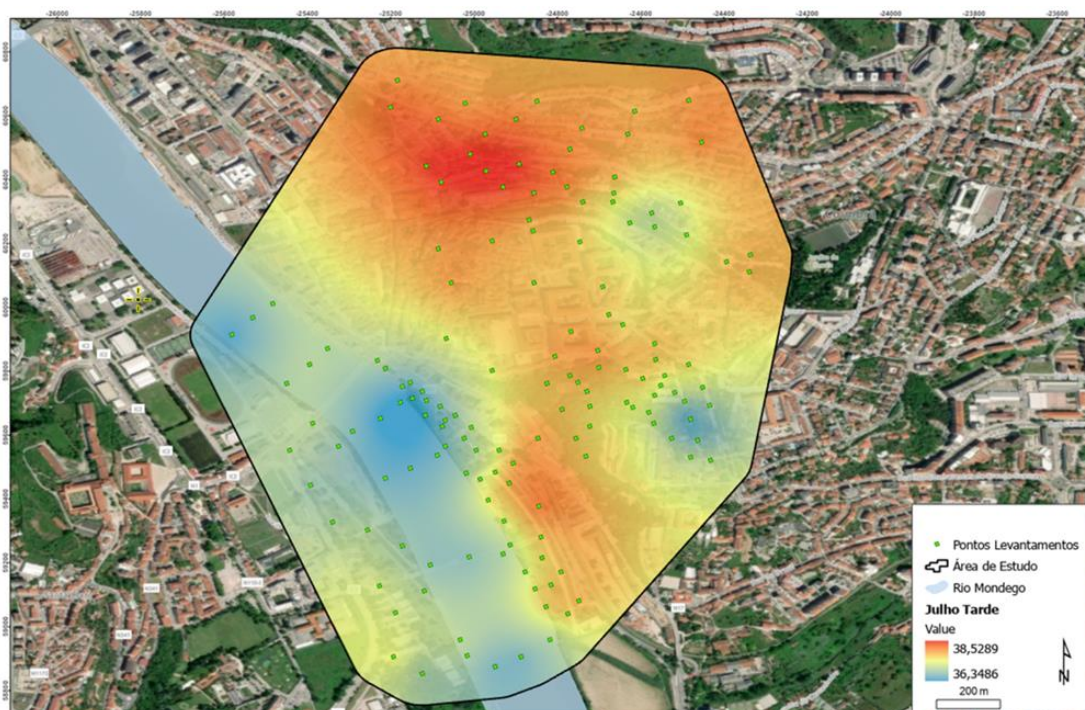


Figura 24: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da tarde no dia 8 de julho de 2022.

→ **Noite (início às 21 horas):**

Relativamente aos percursos noturnos do dia de verão aqui observa-se claramente a presença da “Ilha de Calor Urbano” que se desenvolve tanto na Alta Universitária, entre a Couraça de Lisboa e as Escadas Monumentais, como em todo o setor onde se desenvolve a cumeada da Conchada e de Montes Claros, por força da irradiação por parte do edificado, sendo que o calor acumulado pelo solo e pelos edifícios é libertado no início da noite, fazendo com que haja a acumulação de temperaturas elevadas nestes setores

(Ganho, 1998) (Figura 25). Todos os outros setores apresentam temperaturas elevadas, excepcionando, o Jardim Botânico que se volta a apresentar como uma importante célula de ar fresco que estava presente durante a recolha da parte da tarde, mas que agora se encontra ligeiramente mais desvanecida (temperatura libertada pela elevada evapotranspiração que as tílias apresentam), isto nos terraços, na Alameda Das Tílias e no Quadrado Central. De referir ainda, a importância que o arbóreo e os espaços azuis assumem como atenuadores da temperatura na Avenida Sá da Bandeira (e Praça da República) e no Parque Verde, onde estão presentes temperaturas mais amenas.

Neste início de noite denotou-se a importância dos espaços verdes e azuis no arrefecimento urbano, observando-se uma diferença térmica relativamente significativa, isto é, 7,2°C, com uma máxima registada de 29,9°C (Couraça de Lisboa) e uma mínima de 22,7°C (Parque Verde do Mondego – margem esquerda) situação, que como se pode constatar, não se observou nos outros dias de recolha.

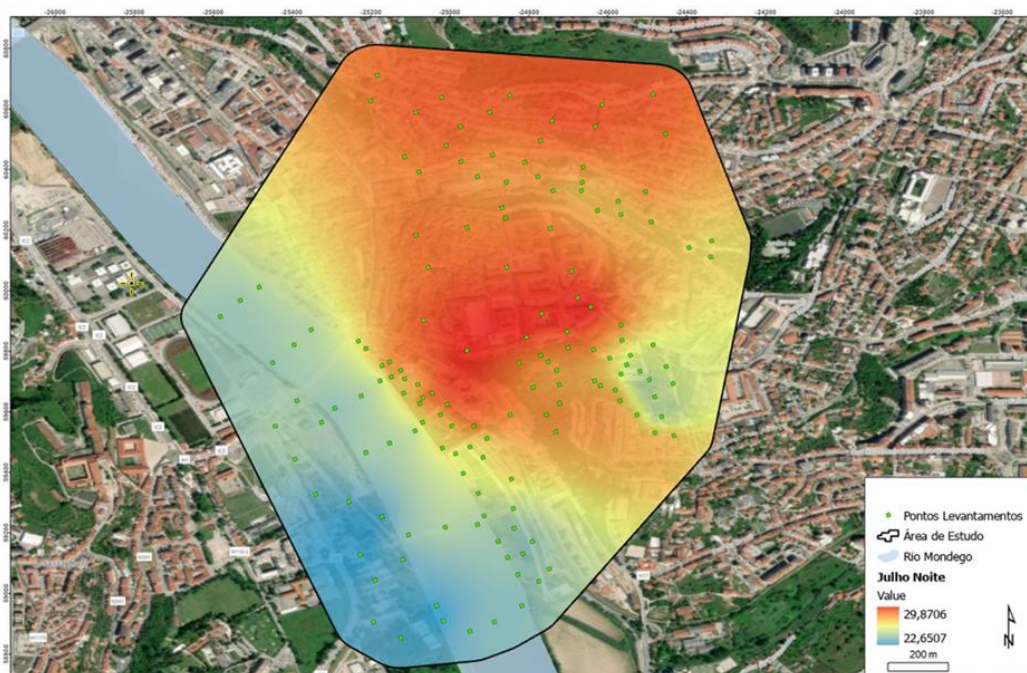


Figura 25: Campo térmico da cidade de Coimbra no período da noite no dia 8 de julho de 2022.

Análise Térmica dos diferentes mosaicos do Jardim Botânico

Como foi apresentado anteriormente, os objetivos desta Tese passava fundamentalmente por tentar avaliar a relação dos espaços verdes com o arrefecimento dos centros urbanos, pelo que desenvolvendo em particular o nosso trabalho num setor bem específico - o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra -, funcionando este como um “laboratório” de terreno. Espaço verde de grande importância local no contexto da cidade “velha” apresenta uma área total de 13,5 hectares, e localiza-se no vale que circunda a sul a colina e na sua encosta. É considerado um dos mais emblemáticos parques de uso público de Coimbra, detendo um substrato arbóreo e arbustivo denso, com uma grande diversidade de espécies autóctones e exóticas, e dois lagos de média dimensão, um no Quadrado Central do Fontanário (Figura 45 em anexo) e outro na alameda principal do jardim. Importa referir ainda, que este local se encontra rodeado de edifícios urbanos com alturas e cores variáveis que poderão refletir-se em certas oscilações da temperatura local em diferentes momentos das campanhas realizadas.

A metodologia utilizada foi a mesma da análise dos mapas térmicos gerais (estes resultaram da associação dos dados dos três percursos que foram realizados em simultâneo), ou seja, os dados foram recolhidos em três estações do ano diferentes, e em três momentos do dia, sendo que neste percurso em concreto foram definidos 59 pontos ponderados, muito em função das campanhas realizadas nos anos anteriores pelo grupo de trabalho que se tem dedicado a esta temática, e de modo a incluírem os diferentes espaços do jardim e de algumas áreas envolventes. Portanto, o percurso é dividido por zonas distintas, incluindo zonas de vegetação arbórea densa (aqui se destacando a Alameda das Tílias), vegetação esparsa, zonas de clareira, a estufa e o próprio corredor lateral (Figura 26).

Tal como na análise geral, optou-se inicialmente por efetuar a apresentação dos dados - feita por dia (estação do ano) e por diferentes momentos desses mesmos dias -, embora por vezes se possa observar alguma redundância nas explicações anteriormente efetuadas.



Figura 26: Jardim Botânico da Universidade de Coimbra **Fonte:** Ornelas, inédito

Dia 28 de fevereiro

→ **Manhã (início às 9:25 horas e terminos às 11:25):**

Através da análise dos dados e ao cartograma referente à manhã do dia 28 de fevereiro, verifica-se a presença de temperaturas menos significativas ($11,1^{\circ}\text{C}$) em pontos situados na envoltória do jardim, mais especificamente, junto ao edifício das matemáticas e das químicas (aliás, sempre observados durante a manhã – sombra provocada pelos edifícios, muito devido à hora em que foi efetuado o levantamento, uma vez que foram os primeiros pontos da manhã a serem recolhidos (Figura 27). O mesmo se verifica na mata, no pomar e no bambuzal, não só por força da vegetação arbórea densa, mas também da sombra provocada pela vertente localizada a leste. De destacar que uma das temperaturas mais baixas a ser registada ($11,94^{\circ}\text{C}$) foi obtida no ponto mais próximo do lençol de água do Mondego, podendo justificar-se esta amenização térmica com a proximidade ribeirinha. Contrariamente, as áreas dos terraços, da Alameda das Tílias, da

estufa e do corredor lateral apresentam temperaturas um pouco mais elevadas, devendo-se, provavelmente por serem locais com pouca vegetação arbórea, e para além disto, deve-se ter em conta que estamos perante uma estação do ano em que as árvores caducifólias se encontram sem folhagem, o que favorece a incidência da radiação solar e um consequente aquecimento. Constata-se que a exposição solar a esta hora se assume como um fator importante nas diferenças térmicas do cartograma, pois as temperaturas mais elevadas são as que proporcionam de sol durante toda a manhã, uma vez que o mesmo “nasce” a oriente. Destacam-se, e apenas a título de exemplo, os pontos, junto aos terraços e à estufa.

A manhã de 28 de fevereiro, o jardim Botânico observa uma significativa diferença térmica para uma manhã de inverno - $9,6^{\circ}\text{C}$ – uma vez que a temperatura máxima registada foi de $20,7^{\circ}\text{C}$ e temperatura mínima de $11,1^{\circ}\text{C}$, embora esta situação já tinha sido referida aquando na análise geral do espaço urbano de Coimbra.

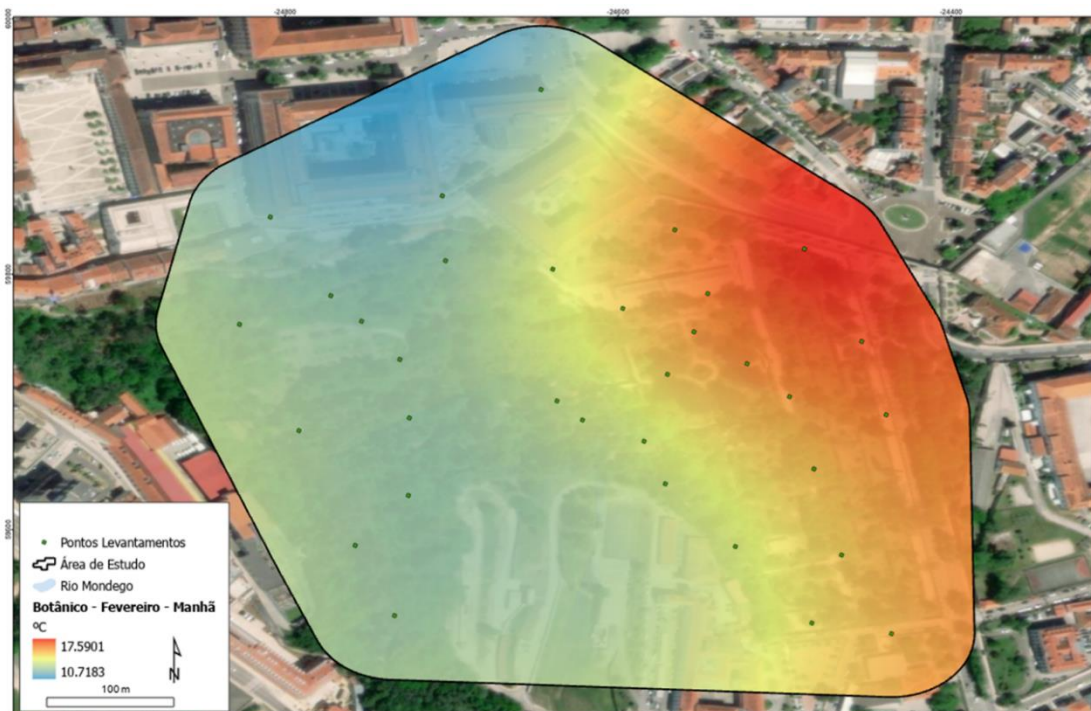


Figura 27: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da manhã no dia 28 de fevereiro de 2022

→ Tarde (início às 16:20 horas e terminos às 17:40):

Na tarde do dia 28 de fevereiro, a capacidade de retenção de calor por parte do edificado leva a que no exterior do Jardim Botânico, ou seja, junto dos setores mais urbanizados e densificados como os espaços da rua do Arco da Traição - nas traseiras dos edifícios dos departamentos de matemáticas e de químicas- , assim como junto ao Hospital Militar/ Jardim Escola “João de Deus”, as temperaturas registadas sejam mais elevadas, isto à exceção do conhecido ponto que se encontra no canto do prédio das matemáticas (naquele momento do dia encontra-se protegido pela sombra do edifício) (Figura 28). De destacar ainda os pontos de ar quente observados no pomar do Jardim Botânico, devido a ser uma zona desprovida de vegetação densa. À semelhança do verificado no cartograma da manhã, o ponto que se encontra mais próximo do rio Mondego apresenta uma temperatura térmica mais amena. Contrariamente, no interior da mata, na Alameda das Tílias, no Quadrado Central e no corredor lateral, as temperaturas demonstram ser mais frescas, muito força da sua vegetação (embora as sombras da morfologia sejam também decisivos) assim como dos espaços azuis presentes que proporcionam a amenização das temperaturas¹⁷.

A diferença térmica entre os diferentes setores onde se desenvolveram os levantamentos da tarde do dia 28 de fevereiro foi de 3°C, sendo a temperatura máxima registada de 20,7°C e a temperatura mínima de 17,7°C.

¹⁷ De referir que os pontos do corredor lateral foram os últimos a ser recolhidos e, portanto, os menos afetados com a incidência solar, uma vez na hora da recolha (perto das 17h) o sol se encontrava direcionado a NO.

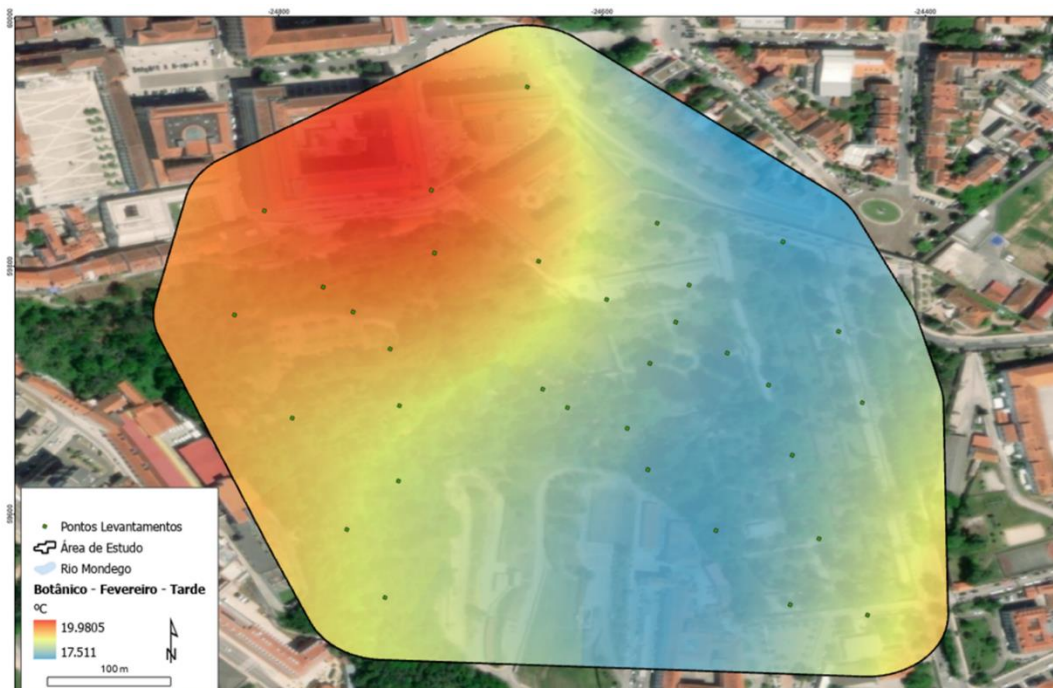


Figura 28: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da tarde no dia 28 de fevereiro de 2022

Dia 11 de maio

→ Manhã (início às 9:15 horas e terminos às 10:45):

O cartograma da manhã de maio é bastante semelhante ao da manhã de fevereiro. Como já referido anteriormente, os primeiros resultados refletiram a presença de nevoeiro, sobretudo nos setores do edificado, da mata e do pomar do Jardim Botânico, apresentando temperaturas mais frescas (Figura 29). Claro que isto se deve não só ao facto de serem as primeiras temperaturas do dia a serem recolhidas, e isto, no caso específico dos pontos junto ao edificado, como também devido à presença de vegetação arbórea ao longo de toda a mata, e da fraca incidência solar naquela parte da manhã. De referir ainda que no setor da mata as temperaturas não sofreram grande oscilação, sendo que se mantiveram entre os 13,8°C e os 14,2°C, sendo esta ligeira variação provocada pela existência de diferentes espécies arbóreas, que através da copa das árvores bloqueia a radiação solar e consequentemente a temperatura. As exceções verificam-se nos setores da estufa e no corredor lateral, locais onde foram registadas temperaturas ligeiramente mais elevadas (16,6°C e 16,8°C, respetivamente), muito por força de uma parte significativa de solo se desenvolver em terra batida, e também, pelos materiais existentes terem uma maior capacidade de absorção (junto à estufa). No setor do corredor, o facto

de estar posicionado junta a uma área densamente urbanizada, leva à libertação da radiação acumulada pelas vias e edifícios durante todo o dia. Como já mencionado, neste momento das medições já se observava grande parte da folhagem instalada, e isso também justifica as temperaturas registadas Alameda das Tílias, nos terraços e no Quadrado Central do Fontanário, isto muito devido ao papel da evapotranspiração.

Contatou-se uma diferença térmica da manhã de $3,7^{\circ}\text{C}$, tendo como temperatura máxima $16,8^{\circ}\text{C}$ e temperaturas mínima $13,1^{\circ}\text{C}$, valor que não pode deixar de ser referido que desde o início até ao final dos levantamentos a própria duração de chegada de radiação e logo de temperatura pode levar a alguma alteração.

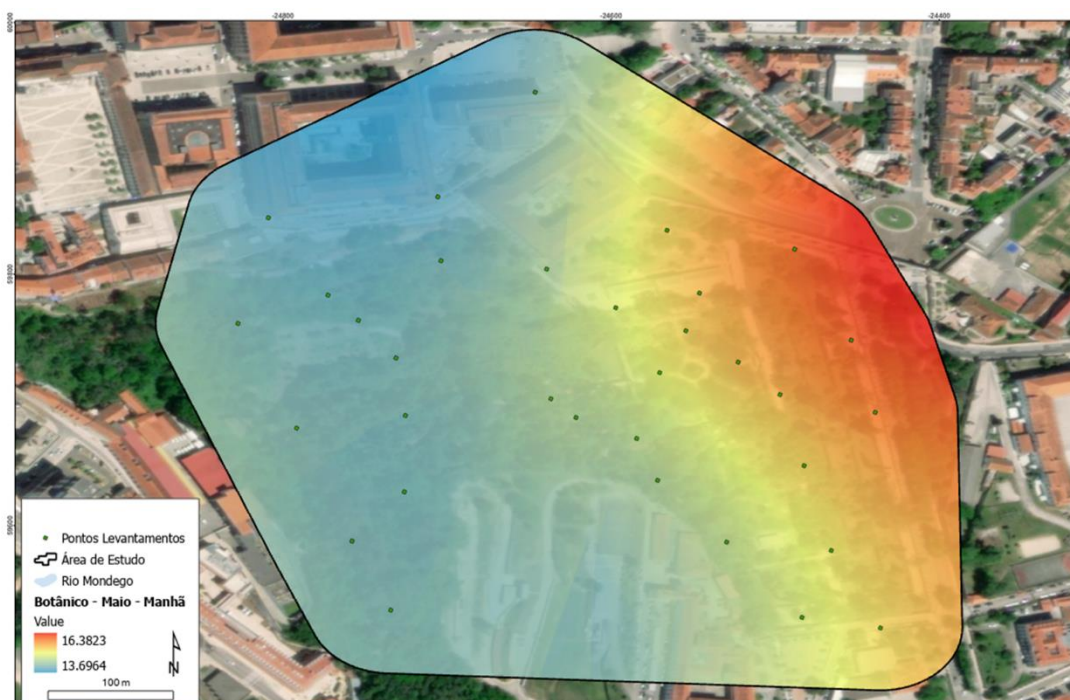


Figura 29: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da manhã no dia 11 de maio de 2022.

→ **Tarde (início às 15:15 horas e terminos às 16:50):**

Ao observarmos os dados e o próprio cartograma do percurso da tarde deste dia primaveril verificam-se algumas oscilações, mas nada de muito significativo, aliás, a diferença térmica é de apenas $4,6^{\circ}\text{C}$, uma vez que se registou uma temperatura máxima de $28,8^{\circ}\text{C}$ e uma mínima de $24,2^{\circ}\text{C}$ (Figura 30).

Verifica-se, portanto, que o desenvolvimento da folhagem do arbóreo caducifólio proporciona já uma proteção à radiação solar direta, levando a que setores como a mata e a Alameda das Tílias apresentem a 1,5 metros de altura temperaturas

mais baixas que nos outros setores do jardim¹⁸. É de referir ainda a temperatura verificada no setor junto ao edifício das matemáticas, apresentando-se como a mais baixa do levantamento (24,2°C), e isto devendo-se, tal como amplamente referido, ao facto de se localizar numa zona de sombra desde o início do dia até à hora da recolha dos dados. Em contraponto, nas traseiras dos edifícios das matemáticas e das químicas, assim como no pomar e na estufa registam-se temperaturas mais elevadas que as envolventes, resultado não só dos materiais existentes com uma grande capacidade de absorção de calor, mas também, e no caso específico do pomar, por se localizar numa zona de clareira com pouco coberto vegetal, onde a incidência solar é mais direta e intensa.

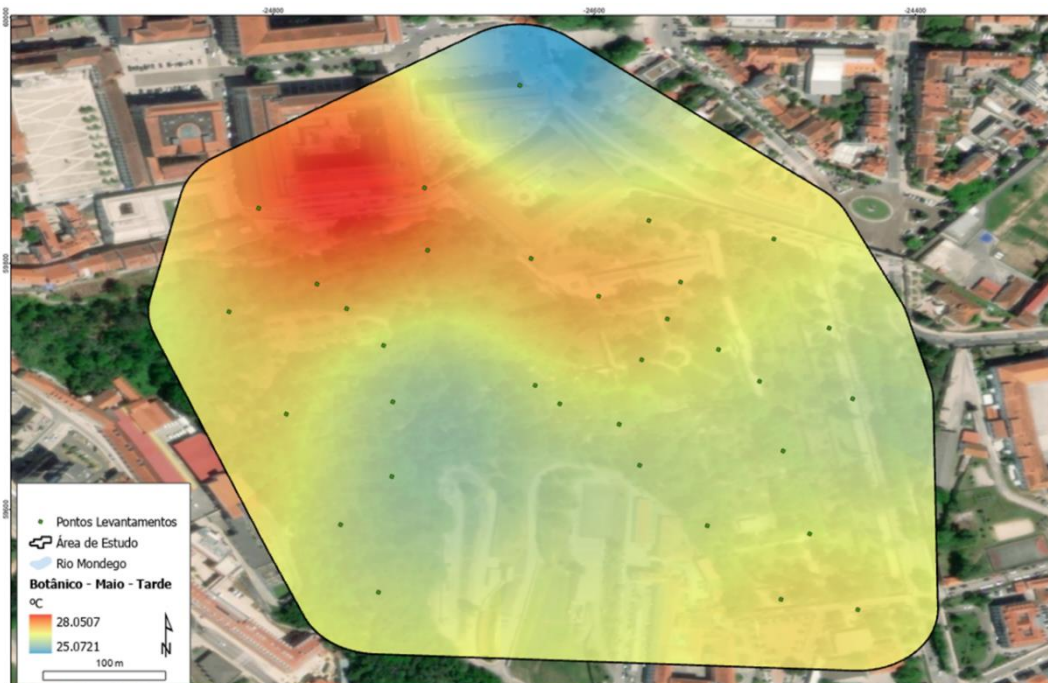


Figura 30: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da tarde no dia 11 de maio de 2022.

¹⁸ É possível verificar que é nestes setores que se registam das temperaturas mais baixas do levantamento, isto é, no interior da mata e no centro da Alameda das Tílias (25,5°C e 25,9°C, respetivamente), isto por se localizarem em zonas de vegetação arbórea densa e com uma copa de altura elevada.

→ **Noite (início às 21 horas e terminos às 22:30):**

A diferença térmica do percurso da noite deste dia 11 de maio foi relativamente baixa – 2,1°C -, uma vez que a temperatura máxima registada foi de 18,2°C e a temperatura mínima foi de 16,1°C (Figura 31).

Verifica-se a presença de uma célula de ar fresco que se desenvolve em praticamente todo o Jardim Botânico, destacando-se o setor da Alameda das Tílias, o Quadrado Central do Fontanário e todo o corredor lateral. Um setor que importa referir é junto ao bambuzal, pois verifica-se que se encontra ligeiramente mais fresco comparando com os setores envolventes. Nesta noite observa-se de uma forma evidente, e mesmo que sem uma diferença de temperatura muito significativa, a existência de uma Ilha de Calor Urbano, localizada no setor do Polo 1 da cidade universitária – verifica-se no cartograma que as temperaturas mais altas se encontram no seu setor noroeste refletindo o edificado universitário, a estufa e o pomar. O setor da mata apresenta uma ambiência térmica mais amena, no entanto com temperaturas relativamente elevadas, estando isto provavelmente associado à evapotranspiração e ao facto da vegetação arbórea reter o calor ao longo do dia e libertando-o progressivamente no decorrer da noite.

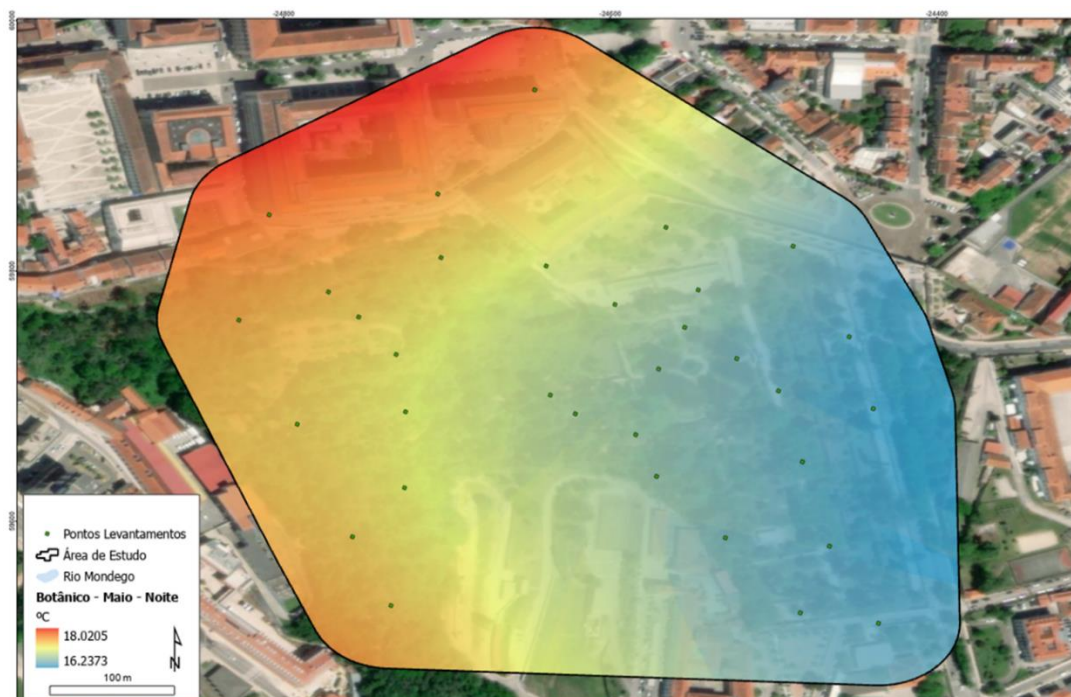


Figura 31: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da noite no dia 11 de maio de 2022.

Dia 8 de julho

→ Manhã (início às 9:30 horas e terminos às 10:50):

O cartograma da manhã de julho, dia com condições atmosféricas bastante particulares, apresenta-se com uma diferença térmica de 6,2°C, uma vez que a temperatura máxima registada foi de 31,5°C e a mínima foi de 25,3°C (Figura 32).

Este levantamento, e no caso da manhã, apresenta várias discrepâncias ao longo de toda a área. Com o setor do pomar e mata (em particular, o ponto mais perto do rio Mondego) temos a presença de ar fresco, contrastando com as temperaturas bastante elevadas que se verificam nos terraços, na Alameda das Tílias, junto à estufa e no corredor lateral¹⁹. Neste caso, verifica-se uma mancha de ar quente na parte central do cartograma (29,6°C), e importa referir que este ponto se localiza numa zona completamente desprovida de vegetação, permitindo que a radiação solar se penetre diretamente no solo, e proporcione um rápido e precoce aquecimento daquela área.

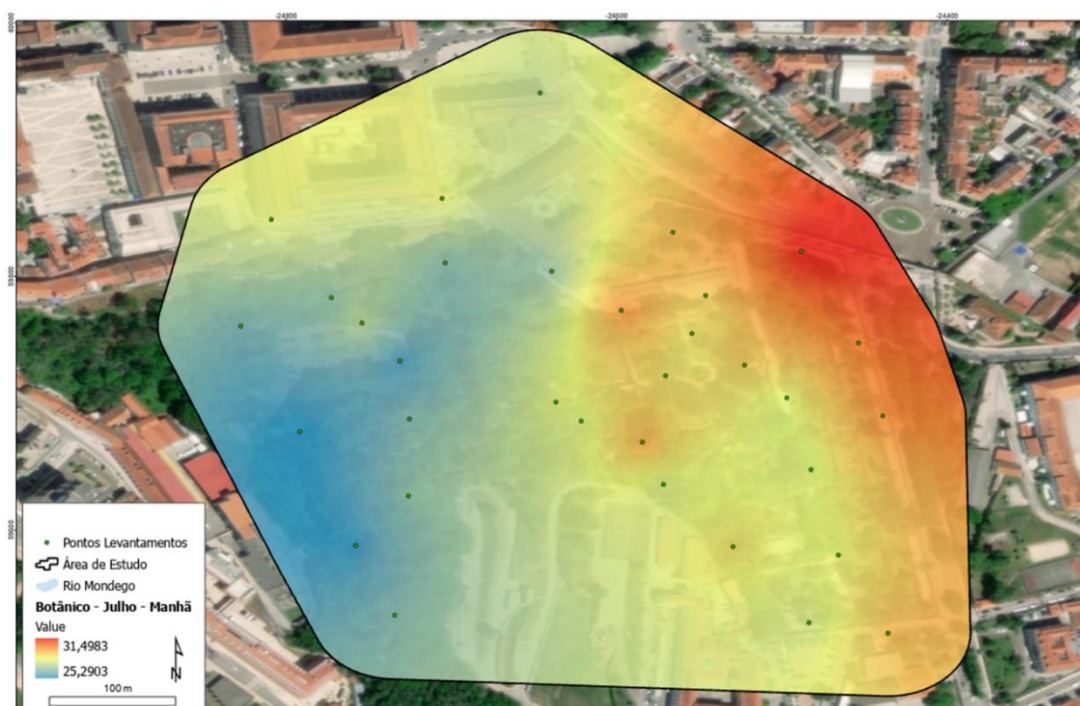


Figura 32: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da manhã no dia 8 de julho de 2022.

¹⁹ Mais uma vez, estas áreas encontram-se com temperaturas mais elevadas devido não só à radiação solar, a serem zonas com pouca vegetação, e também por se encontrem junto a setores densamente urbanizados.

→ **Tarde (início às 15:15 horas e terminos às 16:50):**

Relativamente ao cartograma da tarde de julho, precisa de voltar a referir-se que estávamos sob efeito de um fenómeno extremo de calor, como já referido anteriormente. Se as temperaturas desta tarde se apresentaram como muito significativas, com a máxima a apresentar um valor de 39,5°C e a mínima a 35,9°C, já a diferença térmica da tarde foi de apenas de 3,6°C, sendo que seria expetável (ou não) a existências de diferenças térmicas maiores e com diferenças significativas entre os setores cinzentos e as áreas verdes (Figura 33).

É perceptível a existência de temperaturas muito elevadas em toda a área em estudo, em especial no setor junto às traseiras dos edifícios das matemáticas e químicas, assim como nos terraços localizados na entrada do Jardim Botânico junto ao Seminário Maior, na estufa e ainda no corredor lateral, setor mais próximo dos Arcos do Jardim e do muro que delimita o Jardim Botânico da Alameda Júlio Henriques, setores onde a ausência de arbóreo e os materiais de cobertura do solo levam a esta situação de temperaturas muito elevadas. As exceções a estes valores mais elevados passam pelo habitual ponto de ar fresco junto ao edifício das matemáticas (devido ao efeito de sombra a que está sujeito), pela célula de ar fresco na mata do Jardim Botânico (derivado da sua imensa vegetação), e por fim, as temperaturas mais baixas registadas no Quadrado Central do Fontanário, justificando isto pela influência dos espaços verdes e azuis como atenuadores das temperaturas elevadas.

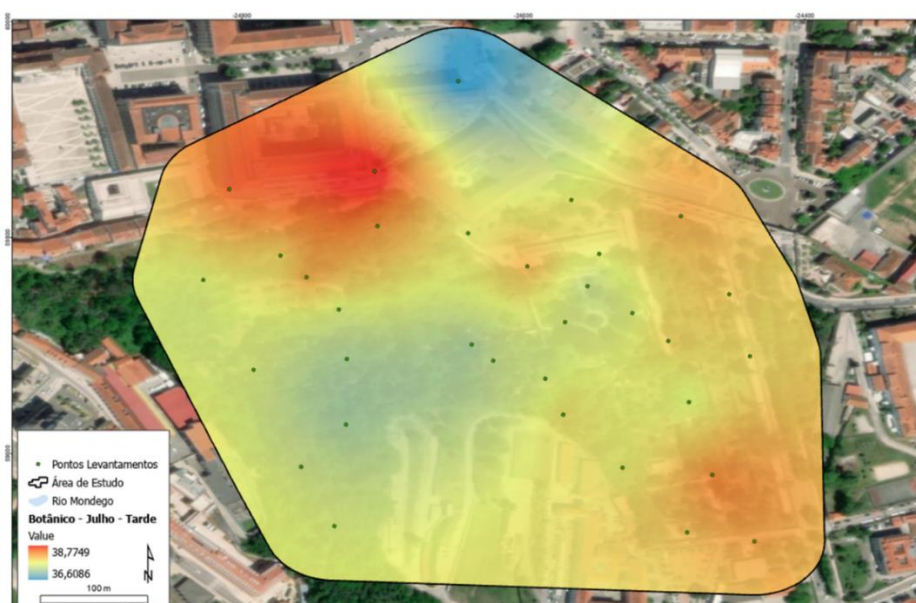


Figura 33: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da tarde no dia 8 de julho de 2022.

→ Noite (início às 21 horas e terminos às 22:50):

No enquadramento da noite do dia 8 de julho de 2022 torna-se possível observar, tal como no cartograma da noite de maio, que a presença da Ilha de Calor Urbano influencia as suas áreas envolventes do espaço verde (Figura 34). O Jardim Botânico embora sendo um espaço verde de grande dimensão e se assumir como amenizador das temperaturas elevadas – célula de ar fresco -, também parece ser afetado pela própria ICU, sobretudo nos pontos mais próximos da Alta. O setor da mata apresenta-se com temperaturas ligeiramente mais baixas, mas nada muito significativo²⁰. Já os setores da Alameda das Tílias, Quadrado Central do Fontanário e todo o corredor lateral apresentam-se com temperaturas mais baixas.

Nesta noite observa-se que a diferença térmica já é mais significativa - 5,3°C (máxima registada de 30,4°C e mínima de 25,7°C) -, mostrando o claro contraste numa noite como esta, da importância dos espaços verdes e azuis no arrefecimento urbano (aliás, como se observou também no caso da Avenida Sá da Bandeira).

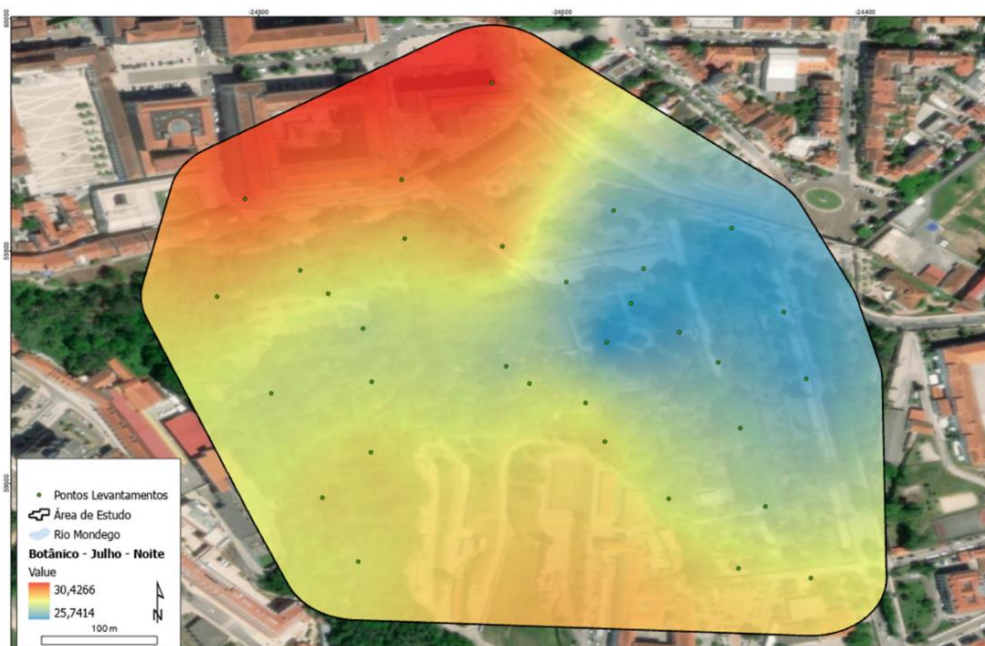


Figura 34: Campo térmico do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra no período da noite no dia 8 de julho de 2022.

²⁰ A vegetação retém o calor ao longo do dia e liberta-o progressivamente ao longo da noite.

Análise Térmica da Alameda das Tílias

Como foi referido anteriormente, quando da definição dos objetivos deste trabalho, se num primeiro momento pretendia-se a análise de pormenor da distribuição das temperaturas nos diferentes espaços do Jardim Botânico, assim como das relações existentes entre os espaços verdes e os cinzentos (Alta universitária), a aposta para o segundo momento, passa então pela obtenção de dados climáticos de maior pormenor, tendo sido escolhido para tal o setor da Alameda das Tílias²¹ para a análise microclimática em duas vertentes – horizontal²² e vertical.

Iniciando com a análise horizontal e para a observação da influência de diferentes espécies vegetativas, caducifólia e perene, realizou-se na tarde do dia 28 de fevereiro um levantamento experimental, tendo em conta que por questões burocráticas foi o único momento diário que nos foi cedido este espaço.

Ao observar a figura 35, relativa ao único levantamento de inverno efetuado na Alameda das Tílias (teve início por volta das 15h20 e terminou por volta das 16h15), denota-se que as temperaturas mais elevadas se encontram na parte superior do jardim (lado este) e ainda no setor dos terraços. No setor central observam-se temperaturas ligeiramente mais baixas, no entanto o registo de temperatura mais baixa localiza-se junto ao espaço azul no interior do Quadrado Central do Fontanário (18,9°C). Estas discrepâncias de temperatura, e tendo em conta que as caducifólias não detinham de folhagem, podem ser explicadas pela morfologia do espaço em análise, isto é, os pontos mais quentes recebem radiação direta, enquanto os que não recebem radiação apresentam temperaturas mais baixas.

A diferença térmica da manhã do dia 28 de fevereiro na Alameda das Tílias foi de 3,2°C, sendo a temperatura máxima registada de 22,1°C e a temperatura mínima de 18,9°C.

²¹ Este setor, como foi anteriormente referido, é considerado um dos lugares mais emblemáticos do Jardim, detendo de um cenário bastante agradável que muda sazonalmente devido a ser repleto de vegetação caducifólia.

²² A metodologia utilizada foi a mesma referida anteriormente, no entanto, por questões burocráticas não foi possível fazer o levantamento na manhã e na noite do dia 28 de fevereiro.

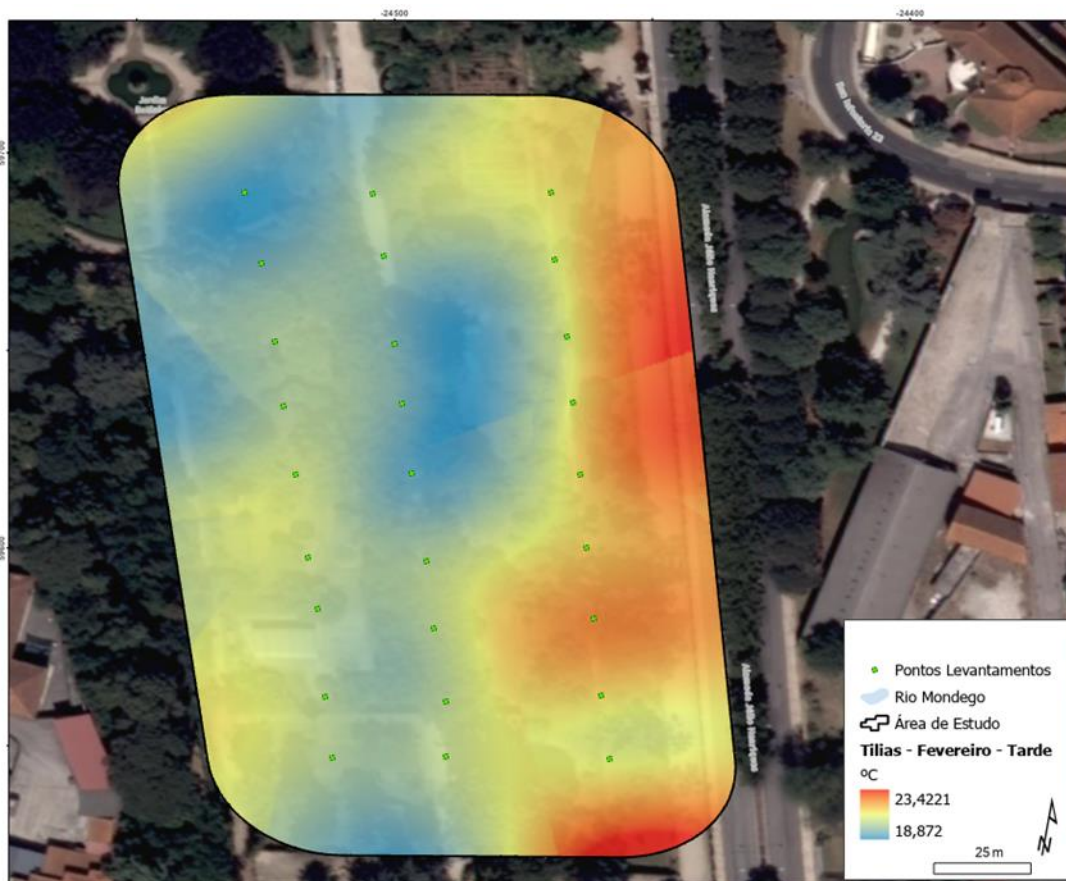


Figura 35: Campo térmico da Alameda das Tílias no período da tarde no dia 28 de fevereiro de 2022.

Em função do levantamento realizado no período de inverno, suscitou o interesse em analisar esta área em diferentes momentos diários, e também em diferentes estações do ano. Portanto, à semelhança do que foi feito anteriormente, na Alameda das Tílias, foi efetuada uma campanha em 11 de maio e 8 de julho, nas manhãs, tardes e noites.

Começando pelas manhãs, importa referir que as campanhas tanto de maio como de julho tiveram início por volta das 11h e terminaram por volta das 12h. Ao analisá-las, através da figura 36, verifica-se uma massa de ar mais quente no setor oeste, onde a vegetação é menos densa e, portanto, possuiu de uma maior exposição solar. De referir que nesta altura a folhagem já era notória. Contrariamente, verificam-se células de ar mais fresco no setor este do jardim, sendo que os dois pontos que registam temperaturas mais baixas situam-se junto a duas árvores de grande porte, que naturalmente proporcionam o efeito de sombra.

As diferenças térmicas das manhãs de maio e julho são idênticas, $3,9^{\circ}\text{C}$ (com uma temperatura máxima de $20,1^{\circ}\text{C}$ e uma mínima de $16,2^{\circ}\text{C}$) e $3,1^{\circ}\text{C}$ (com uma temperatura máxima de $32,9^{\circ}\text{C}$ e uma mínima de $29,8^{\circ}\text{C}$), respetivamente.

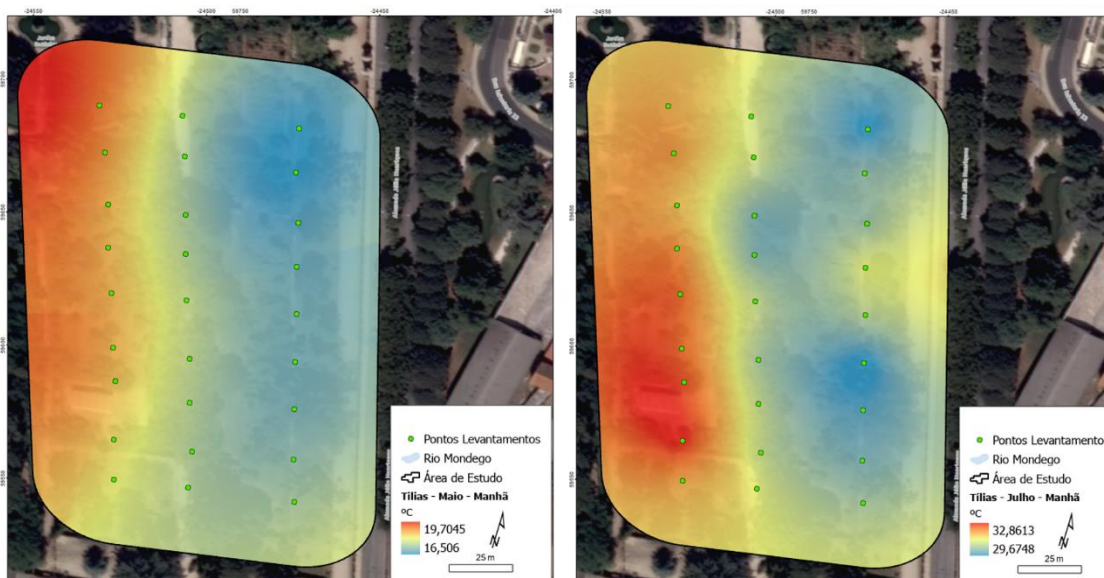


Figura 36: Campo térmico da Alameda das Tílias no período nas manhãs dos dias 11 de maio e 8 de julho de 2022.

No que diz respeito aos levantamentos da tarde tanto do mês primaveril como do mês de verão é de destacar que tiveram início por volta das 17h e terminaram por volta das 17h50. Tal como já foi referido, a proximidade a locais que por norma apresentam temperaturas mais elevadas influenciam as áreas envolventes, e isto denota-se em ambos os meses, em maio mais evidenciado no setor este e em julho junto aos terraços (Figura 37). No setor central denotam-se temperaturas amenas e no setor oeste as temperaturas apresentam-se mais frescas, assumindo-se a exposição solar, a esta hora como o principal fator nas diferenças térmicas observadas, sendo que a esta hora os raios solares não incidiam tão fortemente.

A observação do cartograma relativo aos percursos da tarde dos meses de maio e julho apresentam diferenças térmicas de $3,7^{\circ}\text{C}$ (máxima de $27,4^{\circ}\text{C}$ e a mínima de $23,7^{\circ}\text{C}$) e $2,0^{\circ}\text{C}$ (temperatura máxima de $37,5^{\circ}\text{C}$ e uma temperatura mínima de $35,5^{\circ}\text{C}$), respetivamente.

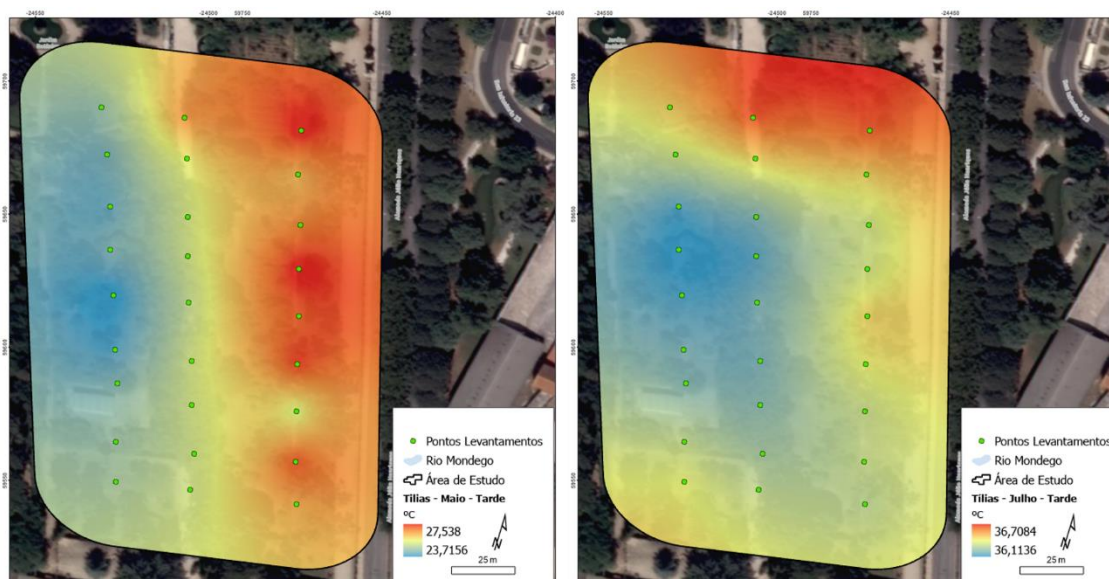


Figura 37: Campo térmico da Alameda das Tílias no período nas tardes dos dias 11 de maio e 8 de julho de 2022.

Relativamente aos cartogramas referentes às noites de maio e de julho (Figura 38), é necessário ter em conta que os levantamentos tiveram início por volta das 22h30 e terminaram por volta das 23h15.

Analisando os mesmos verificam-se temperaturas amenas em toda a área em estudo, destacando-se o setor central e este do jardim com temperaturas ligeiramente mais elevadas, fruto não só da irradiação do calor acumulado durante o todo o dia, mas também muito provavelmente devido à evapotranspiração advinda das tílias. Verifica-se que as temperaturas mais baixas, em ambos os meses, encontram-se junto dos espaços azuis localizados no setor oeste da área em estudo.

A diferença térmica do mês de maio é muito pouco significativa, $-0,6^{\circ}\text{C}$, uma vez que a temperatura máxima registada foi de 16°C e a temperatura mínima foi de $15,4^{\circ}\text{C}$, já em julho foi de $1,3^{\circ}\text{C}$ (máxima registada de $25,4^{\circ}\text{C}$ e mínima de $24,1^{\circ}\text{C}$).

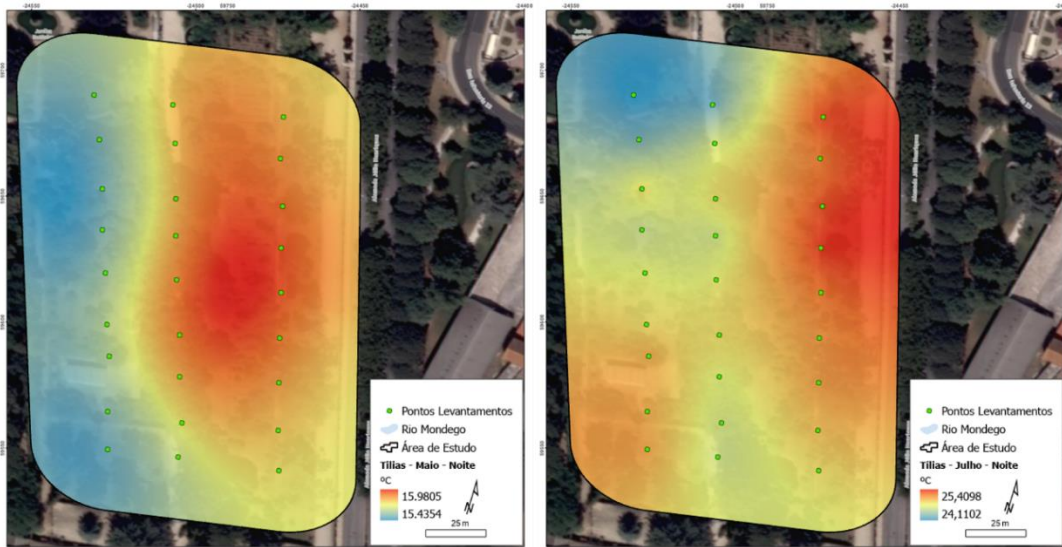


Figura 38: Campo térmico da Alameda das Tílias no período nas noites dos dias 11 de maio e 8 de julho de 2022.

Análise em Altura

Como já referido anteriormente, este trabalho vem na sequência de outras campanhas realizadas em 2019, 2020 e 2021, utilizando a mesma metodologia, no entanto, neste estudo, fez-se uma análise de maior proximidade. Nesta análise é pretendido entender qual a importância do arbóreo na microclimatologia, e para isso realizou-se uma análise vertical, mesmo tendo em conta que as diferenças não seriam muito significativas.

Com vista em perceber quais as variações térmicas na vertical, obtiveram-se resultados térmicos à superfície (nos dias e horas de recolha pedonal) bem como em diferentes alturas, análise que foi feita para a Alameda das Tílias, - utilizando os dados dos percursos pedestres (1,5m) e os dados dos DT fixos (3m e 6m) e para a Estufa Fria - dados dos percursos pedestres (1,5m) e os dados de um DT fixo (3m)²³.

A partir da análise das informações retiradas verifica-se que no mês de maio (portanto no levantamento primaveril), a temperatura mais elevada na parte da manhã é registada a 6m (17,1°C) (Figura 39), devido provavelmente à intensa radiação solar recebida aquela hora do dia, bem como a libertação de calor associada à evapotranspiração no seio da copa do arbóreo, verificando-se que a 1,5m a temperatura registada é ligeiramente superior à registada a 3m, isto pode estar associado aos materiais do solo que absorvem a radiação solar e apresentam um forte albedo e da brisa ligeira (ventilação) que se observava. Na parte da tarde verifica-se que a temperatura mais baixa foi registada a 1,5m fruto da proteção da folhagem (25,4°C, e, portanto, da ausência de exposição solar direta. As mais elevadas apresentam-se a 3m e a 6m (26,8°C e 26,4°C, respetivamente). De referir que estas diferenças de temperatura não parecem significativas, mas que no local apresentam um grande conforto bioclimático. Por fim, ao analisar as temperaturas registadas à noite, verifica-se a temperatura é crescente à medida que a altitude vai aumentando, podendo isto estar associado ao à irradiação do calor acumulado durante o todo o dia, mas essencialmente ao referido anteriormente à libertação de calor por ação da evapotranspiração das Tílias.

²³ Por questões técnicas nos data loggers, não foi possível a realização do tratamento dos dados de humidade nestes pontos fixos de análise. Julga-se que em trabalho futuro tal venha ser importante, aliás como vai ser referido em ponto posterior deste trabalho.

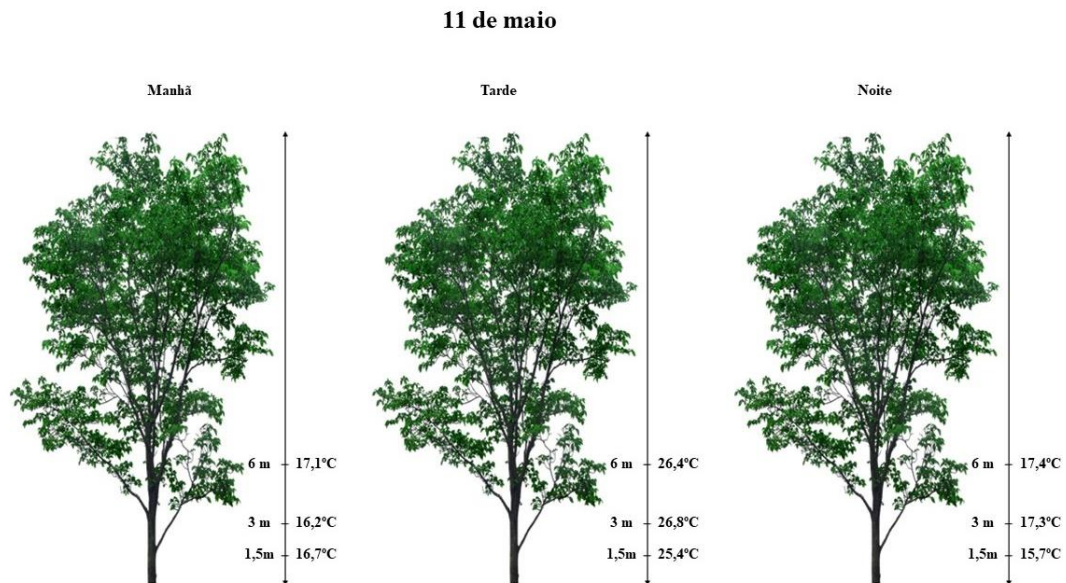


Figura 39: Análise em altura na Alameda das Tílias no dia 11 de maio de 2022.

Nos levantamentos em altura registados no dia 8 de julho (mês de verão e em plena onda de calor), observa-se que no período da manhã, as temperaturas vão crescendo à medida que a altitude vai subindo, isto é, a 6 metros temos a temperatura máxima registada 31,2°C, a 3m de 30,4°C e a 1,5m de 30,3°C (Figura 40), importa referir que nesta estação do ano a vegetação arbórea já estava plena de folhagem, cumprindo com a sua função de sombreamento, e consequentemente de resfriamento. Durante a tarde e a noite verifica-se que as temperaturas mais frescas são registadas a 1,5m, e mais uma vez isso pode estar associado à proteção da radiação solar durante todo o dia e à ligeira brisa que se observava no JB. No entanto será de referir que as temperaturas a 3 metros tanto no período da tarde, como da noite apresentam temperaturas ligeiramente superiores às registadas a 6m.

8 de julho

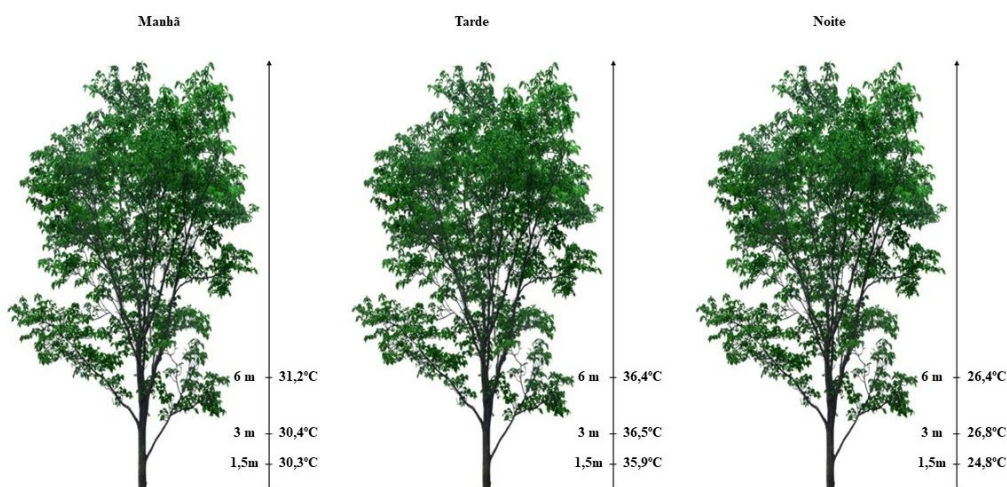


Figura 40: Análise em altura na Alameda das Tílias no dia 8 de julho de 2022.

De modo a analisar com mais pormenor a análise vertical, no dia 8 de julho, no período noturno, foi efetuado um perfil em altitude através da utilização do drone. Como mencionado na metodologia, utilizou-se uma sonda acoplada a um drone e efetuou-se o levantamento, por volta das 22h30. Ao analisar a figura 41, denota-se que as temperaturas mais elevadas se encontram na superfície, havendo um pequeno decréscimo da temperatura ao longo do fuste (até aproximadamente os 10m), e isto pode ser justificado com acumulação de calor no solo durante todo o dia. Segue-se um ligeiro aquecimento a partir dos 10m até aproximadamente os 30m que pode ser justificado pelas características da vegetação arbórea que compõe o local, isto é, as tílias detêm uma grande capacidade de libertação de evapotranspiração, sobretudo durante a noite, e ainda, pela questão da irradiação por parte do solo, tendo presente que se trata de um dia que registou elevadas temperaturas. É depois dos 30m que se começa a verificar um decréscimo da temperatura. Tal como referido por Ganho (1996) os espaços com vegetação arbórea detêm de uma grande capacidade de absorção de energia, no entanto, dispõem também de muita água, que é retida nos solos e transferida para o ar pelo processo de evapotranspiração, correspondendo a um incremento do fluxo de calor latente em detrimento do fluxo de calor sensível, que origina um arrefecimento das folhas e ar envolvente, sobretudo na parte superior das copas.

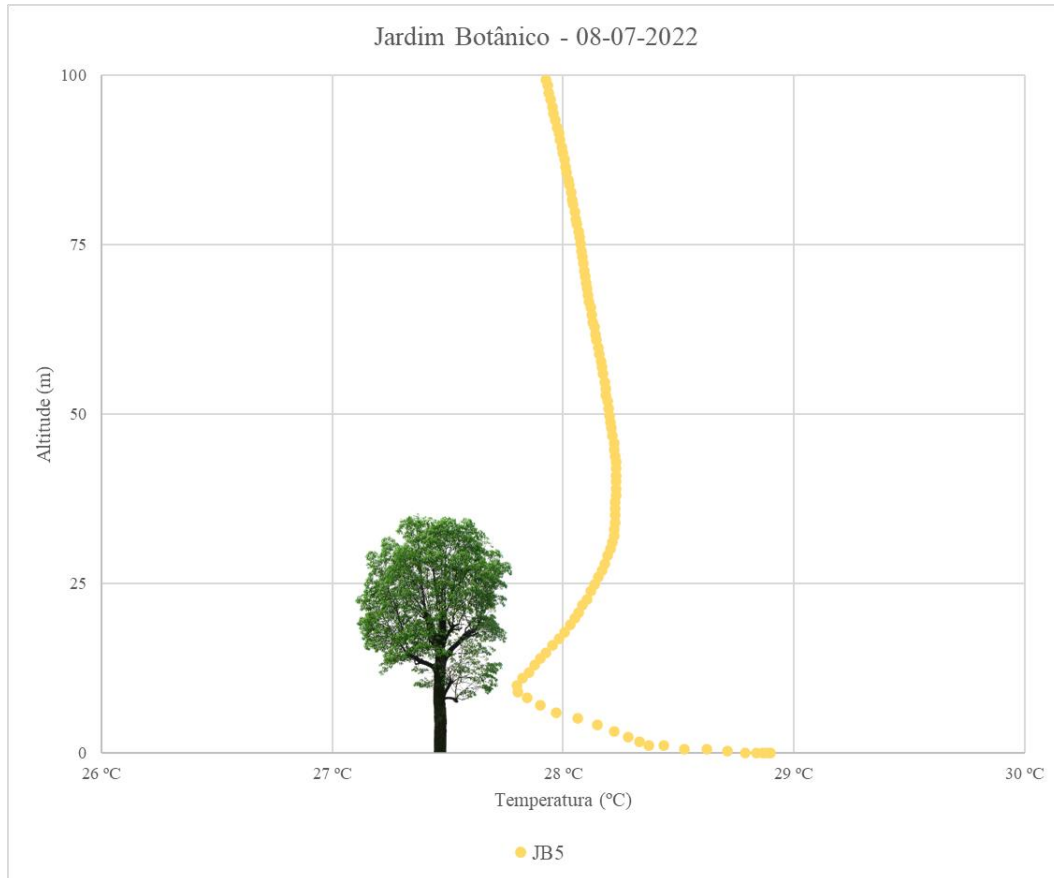


Figura 41: Perfil térmico em altitude no dia 8 de julho de 2022.

Discussão de Resultados

Tendo presente que o combate às alterações climáticas é hoje o grande desafio global, é necessário construir cidades mais sustentáveis. Ao longo deste trabalho, procurou-se conhecer a relação dos espaços verdes com o arrefecimento dos centros urbanos na cidade de Coimbra, através da análise de temperaturas.

Começou-se por observar o contexto geral da cidade, onde verificámos, como seria expectável, a relação do ambiente urbano com os espaços verdes, azuis e cinzentos. Os cartogramas evidenciam contrastes entre os espaços verdes e os espaços construídos, tanto nas manhãs como nas tardes e noites. Porém, no período da manhã, as diferenças térmicas são mais significativas em todas as estações do ano em análise, podendo isto estar associado à ocupação do solo ou à morfologia urbana. Fazendo uma comparação das manhãs dos três dias em análise, denotam-se ilhas de frescura, na Alta da cidade, que poderão estar associadas ao arrefecimento noturno, e no Jardim Botânico, devido à amenização climática que os espaços verdes proporcionam. Contrariamente, verificam-se células de ar mais quente na Alameda das Tílias, sobretudo no mês de verão, fruto da evapotranspiração gerada no período noturno pela espécie arbórea que compõe o local. É ainda de referir, que se registam temperaturas relativamente elevadas junto à rua Montarroio, ainda que no mês de maio, estas não sejam tão intensas, devido às condições meteorológicas, uma vez que estivemos sob efeito de nevoeiro numa parte significativa da manhã.

Relativamente às tardes, verifica-se uma grande diferença entre as estações do ano, tendo como fator principal a influência da vegetação caducifólia na regularização das condições climáticas locais. Isto é, enquanto nos meses de maio e julho se observam semelhanças no campo térmico em toda a área em análise, no mês de fevereiro, não havendo folhagem, existem contrastes, sendo mais notório nos setores do Parque Verde (margem direita), no Jardim Botânico e na Alameda das Tílias. É ainda de referir, o setor da Conchada e Montes Claros, que neste mês de inverno, se apresenta com células de ar fresco, algo atípico, que poderá justificar-se não só com a sombra entretanto observada, mas também com a formação de nebulosidade que se desenvolveu ao longo da tarde.

No que diz respeito às noites do enquadramento geral, as diferenças entre as estações do ano também são notórias, uma vez que comparando o mês de julho ao mês de maio, se observa que a célula de ar fresco presente no Jardim Botânico, se encontra

ligeiramente mais desvanecida, fruto do fenómeno extremo de onda de calor²⁴. Denota-se que a ICU está presente na Alta da cidade em todas as estações do ano e isto pode estar associado ao facto de ser uma área densamente urbanizada, originando a libertação de calor por irradiação que se foi acumulando ao longo do dia.

No Jardim Botânico, à semelhança da análise térmica geral, encontram-se contrastes significativos entre os espaços verdes e os espaços cinzentos. Um espaço verde não contribui de igual forma para a amenização climática. Neste caso, e começando pelas manhãs, no interior do Jardim Botânico, destaca-se uma ilha de frescura no setor da mata, do pomar e do bambuzal, enquanto, nos setores opostos, isto é, Estufa Grande, Quadrado Central do Fontanário, Alameda das Tílias e Corredor Lateral, se verificam células de ar quente. O núcleo das células de frescura corresponde a setores de vegetação arbórea densa, enquanto as células de ar mais quente, se localizam em zonas de clareira, e estão muito próximas de espaços construídos. As semelhanças encontradas nas manhãs das diferentes estações do ano estão associadas à exposição solar, uma vez que os setores com temperaturas mais elevadas são os que usufruem de sol durante toda a manhã, sendo que o mesmo “nasce” a oriente. É de referir que o mês de julho se distingue pelas suas temperaturas mais quentes, devido à onda de calor acima referida.

Os cartogramas relativos às tardes no Jardim Botânico revelam-se idênticos, apresentando manchas de temperaturas mais quentes junto ao setor edificado e com algum tráfego automóvel, tratando-se assim, de espaços impermeabilizados. Por outro lado, verificam-se temperaturas mais frescas na Mata e no Bambuzal, zonas altamente arborizadas, como já referido, assim como nos espaços azuis presentes que proporcionam a amenização das temperaturas.

As campanhas da noite deram origem aos cartogramas de maio e julho, ou seja, meses onde o desenvolvimento de folhagem já era notório. As temperaturas amenas em ambos os levantamentos no setor da Mata podem estar associados à evapotranspiração e ao facto desta área de povoamento arbóreo fechado reter muito calor durante o dia e o libertar durante a noite. Verifica-se também que a ICU presente na Alta de Coimbra influencia redondamente as áreas envolventes do Jardim Botânico, sobretudo nos pontos mais próximos do mesmo.

²⁴ Como já mencionado anteriormente, os dados noturnos de fevereiro não tiveram origem num levantamento real, mas sim numa elaboração do kriging, e, portanto, não devem merecer fiabilidade.

O objetivo do estudo foi mais além, pretendendo-se uma análise a uma escala de maior pormenor, sendo assim escolhido um setor de folhagem caduca no interior do Jardim Botânico, mais especificamente a Alameda das Tílias. Ao observarmos as manhãs dos meses de primavera e verão, constata-se que as massas de ar mais quentes se localizam no setor oeste, devido à exposição solar direta, uma vez que o levantamento foi efetuado por volta das 12h. Sendo uma área de maior pormenor, a hora em que o levantamento foi realizado é um fator influente bastante importante. No caso das tardes dos meses de maio e julho, o levantamento foi efetuado a uma hora tardia, isto é, entre as 17h e as 17h50, o que pode ter influenciado as temperaturas, uma vez que a radiação solar não incidia tão fortemente. Já no mês de fevereiro, o levantamento teve início por volta das 15h20, terminando por volta das 16h15. Comparando todos os meses em análise, verifica-se que o setor este é o mais quente, fruto da morfologia do espaço, isto é, este é o setor que recebe maior radiação solar ao longo do dia, assim como o setor dos terraços que, para além de não possuir o efeito de sombra, detém materiais com uma grande capacidade de absorção. De referir ainda que o mês de julho apresenta temperaturas mais amenas neste setor, devido à forte proteção das árvores caducifólias, ou seja, denota-se que existe uma influência nas temperaturas mediante a estação do ano, uma vez que no mês de fevereiro não há folhagem, e, portanto, não existe proteção da radiação solar, no mês de maio já se verifica um desenvolvimento da mesma, e em julho denota-se uma proteção bem visível por parte da folhagem (Figura 42).

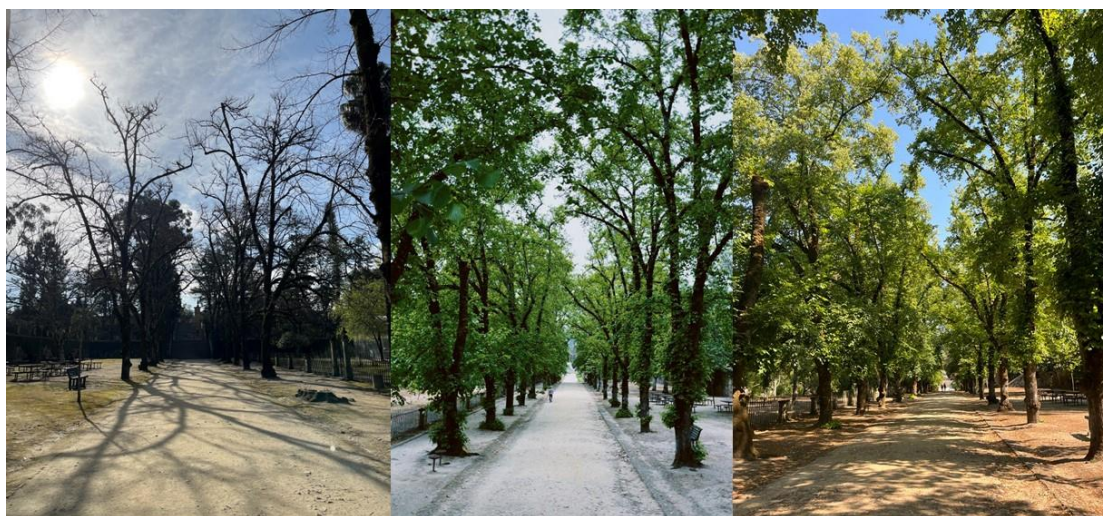


Figura 42: Alameda das Tílias nas diferentes estações do ano, fevereiro, maio e julho, respetivamente

Este setor possui uma vegetação arbórea que proporciona uma intensa evapotranspiração, o que justifica as temperaturas mais elevadas no setor central e este, tanto no levantamento noturno de maio como no levantamento noturno de julho.

De modo a compreender a importância do arbóreo na microclimatologia, realizou-se uma análise vertical. Desde logo, houve noção que as diferenças térmicas não seriam muito significativas, no entanto, no local, denota-se um conforto bioclimático. Importa referir que achamos importante num próximo trabalho conjugar a temperatura com a humidade relativa. No que diz respeito aos resultados, e tendo em conta as manhãs, tardes e noites, de 11 de maio e 8 de julho, verifica-se, que em ambos os levantamentos, as temperaturas se apresentam mais baixas à superfície do solo (1,5m), à exceção da manhã de 11 de maio. O facto de as temperaturas serem superiores a 3m e 6m, pode justificar-se através de dois fatores, a radiação solar que chega ao solo e a camada de humidade proporcionada pela espécie em questão. Nos fustes, a radiação solar que chega ao solo é menor, uma vez que a maior parte é absorvida pela folhagem, e a evapotranspiração não é tão significativa, justificando as temperaturas mais baixas à superfície. Teoricamente, faz sentido que exista uma massa de ar ligeiramente mais húmida que proporciona uma maior inércia térmica no fuste, no entanto, esta poderá deslocar-se alguns metros para cima ou para baixo, em função das diferenças térmicas sentidas ao longo do dia.

Por fim, e avaliando o perfil em altitude realizado através do drone, é perceptível que no fuste as temperaturas são mais elevadas, verificando-se um ligeiro aquecimento a partir dos 10m até aproximadamente o topo da árvore (cerca de 30m). É a partir destes 30m que se verifica novamente um decréscimo da temperatura. Isto pode ser explicado, à semelhança do referido acima, pela questão da radiação solar que é absorvida pela folhagem, assim como pela questão da humidade, uma vez que estamos perante uma espécie arbórea que detém uma grande capacidade de evapotranspiração, correspondendo a um incremento do fluxo de calor latente em detrimento do fluxo de calor sensível, que origina um arrefecimento das folhas e ar envolvente, sobretudo na parte superior das copas.

Capítulo VI

Conclusão e Perspetivas Futuras

Conclusão

Esta investigação permitiu confirmar a influência dos espaços verdes nas condições microclimáticas da cidade de Coimbra. Foi possível identificar as diferenças sentidas em cada estação do ano e também nos diferentes setores da cidade, permitindo-nos a comparação do campo térmico em setores verdes, azuis e cinzentos. A conclusão a que chegamos, como seria expectável, é que as áreas urbanizadas apresentam temperaturas mais elevadas, devido à sua capacidade de absorção de calor, ao contrário dos espaços verdes e azuis que proporcionam a amenização climática local.

Assim, depois da análise dos resultados é possível afirmar que a vegetação influencia o campo térmico de um dado local, ainda que não contribuam de igual modo, apresentando diferenças entre a vegetação caducifólia e a vegetação perene.

Reflete-se que no Jardim Botânico, ao longo das três estações em análise, se verifica uma célula de ar fresco comparativamente a todos as áreas envolventes. Embora seja um espaço verde de grande dimensão, os contrastes térmicos encontrados no seu interior levam a querer que a sua ação amenizadora depende mais da sua composição vegetal do que propriamente da sua dimensão, não esquecendo claro, das suas características topográficas e da própria morfologia urbana. Algo diretamente relacionado com isto é a vegetação caducifólia que proporciona diferenças térmicas nas diferentes estações do ano devido ao desenvolvimento da sua folhagem, isto é, no inverno a inexistência da mesma proporciona temperaturas elevadas, enquanto nos meses de primavera e verão, maio e julho, o efeito de sombra provocado pelas copas influencia diretamente as temperaturas mais próximas do fuste, sendo estas mais baixas. Na área em estudo, mais especificamente na Alameda das Tílias, verificou-se que este efeito de sombra proporcionou uma variação da temperatura na análise em altura. Assim, comprova-se o que foi dito anteriormente, isto é, a temperatura na superfície e ao longo do fuste vai variando, devido ao facto da radiação solar ser absorvida pela folhagem e, portanto, não chegar com tanta intensidade ao solo.

Ainda que os espaços verdes proporcionem uma melhoria no clima urbano, contribuindo portanto, para a sustentabilidade das cidades e para o conforto térmico humano, concluiu-se, através do levantamento de julho, que num fenómeno extremo de calor, os espaços verdes podem tornar-se insuficientes para refrescar a envolvência, sobretudo no Jardim Botânico, que é um espaço fechado e que detém várias diferenças

de altitude, podendo o ar quente acumular-se desde o final da manhã até ao início da noite e, posteriormente, dissipar-se até à manhã do dia seguinte.

As alterações climáticas alteram diretamente a dinâmica da atmosfera e do microclima e, por isso, atualmente, as teorias mais antigas podem já estar desatualizadas, sendo cada vez mais importante analisar e estudar todos os pormenores da climatologia.

Concluimos que as gerações futuras necessitam urgentemente de alterar o paradigma das áreas urbanas, definindo estratégias de planeamento que melhorem e organizem este espaço de “mão” dada com uma infraestrutura verde biodiversificada, tendo sempre presente, que mais importante do que ter grandes espaços verdes, é ter vários, dispersos pelas cidades. Para isso é importante que estudos de climatologia urbana continuem a ser realizados, e para o caso em específico, será pertinente, num próximo momento analisar os dados de humidade.

Referências Bibliográficas

Almeida, F. (2002). *O bom negócio da sustentabilidade*.

Almeida, M. A. S. (2018). Desenvolvimento urbano sustentável proposta de intervenção. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. Retirando de: <http://hdl.handle.net/10362/40262>

Andrade, H. (2005). O clima urbano-natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra*, 40(80).

Andrade, R. G. C. D. (2022). A contribuição da vegetação para melhoria do microclima urbano: estudo de caso em Superquadras de Brasília. Dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

Barbosa, R. V. R. (2005). Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudos em microclimas de Macéio (AL). Universidade de São Paulo.

Cordeiro, A.M.R., Lameiras, J.M., Ornelas, A., Silva, D.D., Fernandes, R.G. (in press). Cool cities: The thermal regulator role of urban green spaces. *Geography and Sustainability*

Costa, F. (2016). A cidade ecológica: rumo ao desenvolvimento urbano sustentável: realidade ou utopia? *Imprensa da Universidade de Coimbra*. Retirado de: https://doi.org/10.14195/978-989-26-1233-1_6

Cunha, L., Dimuccio, L.A., (2018). Paisagens e riscos naturais no município de Coimbra. Análise preliminar. *Paisagem e Território* pp. 25-33. Universidade Estadual de Londrina

Estender, A. C., e Pitta, T. D. T. M. (2008). O conceito do desenvolvimento sustentável. *Revista Terceiro Setor e Gestão de Anais-UNG-Ser*, 2(1), 22-28.

Ferreira, J. G., e Valente, S. (2014). A água e os resíduos: duas questões-chave. *Ambiente, Alterações Climáticas, Alimentação e Energia. Portugal no Contexto Europeu*, 75-112.

Fialho, E. S. (2009). Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

Ganho, N. (1996). Espaços verdes no interior do tecido urbano de Coimbra, Portugal: Contrastes topoclimáticos, influência bioclimática e riscos de poluição atmosférica. *Territorium*, (3), 35-56

Ganho, N. (1998). O clima urbano de Coimbra: estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano. Dissertação de mestrado. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.

Ganho, N. (1999). Clima urbano e a climatologia urbana: fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano. *Cadernos de Geografia*, 18, 97-127. https://doi.org/10.14195/0871-1623_18_6

Garrana, R. E. (2011). *Avaliação do êxito do Protocolo de Quioto em Portugal*. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa (Portugal).

Guerra, J., e Schmidt, L. (2009). Da Carta aos Compromissos de Aalborg-Sustentabilidade local em Portugal no contexto europeu. *Seminário internacional "Experiencias de Agenda 21-o desafio do nosso tempo"*, 27-29 novembro 2009.

Hall, P. Geoffrey. (2001). *Cities in civilization*. Fromm International.

Hathway, E.A. and Sharples, S. (2012) The interaction of rivers and urban form in mitigating the urban heat island effect: A UK case study. *Building and Environment*, 58, 14-22.

Instituto Marquês de Valle Flôr (2018). Dicionário do Desenvolvimento. Lisboa.

Júnior, L. N. (2019). O Clima Urbano como Risco Climático. *Geo UERJ*, (34), 40956.

Leal, C., Ganho, N., e Cordeiro, A. R. (2007/2008). O contributo dos espaços verdes da cidade de Coimbra (Portugal) no topoclima, microclima e no conforto bioclimático. *Cadernos de Geografia*, 26(27), 331-341.

Leal, L. (2012). A Influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR. Dissertação de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Retirado de: <https://hdl.handle.net/1884/28276>

Lopes, A. (2008). O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium*, 15, p.39-52.

Loureiro, M. M., e Gregori, I. C. S. (2013). Como construir cidades sustentáveis. *Revista eletrônica do curso de direito da UFSM*, 8, 458-469.

Marland, G., Pielke, R. A., Apps, M., Avissar, R., Betts, R. A., Davis, K. J., Frumhoff, P. C., Jackson, S. T., Joyce, L. A., Kauppi, P., Katzenberger, J., MacDicken, K. G., Neilson,

Marques, D., Ganho, N., Cordeiro, A. (2009). O contributo de estudos climáticos à escala local para o ordenamento urbano-O exemplo de Coimbra (Portugal). *Actas*, 3394-3415.

Mascaró, J.J., e Bonatto, D. D. A. M. (2013). Infraestrutura verde como estratégia de desenvolvimento sustentável e qualificação urbana: estudo de caso da cidade de Passo Fundo-RS. *Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis. Curitiba-PR*. <https://doi.org/10.12702/978-85-89478-40-3-a071>

Mizutani, M. (2019). O uso dos objetivos do desenvolvimento sustentável [ODS] e do indicador de sustentabilidade programa cidades sustentáveis [PCS] para uma urbanização sustentável e social na cidade de Barueri-SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Nove de Julho – UNINOVE. Retirado de: <http://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/2151>.

Moreno-García, M. D. C. (2019). The microclimatic effect of green infrastructure (GI) in a Mediterranean city: the case of the urban park of ciutadella (Barcelona, Spain). *Arboriculture e Urban Forestry* 2019. 45(3):100-108. Retirado de: <https://doi.org/10.48044/jauf.2019.009>

Nastran, M., Kobal, M., e Eler, K. (2019). Urban heat islands in relation to green land use in European cities. *Urban Forestry e Urban Greening*, 37, 33-41.

Nordqvist, A. *Vegetation e the Urban Microclimate*.

Nunes, F., S. (2016). O microclima urbano: uma reflexão a partir de Praça Luiz Nogueira na cidade de Serrinha - BA. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 10, n.3, p. 594 - 603.

Oke, T.R., Mills, G., Christen, A. e Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press.

ONU (2015). *Guia sobre o desenvolvimento sustentável*.

ONU (2017). *Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*.

Rebelo, F. (1999). Condicionanismos físico-geográficos na origem e no desenvolvimento da cidade de Coimbra. Actas do I Colóquio de Geografia de Coimbra Nº Especial de *Cadernos de Geografia* pp. 11-13.

Reis, C., e Lopes, A. (2019). Evaluating the cooling potential of urban green spaces to tackle urban climate change in Lisbon. *Sustainability (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/su11092480>

Roth, M. (2021). Understanding urban heat islands. In Douglas, I; Anderson, P. M. L.; Goode, D.; Houck, M. C.; Maddox, D.; Nagendra, H.; Yok, T.P. (eds) (2021). *The Routledge Handbook of Urban Ecology*.

Sant, J. L., e Neto, A. (2012). O clima como risco, as cidades como sistemas vulneráveis, a saúde como promoção da vida. *Cadernos de geografia*, (30-31), 215-228.

Santos, R. G. (2020). *Clima Urbano e Ordenamento do Território na Metrópole de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa Portugal

Shinzato, P., e Duarte, D. H. S. (2018). Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. *Ambiente Construído*, 18(2), 197–215. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000200250>

Silva, A., Fernandes, J. (2020). Acordo de Paris 2015 – 2020. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.

United Nations (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*

Vale, M. (2016). Cidade, sociedade e futuro: um comentário a Gaspar e Capel. *Finisterra*, 51(101).

Wu, C., Li, J., Wang, C., Song, C., Chen, Y., Finka, M., Rosa, D. (2019). Understanding the relationship between urban blue infrastructure and land surface temperature. *Journal Science of the Total Environment*. Retirado de: [10.1016/j.scitotenv.2019.133742](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133742)

Sites utilizados:

Boletim Climatológico Mensal, fevereiro 2022. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Acedido a 1 de agosto de 2022, em: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220310/SwIXADgyXIcWQnvaLam/cli_20220201_20220228_pcl_mm_co_pt.pdf

Boletim Climatológico Mensal, julho 2022. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Acedido a 10 de agosto de 2022, em: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220818/WiPBzfYCHIsIkbiYZyQs/cli_20220701_20220731_pcl_mm_co_pt.pdf

Boletim Climatológico Mensal, maio 2022. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Acedido a 1 de agosto de 2022, em: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220608/doEOrQOHPDDWhISEKCGO/cli_20220501_20220531_pcl_mm_co_pt.pdf

Jornal Oficial da União Europeia (2021). Acedido em 25 de março de 2022: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32021R1119>

United Nations (2022). Disponível online: <https://unric.org/pt/mensagem-do-dia-mundial-da-populacao/>. Acedido a 13 de maio de 2022.

United Nations (2022). Disponível online: <https://unric.org/pt/onu-preve-que-cidades-abriguem-70-da-populacao-mundial-ate-2050/> 70% POP. Acedido a 13 de maio de 2022.

Wetterzentrale. Acedido em 27 de fevereiro, 11 de maio e 8 de julho de 2022. Em: <https://www.wetterzentrale.de/>

Anexos



Figura 43: Diferentes setores da área geral em estudo



Figura 44: Diferentes setores da área geral em estudo



Figura 45: Espaço azul artificial no interior do Quadrado Central do Fontanário