



Simulação microclimática com ENVI-met para o Bairro Rainha Santa Isabel em Bragança

Marcos Jorge Gonçalves da Costa

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientado por

Prof. Dr. Artur Jorge de Jesus Gonçalves

Prof. Dr. Manuel Joaquim Sabença Feliciano

**Bragança
2020**

Esta dissertação insere-se no âmbito
do Projeto POCTEP-EnerUSER.



Interreg
Espanña - Portugal
EnerUSER
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



Agradecimentos

A realização da tese é um trabalho árduo sendo que foi também uma decisão difícil de tomar. Em certos momentos da nossa vida aparecem pessoas especiais, pessoas que nos marcam e que nos ajudam todos os dias a superar os desafios, pessoas que ajudam a tomar as melhores decisões e que se demonstram sempre disponíveis para ajudar, pessoas que não deixam cair, pessoas essas a quem não podia deixar de agradecer:

Quero começar por agradecer ao orientador da tese, Professor Doutor Artur Gonçalves, pelo tempo despendido, pela disponibilidade sempre demonstrada, pelos conhecimentos transmitidos, por toda a paciência e por me ter concedido a hipótese de trabalhar com ele neste projeto. Também ao Professor Doutor Manuel Feliciano, meu coorientador, pessoa que me incentivou a fazer Mestrado e sempre me deu conselhos para tomar as melhores decisões. Ao Professor Doutor Paulo Cortez pelo tempo despendido na identificação das espécies árvores e na explicação da medição das mesmas no local de estudo. A todos os professores com quem tive a oportunidade de ter aulas, pelo conhecimento que me transmitiram, por todos os conselhos e paciência.

Quero também agradecer ao Felipe Macedo Alves e ao Leonardo Fürst que me ajudaram nas medições das árvores, na monitorização local e na realização dos inquéritos, bem como no esclarecimento de dúvidas. Ao Sérgio Moreira e ao Ricardo Nascimento que se prontificaram a ajudar na monitorização local e na realização dos inquéritos.

Em termos pessoais, aos meus pais que fizeram das tripas coração para eu ter a oportunidade de estudar, que me deram apoio incondicional e pelos valores e princípios que me transmitiram, se hoje sou o que sou essencialmente o devo a eles. Às minhas irmãs, sobrinhos e cunhado, que me incentivaram e apoiaram sempre na vida. Aos meus amigos Luís Palmeira, Flávia Pereira, André Costa, Bruno Batista, Pedro Martins, Filipe Marques, Bruno Nogueira, Rosalina Gomes e Pedro Pinheiro, foram pessoas que tornaram os meus momentos em Bragança mais enriquecedores e mais animados, sem vocês não seria a mesma coisa.

Aos elementos da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Valpaços, que fazem parte da minha formação quer profissional, quer pessoal. A todas as pessoas que diretamente ou indiretamente têm intervenção na minha vida e na minha formação, que de uma maneira ou de outra ficará marcada na minha vida. OBRIGADO!

Resumo

As cidades atuais encontram-se cada vez mais edificadas e com menos espaços verdes e por consequência há um maior armazenamento de calor, resultando no Efeito de Ilha de Calor Urbano (EICU), interferindo na qualidade ambiental do local. No planeta têm ocorrido alterações climáticas, sendo necessário acautelar os seus efeitos desenvolvendo, entre outros, estudos de conforto térmico exterior. Segundo a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, o conforto térmico é definido como um estado mental, em que se revela uma satisfação com o ambiente térmico. Esta dissertação é desenvolvida no âmbito do projeto transfronteiriço POCTEP EnerUSER tendo por objetivo a aplicação de uma simulação microclimática com o ENVI-met para o Bairro Rainha Santa Isabel, no município de Bragança. O ENVI-met é um programa de modelação ambiental amplamente utilizado neste tipo de temáticas e na escala em que se enquadra o estudo (microescala). A metodologia aplicada além da simulação, inclui a monitorização em quatro pontos da zona de estudo complementada pela realização de inquéritos relativamente ao conforto térmico naquele local e pela definição e simulação de um cenário alternativo. Os resultados indicam que existe uma boa correlação entre os dados da monitorização e os dados estimados na simulação para parâmetros como temperatura do ar, temperatura média radiante e humidade relativa. Relativamente aos resultados dos inquéritos, os mesmos não permitiram extrair maiores conclusões, o que poderá estar relacionado com a reduzida dimensão da amostra. Nesta tese foi ainda gerado um cenário alternativo, com um acréscimo da vegetação nos locais menos preenchidos (64 árvores da espécie *Celtis australis*), pelo qual se estima uma diminuição da temperatura em 2°C em certos pontos.

Palavras chave: ENVI-met; simulação; conforto térmico; microclima urbano.

Abstract

As cities nowadays are increasingly dense with fewer green spaces and consequently there is greater heat storage, resulting in the Urban Heat Island Effect (UHEI), interfering with the environmental quality of the site. Climate changes have been occurring on the planet, so it is necessary to take into account the studies that refer to outdoors thermal Comfort. According to *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)* thermal comfort is defined as a state, where human satisfaction with the thermal environment is achieved. This dissertation is developed within the framework of the cross-border project POCTEP EnerUSER in which one of the main objectives is application of a microclimate simulation with ENVI-met for the neighborhood Rainha Santa Isabel, in the municipality of Bragança. ENVI-met is an environmental modelling program widely used in this type of subjects and also for the scale in which the study fits (micro scale). The methodology applied in addition to the simulation, will also have the on-site monitoring in four points, completed by thermal comfort surveys and development and simulation the of an alternative scenario. Results indicate that there is a good correlation between local data from monitoring and the data obtained through simulation, for parameters such as air temperature, average radiant temperature and relative humidity. Regarding the results of the surveys, they are limited mainly due to the sample size. The alternative scenario, with an increase in vegetation in the least filled places (64 trees of the species *Celtis australis*) estimates a decrease in temperature of about 2°C in certain locations.

Keywords: ENVI-met; simulation; thermal confort; urban microclimate.

Índice geral

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Modelação ambiental..... | 4 |
| 2.1 Clima urbano | 4 |
| 2.1.1 Variáveis climáticas..... | 6 |
| 2.1.2 Escalas | 7 |
| 2.1.3 Microescalas | 10 |
| 2.1.4 Contexto climático..... | 10 |
| 2.1.5 Conforto térmico | 12 |
| 2.2 Modelação microclimática | 15 |
| 2.2.1 Instrumentos | 15 |
| 2.2.2 Modelos | 17 |
| 3. Metodologia..... | 19 |
| 3.1 Apresentação do caso de estudo | 19 |
| 3.2 Modelação ENVI-met | 21 |
| 3.2.1 Construção do cenário | 22 |
| 3.2.2 Cenário da área de estudo..... | 23 |
| 3.3 Recolha de dados para validação do cenário | 30 |
| 3.3.1 Inquéritos | 32 |
| 3.4 Definição dos parâmetros de simulação | 32 |
| 3.5 Cenário alternativo | 35 |
| 4. Resultados..... | 37 |
| 4.1 Medições no local..... | 37 |
| 4.2 Análises dos inquéritos..... | 45 |
| 4.2.1 Resultados para o período da manhã (11h-13h)..... | 45 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.2 Resultados para o período da tarde (15h-17h)..... | 48 |
| 4.2.3 Resultados para o pôr do sol (20h-22h)..... | 50 |
| 4.3 Resultados das simulações | 53 |
| 4.3.1 Resultados para <i>Predicted Mean Vote</i> (PMV) | 61 |
| 4.4 Resultados para o cenário alternativo..... | 65 |
| 4.4.1 Resultados para <i>Predicted Mean Vote</i> (PMV)-Cenário Alternativo | 73 |
| 4.5 Discussão dos resultados | 76 |
| 4.5.1 Comparação de resultados entre o cenário alternativo e a simulação para o dia 18 de junho de 2020 | 84 |
| 5. Conclusão | 94 |
| Referências Bibliográficas..... | 96 |
| ANEXO 1 | 104 |

Lista de siglas e abreviaturas

ASHRAE-*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*-Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado;

CFD-*Computational Fluid Dynamics*-Dinâmica dos Fluídos Computacional;

EICU-Efeito de Ilha de Calor Urbano;

ESSa-Escola Superior de Saúde;

ESTiG-Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança;

HR-Humidade relativa;

IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera;

MIT- *Massachussetts Institute of Technology*-Instituto de Tecnologia de Massachussetts;

ODS-Objetivos de Desenvolvimento Sustentável;

PMV-*Predicted Mean Vote*-Voto Médio Previsível;

POCTEP-Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha/Portugal;

SOLWEIG-*Solar LongWave Environmental Irrandiance Geometry*;

Ta-Temperatura do ar;

Tmrt-Temperatura média radiante;

UBL-*Urban Boundary Layer*-Camada Limite Urbana;

UCL-*Urban Canopy Layer*-Camada Intra-Urbana;

UMI-*Urban Modelling Interface*-Interface de Modelação Urbana;

ULS NE-Unidade Local de Saúde do Nordeste;

UTC-*Coordinated Universal Time*-Tempo Universal Coordenado;

Va-Velocidade do ar;

ZCL-Zonas Climáticas Locais.

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Representação gráfica do Efeito de Ilha de Calor Urbano. Adaptado de: Oke, 1987 | 5 |
| Figura 2: Representação esquemática da escala vertical. Fonte: Almeida, 2006 | 8 |
| Figura 3: Relação entre a escala temporal e espacial. Fonte: Andrade, 2012 | 9 |
| Figura 4: Classificação de Koppen-Geiger para a Península Ibérica. Fonte: Barceló <i>et al.</i> , 2009 | 11 |
| Figura 5: Principais fatores atmosféricos que afetam as pessoas. Adaptado de: Andrade, 2012 | 12 |
| Figura 6: Exemplo de um cenário criado em ENVI-met. Fonte: ENVI-met, s.d. | 16 |
| Figura 7: Modelação no software RayMan. Fonte: Matzarakis <i>et al.</i> , 2006 | 16 |
| Figura 8: Cenário criado no software SOLWEIG. Fonte: Jänicke <i>et al.</i> , 2015 | 17 |
| Figura 9: Localização de Bragança. | 19 |
| Figura 10: Localização da área de estudo. | 20 |
| Figura 11: Local de estudo. | 20 |
| Figura 12: Casa pertencente à área de estudo. | 20 |
| Figura 13: Zona de arrumos, pertencente ao bairro em estudo..... | 21 |
| Figura 14: Um dos parques de estacionamento situado no Bairro Rainha Santa Isabel. | 21 |
| Figura 15: Definições utilizadas para a criação do cenário. | 22 |
| Figura 16: Resultado de uma das medições (esquerda), medidor digital Stabila no tripé (direita). | 23 |
| Figura 17: Medição sem utilização de tripé. | 23 |
| Figura 18: Representação esquemática do cenário e componentes de superfície e vegetação. | 24 |
| Figura 19: Edifícios, materiais e medidas em pormenor. | 24 |
| Figura 20: Vara telescópica. | 25 |
| Figura 21: <i>Platanus occidentalis</i> L. (Bairro Rainha Santa Isabel)..... | 25 |
| Figura 22: <i>Tilia cordata</i> (Bairro Rainha Santa Isabel)..... | 26 |
| Figura 23: <i>Prunus cerasifera</i> | 26 |
| Figura 24: <i>Celtis australis</i> (Rua Dom Afonso). | 27 |
| Figura 25: <i>Cupressus sempervirens</i> L. (Rua Dom Afonso). | 27 |
| Figura 26: <i>Cupressus sempervirens</i> L. (Formato alongado)-(Bairro Rainha Santa Isabel). | 27 |
| Figura 27: <i>Cupressus lusitânica</i> (Recinto Hospitalar). | 28 |
| Figura 28: Esquerda- <i>Quercus pyrenaica</i> ; direita- <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Recinto Hospitalar). | 28 |
| Figura 29: <i>Catalpa bignonioides</i> (Recinto Hospitalar). | 29 |
| Figura 30: Cenário inicial concluído após a adição da vegetação arbórea. | 29 |
| Figura 31: Vista lateral do cenário. | 30 |
| Figura 32: Equipamentos utilizados nas medições locais. | 30 |
| Figura 33: Pontos de medição. | 31 |
| Figura 34: Interface do ENVI-met para a introdução da data, hora inicial e duração. . | 33 |
| Figura 35: Valores para os parâmetros de entrada para o período do nascer do sol. ... | 34 |
| Figura 36: Introdução dos horários onde se verificou a mínima e máxima temperatura e humidade relativa. | 34 |
| Figura 37: Mapa do local de estudo com a localização das árvores a introduzir. | 35 |
| Figura 38: Cenário inicial (em cima) e cenário alternativo (em baixo). | 36 |
| Figura 39: Temperatura do ar nos quatro pontos durante os quatro períodos..... | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 40: Humidade relativa nos quatro pontos durante os quatro períodos. | 40 |
| Figura 41: Velocidade do vento nos quatro pontos durante os quatro períodos. | 42 |
| Figura 42: Temperatura média radiante nos quatro pontos durante os quatro períodos. | 43 |
| Figura 43: Diagrama de bigodes da temperatura do ar em relação ao período do dia. . | 44 |
| Figura 44: Diagrama de bigodes da temperatura média radiante em relação ao período do dia. | 45 |
| Figura 45: Respostas obtidas nos inquéritos (11h-13h). | 47 |
| Figura 46: Respostas obtidas para a questão sobre a incomodidade térmica no local no período da manhã. | 48 |
| Figura 47: Respostas obtidas nos inquéritos (15h-17h). | 49 |
| Figura 48: Respostas obtidas para a questão sobre a incomodidade térmica no local no período da tarde. | 50 |
| Figura 49: Respostas obtidas nos inquéritos (20h-22h). | 51 |
| Figura 50: Respostas obtidas para a questão sobre a incomodidade térmica no local no período do pôr do sol. | 52 |
| Figura 51: Diagrama de bigodes da relação entre a temperatura do ar e a escala da sensação térmica. | 52 |
| Figura 52: Diagrama de bigodes da relação entre resistência térmica da roupa e a escala da sensação térmica. | 53 |
| Figura 53: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 06h00 do dia 18 de junho de 2020. | 54 |
| Figura 54: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 07h00 do dia 18 de junho de 2020. | 54 |
| Figura 55: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 12h00 do dia 18 de junho de 2020. | 55 |
| Figura 56: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 13h00 do dia 18 de junho de 2020. | 56 |
| Figura 57: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 16h00 do dia 18 de junho de 2020. | 57 |
| Figura 58: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 17h00 do dia 18 de junho de 2020. | 57 |
| Figura 59: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 21h00 do dia 18 de junho de 2020. | 58 |
| Figura 60: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 22h00 do dia 18 de junho de 2020. | 59 |
| Figura 61: Resultados temperatura média radiante para as 06h00 (esquerda) e as 13h00 (direita). | 60 |
| Figura 62: Resultados temperatura média radiante para as 16h00 (esquerda) e as 22h00 (direita). | 60 |
| Figura 63: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 06h00. | 62 |
| Figura 64: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 07h00. | 62 |
| Figura 65: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 12h00. | 62 |
| Figura 66: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 13h00. | 63 |
| Figura 67: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 16h00. | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 68: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 17h00..... | 64 |
| Figura 69: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 21h00..... | 64 |
| Figura 70: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 22h00..... | 64 |
| Figura 71: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 06h00 para o cenário alternativo..... | 65 |
| Figura 72: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 07h00 para o cenário alternativo..... | 66 |
| Figura 73: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 12h00 para o cenário alternativo..... | 67 |
| Figura 74: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 13h00 para o cenário alternativo..... | 67 |
| Figura 75: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 16h00 para o cenário alternativo..... | 68 |
| Figura 76: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 17h00 para o cenário alternativo..... | 69 |
| Figura 77: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 21h00 para o cenário alternativo..... | 70 |
| Figura 78: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 22h00 para o cenário alternativo..... | 70 |
| Figura 79: Resultados temperatura média radiante para as 06h00 (esquerda) e as 13h00 (direita)-cenário alternativo..... | 72 |
| Figura 80: Resultados temperatura média radiante para as 16h00 (esquerda) e as 22h00 (direita)-cenário alternativo..... | 72 |
| Figura 81: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 06h00..... | 73 |
| Figura 82: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 07h00..... | 73 |
| Figura 83: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 12h00..... | 74 |
| Figura 84: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 13h00..... | 74 |
| Figura 85: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 15h00..... | 75 |
| Figura 86: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 16h00..... | 75 |
| Figura 87: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 21h00..... | 75 |
| Figura 88: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 22h00..... | 76 |
| Figura 89: Comparação entre os valores da temperatura do ar medida e os valores estimados na simulação..... | 77 |
| Figura 90: Comparação entre os valores da humidade relativa medida e os valores estimados na simulação..... | 79 |
| Figura 91: Comparação entre os valores da velocidade do vento medida e os valores estimados na simulação..... | 81 |

| | |
|--|----|
| Figura 92: Comparação entre os valores da temperatura média radiante medida e os valores estimados na simulação..... | 83 |
| Figura 93: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 06h00..... | 84 |
| Figura 94: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 07h00..... | 85 |
| Figura 95: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 12h00..... | 86 |
| Figura 96: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 13h00..... | 86 |
| Figura 97: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 16h00..... | 87 |
| Figura 98: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 17h00..... | 88 |
| Figura 99: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 21h00..... | 89 |
| Figura 100: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 22h00..... | 89 |
| Figura 101: Comparação entre os valores da temperatura média radiante do cenário inicial e do cenário alternativo para as 06h00 (esquerda) e 13h00 (direita). | 91 |
| Figura 102: Comparação entre os valores da temperatura média radiante do cenário inicial e do cenário alternativo para as 16h00 (esquerda) e 22h00 (direita). | 91 |
| Figura 103: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 06h00 (esquerda) e para as 13h00 (direita)-feminino. | 92 |
| Figura 104: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 16h00 (esquerda) e para as 22h00 (direita)-feminino. | 92 |
| Figura 105: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 06h00 (esquerda) e para as 13h00 (direita)-masculino..... | 93 |
| Figura 106: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 16h00 (esquerda) e para as 22h00 (direita)-masculino..... | 93 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Classificação dos efeitos mecânicos do vento. Adaptado de: Fariña Tojo et al., 2013 | 6 |
| Tabela 2: Escala horizontal correspondente a cada ordem de grandeza. Adaptado de: Erell et al., 2019 | 7 |
| Tabela 3: Zonas Climáticas Locais (ZCL). Adaptado de: Oke, 2006 | 9 |
| Tabela 4: Classificação PMV. Adaptado de: ISO 10551, 1995..... | 14 |
| Tabela 5: Valores dos parâmetros de entrada para as simulações realizadas no dia das medições (horário UTC). | 33 |
| Tabela 6: Parâmetros utilizados no Biomet para o cálculo do PMV, para o género feminino. | 61 |
| Tabela 7: Parâmetros utilizados no Biomet para o cálculo do PMV, para o género masculino..... | 61 |
| Tabela 8: Correlação de Pearson entre os dados registados por medição e os dados estimados por simulação para a temperatura | 78 |
| Tabela 9: Correlação de Pearson entre os dados registados por medição e os dados estimados por simulação para a humidade relativa..... | 80 |
| Tabela 10: Correlação de Pearson entre os dados registados por medição e os dados estimados por simulação para a temperatura média radiante..... | 82 |

1. Introdução

As cidades podem ser consideradas sistemas complexos e abertos a fluxos de energia e massa, num processo de mudança contínuo. A importância crescente demográfica, socioeconómica e cultural das cidades, faz com que as questões ambientais sejam cada vez mais uma prioridade para os poderes públicos e um tema importante em diferentes áreas científicas (Andrade, 2012). Segundo as Nações Unidas (*cit. in Perini et al.*, 2017), a população urbana aumentará de 3.9 bilhões para 6.4 bilhões de habitantes até 2050, com as áreas urbanas a acolher 64% da população total global.

O primeiro estudo que foi dedicado especificamente ao clima urbano remonta a 1818, altura em que L. Howard demonstrou que as temperaturas no interior de Londres eram superiores às que se verificavam em zonas rurais próximas, embora já houvesse alguma consciência desse fenómeno anteriormente (Ganho, 2019). Existindo uma preocupação crescente com o aquecimento global, este fenómeno está a ocorrer mais rapidamente do que o previsto (Brysse *et al.*, 2013). Se continuar a aumentar ao ritmo atual, a temperatura média global observada na superfície foi 0,87°C mais alta para a década 2006-2015, prevendo-se que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052 (IPCC, 2019), estas previsões mostram que há um risco de stress térmico nas cidades ameaçando assim a saúde humana (Scherer *et al.*, 2013).

Segundo Ballinas *et al.* (*cit. in por Yang et al.* 2019) a construção de estruturas pelo Homem tem resultado num armazenamento de calor excessivo, embora se possa dissipar durante a noite, o impacto Efeito de Ilha de Calor Urbano (EICU) ainda é bastante significativo, sendo caracterizado por temperaturas mais elevadas nos espaços urbanos comparativamente com os espaços rurais ao seu redor (Menezes, 2017). Para contrariar este efeito, é necessário ter em atenção o planeamento urbano, para assim se poder fazer um bom desenho do espaço público e, em particular, dos espaços verdes, que afetam o microclima urbano.

O estudo do conforto térmico exterior tem vindo a sofrer um acréscimo e por isso mesmo, há uma necessidade de se desenvolverem métodos inovadores para assim se compreenderem melhor os dados recolhidos. Estes estudos dependem da época do ano em que são realizados, dada a variação das condições meteorológicas, sendo que estas influenciam o conforto das pessoas. Neste particular as cidades devem adotar medidas de mitigação reduzindo assim as questões relativas ao conforto (Mao *et al.*, 2018).

Atualmente, investigadores utilizam modelos computacionais para representar o ambiente urbano, estes modelos, também são importantes para se verificar a eficácia das medidas de mitigação (Crank *et al.*, 2018).

Para a avaliação do microclima urbano vários modelos são propostos na literatura, sendo que os mesmos são baseados em fundamentos teóricos. A seleção do modelo e a aplicação de ferramentas têm sido um dos principais desafios, quer para investigação quer para o planeamento (Yujin Yang *et al.*, 2019).

Neste estudo é necessário proceder ao levantamento de parâmetros urbanos da zona de estudo, como as características dos edifícios, os espaços verdes (vegetação existente) e os pavimentos, para assim se proceder à construção do cenário. Variáveis como a temperatura do ar, direção do vento, velocidade do vento e humidade relativa devem ser monitorados no local de estudo, sendo posteriormente integrados num cenário microclimático, servindo para validar esse mesmo cenário. Partindo do cenário base, neste estudo, serão também apresentados cenários alternativos para a melhoria do conforto térmico.

A escolha deste tema vem do interesse e da necessidade de se realizarem trabalhos relacionados com a gestão do ambiente urbano que influenciam a saúde pública, onde a criação de um cenário microclimático é fundamental para se avaliar o conforto térmico exterior na área de estudo, procurando assim cenários alternativos que visam a melhoria do mesmo e também apoiar na concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que visam contribuir para um futuro mais sustentável, mais concretamente o objetivo 11 “*Tornar as Cidades e Comunidades Inclusivas, Seguras, Resilientes e Sustentáveis*”.

Esta dissertação insere-se no contexto das atividades do Projeto Transfronteiriço POCTEP EnerUSER, entre Portugal e Espanha, onde se pretende avaliar as condições microclimáticas no Bairro Rainha Santa Isabel, com o apoio da ferramenta de modelação ENVI-met.

Como objetivos mais específicos, este estudo pretende:

- Apresentar o contexto climático da zona em estudo;
- Construir um cenário físico para o contexto de estudo;
- Construir um cenário climático com um *software* de modelação;
- Validação do cenário tendo como base monitorização no local;
- Apresentação de cenários com o intuito de melhoria do conforto térmico;

- Modelação de cenários.

No que se refere à organização, este trabalho é organizado da seguinte maneira:

- O capítulo inicial corresponde à introdução do tema, sobre o seu contexto, explicação de alguns conceitos importantes na temática, justificação da escolha do tema, os objetivos gerais e específicos, bem como o projeto onde se insere;
- no segundo capítulo terá lugar a revisão bibliográfica onde se irá apresentar conteúdos referentes ao clima urbano, incluindo as suas variáveis, escalas, o conforto térmico e sobre a sua modelação, incluindo os instrumentos e os modelos aplicáveis;
- terceiro capítulo sobre a metodologia inclui a apresentação do caso de estudo, o processo de simulação no *software* utilizado, construção do cenário para validação, recolha de dados para validação, os cenários idealizados para melhoria, também serão inseridos os materiais e os métodos utilizados;
- no quarto capítulo serão apresentados os resultados e a correspondente discussão;
- por fim, no quinto e último capítulo serão apresentadas as conclusões.

2. Modelação ambiental

A modelação matemática é um instrumento útil para a tomada de decisão, sendo fundamental na representação abstrata, simplificada de uma realidade atual ou futura (Brito, 2018). A mesma também pode ser utilizada para compreender o comportamento de sistemas complexos (Devia *et al.*, 2015; Silvert, 2001). A modelação ambiental aplica-se nas mais variadas vertentes, desde rios e lagos, clima, ruído, biodiversidade, solos, tráfego, entre outros, também abrange várias escalas, desde a nano até à planetária (Brito, 2018). À medida que a escala aumenta, também aumenta a heterogeneidade das características físicas da área em estudo verificando-se assim um enorme desafio no que toca à calibração dos modelos ambientais de grande escala (Jafarzadegan *et al.*, 2020). A possibilidade de testar cenários, antecipando assim o futuro é um dos aspetos mais interessantes da modelação (Brito, 2018).

2.1 Clima urbano

O mundo tem sofrido com a urbanização a um ritmo elevado e com o acréscimo da população, que representa uma série de problemas ambientais como, o aquecimento global (Caluwaerts *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020). A qualidade de vida nas cidades depende do clima, sendo que este condiciona o conforto no espaço exterior e também se relaciona com as condições que se podem encontrar no interior dos edifícios (Gonçalves *et al.*, 2014). A temperatura elevada das cidades no denominado Efeito de Ilha de Calor Urbano, como resultado da alteração do ambiente térmico urbano, caracteriza-se por apresentar temperaturas de ar ou da superfície da cidade superiores, comparativamente com as temperaturas que se verificam nas zonas rurais adjacentes (Oke, 1982; Xu *et al.*, 2020), como se pode verificar na Figura 1.

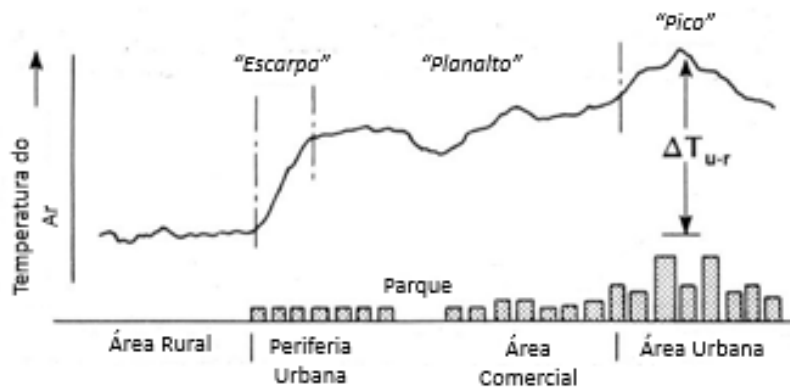


Figura 1: Representação gráfica do Efeito de Ilha de Calor Urbano. Adaptado de: Oke, 1987

O surgimento de um clima urbano resulta de vários fatores, incluindo: a substituição da cobertura natural do solo por materiais como pedra, asfalto ou cimento; a alteração da geometria urbana característica; e das modificações na composição da baixa atmosfera, que advêm das atividades humanas (Ganho, 2019). Estas alterações provocam novos balanços de energia, massa e movimento (Andrade, 2012), em que o principal originador dessas mudanças são as propriedades das áreas urbanizadas, não só nos materiais como também no tamanho, densidade dos edifícios e proporção de áreas verdes (Bokwa *et al.*, 2019).

A atividade industrial, a combustão doméstica e o tráfego automóvel são as principais fontes emissoras responsáveis por uma alteração na composição da atmosfera urbana e pelo acréscimo do número de partículas em suspensão, que originam a diminuição do coeficiente de transparência da atmosfera (Ganho, 2019). Estas mudanças, juntamente com as alterações no clima urbano, podem aumentar o risco de mortalidade devido às ondas de calor e a falta de circulação de ar também pode influenciar a dispersão de poluentes (Lai, 2018). Medidas como a utilização de materiais com valores elevados de albedo (Yu *et al.*, 2008); a plantação de árvores criando assim sombras e proporcionando a evapotranspiração (Santamouris *et al.*, 2017); a utilização de coberturas verdes em telhados e fachadas (Musy *et al.*, 2017); a utilização de rega no pavimento (Azam *et al.*, 2018), podem contribuir para a atenuação das mudanças operadas no clima das cidades.

A interação entre a cidade e a atmosfera envolve diferentes escalas espaciais (Caluwaerts *et al.*, 2020). Também o tipo de tempo (meteorologia), interfere na variação espacial dos elementos climáticos no espaço urbano, essencialmente através do vento, nebulosidade e da estabilidade vertical da atmosfera (Andrade, 2012).

Na compreensão de um clima complexo onde podem interferir vários fatores, a várias escalas, deve-se ter em atenção o seu enquadramento à escala global, regional e local (Marques, 2012).

2.1.1 Variáveis climáticas

No que respeita à temperatura do ar, é importante conhecer a evolução anual da temperatura média mensal, das médias das temperaturas máximas e mínimas, sendo a diferença entre elas denominada por amplitude térmica (Fariña Tojo *et al.*, 2013). A temperatura do ar influencia a temperatura do corpo, se for menor que a temperatura da pele irá haver remoção de calor por convecção (Ruas, 1999).

A humidade relativa do ar influencia a remoção de calor por evaporação, se a humidade relativa for baixa, permite ao ar seco absorver a humidade da pele de forma mais rápida, removendo assim o calor do corpo, logicamente que, valores de humidade relativa altos produzem o efeito inverso (Ruas, 1999).

A radiação solar é uma energia eletromagnética de onda curta, que influencia a distribuição da temperatura no globo e é variável consoante a época do ano e a latitude (Frota *et al.*, 2001). Pode incluir radiação direta (raios solares que não mudam de direção) e radiação difusa (sem direção certa) (Fariña Tojo *et al.*, 2013).

O vento é outra variável relevante, habitualmente descrita em termos meteorológicos pela sua frequência e velocidade média, para oito orientações, em cada estação do ano (Fariña Tojo *et al.*, 2013). Os efeitos do vento podem ser mecânicos (Tabela 1), dependendo da sua intensidade, podem tornar-se desagradáveis e perigosos, e térmicos influenciando o bem-estar das pessoas (Fariña Tojo *et al.*, 2013).

Tabela 1: Classificação dos efeitos mecânicos do vento. Adaptado de: Fariña Tojo *et al.*, 2013

| Classificação | Velocidade do Vento |
|------------------------|---|
| Sensação fraca | $V < 4-5 \text{ m/s}$ (18 km/h) |
| Sem prejuízo grave | 5 m/s (18 km/h) $< V < 10 \text{ m/s}$ (36 km/h) |
| Prejuízo grave | 10 m/s (36 km/h) $< V < 15 \text{ m/s}$ (54 km/h) |
| Perigoso para os peões | $V > 15 \text{ m/s}$ (54 km/h) |

A periodicidade e a quantidade dos dados dependem do uso que se lhes pretende dar. São considerados dados fiáveis aqueles que são proporcionados pelas estações

meteorológicas que tenham registros de pelo menos dez anos (Fariña Tojo *et al.*, 2013). Em espaços abertos há maiores oscilações das variáveis climáticas, comparativamente com os ambientes internos, o que torna assim a sua avaliação mais complexa, em questões que envolvem o conforto térmico é fulcral que se entendam as interações entre as variáveis climáticas e o ambiente urbano (da Silva, 2015).

2.1.2 Escalas

A estratificação do clima é necessária, pois possibilita a distinção do comportamento do clima em função da sua área de abrangência espacial e temporal (Borges, 2009). De acordo com Orlansky (1975 *cit. in* Andrade, 2012), distingue-se as escalas espaciais como fenômenos de microescala (elementos individuais), mesoescala (grandes áreas metropolitanas) e macroescala. No entanto, existem divergências na definição das escalas, em particular entre climatólogos e meteorologistas, relativamente à escala climática (Borges, 2009).

Os fenômenos urbanos típicos restringem-se principalmente ao espaço e ao tempo que se situa entre a microescala e a mesoescala (Wanner *et al.*, 1989, *cit. in* Andrade, 2012), a própria existência da cidade confere efeitos modificadores significativos sobre o clima local (Erell *et al.*, 2019).

A Tabela 2 evidencia as dimensões da escala horizontal referentes a cada escala. Em cada escala podem acontecer fenômenos climáticos diferenciados: como a ocorrência de remoinhos na microescala; ventos locais e trovoadas na mesoescala; e furacões na macroescala (Erell *et al.*, 2019).

Tabela 2: Escala horizontal correspondente a cada ordem de grandeza. Adaptado de: Erell *et al.*, 2019

| Escala | Limites Aproximados |
|---------------|----------------------------|
| Microescala | 1 cm-1 km |
| Mesoescala | 10 km–200 km |
| Macroescala | >100 km |

Importa salientar que ao nível da mesoescala, esta pode estar sujeita a condições atmosféricas de macroescala, enquanto a própria cidade afeta as características dos elementos climáticos em toda a área da cidade e nas áreas envolventes (Marques, 2012).

Também a nível vertical se assume uma divisão simplificada, sendo que a mesma é composta pela camada intra-urbana ou atmosfera inferior (*Urban Canopy Layer-UCL*) e a camada limite urbana ou atmosfera urbana superior (*Urban Boundary Layer-UBL*), a primeira abrange o solo até ao nível da cobertura das edificações e a segunda corresponde ao que se situa imediatamente após a camada anterior (Barbirato *et al.*, 2007). Segundo Oke (2006), também é defendida a existência de uma pluma urbana (*Urban Plume*) que se estende sobre a camada limite rural (*Rural Boundary Layer*) (Figura 2). A camada limite urbana pode ser explicada como sendo a porção onde as características climáticas são modificadas pela presença da cidade na sua superfície, a camada intra-urbana é uma porção de ar que existe por debaixo da camada limite urbana e o seu limite é estabelecido entre a superfície até ao nível dos telhados dos edifícios (Barbirato *et al.*, 2007).

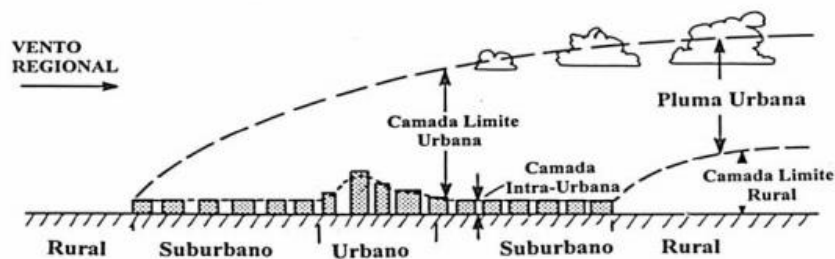


Figura 2: Representação esquemática da escala vertical. Fonte: Almeida, 2006

Na Figura 3 é possível relacionar a escala espacial com a escala temporal típica dos processos atmosféricos, em que, a macroescala pode variar entre algumas semanas a algumas décadas, a mesoescala pode decorrer entre várias horas e alguns dias e a microescala pode variar entre minutos a dias (Borges, 2009).

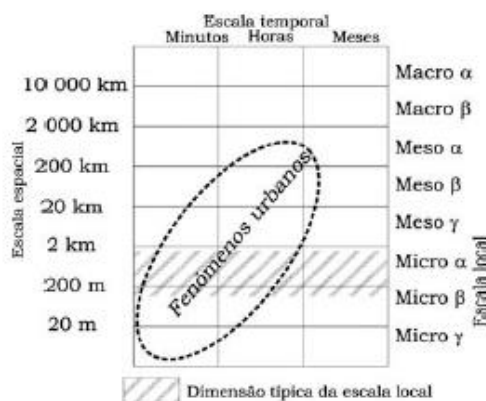


Figura 3: Relação entre a escala temporal e espacial. Fonte: Andrade, 2012

Em trabalhos onde se recorre à monitorização é comum definir Zonas Climáticas Locais (ZCL). As Zonas Climáticas Locais surgem como um método onde se classifica a paisagem urbana em categorias tendo em atenção parâmetros como a rugosidade, a altura dos edifícios e/ou das árvores, bem como a proporção de solo impermeável (estradas, edifícios, entre outros) (de Souza *et al.*, 2019).

A Tabela 3 especifica esquematicamente cada categoria das Zonas Climáticas Locais. A categoria 1 é descrita como tendo tecido urbano denso com edifícios altos; a categoria 2 com alta densidade de edifícios com dois a cinco pisos; a categoria 3 com média densidade com moradias, lojas, apartamentos; a categoria 4 baixa densidade com edifícios amplos e com amplas zonas de estacionamento; a categoria 5 baixa densidade com bairros residenciais suburbanos (um a dois pisos); a categoria 6 com edifícios amplos em espaços abertos e a categoria 7 com casas dispersas em espaços semi-rurais e uso agrícola (Gonçalves *et al.*, 2014).

Tabela 3: Zonas Climáticas Locais (ZCL). Adaptado de: Oke, 2006

| ZCL | Ilustração | Classe de Rugosidade |
|-----|------------|----------------------|
| 1 | | 8 |
| 2 | | 7 |
| 3 | | 7 |
| 4 | | 5 |
| 5 | | 6 |
| 6 | | 5 |
| 7 | | 4 |

2.1.3 Microescalas

Certos locais sofrem mudanças que resultam do processo de urbanização a um ritmo bastante elevado, sendo necessário que se desenvolva uma metodologia que permita compreender a influência do pavimento, da rugosidade, dos espaços verdes, habitações, árvores, entre outros (Barbirato *et al.*, 2007; Golden *et al.*, 2006; Ribeiro, 1993), para isso é utilizada a microescala, pois esta relaciona-se com elementos individuais e verticalmente com a camada intra-urbana.

Tanto a transformação da paisagem como as atividades associadas às áreas urbanas têm modificado o clima urbano da cidade e especialmente o clima na envolvente dos edifícios (Oke, 1987). É nesta camada que o clima é dominado por processos e trocas de microescala, com implicações para o conforto humano e para o ambiente da cidade (Ren *et al.*, 2011).

Há uma necessidade de se estudar e conhecer melhor os elementos que interferem na modificação do microclima, já que diferentes utilizações do solo, podem determinar que na camada mais próxima do solo se registem maiores temperaturas, determinado diferenças entre a cidade e o campo (Heringer *et al.*, 2014). O microclima é comumente definido como o clima que se encontra ao nível da microescala (Erell *et al.*, 2019).

2.1.4 Contexto climático

Em 1900, o climatologista de nacionalidade russa, Wladimir Peter Koppen, com a colaboração de Rudolf Geiger desenvolveram a classificação de Koppen-Geiger, sendo que a mesma se baseia na Fitossociologia e na Ecologia, bem como em fatores relativos às estações do ano como temperatura média mensal do ar e a precipitação total mensal, (Ingram *et al.*, 1994). Koppen-Geiger classificou os hemisférios em cinco grandes zonas climáticas tendo em conta o critério da temperatura (Gouveia, 2017):

- A-Clima tropical-corresponde às zonas mais quentes;
- B-Clima seco;
- C-Clima temperado;
- D-Clima temperado frio;
- E-Clima polar-corresponde às zonas mais frias.

Desta classificação constam mais duas letras, em que a primeira se refere ao regime pluviométrico da zona em questão e a segunda classifica a particularidades da zona em estudo (Gouveia, 2017).

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera e tendo em conta a classificação de Koppen-Geiger, o clima de Portugal Continental pode ser dividido em duas regiões de clima temperado: uma delas corresponde a um inverno chuvoso e verão quente e seco (Csa); enquanto a outra corresponde a uma região de clima temperado com inverno chuvoso, verão mais seco e menos quente (Csb). A extensão territorial destas regiões climáticas pode ser observada na Figura 4. A cidade de Bragança tendo como referência esta classificação é classificada como Csb.

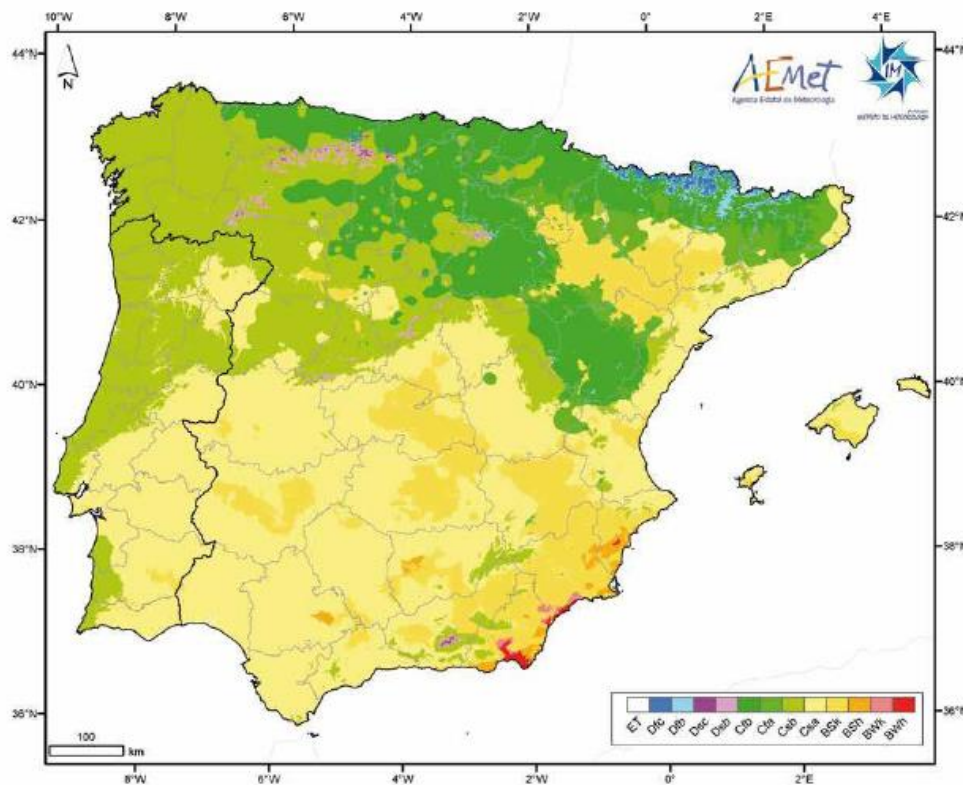


Figura 4: Classificação de Koppen-Geiger para a Península Ibérica. Fonte: Barceló *et al.*, 2009

Adicionalmente, importa referir que Bragança apresenta um regime térmico marcado pela forte amplitude térmica anual, sendo que também se verifica uma grande diferença entre a média das máximas e a média das mínimas mensais. O frio de inverno, tendo em conta a sua intensidade e a duração, e também o calor, que se faz sentir no verão são considerados cara características marcantes do clima local (Gonçalves *et al.*, 2014).

Relativamente à precipitação, Bragança, apresenta uma elevada concentração da precipitação no inverno. Nos meses com maiores temperaturas a precipitação é reduzida.

Quanto ao vento, verifica-se uma predominância dos ventos de oeste e noroeste, com exceção dos meses de novembro a fevereiro, sendo que nestes meses há uma predominância dos ventos de sul. A maior velocidade do vento regista-se nos meses de fevereiro a maio (Gonçalves *et al.*, 2014).

2.1.5 Conforto térmico

O clima urbano pode afetar diretamente a saúde e o bem-estar humano, sendo que é possível distinguir entre os diferentes fatores que intervêm na condição de conforto ambiental, incluindo a radiação (nas suas diferentes componentes), os odores, a qualidade do ar, o ruído e as condições do complexo térmico, que determinam o conforto térmico (Figura 5) (Andrade, 2012).

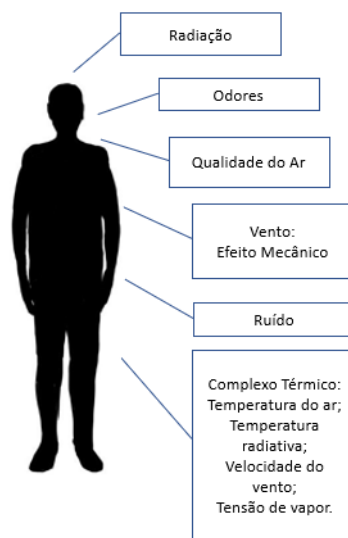


Figura 5: Principais fatores atmosféricos que afetam as pessoas. Adaptado de: Andrade, 2012

Neste âmbito não se deve confundir neutralidade térmica com conforto térmico, embora se correlacionem, a neutralidade térmica acontece quando os valores de calor perdido pelo organismo e o calor recebido do ambiente externo têm a mesma proporção, originando um saldo nulo na equação do calor (Lamberts *et al.*, 2014). O conforto térmico é um conceito que é variável consoante o ser humano, demonstrando a maneira como o ambiente e o ser humano estão interligados (Manuel *et al.*, 2017). Segundo a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado-ASHRAE

(ASHRAE, 2010), o conforto térmico é definido como um estado mental em que se regista uma satisfação com o ambiente térmico.

Relativamente à definição termofisiológica de conforto térmico, esta baseia-se no estímulo dos recetores térmicos na pele e no hipotálamo, em que se regista uma taxa mínima de sinais nervosos provenientes desses recetores (Mayer, 1993). Segundo Höppe (1993), a definição energética relaciona o conforto com os ganhos e perdas de energia, sendo que o conforto térmico é atingido quando os fluxos de calor do corpo humano para o ambiente e do ambiente para o corpo humano estão em equilíbrio.

O nosso corpo, sendo uma “máquina” influenciada pelo conforto térmico, em situações de desconforto irá ativar funções de regulação pelos mecanismos de regulação térmica. De acordo com d’Ambrosio Alfano, F. R. *et al.* (2010, *cit. in* Silva, 2015), deve-se manter o corpo numa temperatura aceitável (35°C a 38°C). Parâmetros individuais como o metabolismo, o trabalho realizado e o isolamento térmico do vestuário, também contribuem para o conforto térmico (Fanger, 1973). Assim sendo, se se tiver uma temperatura de ar baixa, as perdas térmicas serão maiores e por consequência irá sentir-se frio, por oposição, quando se tem uma temperatura do ar demasiada elevada, os ganhos são superiores e irá sentir-se calor (Gonçalves, 2017).

O estudo do conforto térmico abrange diversas áreas de ciência, como a arquitetura, a climatologia, a medicina e a engenharia (Loureiro, 2019) e recentemente têm ocorrido um grande número de estudos sobre este tópico, devido às problemáticas que este assunto levanta (Deng *et al.*, 2020).

Para se promover a utilização de espaços públicos é necessário ter em conta o conforto térmico, sendo essencial otimizar as condições térmicas dos espaços públicos, pelo adequado planeamento urbano e conceção paisagística (Cheung *et al.*, 2019). Segundo Duarte (2000), é importante ter em conta o revestimento do solo, pois certos materiais usados dificultam a permeabilidade, prejudicando a drenagem e provocando alterações na humidade e temperatura. De acordo com Frota *et al.* (2001), também a topografia afeta a temperatura do ar, devido aos ventos que atuam nas diferentes posições das curvas de nível, ou seja, um local que apresente um relevo mais acidentados em que o mesmo funcione como barreira, pode alterar a temperatura do ar pelas diferenças no efeito de convecção do ar.

Foram desenvolvidos vários índices para avaliar o conforto térmico, sendo os primeiros bastantes simples e relativamente limitados (Baltazar, 2014).

Esses mesmos índices foram desenvolvidos tendo por base diferentes aspetos do conforto podendo ser: índices biofísicos; fisiológicos e subjetivos (Frota *et al.*, 2001).

Os índices biofísicos são baseados nas trocas de calor que se verificam entre o corpo e o ambiente envolvente. Já os índices fisiológicos baseiam-se na interpretação das relações fisiológicas às condições de temperatura do ar, temperatura média radiante, humidade do ar e velocidade do ar. Por fim, os índices subjetivos têm como base as sensações subjetivas de conforto que são experimentadas em situações em que os elementos de conforto térmico são variáveis (Frota *et al.*, 2001).

Alguns destes índices apresentam algumas limitações no que se refere à validade dos intervalos para utilização universal, já que os intervalos podem ser distintos tendo em atenção as diferentes perceções do ambiente térmico, sendo necessário proceder a calibrações do índice (Matzarakis *et al.*, 1999).

Um dos índices que pode ser utilizado é o PMV (*Predicted Mean Vote*-voto médio previsível), que foi criado por Fanger, baseando-se em análises estatísticas dos resultados que obteve em vários ensaios. Este índice representa uma previsão de voto médio de sensação térmica, com base num grupo de indivíduos de idade adulta num ambiente térmico avaliado. Dependendo das condições registadas obtém-se uma previsão baseada numa escala de sete níveis, como representado na Tabela 4, expressando assim sensação térmica expetável (Coelho, 2014).

Tabela 4: Classificação PMV. Adaptado de: ISO 10551, 1995

| | |
|----|------------------|
| +3 | Muito Quente |
| +2 | Quente |
| +1 | Levemente Quente |
| 0 | Neutro |
| -1 | Levemente Frio |
| -2 | Frio |
| -3 | Muito Frio |

Importa referir que o PMV foi criado na Alemanha e a não adaptação a Portugal, pode resultar em desvios dos resultados.

O conforto térmico deve ser monitorizado de maneira a que se possa estudar e avaliar, para posteriormente se poder atuar. Nessa monitorização deve atender-se às condições térmicas, mas também aos parâmetros dos indivíduos.

A resistência térmica depende muito do tipo de roupa e dos tipos de tecido utilizados pelos indivíduos. Neste parâmetro, a unidade usada é o *clo*, proveniente da

palavra inglesa *clothes* (cada peça de roupa apresenta um valor de *clo*, sendo o valor total o somatório de todas as peças de roupa). Igualmente relevante, o nível de metabolismo influi na sensação de conforto térmico. Para determinar este parâmetro, são usadas as unidades de W ou W/m² de pele ou de Met.

2.2 Modelação microclimática

Os modelos climáticos urbanos podem ser usados para investigar fatores climáticos em diferentes escalas com o intuito de se observar as consequências do planeamento e arquitetura adotados (Erell *et al.*, 2019).

O microclima urbano resulta de uma complexa interação entre diferentes parâmetros, envolvendo inúmeras variáveis climáticas (temperatura, humidade do ar, radiação solar, entre outros) e processos urbanos (Sharmin *et al.*, 2017). Uma das formas para se poder prever os impactes desta interação passa pela modelação com métodos matemáticos. A modelação e as técnicas de simulação computadorizadas desempenham um papel cada vez mais importante na avaliação do conforto térmico (Sharmin *et al.*, 2017). Este método é fundamental para avaliar estratégias de mitigação, antes da sua implementação (Silva *et al.*, 2018). Apesar de a simulação ser uma técnica bastante adequada para lidar com as complexidades do clima urbano, sendo cada vez mais popular, verifica-se que é indispensável a avaliação do desempenho das simulações com base em dados de campo (X. Yang *et al.*, 2013).

2.2.1 Instrumentos

Para o desenvolvimento e aplicação de modelos de clima urbano é necessário o uso de tecnologia computacional (Silva *et al.*, 2019). Entre os *softwares* mais utilizados está o ENVI-met, que permite elaborar cenários tridimensionais (Figura 6) com o principal objetivo de analisar as interações em pequena escala (entre o desenho urbano e o microclima), combinando o cálculo de parâmetros de dinâmica dos fluídos (ex: turbulência do vento) e processos termodinâmicos que ocorrem no solo, paredes, telhados e vegetação (Erell *et al.*, 2019).



Figura 6: Exemplo de um cenário criado em ENVI-met. Fonte: ENVI-met, s.d.

Também existem outros *softwares* que permitem que se faça modelação de maneira idêntica ao ENVI-met, como por exemplo o RayMan (Figura 7), que permite calcular os fluxos de radiação que afetam as pessoas e também o efeito das nuvens (Matzarakis, 2012). Com este *software*, é possível construir cenários que têm em conta estruturas complexas dos edifícios, sendo que o mesmo pode ser utilizado para vários fins de planeamento, em escalas diferentes, micro e regionais (Matzarakis, 2012). O *output* final do modelo é o cálculo da temperatura média radiante, que é necessária no modelo de balanço energético humano (Matzarakis, 2012).

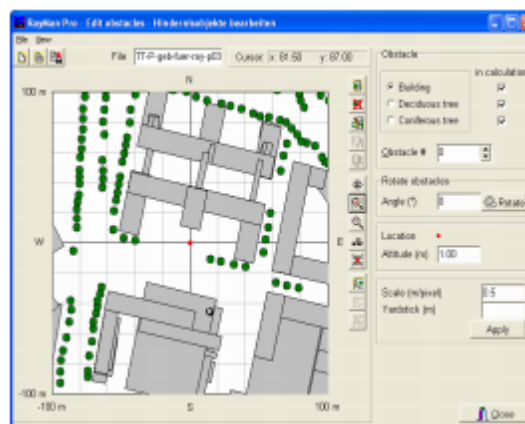


Figura 7: Modelação no *software* RayMan. Fonte: Matzarakis *et al.*, 2006

O SOLWEIG (*Solar LongWave Environmental Irradiance Geometry*) permite que se simule variações espaciais dos fluxos de radiação em 3D e também a temperatura média radiante em contextos urbanos complexas (Lindberg *et al.*, 2008), sendo capaz de modelar variações espaciais de padrões de sombras (Lindberg *et al.*, 2019). A temperatura média radiante é considerada como uma das principais variáveis meteorológicas que determinam o equilíbrio energético humano e também o conforto térmico, o modelo requer a entrada de variáveis como a temperatura do ar, humidade relativa, geometria

urbana, informação geográfica (latitude, longitude e elevação). Para se obter um “*output*” mais preciso, é necessária a inclusão de informação relativa ao fator de visão do céu, a vegetação e a cobertura do solo (Lindberg *et al.*, 2019), a Figura 8 mostra um exemplo do SOLWEIG.

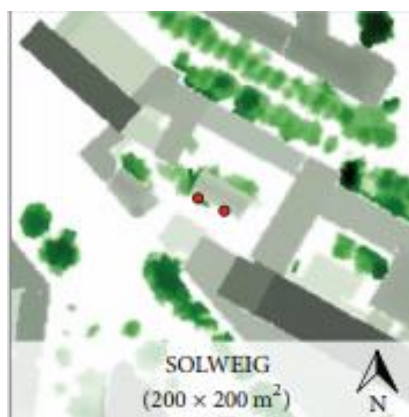


Figura 8: Cenário criado no *software* SOLWEIG. Fonte: Jänicke *et al.*, 2015

A utilização do ENVI-met, RayMan e SOLWEIG para a construção de cenários microclimáticos, tem sido cada vez mais frequente, com especial atenção para o ENVI-met e RayMan, onde ao longos dos últimos anos o número de estudos que utilizam estes *softwares* tem aumentado rapidamente (Jänicke *et al.*, 2015).

Além dos *softwares* referidos anteriormente, alguns laboratórios têm apostado no desenvolvimento de outros *softwares* de modelação como é o caso do Laboratório de Design Sustentável da *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, que criaram uma plataforma, *Urban Modelling Interface (UMI)* com o intuito de avaliar o desempenho ambiental de bairros e cidades, essencialmente no que toca ao uso de energia, bem como o seu potencial de iluminação natural (Sustainable Design Lab, s.d.).

2.2.2 Modelos

Atualmente são muitos os modelos que permitem fazer investigação, mas importa referir que a climatologia utiliza modelos que visam a previsão regional e global, a geração de cenários, a análise de índices, bem como a avaliação de impactes de variáveis meteorológicas, etc (Bento, 2018). Existem vários programas que permitem a simulação, que foram criados com o intuito de guiar pesquisas sobre o estabelecimento de relações entre a arquitetura/forma urbana e o microclima, verificando-se como base do cálculo dos

modelos, o cálculo empírico e também o cálculo numérico e/ou matemático (Ermatita *et al.*, (2011).

De acordo com Echenique (1975, *cit. in* Schmitz, 2014), identificam-se quatro formas dos modelos serem utilizados, descritiva (define um determinado tema, bem como os seus objetivos), preditiva (este processo envolve a visualização, tradução e compreensão dos dados), exploratória (processo que visa o estabelecimento de condições/cenários futuros) e planeamento (processo que visa essencialmente estabelecer recomendações). A maior parte dos trabalhos realizados que envolvem o clima, focam-se essencialmente em abordagens descritivas e preditivas (Schmitz, 2014). Os mesmos podem ser classificados como: modelos empíricos; modelos de balanço de energia e dinâmica de fluídos; modelos analíticos; e modelos computacionais (Brandão, 2009).

Os modelos empíricos foram desenvolvidos nas fases iniciais da climatologia urbana, estes apresentam um carácter fortemente descritivo, mas têm pouca aplicação prática, embora tenham tentado superar essa limitação com a sua elaboração a partir de bases fidedignas de dados empíricos, visando analisar a relação entre variáveis climáticas e as condições térmicas da cidade (Brandão, 2009).

Os modelos analíticos traduzem matematicamente os fenómenos calculando os valores para diversas variáveis climáticas, abordando detalhadamente parâmetros como a radiação, armazenamento de calor e balanço (Brandão, 2009).

Modelos computacionais são aqueles que visam a simulação das condições do clima urbano em ambiente computacional tridimensional (Brandão, 2009), onde se insere o ENVI-met. Verificam-se assim várias abordagens e metodologias que podem ser adotadas, segundo as suas formas de utilização referidas anteriormente, com o principal objetivo de estudar a interação entre a cidade e o clima urbano (Schmitz, 2014).

3. Metodologia

3.1 Apresentação do caso de estudo

Este trabalho tem como caso de estudo um bairro da cidade de Bragança (Figura 9), cidade que se situa no extremo nordeste de Portugal delimitada a norte pela Serra de Montesinho e a oeste pela Serra da Nogueira, apresentando as seguintes coordenadas de referência, latitude-41°48” norte e longitude-6°45” oeste. Preenche uma área de aproximadamente 33 km², com uma população de cerca de 25000 (Instituto Nacional de Estatística, 2012), acrescentando-se uma população flutuante devido à existência de uma instituição de ensino superior, o Instituto Politécnico de Bragança (cerca de 7000, apenas em Bragança).

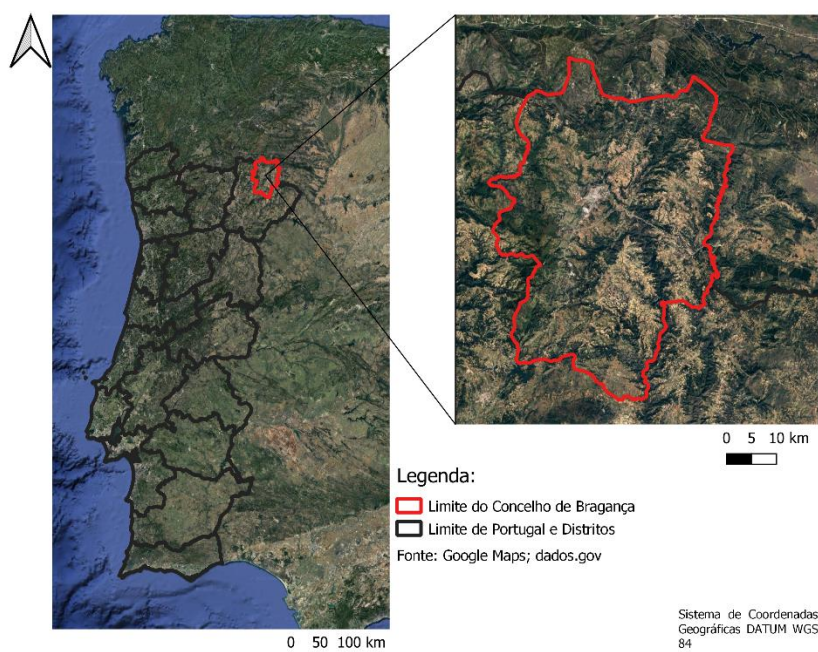


Figura 9: Localização de Bragança.

O presente estudo incide sobre o Bairro Rainha Santa Isabel, perto da Unidade Local de Saúde do Nordeste (ULS NE), Centro Saúde de Bragança I (Sé) e Escola Superior de Saúde de Bragança (ESSa), como se pode verificar na Figura 10.

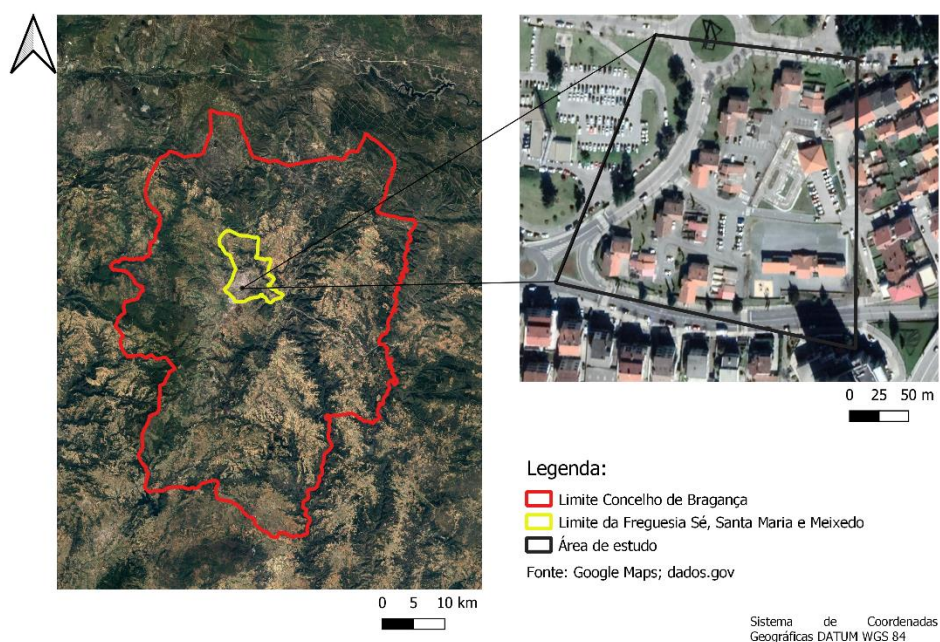


Figura 10: Localização da área de estudo.

Este bairro é constituído por 12 edifícios agrupados em seis pares (como se pode verificar na Figura 11 e Figura 12). Inicialmente, casas camarárias, atualmente algumas foram já adquiridas pelos habitantes. Estes edifícios são plurifamiliares, com quatro apartamentos por edifício.



Figura 11: Local de estudo.



Figura 12: Casa pertencente à área de estudo.

Como complemento aos edifícios habitacionais, este bairro é também dotado de edifícios para arrumos, bem como locais para estacionamento e passeios pavimentados (Figura 13 e Figura 14, respetivamente). Também se pode verificar a existência de alguns espaços com relva, árvores e algumas sebes, como evidencia a Figura 11 e Figura 12.



Figura 13: Zona de arrumos, pertencente ao bairro em estudo.



Figura 14: Um dos parques de estacionamento situado no Bairro Rainha Santa Isabel.

3.2 Modelação ENVI-met

O *software* utilizado neste trabalho é denominado por ENVI-met. Este *software* foi criado por Michael Bruse da Universidade de Mainz (Huttner *et al.*, 2008). Com o ENVI-met é possível construir um cenário tridimensional, onde se pode simular o microclima urbano (Castelo Branco, 2009), tendo por base como as interações superfície-ar. Segundo Bruse *et al.* (1998), este *software* calcula o balanço energético estimando variáveis como a radiação, temperatura, humidade, entre outros.

O ENVI-met é considerado um *software* de modelação de dinâmica de fluídos computacional (*Computational Fluid Dynamics-CFD*) (Ayyad *et al.*, 2019). Nos últimos tempos, o ENVI-met tem aumentado a sua popularidade originando um grande número de publicações onde há representação do ambiente urbano (Singh *et al.*, 2015), sendo

bastante conhecido devido à sua alta resolução temporal e espacial, bem como à sua interface 3D avançada (Sharmin *et al.*, 2017).

O ENVI-met é bastante adequado para investigar o impacto da arquitetura e dos parâmetros do design urbano no microclima urbano e também no nível de conforto térmico exterior (Deng *et al.*, 2020).

Este *software* baseia-se nas leis fundamentais da dinâmica de fluídos e também da termodinâmica (Tsoka *et al.*, 2018). Pode ser aplicado em áreas como a climatologia urbana, arquitetura, design de edifícios e planeamento urbano, sendo considerada como uma ferramenta que oferece uma grande potencial para o planeamento urbano (Yousef, 2010). A modelação do microclima torna-se essencial já que a mesma permite observar e analisar as consequências que diferentes cenários de planeamento apresentam e também nos abre a possibilidade de estudar o impacto do aumento ou diminuição da construção de edifícios, bem como da vegetação (Yousef, 2010).

3.2.1 Construção do cenário

O *software* utilizado neste trabalho é o ENVI-met na versão 4.4.4. Este mesmo *software* inclui bases de dados para o tipo de pavimento, materiais de construção e vegetação. Para este trabalho transformou-se a área de estudo num cenário de simulação com as dimensões de 200 x 200 x 30 células, com resolução de 1 m x 1 m x 1 m (Figura 15), para isso foi utilizada uma imagem com escala base de 1:3000, com resolução de 200 x 200 pixéis.

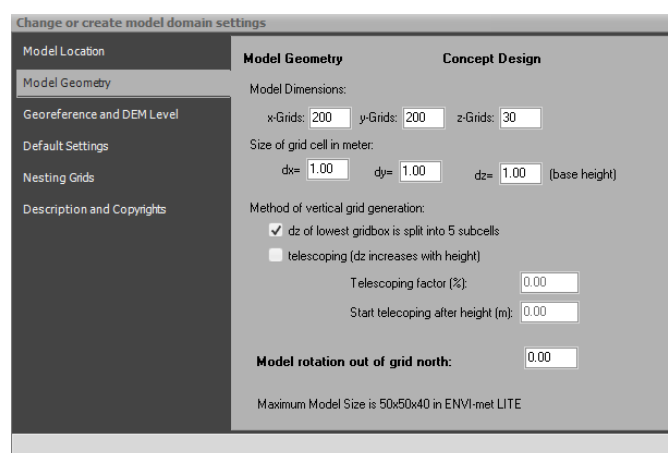


Figura 15: Definições utilizadas para a criação do cenário.

Inicialmente foi necessário proceder a medições no local, da altura e da distância entre fachadas dos edifícios, utilizando o medidor digital Ld500 Stabila (Figura 16 e

Figura 17), para assim se poder desenhar o cenário no ENVI-met. Entre os elementos caracterizados encontram-se: a vegetação, as superfícies e os edifícios.



Figura 16: Resultado de uma das medições (esquerda), medidor digital *Stabila* no tripé (direita).



Figura 17: Medição sem utilização de tripé.

3.2.2 Cenário da área de estudo

No cenário criado para recrear as condições locais (Figura 18), verifica-se que grande parte da superfície é composta essencialmente por asfalto, para além de passeios com calçada em cimento, (correspondente a *Concrete Pavement Gray* no ENVI-met) e uma pequena área com solo em terra, local esse que se apresenta com pouca ou nenhuma vegetação. A área de estudo apresenta ainda espaços com relva, nem sempre bem tratada, que no cenário foi definida como *Grass 25 cm Dense*. Foram ainda incluídas vedações em sebe (*Hedge Dense*).

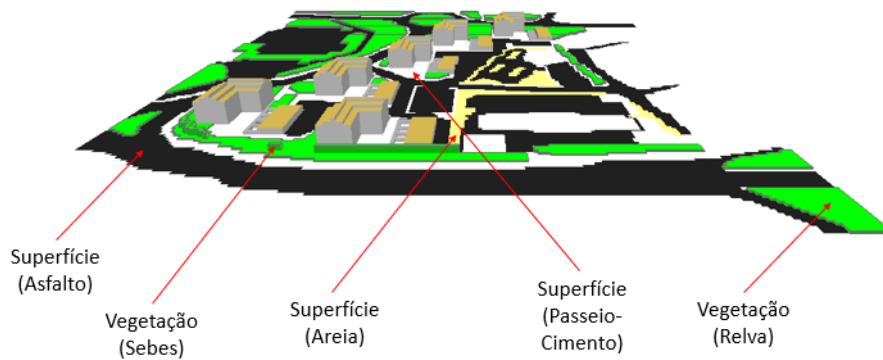


Figura 18: Representação esquemática do cenário e componentes de superfície e vegetação.

Na Figura 19 podemos ver alguns dos edifícios residenciais e de arrumos da área de estudo. A distância entre fachadas considerada foi de nove metros, já que nas medições realizadas no local obteve-se um valor aproximado, que foi arredondado para esse valor. Para a altura dos edifícios utilizou-se sete metros e para o ponto mais alto do telhado utilizou-se nove metros de altura. Para os edifícios de arrumos utilizou-se dois metros no ponto mais alto e na parte mais baixa um metro, lateralmente assumiu-se dez metros. Para os materiais de construção utilizou-se para o telhado *tile* e para as fachadas *Default Wall-Moderate Insulation*.

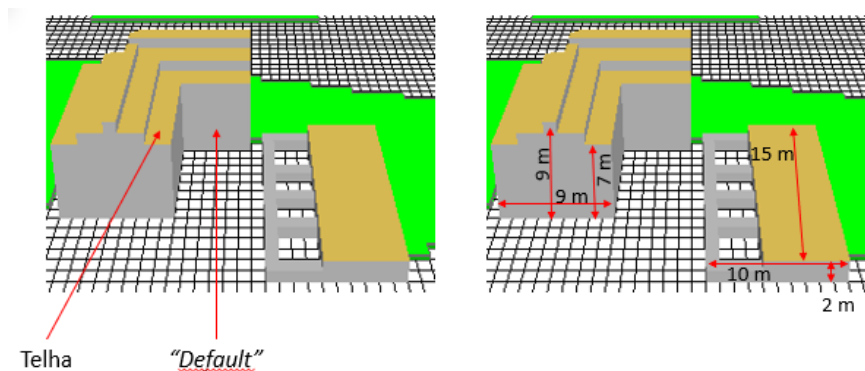


Figura 19: Edifícios, materiais e medidas em pormenor.

Para se poder desenhar o cenário com a vegetação arbórea foi necessário recolher dados da altura e a largura da copa das árvores presentes na área de estudo, bem como as espécies presentes. A altura das árvores foi medida com o auxílio de uma vara telescópica (Figura 20), que se estendia até aos oito metros. Para as árvores com altura superior utilizou-se o medidor digital. Relativamente à largura das copas foi utilizada uma fita

métrica para registo de duas medidas, uma no sentido norte-sul e outra no sentido este-oeste.



Figura 20: Vara telescópica.

Após a recolha de dados na área de estudo foi necessário proceder ao desenho da vegetação no cenário, já que a base de dados do ENVI-met é limitada, e a maior parte da vegetação que se encontra no local de estudo não está disponível no *software*. A Figura 21 mostra uma árvore da espécie *Platanus occidentalis* L. (esquerda) e o desenho da mesma no ENVI-met (direita). Esta espécie não estava presente na base dados, pelo que os parâmetros utilizados para a construção da árvore foram os da espécie *Platanus* × *acerifolia*. Os parâmetros incluem o tipo de folha, o albedo, a transmitância, o diâmetro e a profundidade das raízes.



Figura 21: *Platanus occidentalis* L. (Bairro Rainha Santa Isabel).

Na Figura 22 está representada uma árvore da espécie *Tilia cordata*, bem como a sua representação no *software*. Esta espécie é uma das que se podem encontrar na base de dados do ENVI-met.

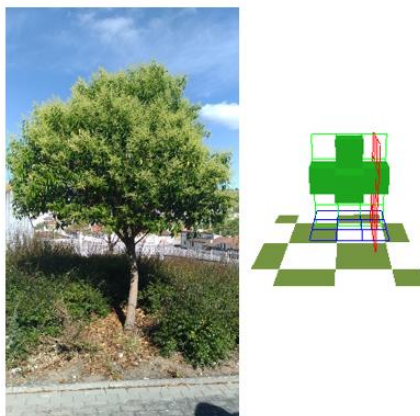


Figura 22: *Tilia cordata* (Bairro Rainha Santa Isabel).

Na Figura 23 está representada a espécie *Prunus cerasifera*, comumente designada de “ameixeira de jardim”, uma espécie que se caracteriza por apresentar folhas avermelhadas. Esta espécie não se encontrava na base de dados, pelo que os dados foram adaptados do género *Tilia*. Entre as diferenças mais evidentes está a cor das folhas.



Figura 23: *Prunus cerasifera*

A Figura 24 apresenta a espécie que é predominante na área de estudo, plantada ao longo do passeio da Rua Dom Afonso, na área de estudo, denominada por *Celtis australis*, apresentando uma variedade de alturas, desde os três metros até aos oito metros. Também esta espécie não está presente na base de dados, pelo que se teve de proceder ao seu desenho no *software*, importa salientar que os valores dos parâmetros base utilizados são referentes ao género *Tilia*.

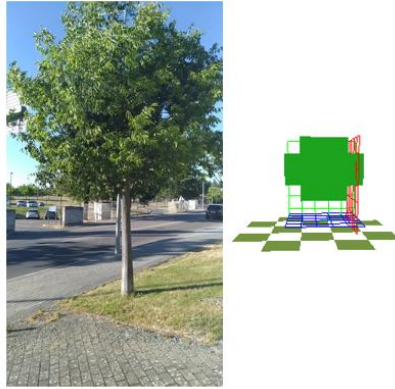


Figura 24: *Celtis australis* (Rua Dom Afonso).

A Figura 25 e Figura 26 são referentes ao *Cupressus sempervirens L.*, outra espécie presente na área de estudo, com alturas variáveis entre os cinco metros e os dez metros e com formatos diferentes como se pode verificar comparando as figuras. Esta espécie também não se encontra disponível na base de dados, pelo que os parâmetros utilizados são referentes ao género *Cypress*.



Figura 25: *Cupressus sempervirens L.* (Rua Dom Afonso).



Figura 26: *Cupressus sempervirens L.* (Formato alongado)-(Bairro Rainha Santa Isabel).

Dentro do recinto do Hospital também existe vegetação arbórea e que devido ao seu elevado porte interfere com o clima da área de estudo. Na Figura 27 está representado um *Cupressus lusitânica*. Uma vez mais, como esta espécie não consta na base de dados, utilizou-se como referência o género *Cypress*, sendo alterados os seus parâmetros.



Figura 27: *Cupressus lusitânica* (Recinto Hospitalar).

A Figura 28 apresenta duas espécies distintas, uma delas autóctone denominada por *Quercus pyrenaica*, sendo que a outra espécie é a *Pseudotsuga menziesii*. No caso da *Quercus pyrenaica* utilizou-se como referência a *Quercus robur*, para a espécie *Pseudotsuga menziesii*, utilizou-se como género referência o *Cypress*.

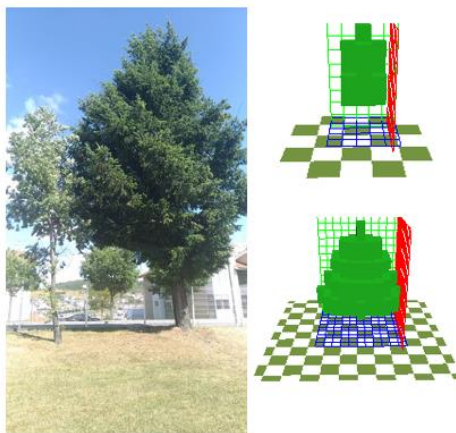


Figura 28: Esquerda-*Quercus pyrenaica*; direita-*Pseudotsuga menziesii* (Recinto Hospitalar).

Outra das espécies que se encontrava no recinto do Hospital era a *Catalpa bignonioides* (Figura 29). Como espécie referência para a representação desta árvore foi

utilizada a *Quercus robur*, já que também esta espécie não se encontra na base de dados do ENVI-met.

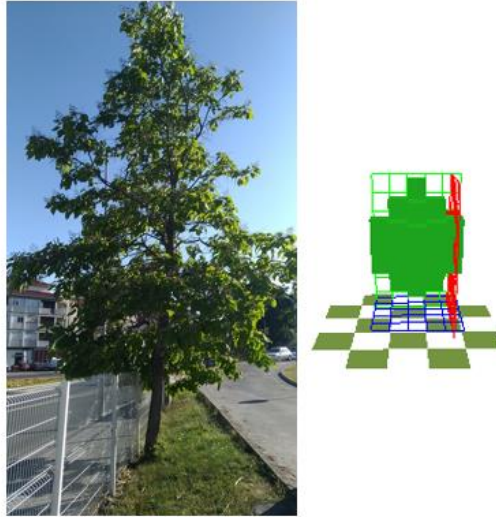


Figura 29: *Catalpa bignonioides* (Recinto Hopsitalar).

Na Figura 30 e Figura 31 é possível observar o cenário inicial concluído, após a introdução da vegetação arbórea. Estes elementos são particularmente importantes para a simulação, principalmente nos períodos de tempo quente, onde os mesmos podem afetar a temperatura na área de estudo.

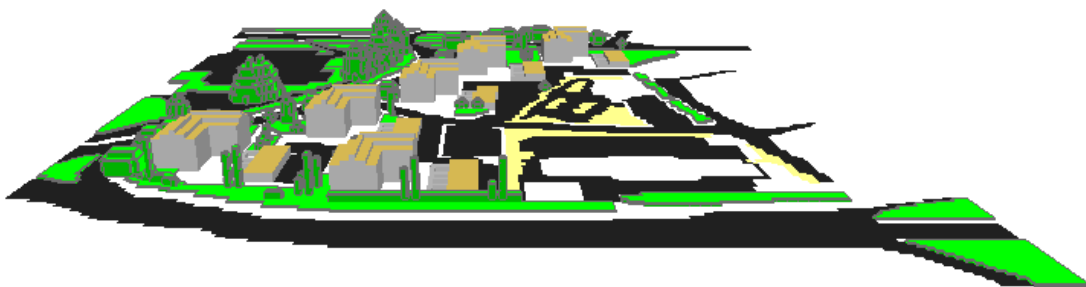


Figura 30: Cenário inicial concluído após a adição da vegetação arbórea.



Figura 31: Vista lateral do cenário.

3.3 Recolha de dados para validação do cenário

A recolha de dados micrometeorológicos para o tempo quente foi realizada no dia 18 de junho de 2020, ainda durante a primavera. Nesta recolha de dados, para além das medições efetuadas, foram ainda inquiridas pessoas que se deslocavam pela zona de estudo. No âmbito da recolha de dados meteorológicos foram utilizadas estações de monitorização micrometeorológicas, Delta Ohm 32.1 e 32.3, com sensores para a medição da velocidade do ar, temperatura média radiante, temperatura do ar e humidade relativa. No caso da estação Delta Ohm 32.1, para além dos sensores mencionados, esta apresentava também termómetros de bulbo seco e húmido. Os sensores e os dataloggers são apresentados na Figura 32.



Figura 32: Equipamentos utilizados nas medições locais.

Os equipamentos foram programados para fazerem medições de cinco em cinco minutos durante as duas horas: para o nascer do sol (05h00-07h00, horário UTC 04h00-06h00), manhã (11h00-13h00, horário UTC 10h00-12h00). No período da tarde (15h00-17h00, horário UTC 14h00-16h00) e do pôr do sol (20h00-22h00, horário UTC 19h00-21h00), os aparelhos foram reprogramados para fazerem medições de dois em dois minutos. De referir que os equipamentos guardam os dados no horário UTC. Os equipamentos foram colocados a 1,5 m do chão, simulando a altura aproximada do centro de massa do corpo humano.

Na Figura 33 são apresentados os quatro pontos de medição, o ponto 1 ficou situado num local de pavimento de passeio em cimento, junto da relva, sem sombra; o ponto 2 localizava-se num parque estacionamento onde o pavimento é asfalto e onde não havia sombra; o ponto 3 estava situado sobre o passeio, com pavimento em cimento onde não existia vegetação na envolvente, nem sombras e; por fim, o ponto 4 ficou localizado num local com sombra e sobre relva. O principal objetivo subjacente à escolha destes locais passou pela diversidade de condições, atendendo aos pavimentos, vegetação e elementos construtivos.

Os dados registados através da monitorização local foram analisados com o auxílio da ferramenta de análise estatística IBM SPSS. O *software* permitiu diversas análises incluindo a correlação de Pearson, diagramas de bigodes (*boxplots*), bem como a realização de testes ANOVA.

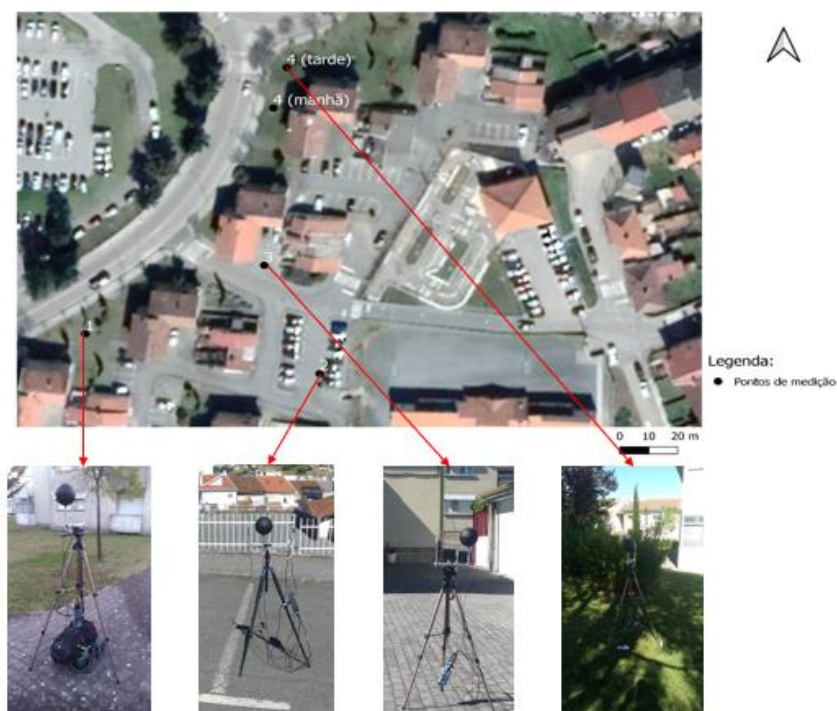


Figura 33: Pontos de medição.

3.3.1 Inquéritos

Para se entender a percepção térmica no local, num determinado momento, foram aplicados questionários nos quatro pontos de medição. O questionário foi aplicado aos transeuntes e iniciava-se com uma apresentação de maneira sucinta do projeto para permitir que o corpo da pessoa se adaptasse ao local. Posteriormente, eram recolhidas informações gerais sobre o inquirido, onde se identificava o local onde se estava a realizar o questionário, incluindo: a hora, a data e o número do inquérito. Posteriormente, recolhiam-se dados relativos ao inquirido, incluindo a idade, altura, peso, género, país de origem, nível de atividade, última refeição e horário da mesma.

No contexto da avaliação da percepção sobre o contexto térmico os inquiridos eram questionados sobre a sua percepção relativa à percepção de: sensação térmica (classificação entre muito quente (+3) e muito frio (-3)); circulação de ar (classificação entre muito vento (+2) e muito calmo (-2)); humidade (classificação entre muito húmido (+2) e muito calmo (-2)); condições ideais de evolução para o conforto térmico (classificação entre muito mais calor (+3) e muito mais frio (-3)); fatores de incomodidade térmica (onde poderiam ser escolhidas várias opções); e percepção de temperatura. Importa referir que as questões foram colocadas relativamente aos locais de medição (onde se situavam as pessoas para responder aos inquéritos), naquele preciso momento. Por fim eram registados dados relativos ao vestuário e nível de atividade.

3.4 Definição dos parâmetros de simulação

Após a recolha de dados é necessário tratá-los para assim se poder realizar as simulações no ENVI-met.

Na Tabela 5 estão descritos os parâmetros utilizados nas simulações, oriundos das medições nos quatro pontos. Importa referir que a temperatura mínima corresponde ao menor valor registado nos quatro pontos, da mesma maneira, para a temperatura máxima, utilizou-se o maior valor registado nos quatro pontos, procedeu-se da mesma maneira para a humidade relativa. Para a velocidade do vento utilizou-se a média dos quatro pontos para as diferentes partes do dia. A direção do vento foi calculada através da média dos dados registados para o mesmo dia e para os mesmos períodos, considerando dados registados na estação meteorológica automática instalada na Escola Superior de Tecnologia e Gestão, já que os sensores utilizados na medição não fornecem esses dados.

Tabela 5: Valores dos parâmetros de entrada para as simulações realizadas no dia das medições (horário UTC).

| | |
|---|--|
| Dia | 18-06-2020 |
| Temperatura Mínima (°C) | 7,40 (05h20) |
| Temperatura Máxima (°C) | 28,50 (14h32) |
| Humidade Relativa Mínima (%) | 18,40 (15h14; 15h16) |
| Humidade Relativa Máxima (%) | 99,70 (04h35) |
| Velocidade do Vento (m/s) | 0,86->04h00-06h00 1,50->10h00-12h00 2,10->14h00-16h00 1,45->19h00-21h00 |
| Direção Média do Vento (ângulo em °) | 82->04h00-06h00 333->10h00-12h00 52->14h00-16h00 56->19h00-21h00 |

Na Figura 34 observa-se o interface inicial do ENVI-met onde se coloca o dia que se pretende simular, bem como o momento em que se pretende simular, incluindo a hora de início e a duração. Importa referir que o *software* assume que os dados de simulação correspondem ao horário de Tempo Universal Coordenado (UTC).

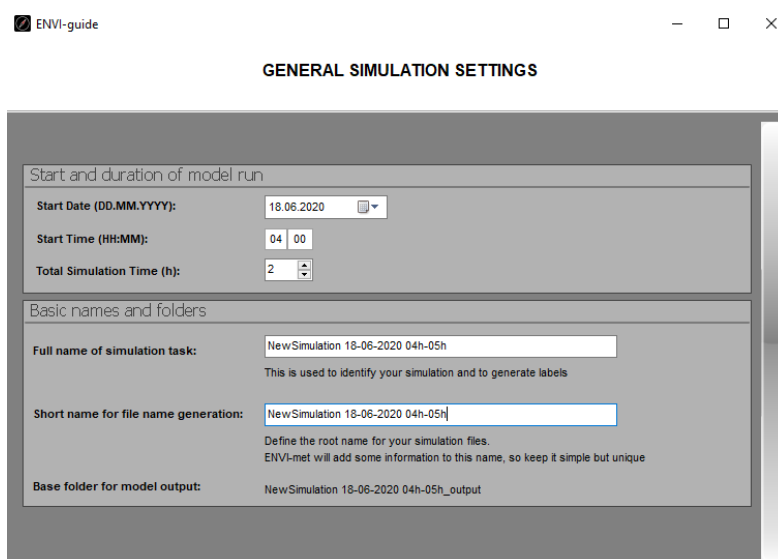


Figura 34: Interface do ENVI-met para a introdução da data, hora inicial e duração.

Posteriormente, procede-se à introdução dos valores para os parâmetros de entrada (Figura 35), como a velocidade do vento, a direção média do vento, a rugosidade, a temperatura (máxima e mínima durante o dia) e a humidade relativa (máxima e mínima durante o dia). Relativamente à rugosidade, esta pode ser definida como sendo a influência que as estruturas urbanas na envolvente podem ter sobre incidência do vento na área de estudo. A vegetação também pode influir na rugosidade urbana, em particular

quando estão presentes árvores de grande porte (Gonçalves *et al.*, 2014), neste caso assumiu-se o valor 1,00 (densidade média-baixa, com edifícios baixos e estacionamento pavimentado).

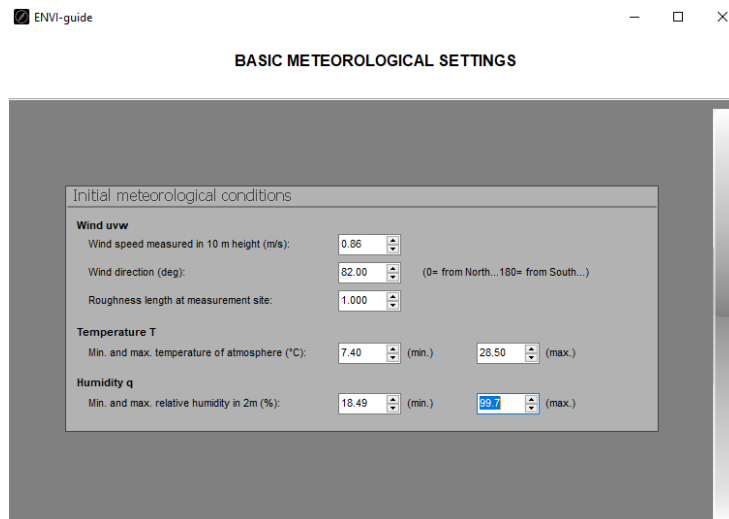


Figura 35: Valores para os parâmetros de entrada para o período do nascer do sol.

No menu de definição dos parâmetros de extremos (Figura 36) procede-se à colocação da hora em que se verificaram o mínimo e o máximo da temperatura e da humidade relativa. Com esta informação o *software* constrói um gráfico (Figura 36), onde vai “forçar” que a simulação atinja aquelas determinadas temperaturas naquele horário de simulação.

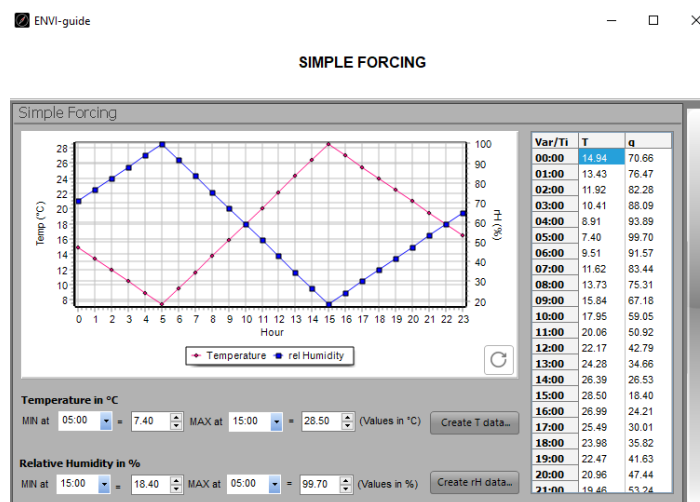


Figura 36: Introdução dos horários onde se verificou a mínima e máxima temperatura e humidade relativa.

3.5 Cenário alternativo

Para melhorar o conforto térmico do local decidiu-se propor um cenário alternativo com vista a comparar com os resultados simulados para o cenário inicial. Assim sendo, a Figura 37, mostra o local onde são incorporadas as árvores no modelo. Neste cenário propõe-se a incorporação de 64 árvores (*Celtis australis*), com alturas variadas (quatro, cinco e seis metros). A espécie escolhida para o cenário alternativo é a predominante na zona, sendo uma árvore de folha caduca, obstruindo a passagem dos raios solares durante o tempo quente e facilitando a passagem dos mesmos no tempo frio.

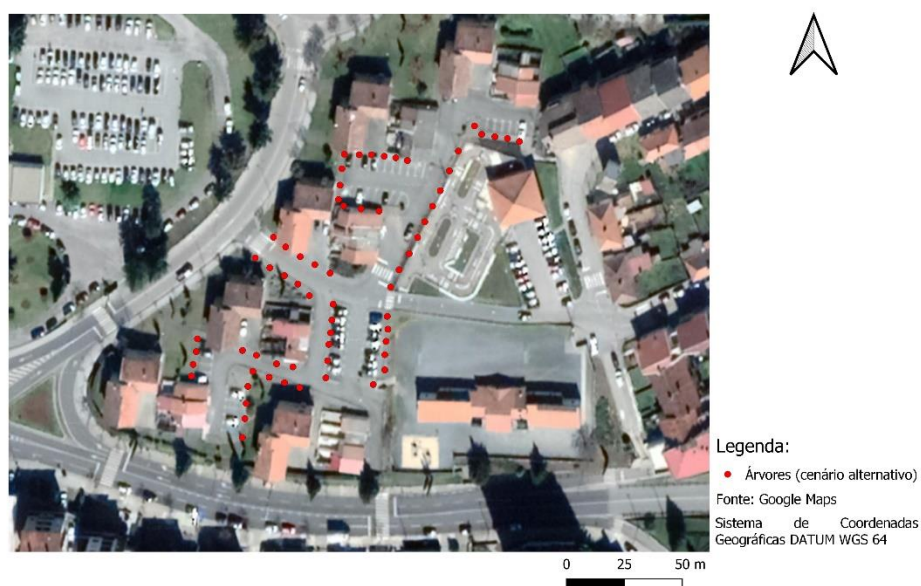


Figura 37: Mapa do local de estudo com a localização das árvores a introduzir.

A Figura 38 mostra os dois cenários considerados: o cenário inicial (real) que representa as condições presentes na área de estudo no momento do estudo e que apresentava zonas desprovidas de vegetação; e o cenário alternativo, para a qual, em locais com pouca ou nenhuma vegetação e onde as superfícies eram compostas por materiais de baixo albedo, se simulou a introdução de árvores.

A vegetação aumenta a humidade relativa em 3% a 15% e pode reduzir as temperaturas em 0,5°C-3,5°C (Luley *et al.*, 2001, *cit. in* Joaquim, 2011). O efeito da sombra, dependendo do tamanho e da densidade, pode bloquear a radiação incidente em até 95% (Akbari *et al.*, 1992, *cit. in* Joaquim, 2011).

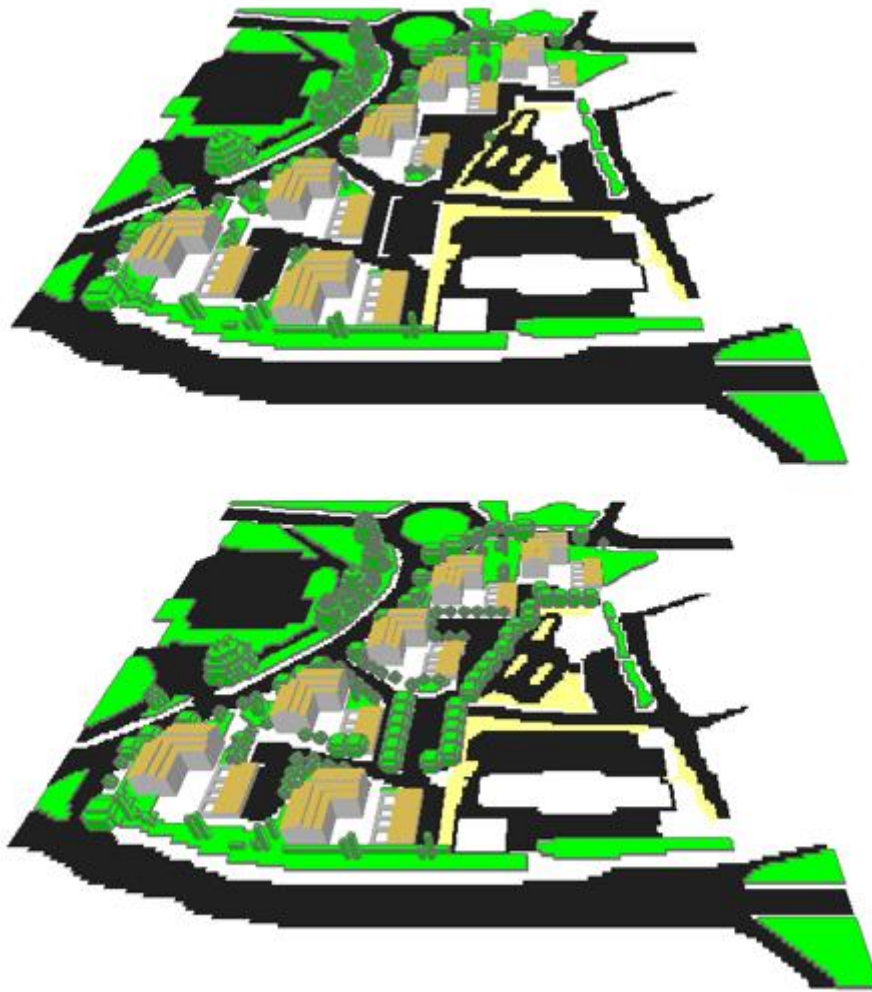


Figura 38: Cenário inicial (em cima) e cenário alternativo (em baixo).

4. Resultados

4.1 Medições no local

Através de análises estatísticas, após confirmada a normalidade, aplicou-se o teste ANOVA, confirmou-se a existência de diferenças nos resultados entre os vários locais de medição e os diferentes períodos ($p < 0,05$), para a temperatura do ar, humidade relativa e temperatura média radiante. Os dados registados por meio de medições no local, nos quatro pontos da zona de estudo (Figura 39), permitem analisar o comportamento das variáveis climáticas durante os quatro períodos do dia. No dia da monitorização o nascer do sol ocorreu por volta das 05h15 e o pôr do sol ocorreu por volta das 20h00.

Começando por analisar o gráfico referente à madrugada, verifica-se que, até às 05h25 os valores dos quatro pontos são próximos. Quando começa a haver incidência de radiação há um aumento da temperatura, sendo esse aumento evidente no ponto 2 (linha roxa) e 3 (linha vermelha), locais estes que se encontravam expostos à radiação solar. A temperatura mais elevada verificou-se no ponto 3 com $13,1^{\circ}\text{C}$ e a menor no ponto 1 com $7,4^{\circ}\text{C}$ (linha azul). No período da manhã, as temperaturas apresentaram algumas oscilações de valores, o que pode ser explicado pela existência de nuvens, que por vezes encobriam o sol. O ponto 1, apesar das oscilações de temperatura, foi o local que apresentou a temperatura mais elevada neste período com $26,2^{\circ}\text{C}$ (por volta das 11h40). No ponto 2, registou-se um aumento da temperatura ao longo do período, sendo um dos locais que apresentou temperaturas mais elevadas. O ponto 4 (linha verde), após incidir a sombra no local, registou uma redução que levou às menores temperaturas (10h25) e a que ocorressem menores variações de temperatura.

Durante o período da tarde também se verificaram momentos em que o sol ficou encoberto. Nesse período, importa salientar que o ponto 3 apresentou as temperaturas mais elevadas, atingindo o valor máximo às 14h32 ($28,5^{\circ}\text{C}$). O ponto 4 apresentou menores valores de temperatura e os valores mais constantes ao longo do período, com o menor valor a ser de $22,8^{\circ}\text{C}$. Para a noite, antes do pôr do sol, o ponto 3 surge destacado como o local que apresentou temperaturas mais elevadas (maior valor de temperatura $22,8^{\circ}\text{C}$), após o pôr do sol, os resultados nos quatro pontos revelaram um decréscimo mais acentuado da temperatura, embora os valores entre os quatro pontos sejam idênticos. Importa salientar que no final deste período de medição, no ponto 1 registavam-se as menores temperaturas (menor valor de temperatura $15,6^{\circ}\text{C}$), facto que seria determinado pela presença vegetação na sua envolvente.

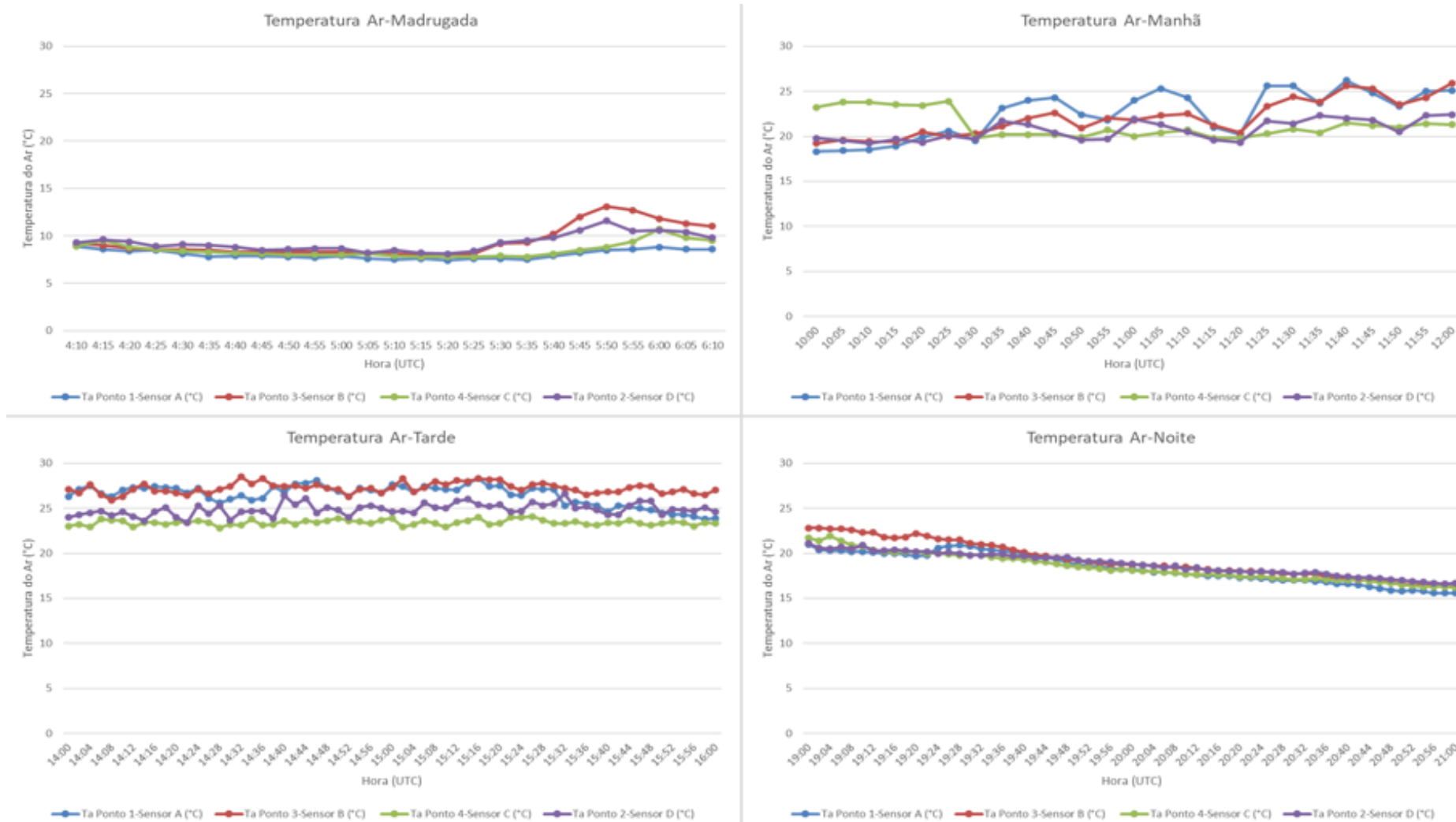


Figura 39: Temperatura do ar nos quatro pontos durante os quatro períodos.

Na Figura 40 estão representados os dados registados para a humidade relativa. Durante a madrugada, no ponto 1, registou-se um valor próximo dos 100%, às 04h20 devido à presença de um sistema de rega em funcionamento. Até ocorrer o nascer do sol, os locais apresentaram valores próximos (entre 80 a 100%). Após o nascer do sol verificou-se um decréscimo dos valores de humidade relativa, mais acentuado no ponto 2, 3 e 4, variações estas que ocorrem devido ao efeito combinado da diminuição da presença de vapor de água com a subida de temperatura.

No período da manhã, os gráficos revelaram, apesar de haver oscilações, uma tendência para o decréscimo da humidade relativa, ao longo deste período de medição. No ponto 1 registou-se o valor mais elevado com 51,8% (10h30) enquanto que ao ponto 2 correspondeu o menor valor com 45,2% (12h00). No ponto 4 após a incidência da sombra, registaram-se ao longo do período os valores de humidade relativa mais elevados.

Durante o período da tarde registaram-se valores entre os 25% e 35%, sendo que neste período destacou-se o ponto 4, com os resultados mais elevados, justificado pelo facto de o mesmo se situar num local com vegetação. Por oposição, o ponto 3, registou os menores valores, sendo o menor de 18,4%, este ponto situava-se num local pavimentado com cimento, sem vegetação ao seu redor. No período da tarde, o ponto 4 é o que apresenta os maiores valores de humidade relativa, sendo que anteriormente se referiu que este local também apresentava temperaturas mais baixas.

No período do pôr do sol registou-se um aumento da humidade relativa, coincidindo com a diminuição da temperatura. Importa salientar que, no início deste período de medição, o ponto 3 registou o menor valor de humidade relativa (32,8%) e no final da medição o ponto 1 registou o maior valor (57,7%).

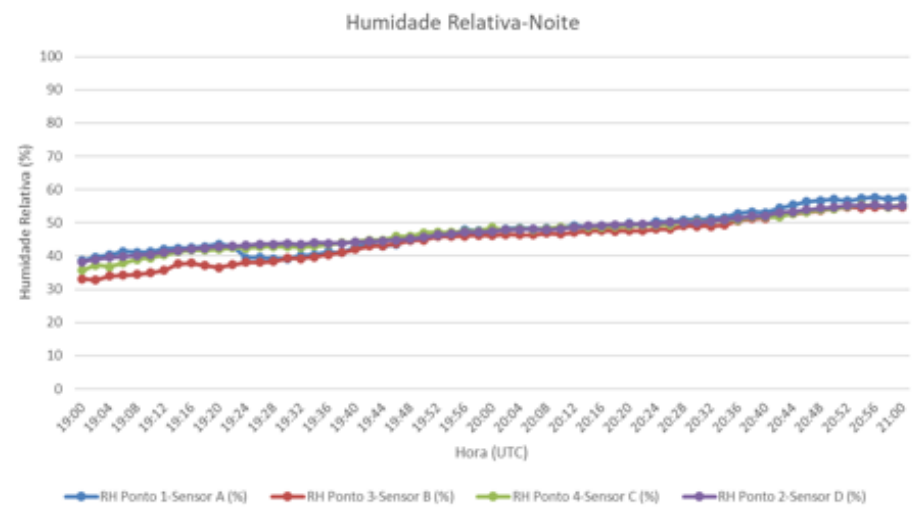
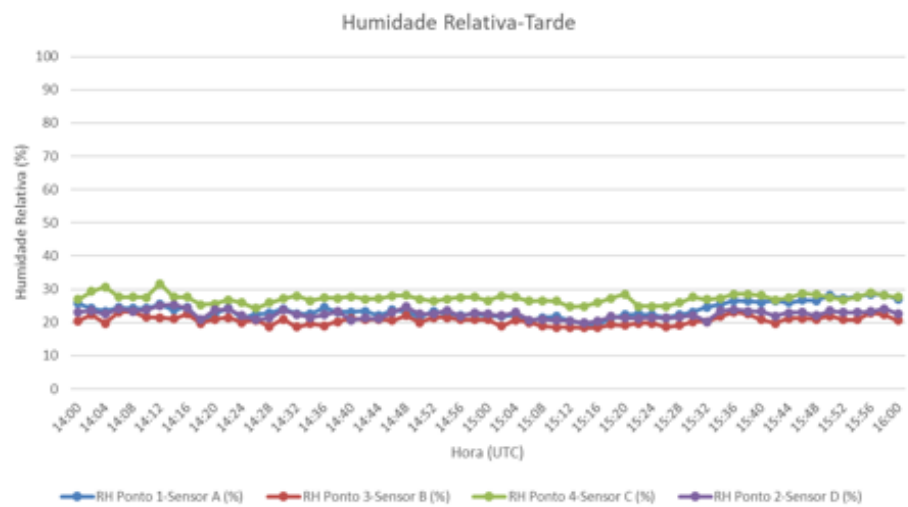
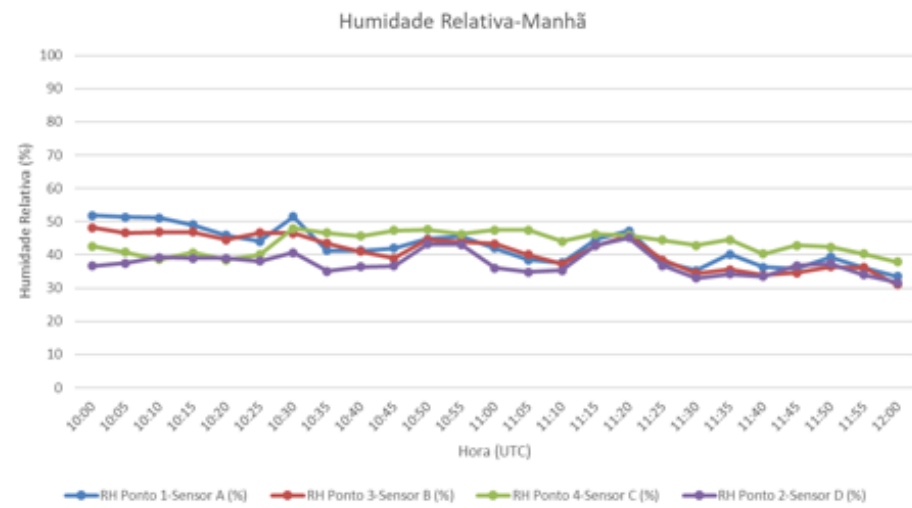
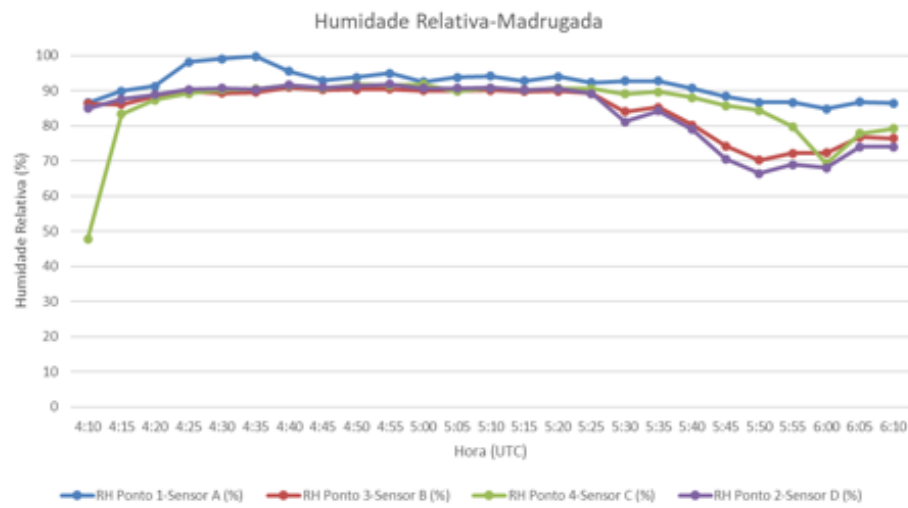


Figura 40: Humidade relativa nos quatro pontos durante os quatro períodos.

O comportamento da velocidade do vento ao longo do dia está descrito na Figura 41. Durante o período do nascer do sol, o ponto 4 destacou-se por ser o local onde ocorreram mais picos, mas foi no ponto 3 onde se obteve o maior valor de velocidade do vento (1,63 m/s).

O ponto 4 apresentou a menor (0,14 m/s) e a maior (3,52 m/s) velocidade de vento durante o período da manhã (valor máximo registado 3,52 m/s < 4-5 m/s “sensação fraca”).

Durante o período da tarde, verificou-se o maior valor registado durante o tempo de medição no ponto 3 (valor máximo registado 4,53 m/s) e o menor no ponto 1 (0,22 m/s).

No período do pôr do sol também é no ponto 3 que se verificou o maior valor de velocidade do vento (3,95 m/s), já a menor foi registada no ponto 2 (0,19 m/s). De salientar que durante este período houve um decréscimo da velocidade do vento em todos os pontos, aquando da aproximação do final da medição.

Ao longo do dia, nos quatro pontos de medição obtiveram-se valores de velocidade do vento entre 0,14 m/s e 4,53 m/s, podendo ser classificado como “sensação fraca” (< 4-5 m/s), em relação à sua perceção.

Os dados registados para a temperatura média radiante podem ser observados na Figura 42. No período do nascer do sol, o maior e o menor valor da temperatura média radiante registaram-se no ponto 2, com 39,2°C e 3,6°C, respetivamente.

No período da manhã, os resultados também apresentaram bastantes oscilações ao longo da medição. No ponto 2 registaram-se os valores mais elevados (máximo registado 86,6°C), muito devido às superfícies que se encontravam ao seu redor, incluindo o asfalto. O ponto 4, após ter começado a incidir a sombra, apresentou os menores valores quando comparado com os restantes pontos de medição (menor valor registado 27,1°C)

Durante o período da tarde, o ponto 2 destacou-se dos restantes valores, atingindo-se o valor máximo às 14h46 (93,7°C). No sentido contrário, no ponto 4 registaram-se os menores valores (menor valor registado 26,8°C), sendo este período marcado pela presença de sombra que incidia neste local sobre uma superfície relvada.

No período do pôr do sol houve um decréscimo dos valores de temperatura média radiante, embora no ponto 3 essa variação se processasse mais bruscamente, já que o mesmo foi o último a deixar de receber radiação.

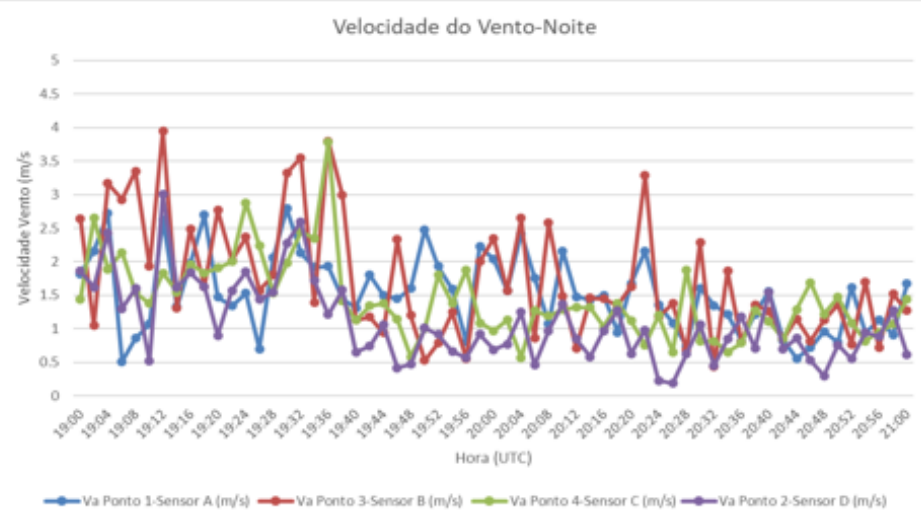
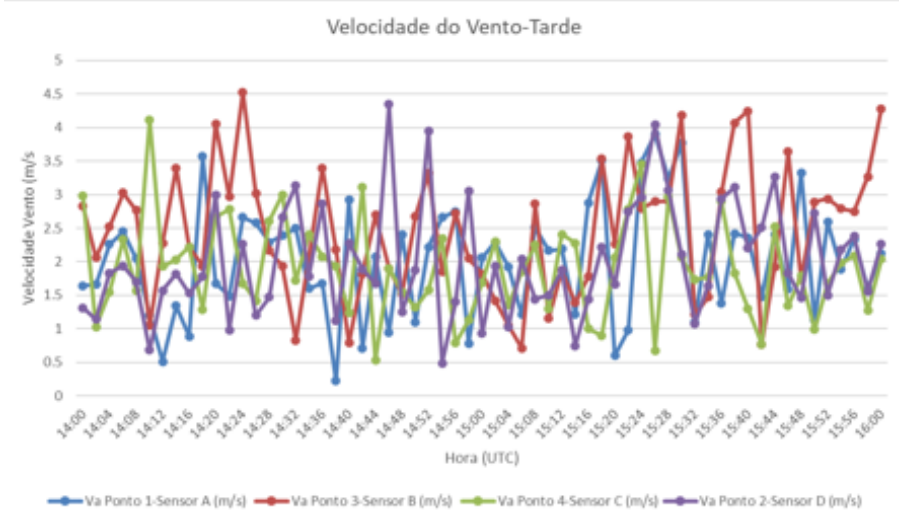
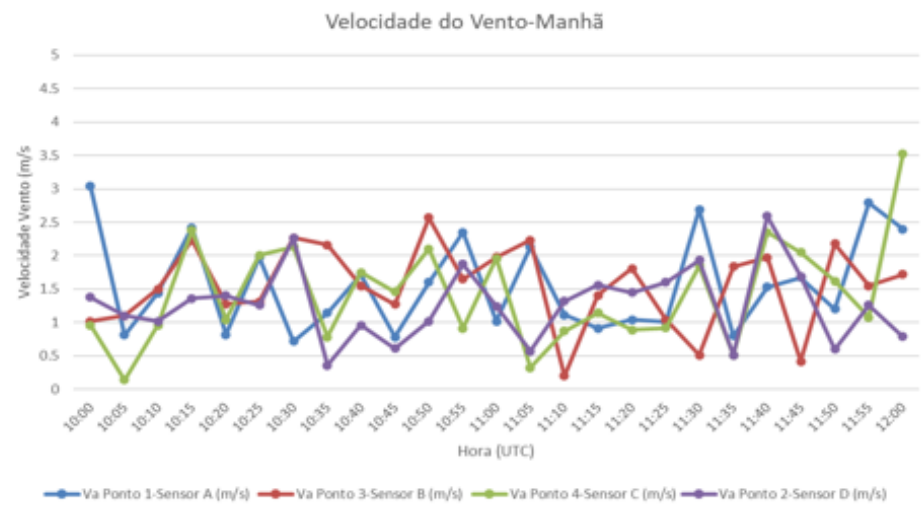
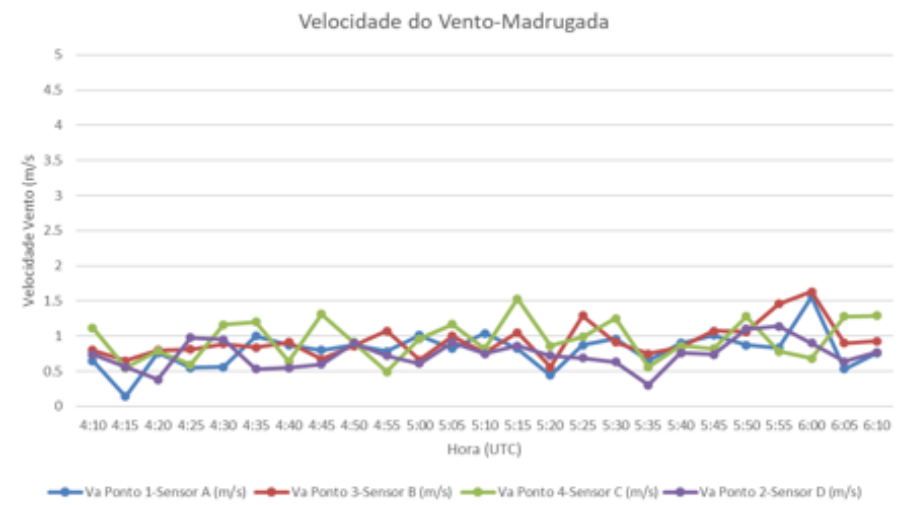


Figura 41: Velocidade do vento nos quatro pontos durante os quatro períodos.

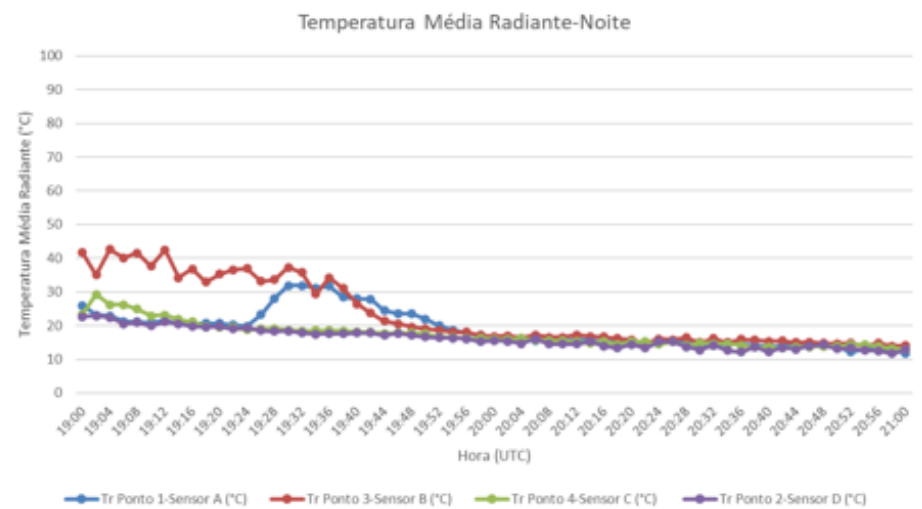
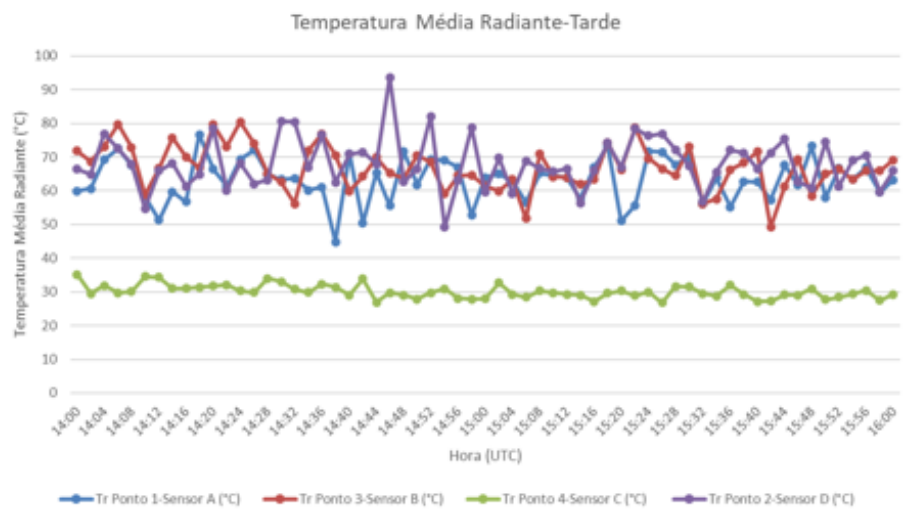
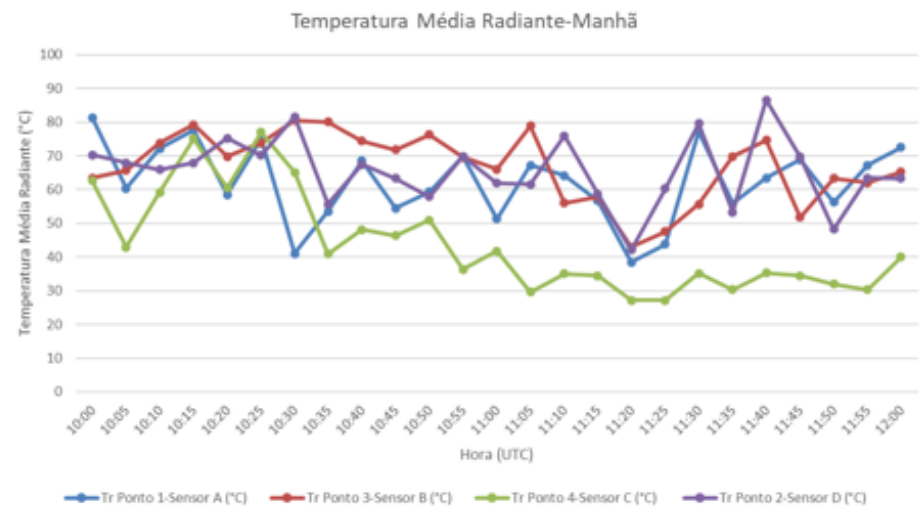
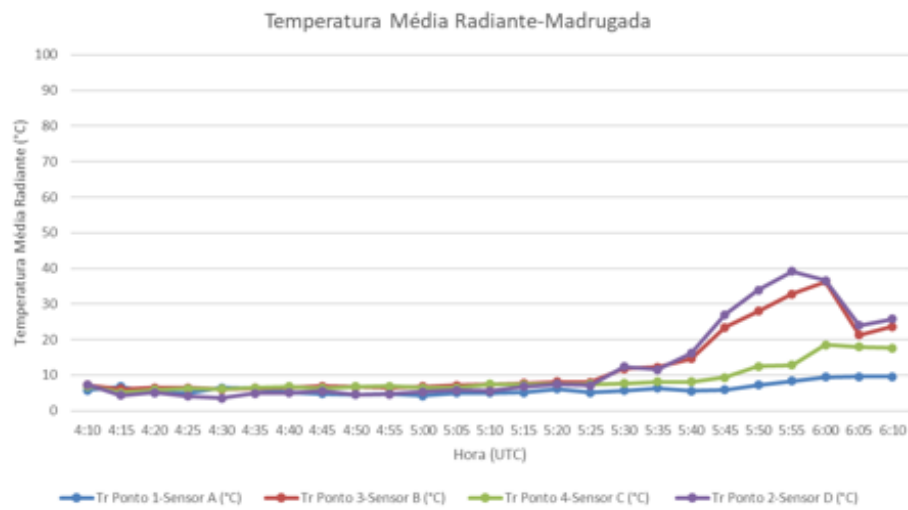


Figura 42: Temperatura média radiante nos quatro pontos durante os quatro períodos.

Para se poder analisar os conjuntos de dados registados e visualizar a dispersão e a simetria dos mesmos, foi utilizada a representação por diagrama de bigodes. Na Figura 43 é apresentada a variação da temperatura do ar nos quatro pontos nos diferentes períodos de medição.

A temperatura do ar é mais baixa no período de nascer do sol e do pôr do sol. Os resultados permitem concluir que é no período da tarde que se verificaram as temperaturas mais elevadas, sendo o ponto 3 o local com uma temperatura mais elevada e o ponto 4 o que apresentou uma menor temperatura.

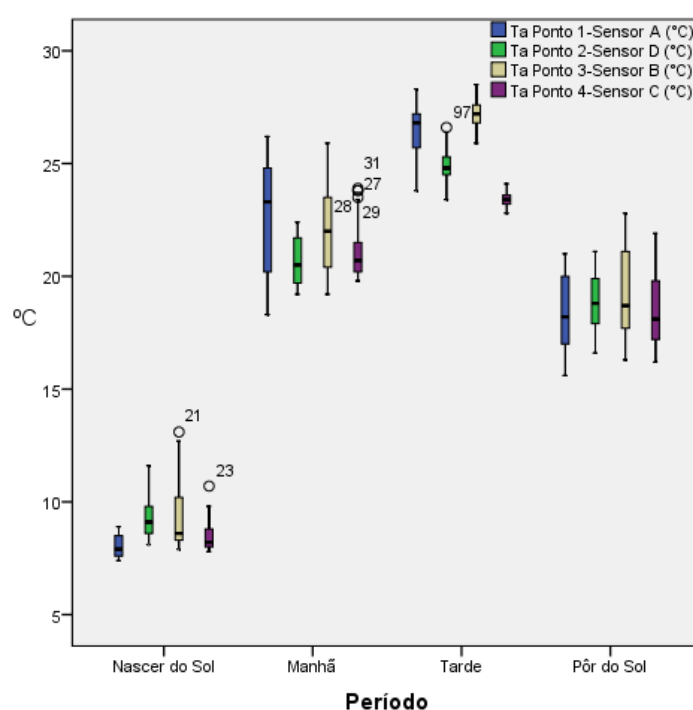


Figura 43: Diagrama de bigodes da temperatura do ar em relação ao período do dia.

Também para a análise da temperatura média radiante se utilizou o diagrama de bigodes (Figura 44).

Os períodos do nascer do sol e do pôr do sol apresentaram os menores valores de temperatura média radiante nos quatro pontos, enquanto que durante a manhã e a tarde, as temperaturas são superiores, nestes períodos destacou-se o ponto 4 com as menores temperaturas.

Durante o período da manhã e da tarde são mais notórias as diferenças entre pontos. Durante a manhã, o ponto 3 apresentou o maior valor de mediana (próximo dos 70°C) e o ponto 4 apresentou o menor (40°C), destacando-se dos demais pontos. Durante

o período da tarde, foi o ponto 2 que apresentou o maior valor de mediana (próximo dos 70°C), continuando o ponto 4 a destacar-se com o menor valor (30°C).

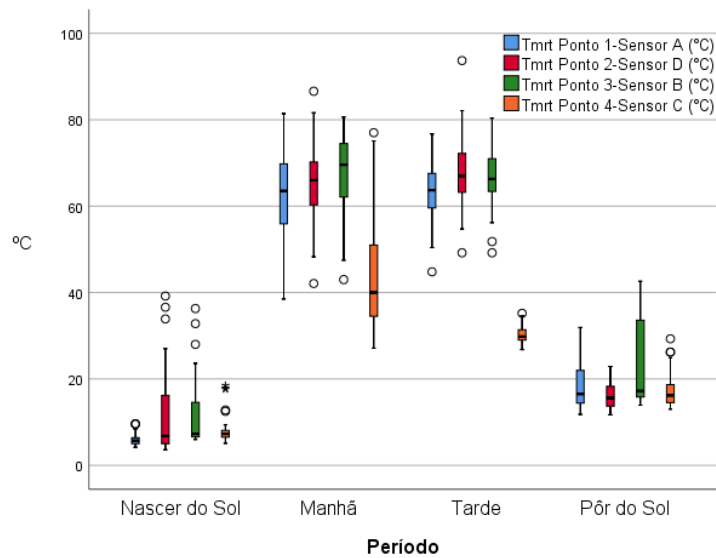


Figura 44: Diagrama de bigodes da temperatura média radiante em relação ao período do dia.

4.2 Análises dos inquéritos

Aquando da realização das medições no local, recorreu-se aos inquéritos para assim recolher informação para a interpretação da perceção térmica da população. A amostra destes inquéritos foi de 51 pessoas, repartidos por três dos quatro períodos de medição, com a recolha de informação para os quatro pontos de medição, no local de estudo.

Durante o nascer do sol não se fizeram inquéritos devido à ausência de pessoas no local. Dentro desta amostra 25 dos inqueridos são do sexo feminino e 26 são do sexo masculino. Relativamente ao país de origem grande parte dos inquiridos é de origem portuguesa, mas também foram questionadas pessoas de Cabo-Verde, Angola, Brasil, Tunísia e Guiné-Bissau, tanto o género como o país de origem são fatores importantes no que toca à perceção térmica (Potchter *et al.*, 2018).

4.2.1 Resultados para o período da manhã (11h-13h)

A Figura 45 apresenta as respostas obtidas para o intervalo horário entre as 11h e as 13h, onde foram recolhidas 31 respostas aos inquéritos, divididas pelos quatro locais onde se realizaram as medições.

As respostas obtidas para a sensação térmica da parte da manhã revelaram que as pessoas inquiridas no ponto 1 classificaram a sensação térmica como “quente”. No ponto 2, 3 e 4 classificaram maioritariamente como “ligeiramente quente”.

Para a circulação do ar as pessoas inquiridas no ponto 1 classificaram-no preferencialmente como “bom”; no ponto 2 como “vento moderado”; no ponto 3 como “vento moderado”/”calmo”, e no ponto 4 como “calmo”.

Quanto aos resultados relativos à humidade os inquiridos na sua maioria classificaram os pontos 1, 2, 4 como “razoavelmente húmido” e o ponto 3 como “seco”. Na pergunta “*Como gostaria de se sentir, neste momento, neste local?*” os inquiridos responderam na sua grande maioria “como está neste momento” no ponto 1, 2 e 3, já no ponto 4 as respostas mais obtidas foram “mais calor” e “como está neste momento”.

Para a sensação térmica no ponto 1 a mediana foi a condição “quente”, já para o ponto 2, 3 e 4 foi “ligeiramente quente”. A mediana da circulação de ar para o ponto 1 foi a condição de “bom”; para o ponto 2 as condições “vento moderado”/”calmo”; para o ponto 3 a condição “bom” e para o ponto 4 foi a condição “calmo”.

No que respeita à humidade relativa, a mediana para o ponto 1 e 2 foi a condição de “seco” e para ponto 2 e 4 foi a condição de “razoavelmente húmido”. Para a questão “*Como gostaria de se sentir, neste momento, neste local?*” a mediana verificada no ponto 1, 2 e 3 foi “como está neste momento”, já para o ponto 4 foi “mais calor”/”como está neste momento”.

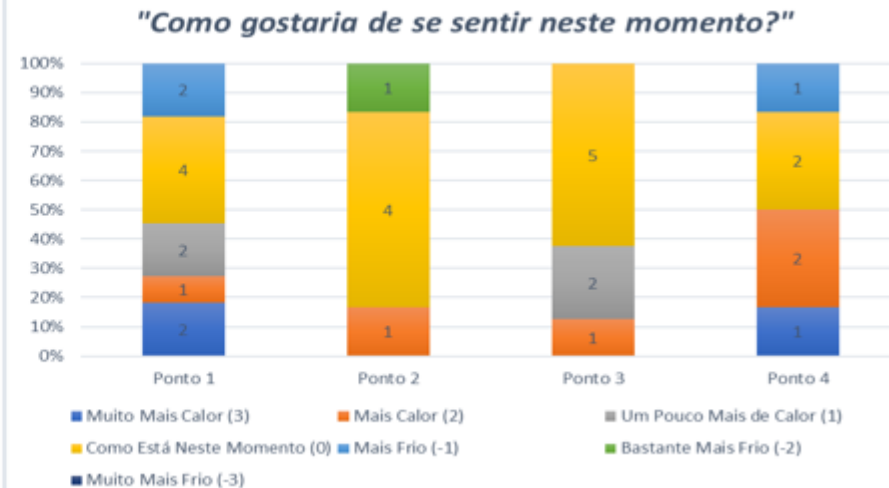
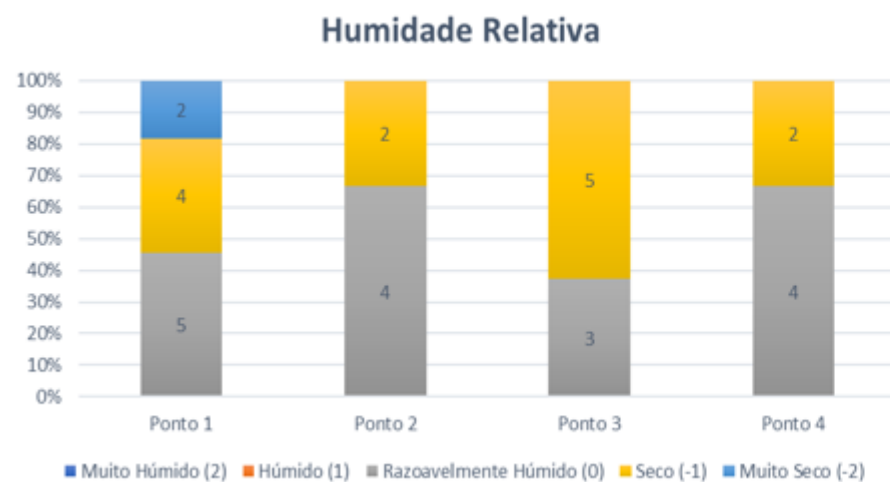
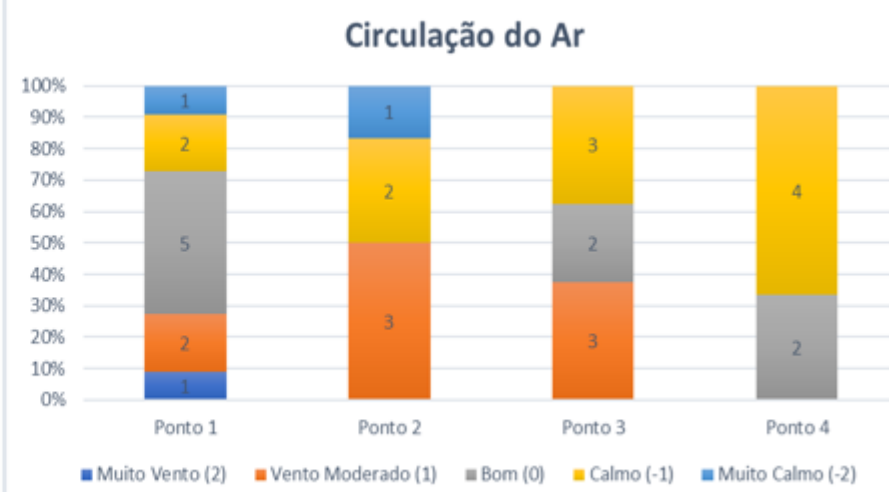
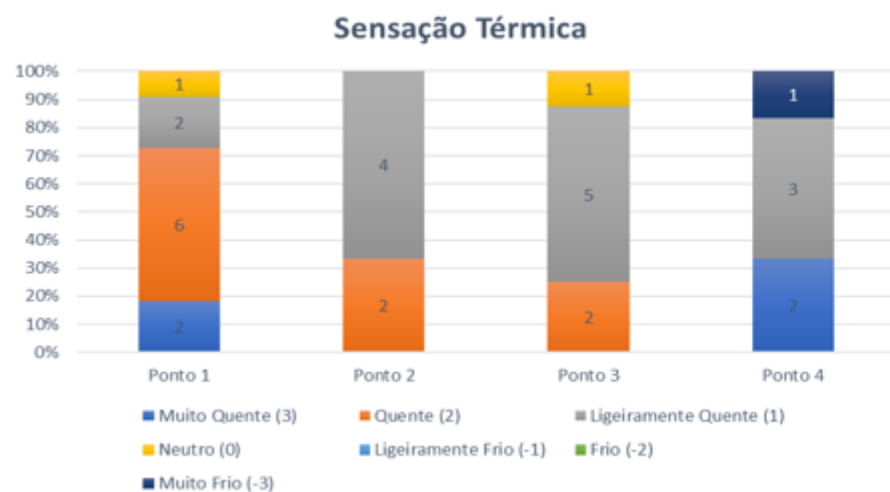


Figura 45: Respostas obtidas nos inquéritos (11h-13h).

Na questão acerca das causas de incomodidade térmica do local (Figura 46), as principais respostas dadas no ponto 1 e 2 foram a “luminosidade”; no ponto 3 a maioria considerou ser incomodado pela “luminosidade” e pela falta de humidade (“muito seco”), sendo esta última também a resposta mais obtida no ponto 4.

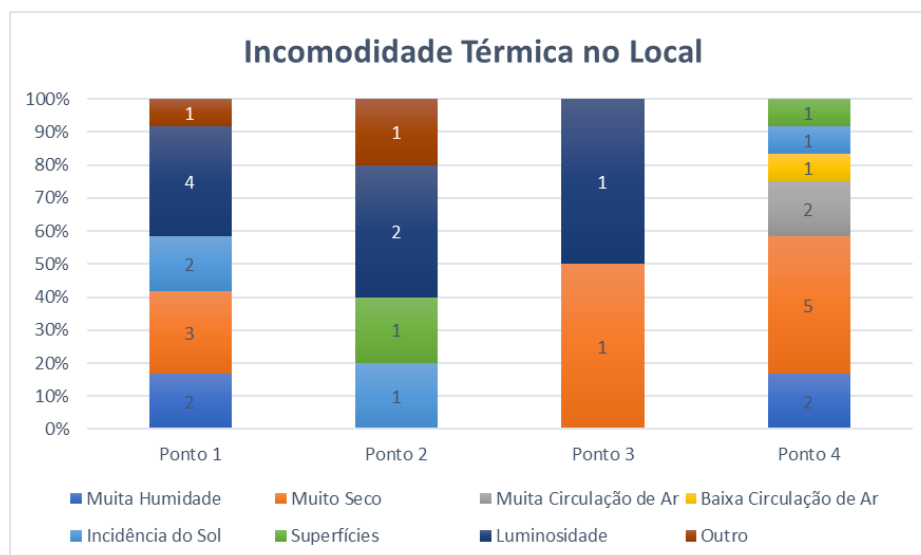


Figura 46: Respostas obtidas para a questão sobre a incomodidade térmica no local no período da manhã.

4.2.2 Resultados para o período da tarde (15h-17h)

A Figura 47 revela as respostas dos inquiridos para o intervalo horário entre 15h e as 17h. Para a sensação térmica verificou-se que respostas são bastante variáveis. Para a circulação do ar no ponto 1 as pessoas classificaram como “calmo”, no ponto 2 e 3 como “vento moderado”. Os dados dos inquéritos acerca da humidade relativa indicaram que o ponto 1 e 2 são classificados como “seco” e o ponto 3 como “húmido”. Quando questionados “*Como gostaria de se sentir, neste momento, neste local?*”, no ponto 1, os inquiridos responderam na sua maioria “como está neste momento”; no ponto 2 “um pouco mais de calor” e no ponto 3 “como está neste momento” e “mais calor”.

O resultado da mediana para a sensação térmica no ponto 1 foi a condição de “quente” e, no ponto 2, as condições de “ligeiramente quente”/”neutro”. Para a circulação de ar, a mediana no ponto 1 foi “calmo” e no ponto 2 foi “vento moderado”. A mediana para a humidade relativa, no ponto 1 e 2, foi “seco”, para a questão “*Como gostaria de se sentir, neste momento, neste local?*”, no ponto 1, a mediana foi “como está neste momento” e no ponto 2 foi “um pouco mais de calor”/”como está neste momento”.

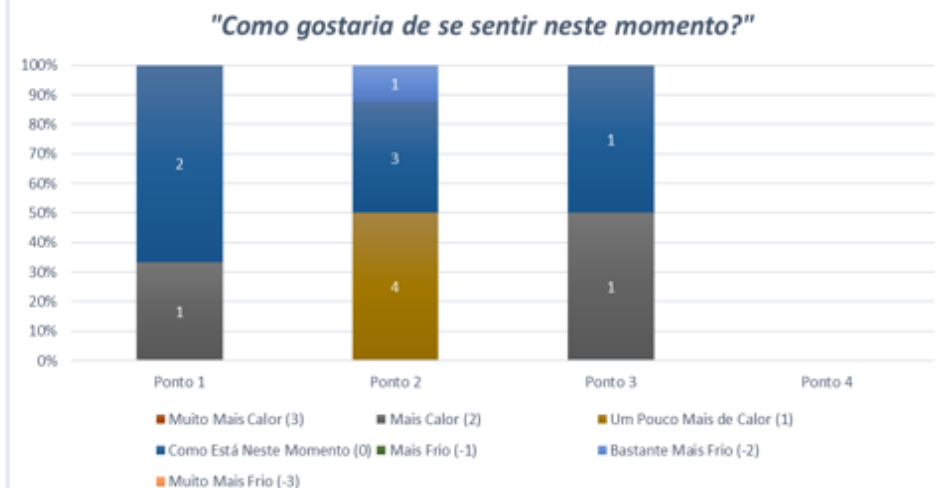
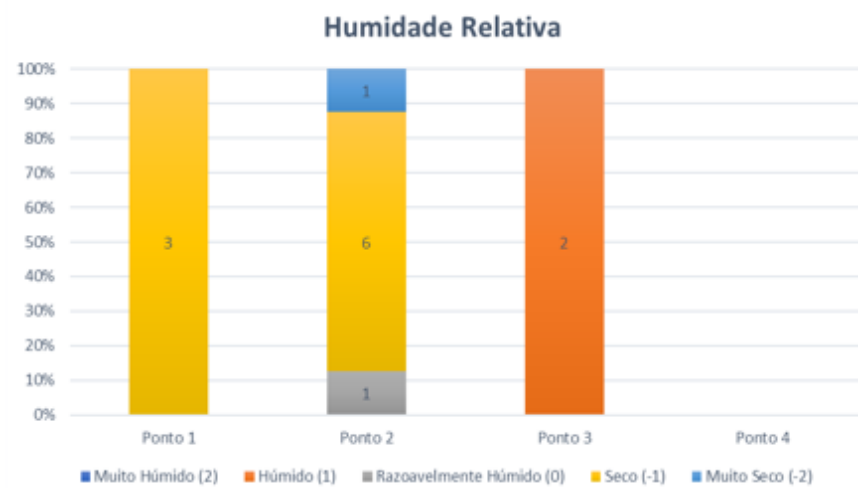
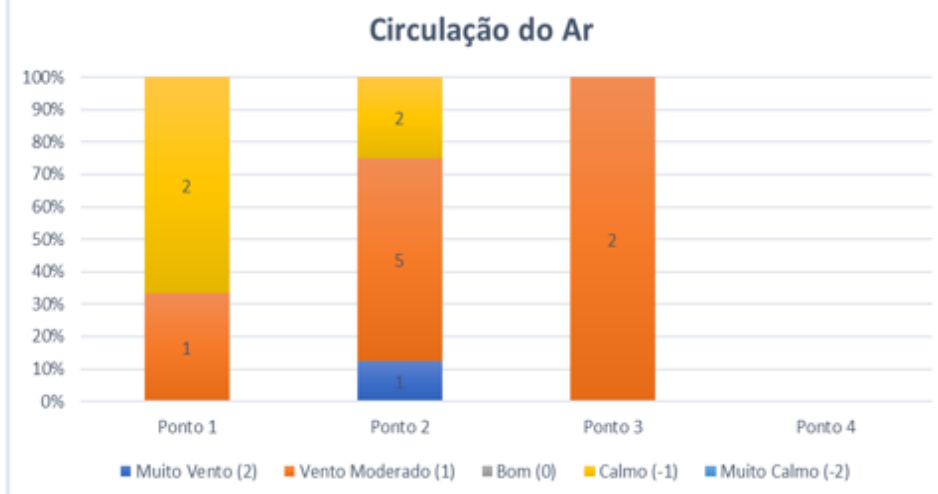
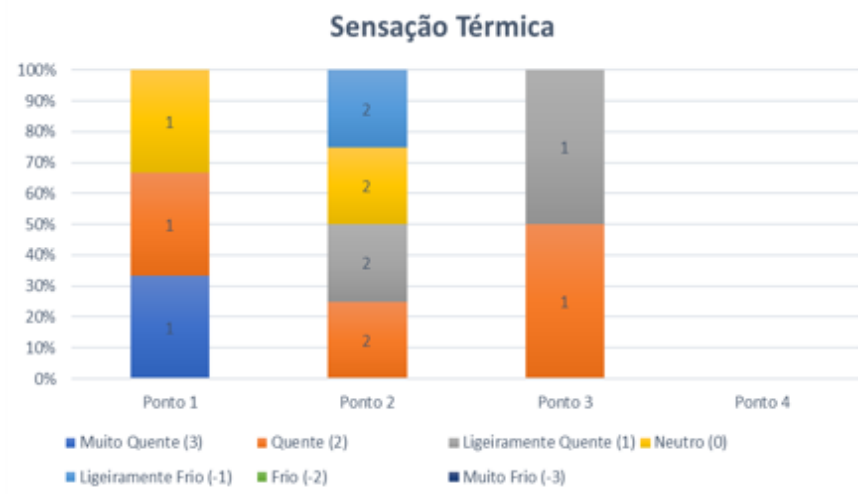


Figura 47: Respostas obtidas nos inquéritos (15h-17h).

Para os motivos de incomodidade térmica (Figura 48), alguns inquiridos revelaram que sentiam “muita circulação de ar” no ponto 1. No ponto 2, algumas respostas revelaram que a “incidência do sol”, o estar “muito seco” e a “baixa circulação de ar”, seriam fontes de incomodidade. Já no ponto 3 alguns inquiridos revelaram razões contraditórias ao assinalar o incómodo devido à “baixa circulação de ar” e à “muita circulação de ar”, num mesmo local. A mediana do ponto 2 foi a opção “baixa circulação de ar”.

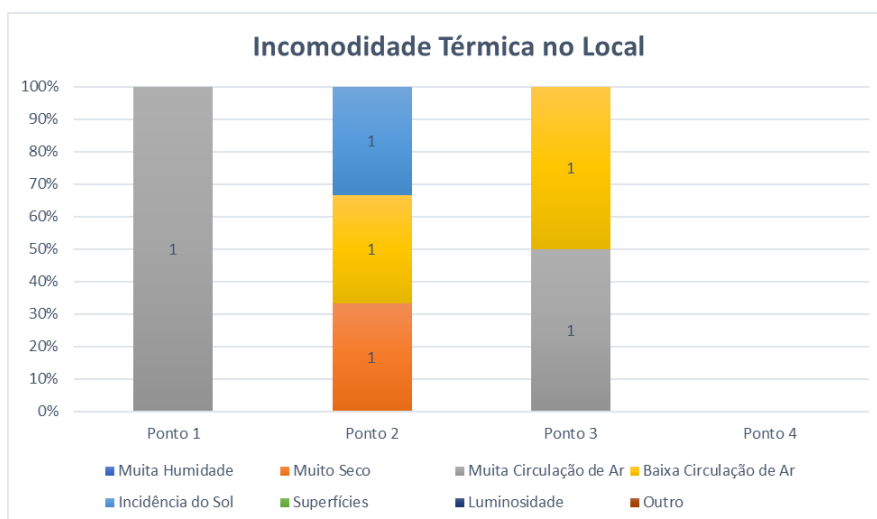


Figura 48: Respostas obtidas para a questão sobre a incomodidade térmica no local no período da tarde.

4.2.3 Resultados para o pôr do sol (20h-22h)

Para o intervalo horário onde ocorre o pôr do sol (20h-22h) registava-se um decréscimo bastante acentuado da temperatura. As respostas obtidas (Figura 49) acerca da sensação térmica foram diversificadas no ponto 1 e 4, já o ponto 3 foi classificado como “ligeiramente quente”. Quanto à avaliação que os inquiridos fazem da circulação do ar: no ponto 1 classificaram maioritariamente como “bom”; no ponto 3 foi classificado como “calmo”; e no ponto 4 as respostas foram diversificadas. Quanto à humidade o ponto 1 apresentou respostas diversas. O ponto 3 foi classificado como “seco” e o ponto 4 como “razoavelmente húmido”. Na questão “*Como gostaria de se sentir, neste momento, neste local?*” no ponto 1 e 3 a maioria respondeu “como está neste momento” e no ponto 4 as respostas foram diversificadas.

O resultado da mediana para o ponto 1 e 4 na sensação térmica foi “ligeiramente frio”. Para a circulação do ar, o resultado no ponto 4 foi “bom”. O resultado da mediana para a humidade relativa no ponto 1 e 4 foi “razoavelmente húmido”. Na questão “*Como gostaria de se sentir, neste momento, neste local?*” a mediana para o ponto 1 foi “como está neste momento”.

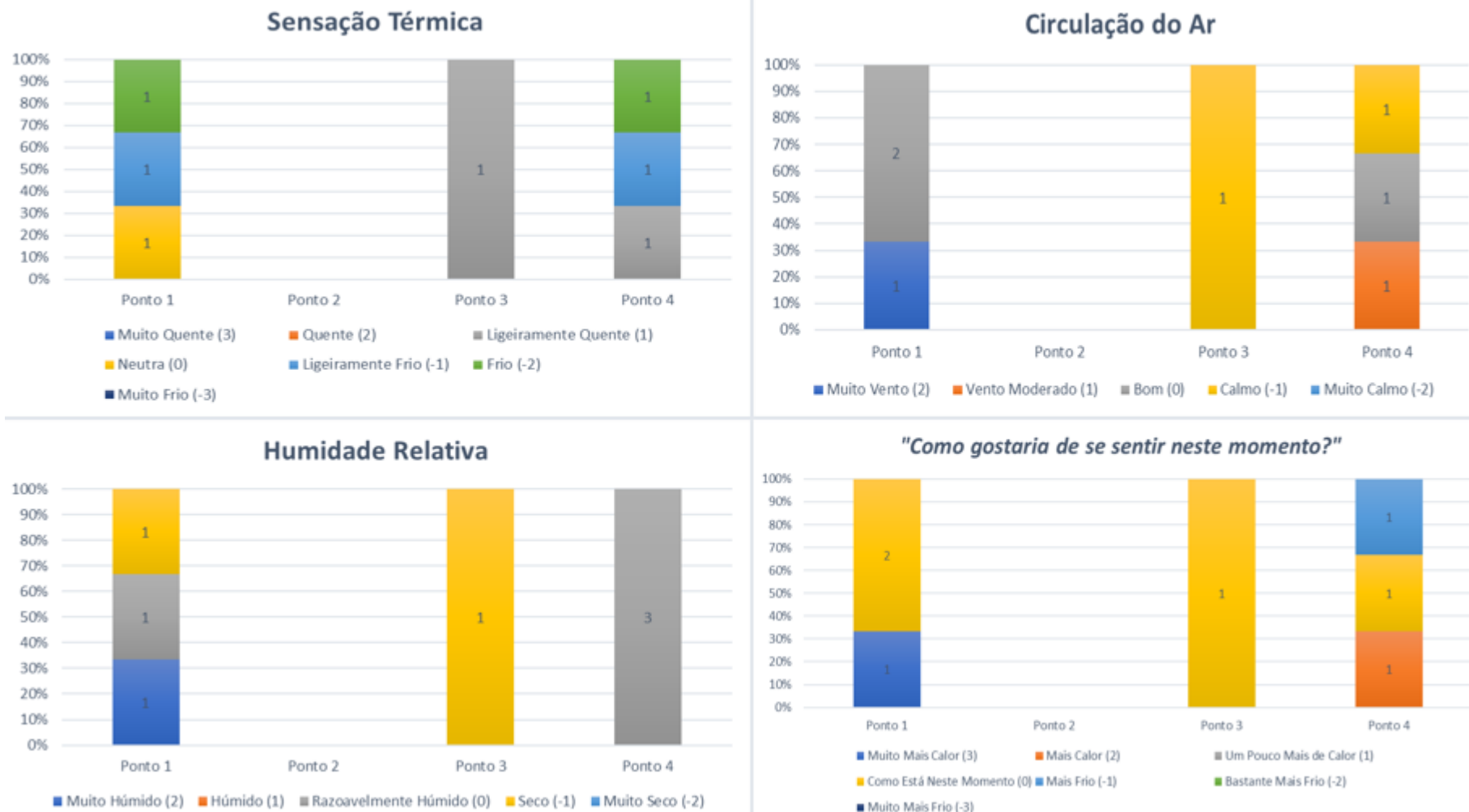


Figura 49: Respostas obtidas nos inquéritos (20h-22h).

Relativamente à incomodidade térmica no ponto 1 referiram “outro” e no ponto 4 a “muita circulação de ar” (Figura 50).

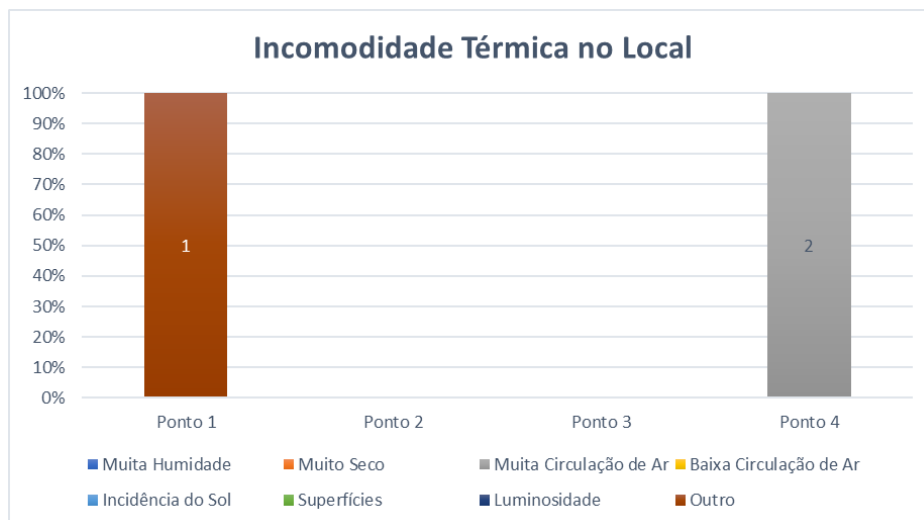


Figura 50: Respostas obtidas para a questão sobre a incomodidade térmica no local no período do pôr do sol.

Para a interpretação dos resultados globais obtidos pelos inquiridos foi utilizado o diagrama de bigodes, para se identificarem as relações entre a sensação térmica e os dados meteorológicos do local.

Na Figura 51 apresenta-se a relação entre a temperatura do ar e a escala de sensação térmica, onde se verificou que existe um gradiente nas medianas, onde ao incremento da temperatura correspondeu um incremento aproximado da sensação térmica, com a exceção da única resposta à condição de muito frio (-3) e da divergência na condição de neutralidade. Em todo o caso, importa salientar a existência de uma grande dispersão dos dados.

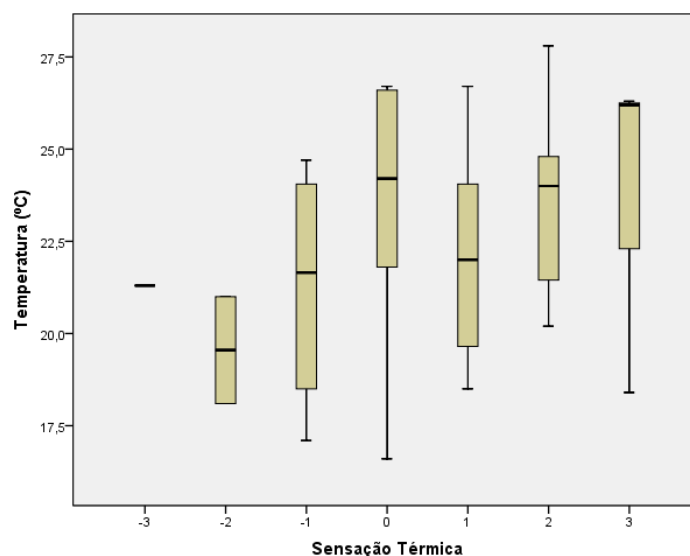


Figura 51: Diagrama de bigodes da relação entre a temperatura do ar e a escala da sensação térmica.

A Figura 52 é referente à relação entre temperatura do ar e a resistência da roupa. Com a exceção da condição muito frio (-3), verificou-se que houve um incremento aproximado da sensação térmica aquando do incremento na resistência térmica roupa, embora se registre uma grande dispersão dos dados e sem que ocorra um incremento das medianas.

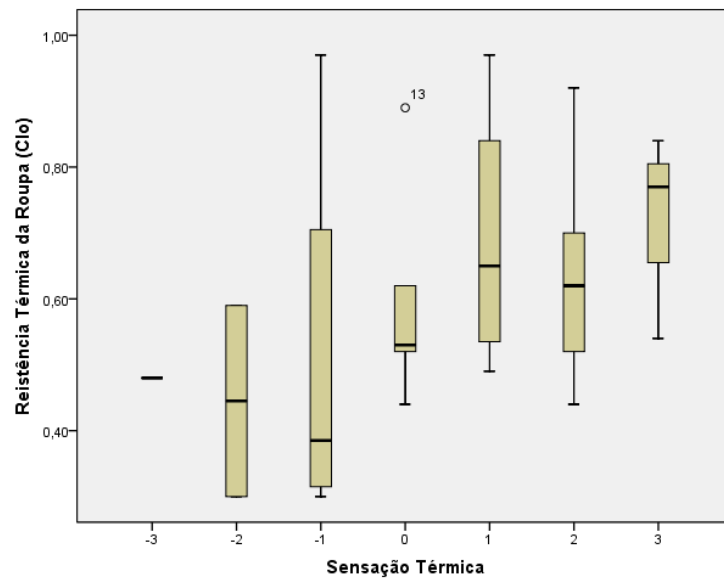


Figura 52: Diagrama de bigodes da relação entre resistência térmica da roupa e a escala da sensação térmica.

4.3 Resultados das simulações

Foram realizadas simulações com os dados recolhidos nos quatro pontos, para os diferentes períodos de medição. No que corresponde ao nascer do sol (05h00-07h00), a temperatura do ar estimada para o local de estudo variou entre os 8,79°C e 13,04°C às 06h00 e entre 10,15°C e 12,94°C para as 07h00, verificando-se um acréscimo, justificado pelo aumento da radiação, como fica demonstrado pela Figura 53 e Figura 54.

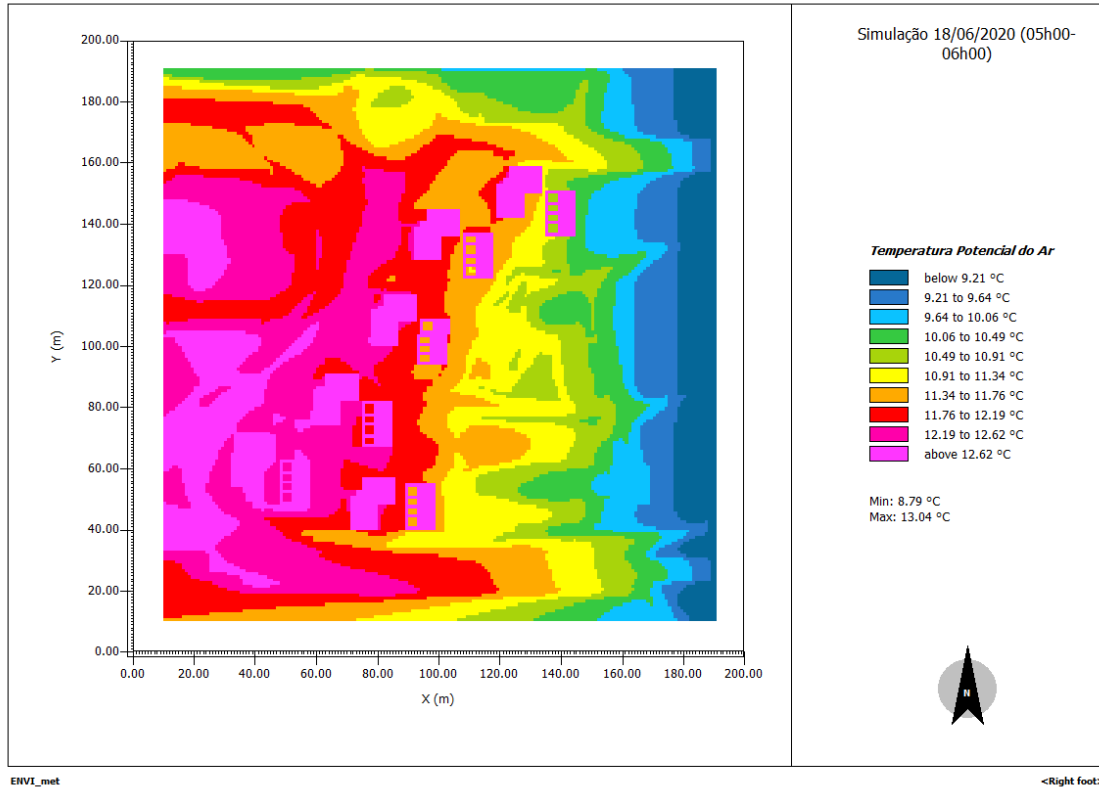


Figura 53: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 06h00 do dia 18 de junho de 2020.

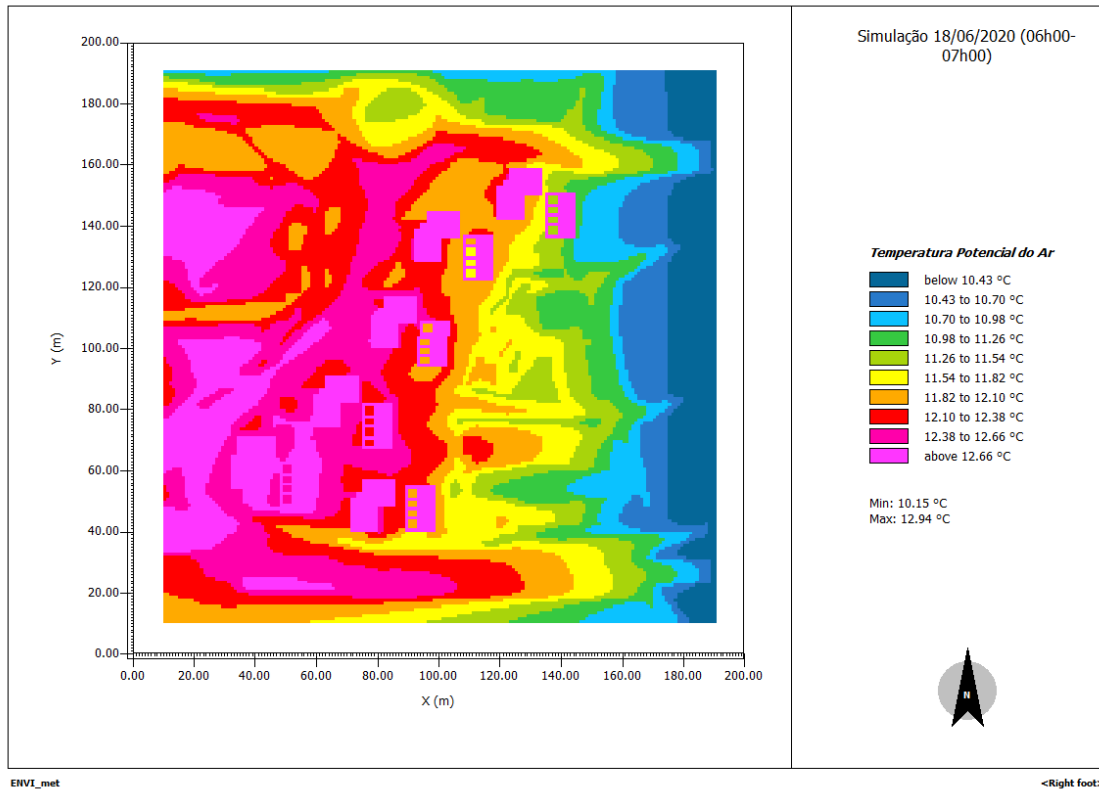


Figura 54: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 07h00 do dia 18 de junho de 2020.

Na Figura 55 e Figura 56 estão descritos os resultados para as 12h00 e 13h00, respetivamente. Pelas 12h00 estima-se um valor máximo de 23,85°C e mínimo de 20,08°C, os resultados para as 13h00 mostram que o valor máximo estimado é de 25,92°C e o mínimo é de 21,71°C.

Em ambas as horas de simulação, os locais com temperaturas mais elevadas situam-se sobre asfalto ou junto a locais asfaltados. Já os locais com temperaturas mais baixas situam-se ao redor dos edifícios e também em zonas com vegetação arbórea (devido ao efeito de sombra).

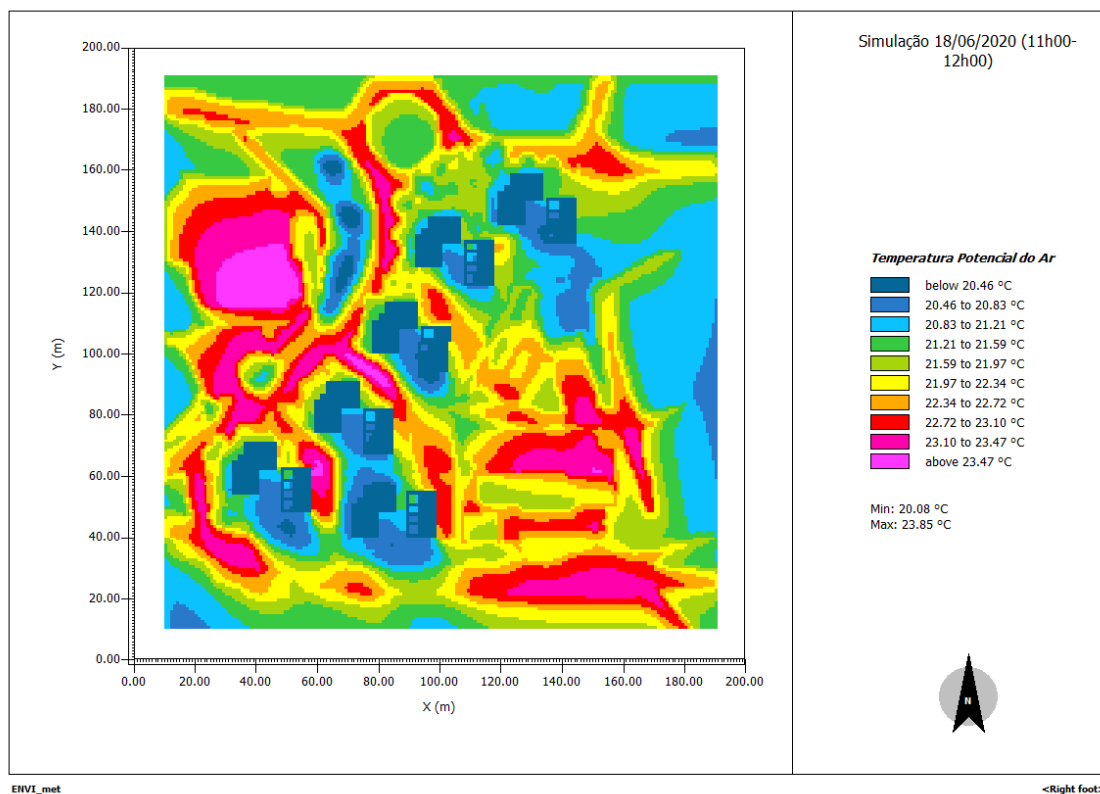


Figura 55: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 12h00 do dia 18 de junho de 2020.

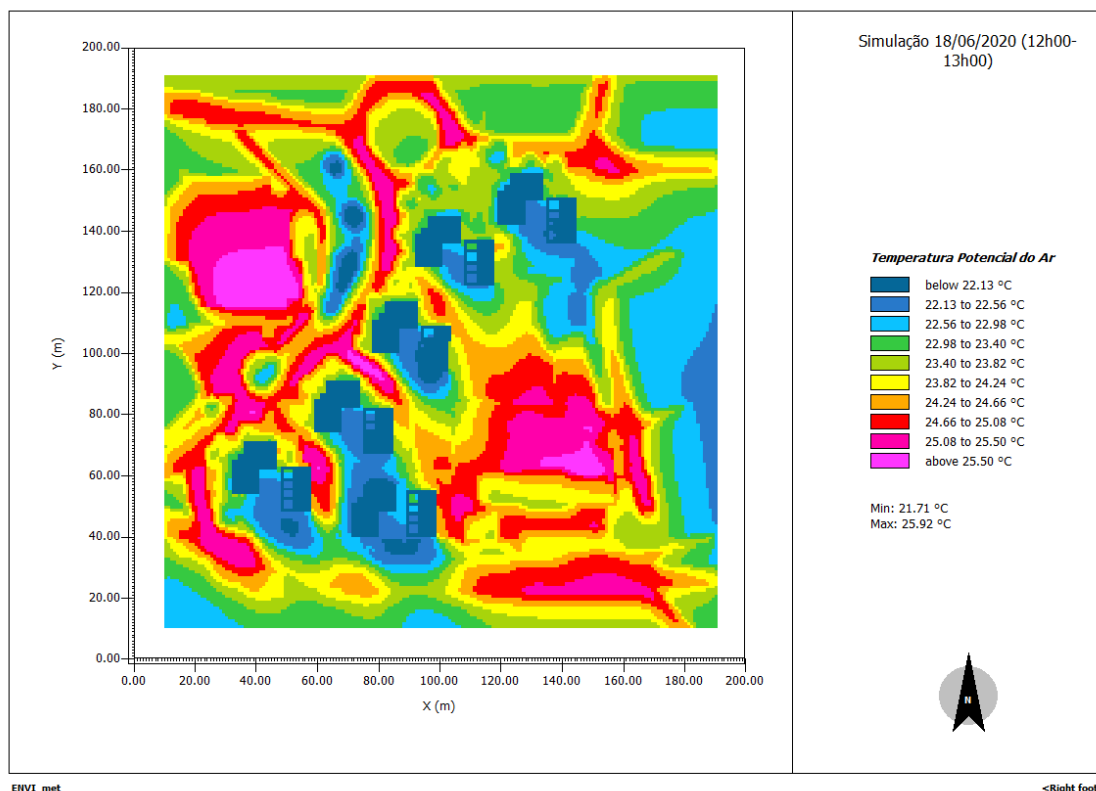


Figura 56: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 13h00 do dia 18 de junho de 2020.

A Figura 57 e Figura 58 apresentam os resultados da simulação para as 16h00 e para as 17h00, respetivamente. Na Figura 57 verifica-se que os resultados da temperatura do ar variaram entre 24,56°C e 28,20°C. Para a Figura 58, os resultados variaram entre 24,74°C e 28,40°C, um ligeiro acréscimo em relação à hora anterior.

Nestes resultados é possível aferir a influência das superfícies e das sombras, os locais com temperaturas mais elevadas situam-se nos locais asfaltados (locais de estacionamento, essencialmente) e os locais com menores temperaturas situam-se ao redor dos edifícios, nos locais relvados e com vegetação arbórea (devido ao efeito da sombra).

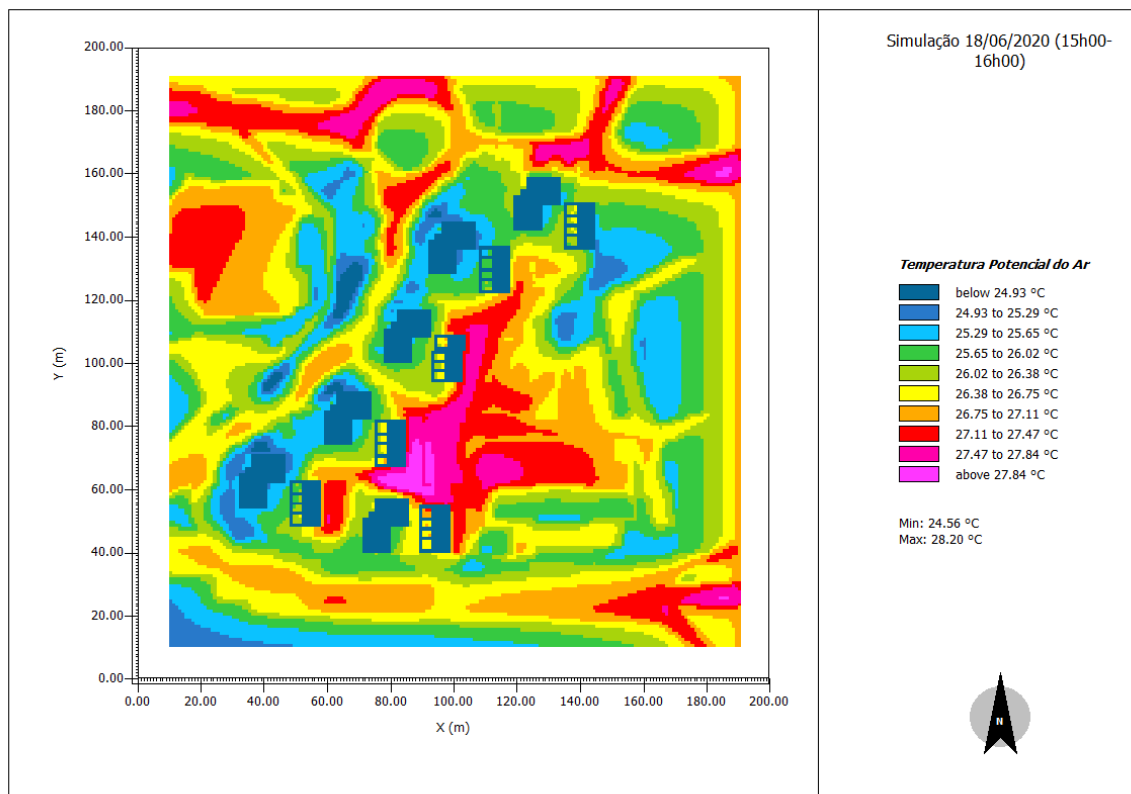


Figura 57: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 16h00 do dia 18 de junho de 2020.

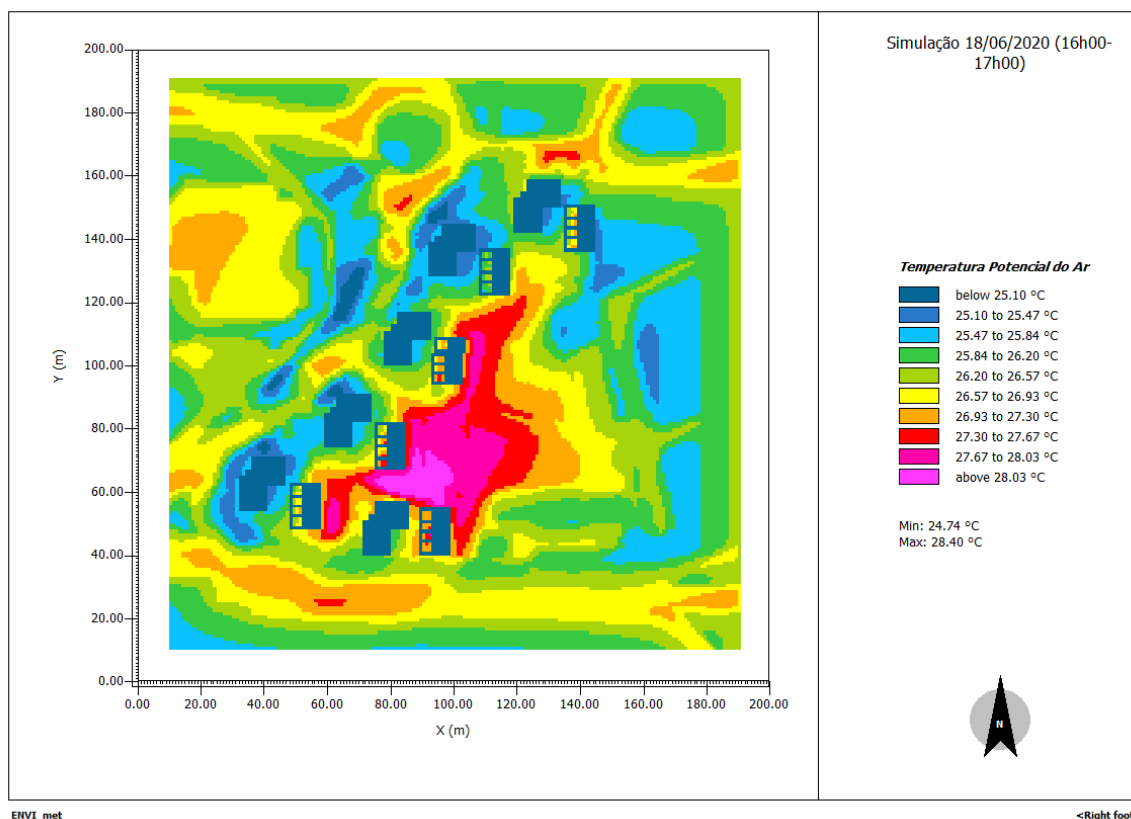


Figura 58: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 17h00 do dia 18 de junho de 2020.

A Figura 59 e Figura 60 mostram os resultados da simulação para as 21h00 e para as 22h00, respetivamente.

As temperaturas simuladas para a primeira hora variaram entre os 18,09°C e os 20,23°C e para segunda hora entre 17,41°C e 19,36°C.

Em ambas as horas observou-se que os locais que apresentam as maiores temperaturas se situam ao redor dos edifícios e nos locais asfaltados, sendo estes resultados substancialmente diferentes dos verificados nos períodos anteriores. Já os lugares que apresentam temperaturas menores situam-se nos locais com vegetação.

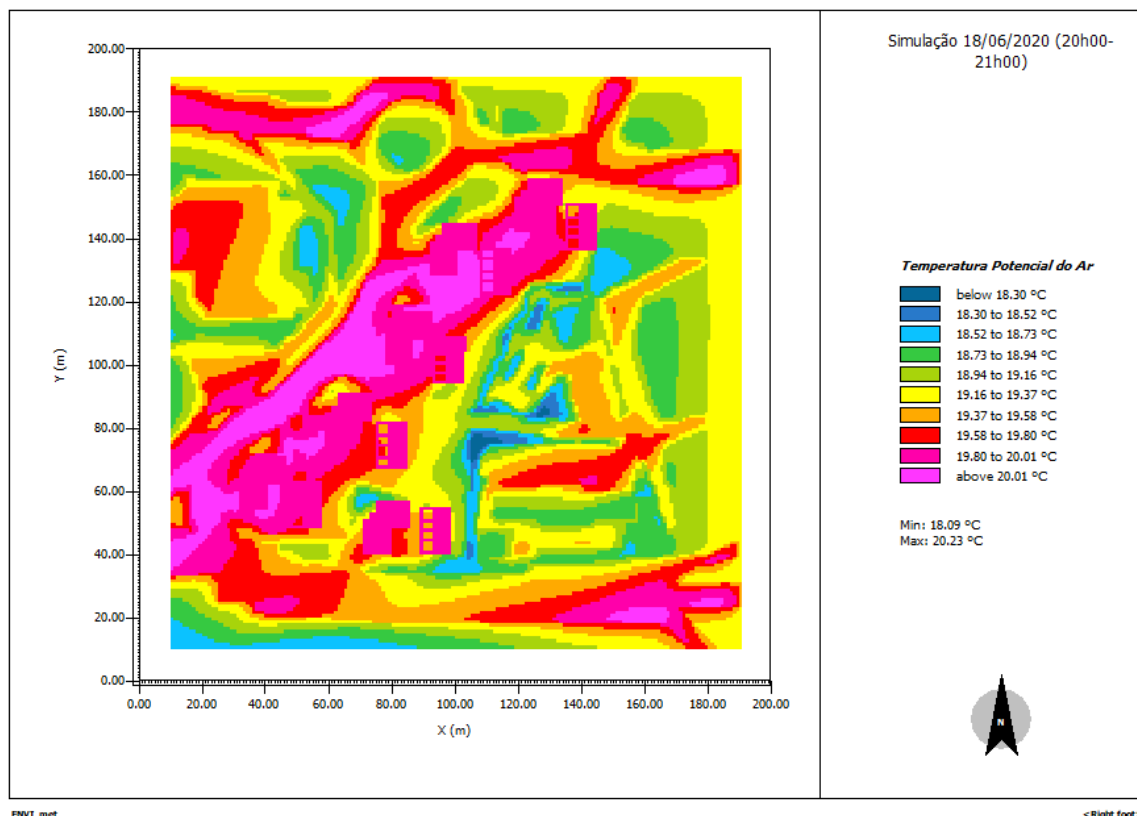


Figura 59: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 21h00 do dia 18 de junho de 2020.

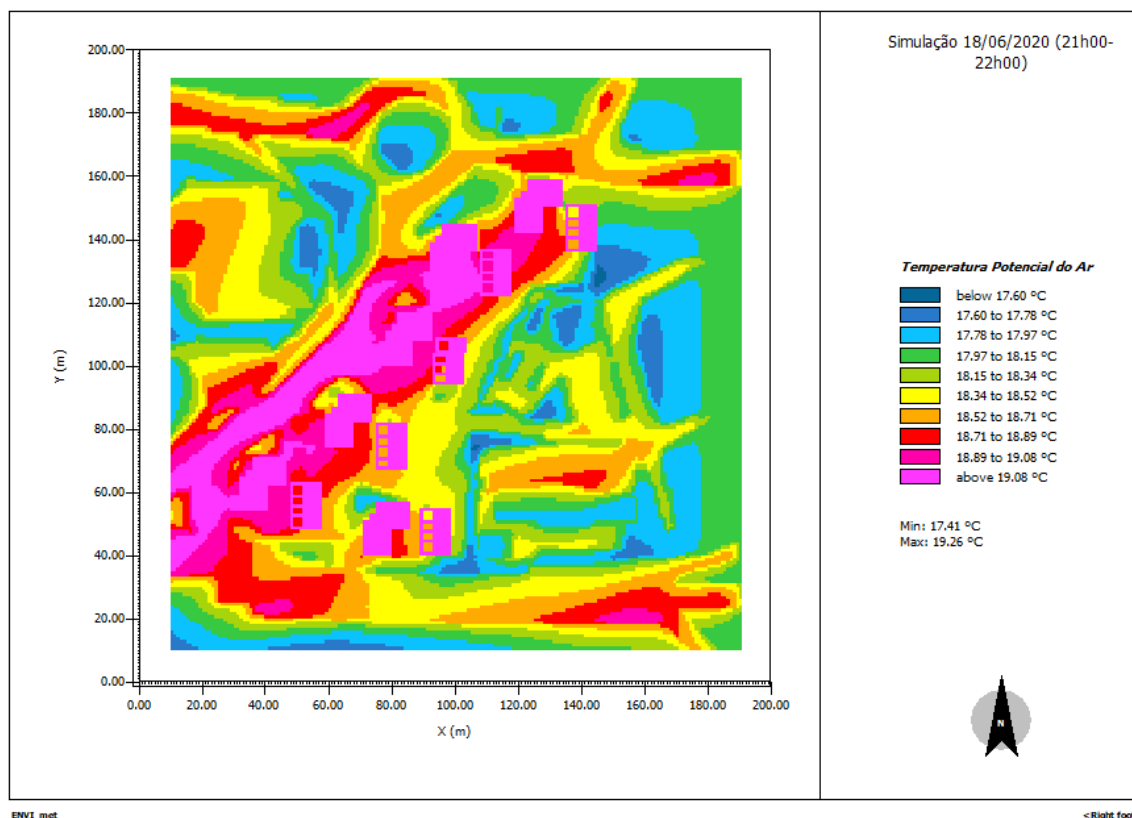


Figura 60: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 22h00 do dia 18 de junho de 2020.

A Figura 61 apresenta a estimativa para os resultados da temperatura média radiante para as 06h00 e para as 13h00. Para as 06h00, os resultados variaram entre -0,62°C e 7,30°C, verificando-se a existência de valores superiores de temperatura média radiante ao redor dos edifícios, já que nesta hora ainda não existia radiação solar.

Para as 13h00 registaram-se valores entre 41,43°C e 61,75°C. Neste período, é possível relacionar os locais com sombra de habitações e da vegetação arbórea, como os menores valores de temperatura média radiante.

Na Figura 62 são apresentados os resultados para as 16h00 e 22h00. Na primeira hora ocorreu uma variação entre 40,79°C e 68,67°C, também nesta hora se verifica o efeito de sombra dos edifícios e da vegetação arbórea. Importa salientar a mudança de posição da sombra dos edifícios em comparação com as 13h00.

Às 22h00 como já não existia radiação solar a incidir nas superfícies, verificou-se uma variação entre 9,13°C e 13,39°C, nesta situação alguns locais com vegetação apresentam os valores mais elevados de temperatura média radiante.

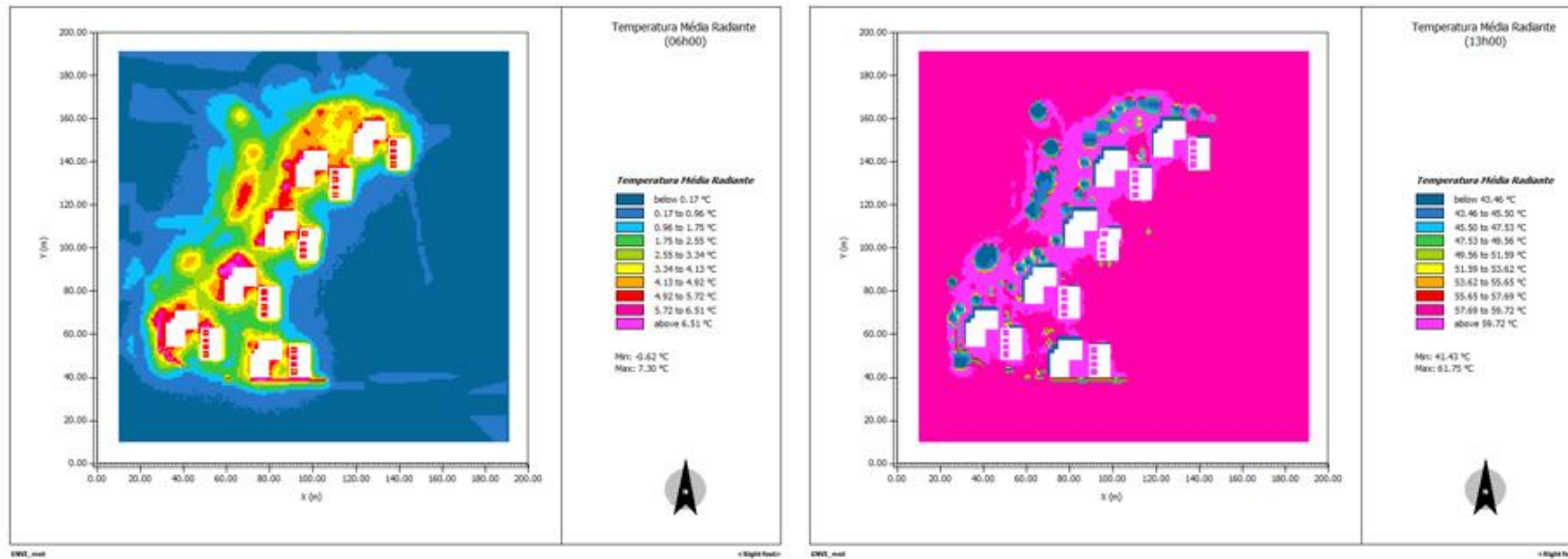


Figura 61: Resultados temperatura média radiante para as 06h00 (esquerda) e as 13h00 (direita).

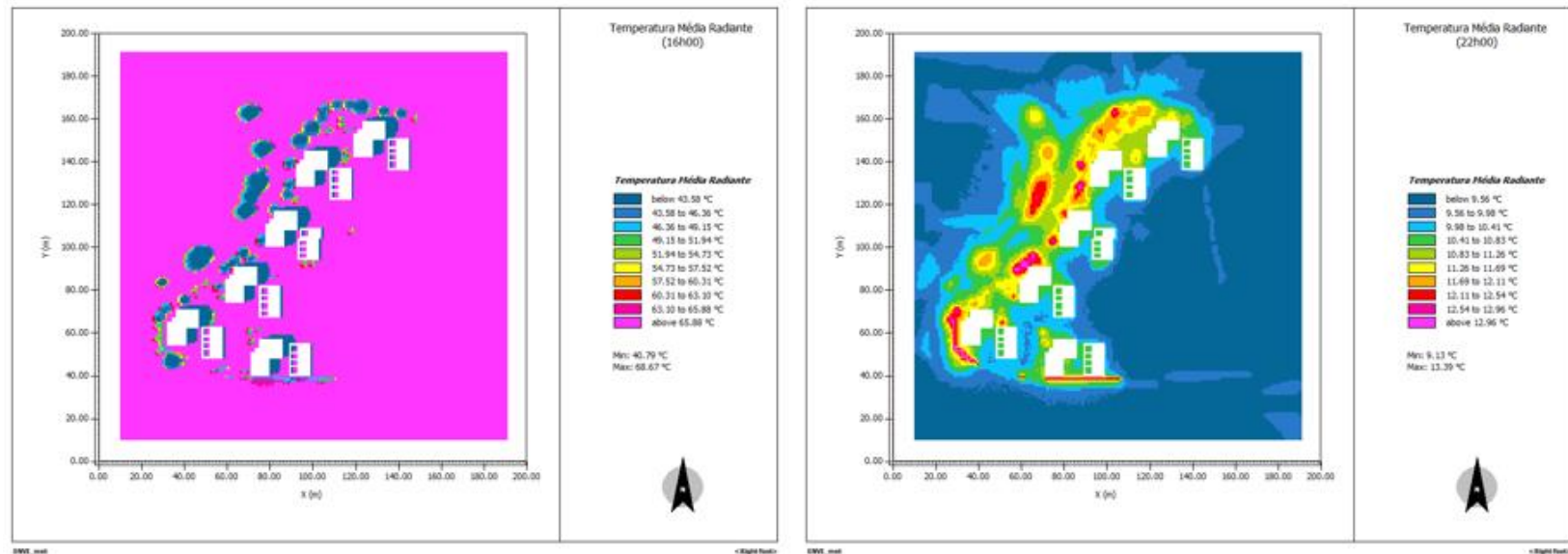


Figura 62: Resultados temperatura média radiante para as 16h00 (esquerda) e as 22h00 (direita).

4.3.1 Resultados para *Predicted Mean Vote* (PMV)

O ENVI-met permite a criação de um mapa com a previsão da sensação de conforto através do índice de PMV, para tal é necessário introduzir parâmetros como a idade, o género, o peso, a altura, o índice de resistência térmica da roupa bem como o nível de atividade realizado. Os parâmetros utilizados para o PMV, foram as médias obtidas dos dados recolhidos nos inquéritos, para o género feminino (Tabela 6) e para o género masculino (Tabela 7).

Tabela 6: Parâmetros utilizados no Biomet para o cálculo do PMV, para o género feminino.

| | |
|----------------------------------|----------|
| Género | Feminino |
| Idade | 43 anos |
| Altura (m) | 1,61 |
| Peso (kg) | 63,4 |
| Roupa (clo) | 0,66 |
| Taxa Total de Metabolismo | 1,82 |

Tabela 7: Parâmetros utilizados no Biomet para o cálculo do PMV, para o género masculino.

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Género | Masculino |
| Idade | 42 anos |
| Altura (m) | 1,72 |
| Peso (kg) | 76,2 |
| Roupa (clo) | 0,60 |
| Taxa Total de Metabolismo | 1,78 |

A Figura 63 apresenta os resultados estimados para PMV, quer para o género feminino, quer para o género masculino para as 06h00, nesta situação os valores de PMV variaram entre -2,50 e -3,69 (feminino) e -2,95 e -4,26 (masculino).

Para as 07h00, a Figura 64, mostra os resultados de PMV que variaram entre -1,94 e -2,98 (feminino) e entre -2,36 e -3,48 (masculino), um aumento em relação ao período anterior, devido ao aparecimento da radiação solar.

É possível verificar que onde se estimaram valores de PMV mais ligeiros foi junto aos edifícios.

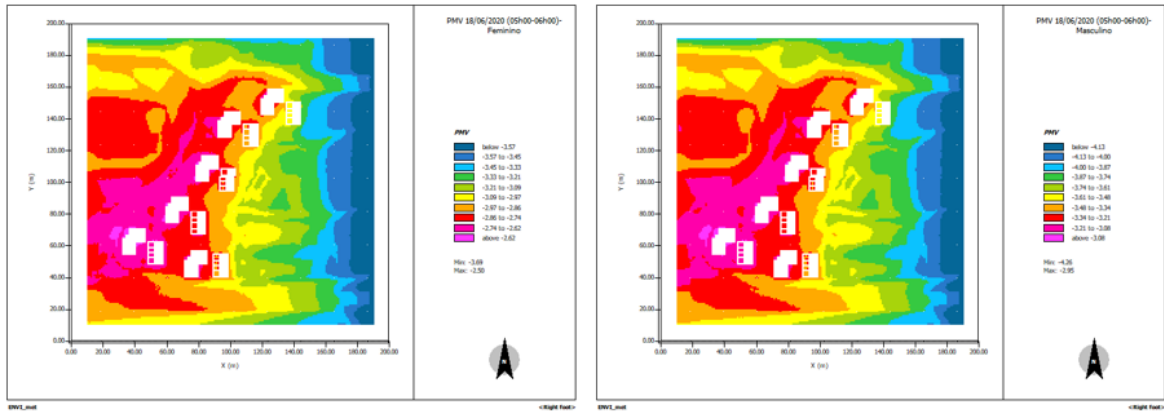


Figura 63: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 06h00.

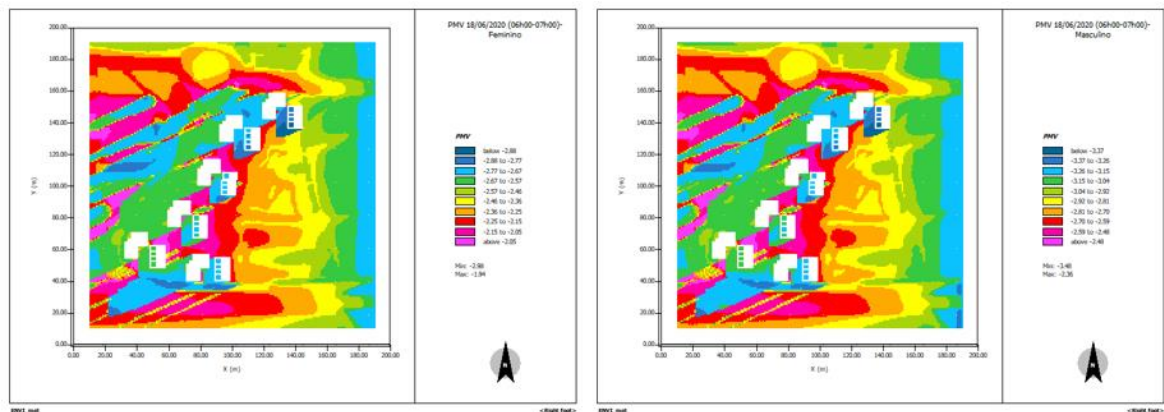


Figura 64: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 07h00.

Na Figura 65 é possível ver os resultados estimados para as 12h00. Neste período obteve-se valores de PMV entre 0,37 e 2,06 (feminino) e 0,18 e 2,03 (masculino).

Para as 13h00 (Figura 66), os resultados estimados variaram entre 0,89 e 2,59 (feminino) e entre 0,75 e 2,60 (masculino), denotando-se um acréscimo face à hora anterior.

Neste período, os valores de PMV que sugerem a condição de conforto, entre -1 e +1, situam-se junto à vegetação arbórea, devido ao efeito de sombra. Os locais que apresentam maiores valores de PMV são os que se encontram pavimentados com asfalto.

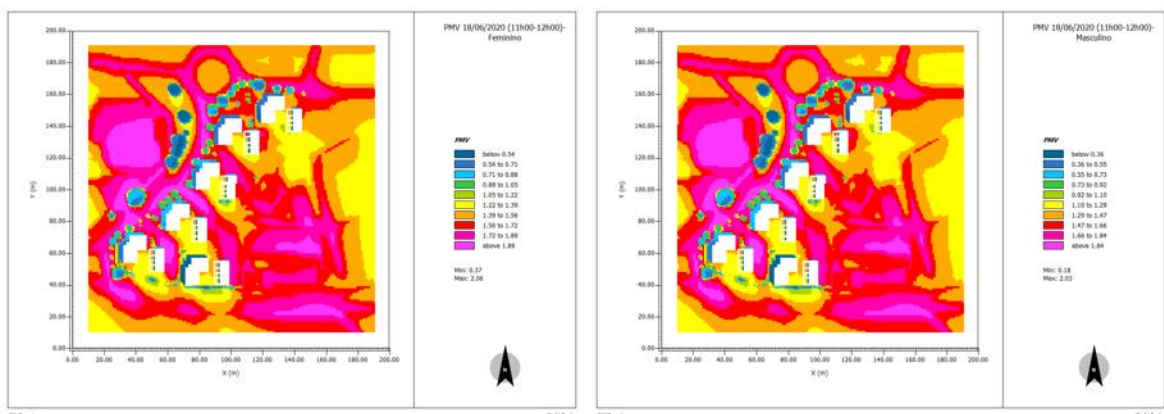


Figura 65: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 12h00.

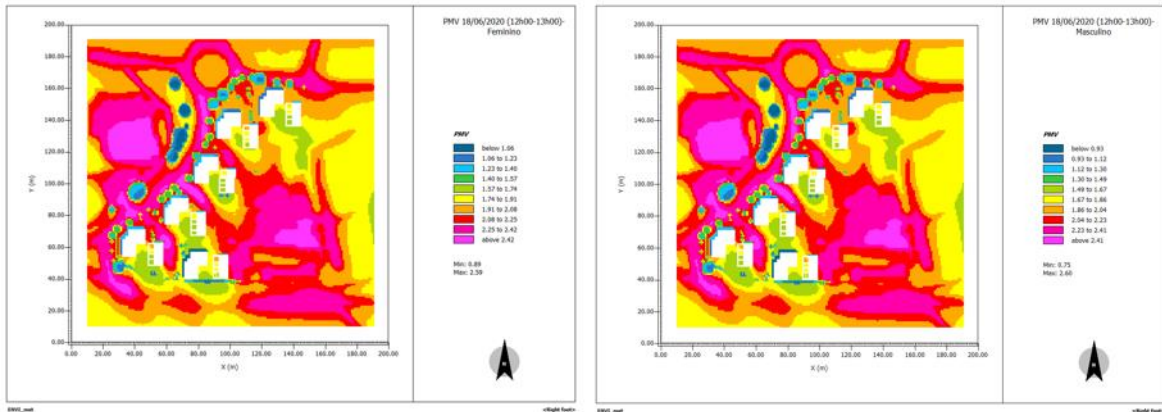


Figura 66: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 13h00.

Na Figura 67 encontram-se os resultados estimados para as 16h00, com valores de PMV entre 1,33 e 3,45 (feminino) e entre 1,24 e 3,54 (masculino). Estes resultados podem ser explicados pelo aumento da temperatura, sendo que é neste período que se atinge a temperatura do ar máxima do dia.

Para as 17h00 (Figura 68), os resultados variaram entre 1,25 e 3,56 (feminino) e entre 1,16 e 3,67 (masculino). Ainda que ligeira, verificou-se uma diminuição do valor mínimo de PMV.

Os valores de PMV mais elevados situam-se em grande parte da zona de estudo. Os locais que apresentam menores valores situam-se nas zonas com vegetação arbórea devido à sombra, embora superior à condição de “ligeiramente quente” (+1). Importa referir que comparativamente com os resultados da hora anterior há um aumento das sombras. Após este período começa o decréscimo da temperatura do ar.

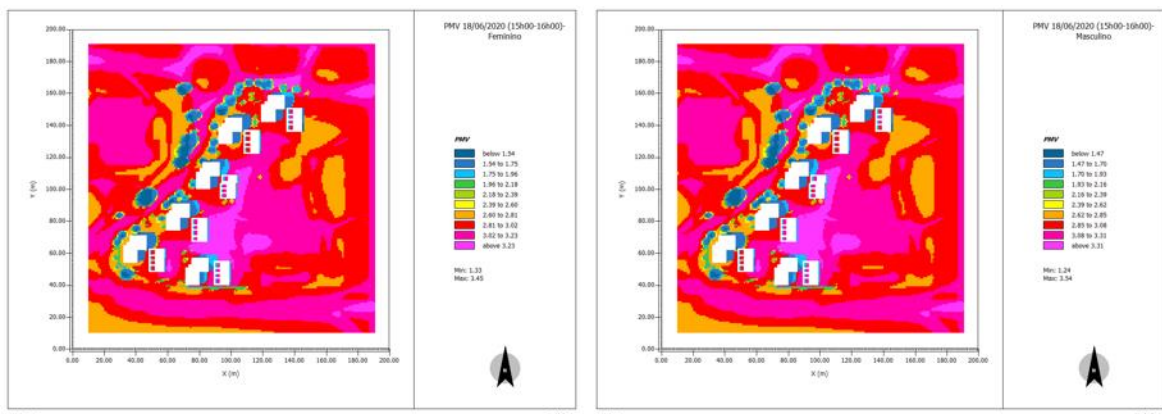


Figura 67: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 16h00.

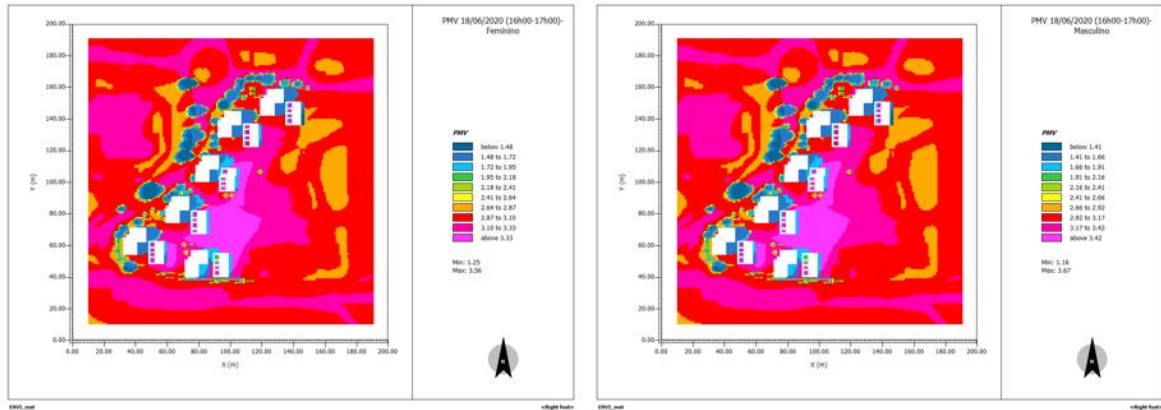


Figura 68: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 17h00.

O resultado para o PMV às 21h00 e às 22h00 pode ser observado na Figura 69 e Figura 70, respetivamente.

Para as 21h00, os valores de PMV variaram entre -1,09 e -0,71 (feminino) e entre -1,69 e -0,97 (masculino). Às 22h00 os resultados variaram entre -1,58 e -0,93 (feminino) e entre -1,89 e -1,22 (masculino).

Importa salientar que os locais que apresentam valores entre +1 e -1 situam-se ao redor dos edifícios.

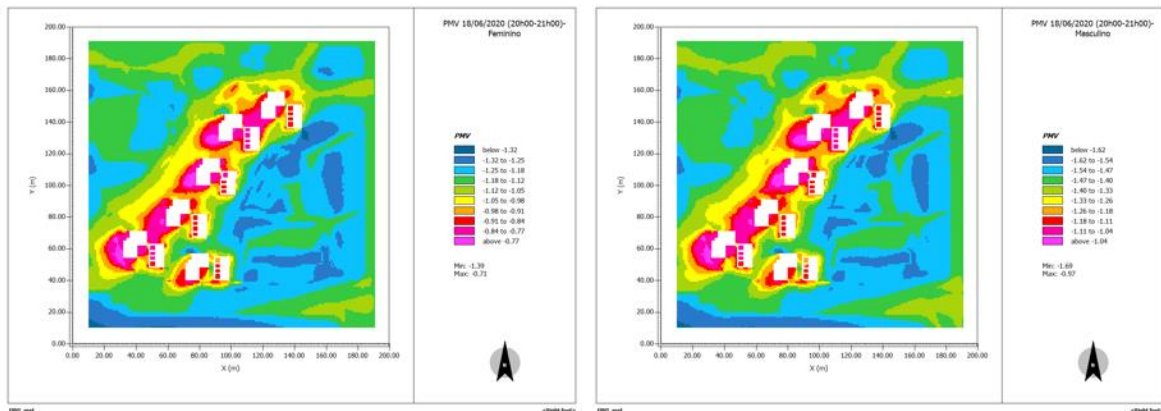


Figura 69: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 21h00.

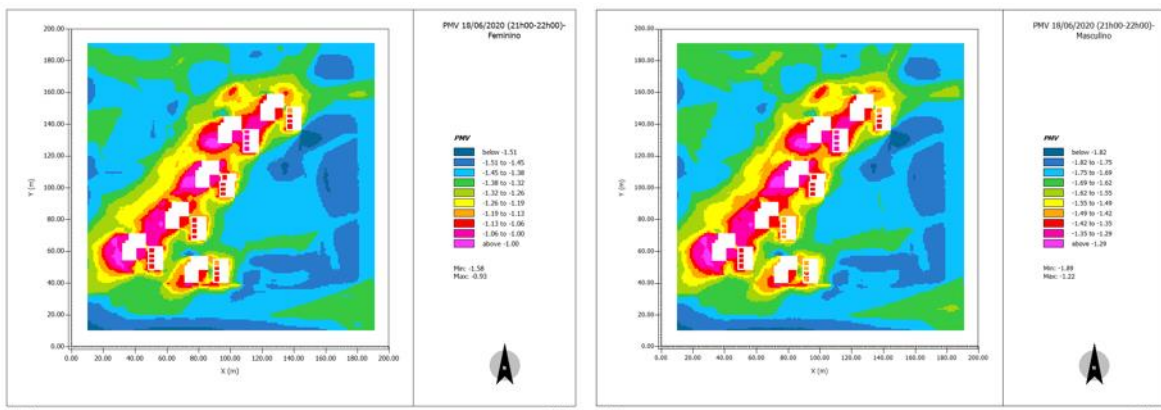


Figura 70: Resultados estimados para PMV para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 22h00.

Os resultados estimados permitem concluir que o período da manhã e a primeira hora do período do pôr do sol (21h00), apresentam valores entre +1 e -1 nos locais com vegetação arbórea e na envolvente dos edifícios, respetivamente.

4.4 Resultados para o cenário alternativo

Para avaliar o potencial impacte de ações que permitam melhorar o conforto térmico do local de estudo, foi criado um cenário alternativo e procedeu-se à sua simulação. Os parâmetros utilizados para iniciar a simulação são os mesmos que foram utilizados na simulação de dia 18 de junho de 2020.

Para o período do nascer do sol, os resultados às 06h00 podem ser visualizados na Figura 71. Nessa simulação, a temperatura variou entre 8,79°C e os 13,0°C. A Figura 72 representa os resultados para as 07h00, momento em que ocorre um acréscimo da temperatura em relação à hora anterior, sendo que a mesma variou entre 10,15°C e 12,95°C.

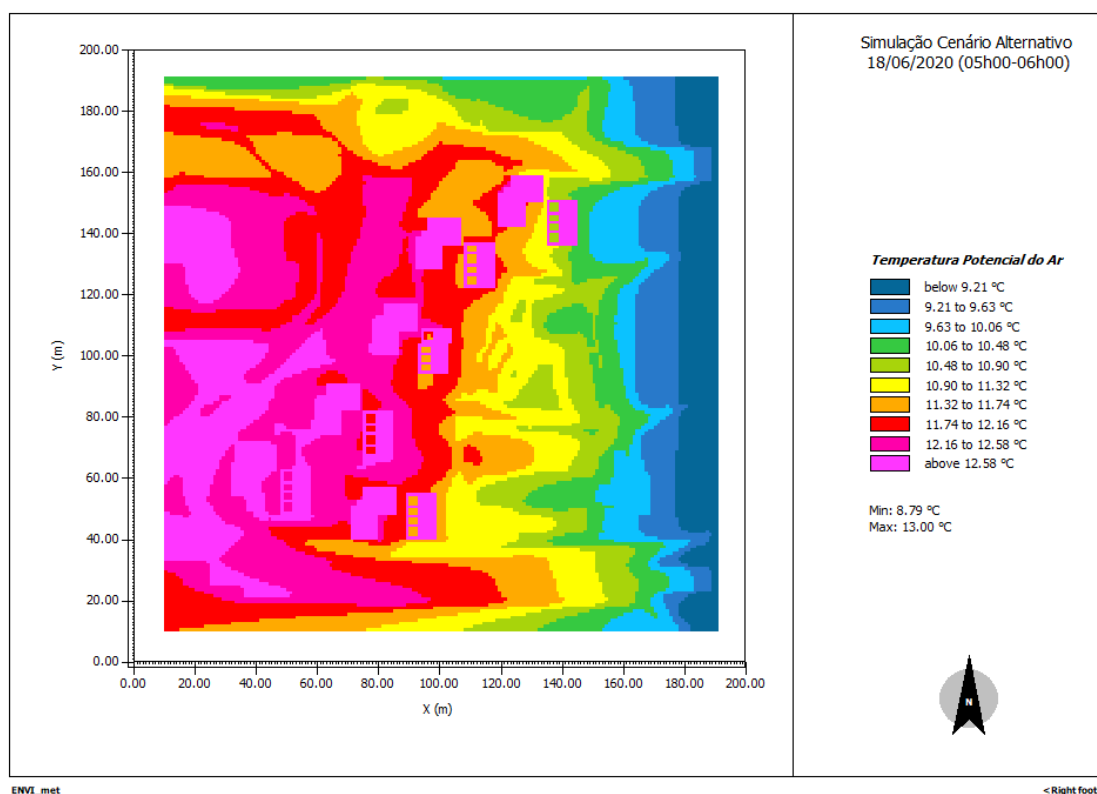


Figura 71: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 06h00 para o cenário alternativo.

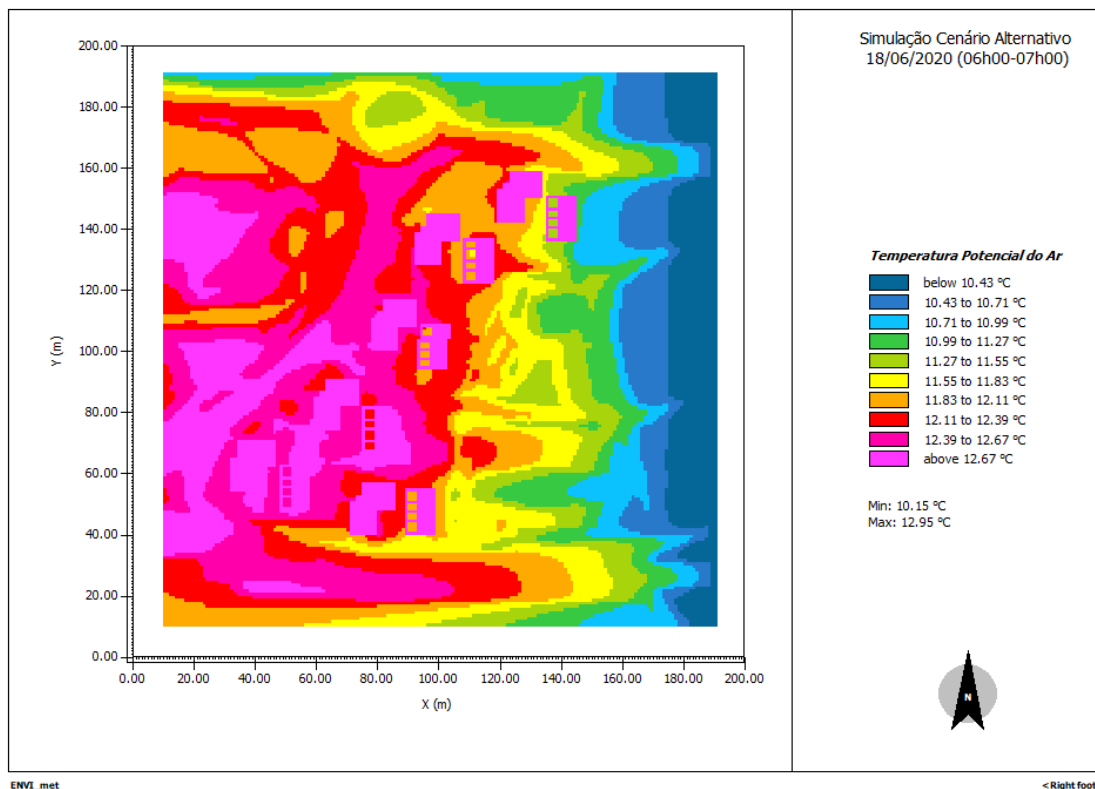


Figura 72: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 07h00 para o cenário alternativo.

No período da manhã, às 12h00 (Figura 73), os resultados indicaram que a introdução da vegetação possui a capacidade de gerar melhorias localizadas. A temperatura máxima verificada na simulação foi de 23,85°C e a temperatura mínima foi de 20,08°C.

Na segunda hora, às 13h00, há um acréscimo da temperatura, sendo que a temperatura máxima estimada na simulação foi de 25,87°C e a temperatura mínima foi de 21,71°C (Figura 74).

Os locais que apresentam temperaturas mais altas são os pavimentados com asfalto, enquanto os menores valores se situam na envolvente dos edifícios e nos locais com sombra onde há vegetação, incluindo os locais onde foram adicionadas árvores ao cenário.

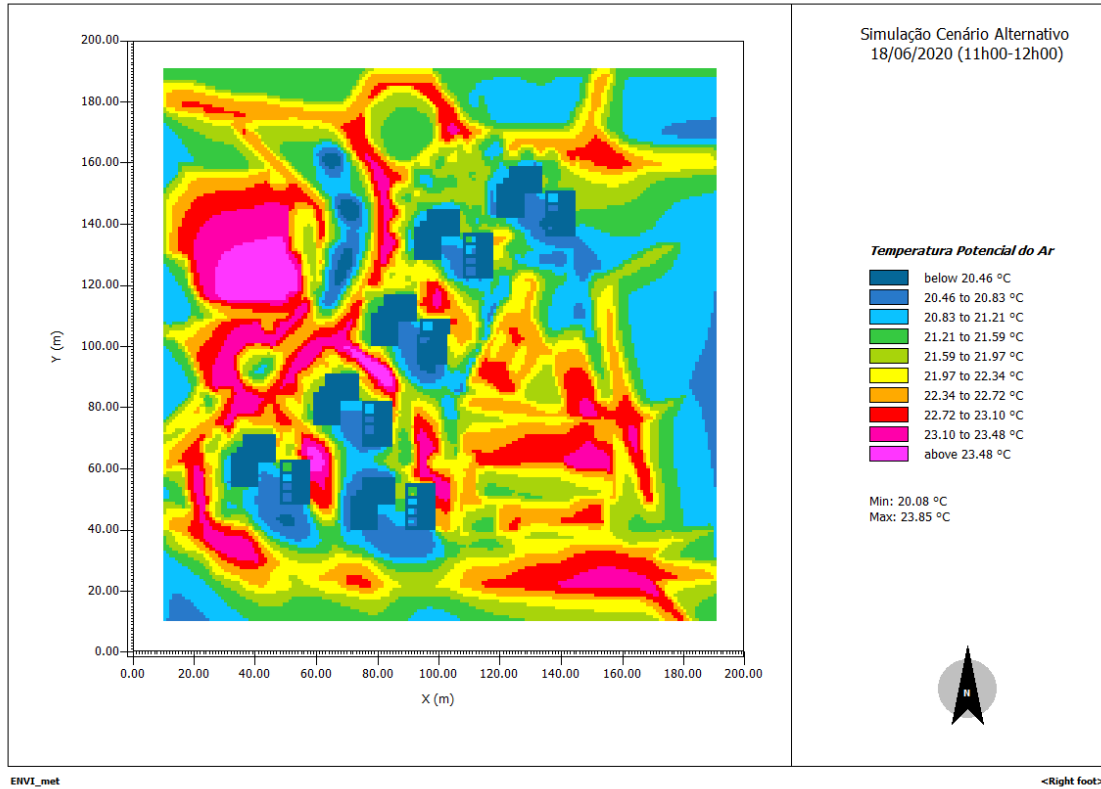


Figura 73: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 12h00 para o cenário alternativo.

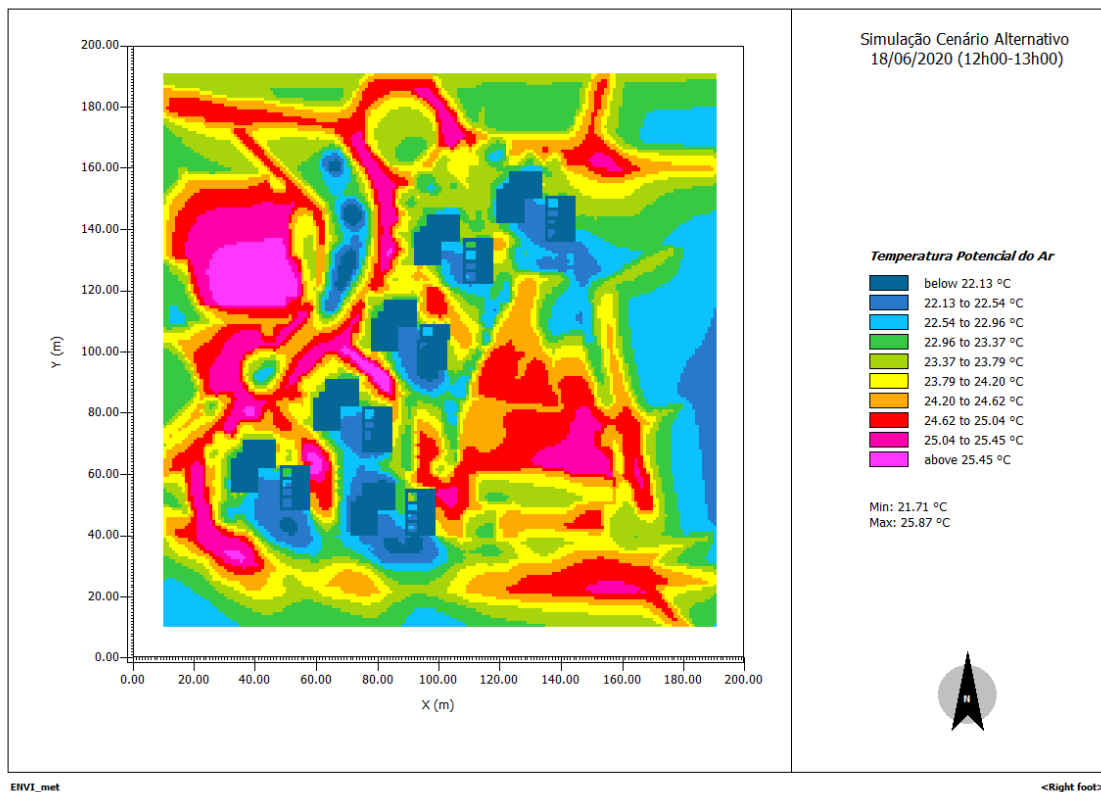


Figura 74: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 13h00 para o cenário alternativo.

A Figura 75 apresenta os resultados estimados para as 16h00, onde a temperatura mínima estimada foi de 24,51°C e a temperatura máxima foi de 28,15°C.

Para as 17h00, os resultados podem ser observados na Figura 76, registrando-se uma estimativa de temperatura máxima de 28,32°C e de 24,72°C como temperatura mínima.

Os locais asfaltados são os que apresentam valores mais elevados de temperatura do ar, por oposição aos locais junto ao edificado e com vegetação, que apresentam os menores valores. Relativamente aos locais onde foi introduzida a vegetação arbórea verifica-se uma ligeira melhoria, diminuindo a temperatura.

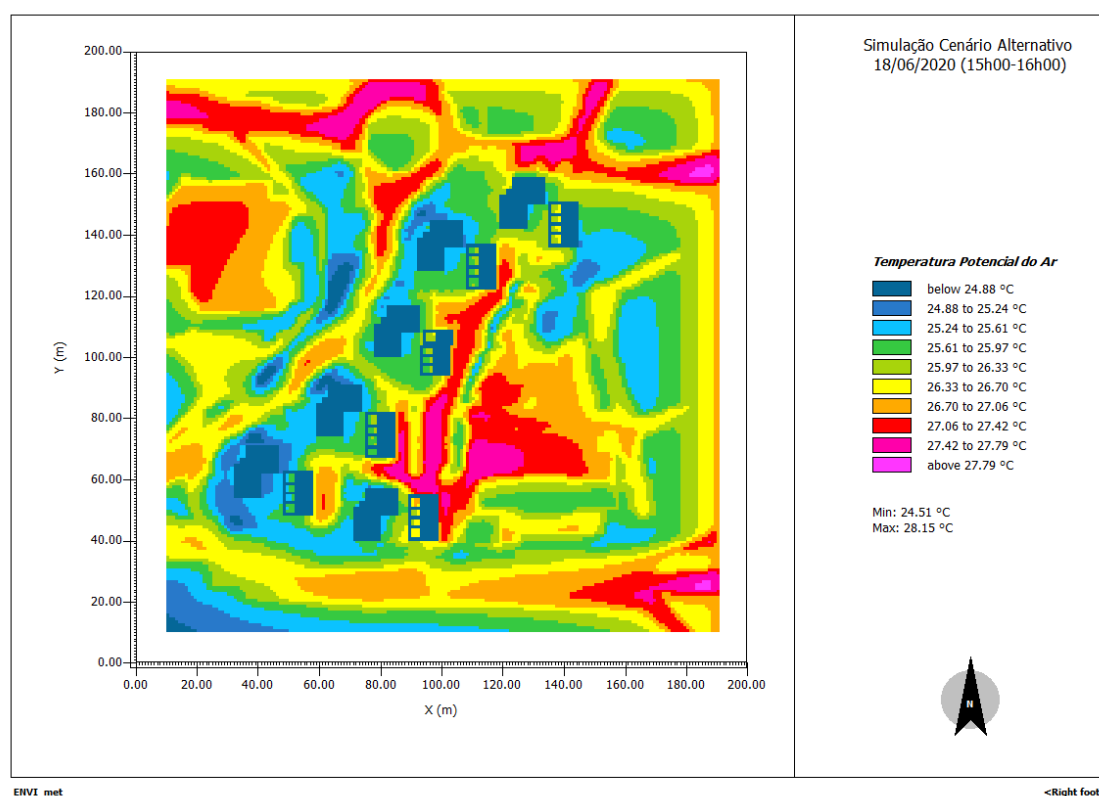


Figura 75: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 16h00 para o cenário alternativo.

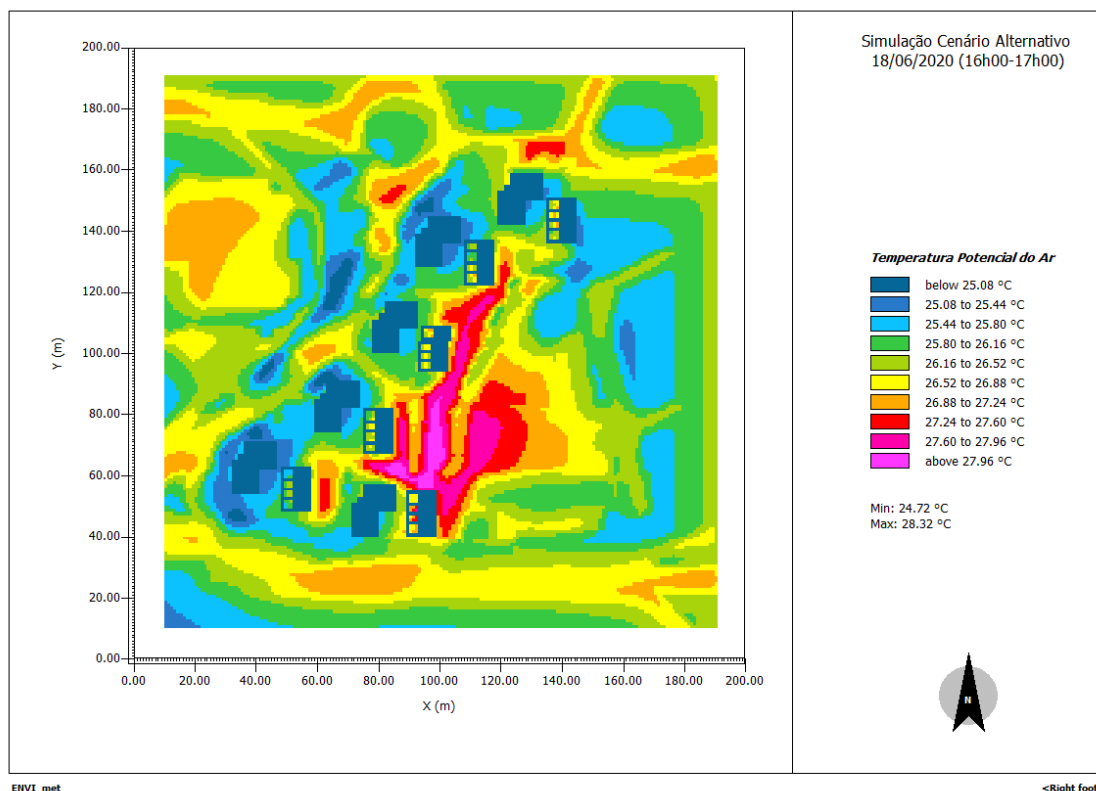


Figura 76: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 17h00 para o cenário alternativo.

Os resultados para as 21h00 estão indicados na Figura 77, de onde se retira que a temperatura máxima nesta simulação para a toda a zona de estudo foi de 20,22°C e a temperatura mínima foi de 18,14°C.

Às 22h00, a temperatura máxima foi de 19,27°C e a temperatura mínima foi de 17,41°C, como é possível ver na Figura 78. O decréscimo da temperatura em relação à hora anterior era expetável, embora não haja grande diferença entre os mapas de temperatura.

Nestas duas simulações verifica-se que as maiores temperaturas eram estimadas para os espaços na envolvente dos edifícios e também sobre alguns pisos asfaltados, que devido às suas superfícies demoram mais a arrefecer.

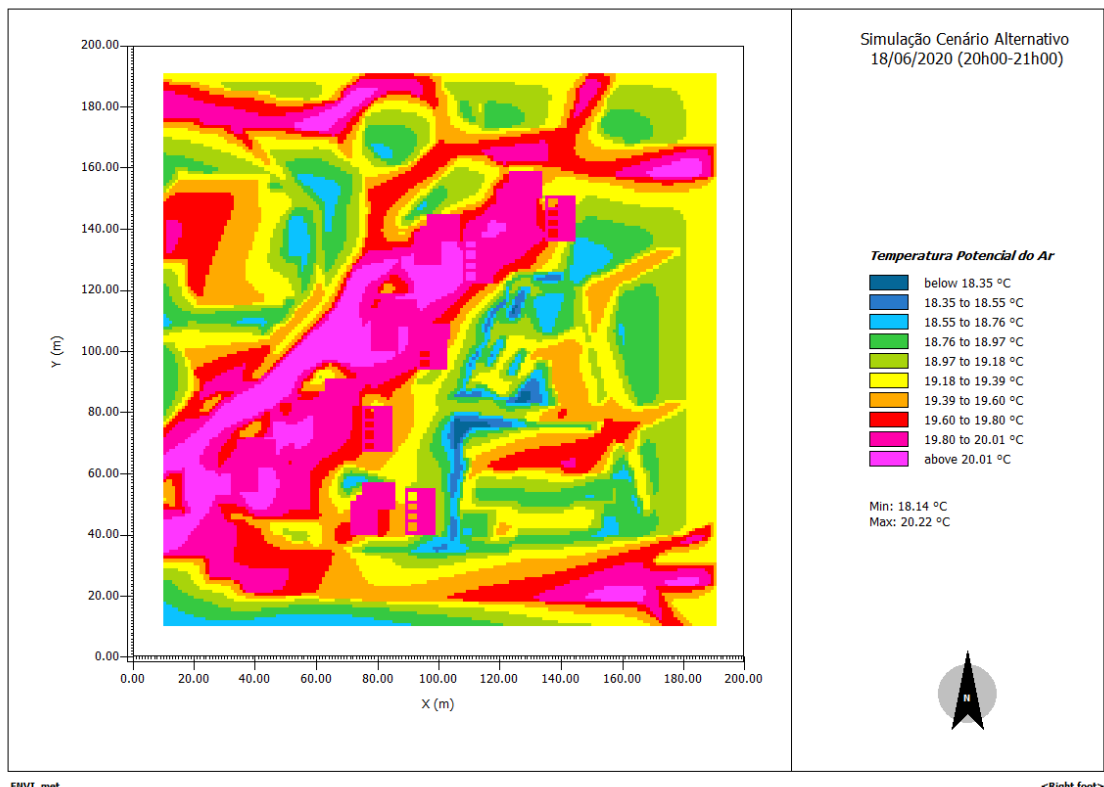


Figura 77: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 21h00 para o cenário alternativo.

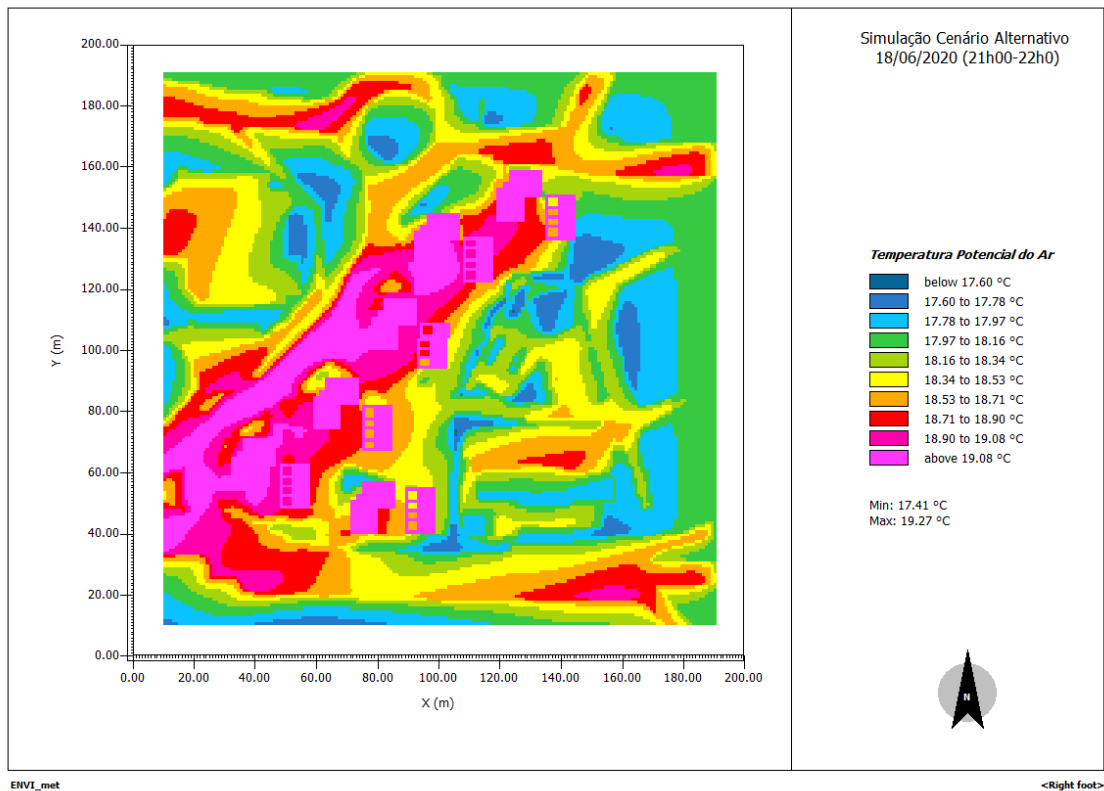


Figura 78: Resultado da simulação para o local de estudo relativo à temperatura do ar às 22h00 para o cenário alternativo.

A Figura 79 apresenta os dados para analisar a temperatura média radiante no cenário alternativo para as 06h00 e para as 13h00. Os resultados estimados para as 06h00 indicaram uma variação entre $-0,59^{\circ}\text{C}$ e $7,40^{\circ}\text{C}$, onde os locais que apresentam valores mais elevados se situam nos pontos com vegetação, podendo ser explicado pela incorporação parcial da radiação solar por parte da vegetação arbórea. Para as 13h00, os resultados variaram entre $41,18^{\circ}\text{C}$ e $61,41^{\circ}\text{C}$, salientando-se os locais com vegetação arbórea (efeito sombra) e as sombras dos edifícios.

Na Figura 80 são apresentados os resultados para as 16h00 e para as 22h00. Para as 16h00, os resultados indicaram que houve uma variação entre $40,35^{\circ}\text{C}$ e $68,39^{\circ}\text{C}$, salientando-se os efeitos de sombra dos edifícios e da vegetação arbórea como os lugares com valores mais baixos de temperatura. Para as 22h00, as estimativas indicaram variações entre $9,15^{\circ}\text{C}$ e $13,40^{\circ}\text{C}$, onde os locais com vegetação apresentam valores de temperatura média radiante mais elevados.

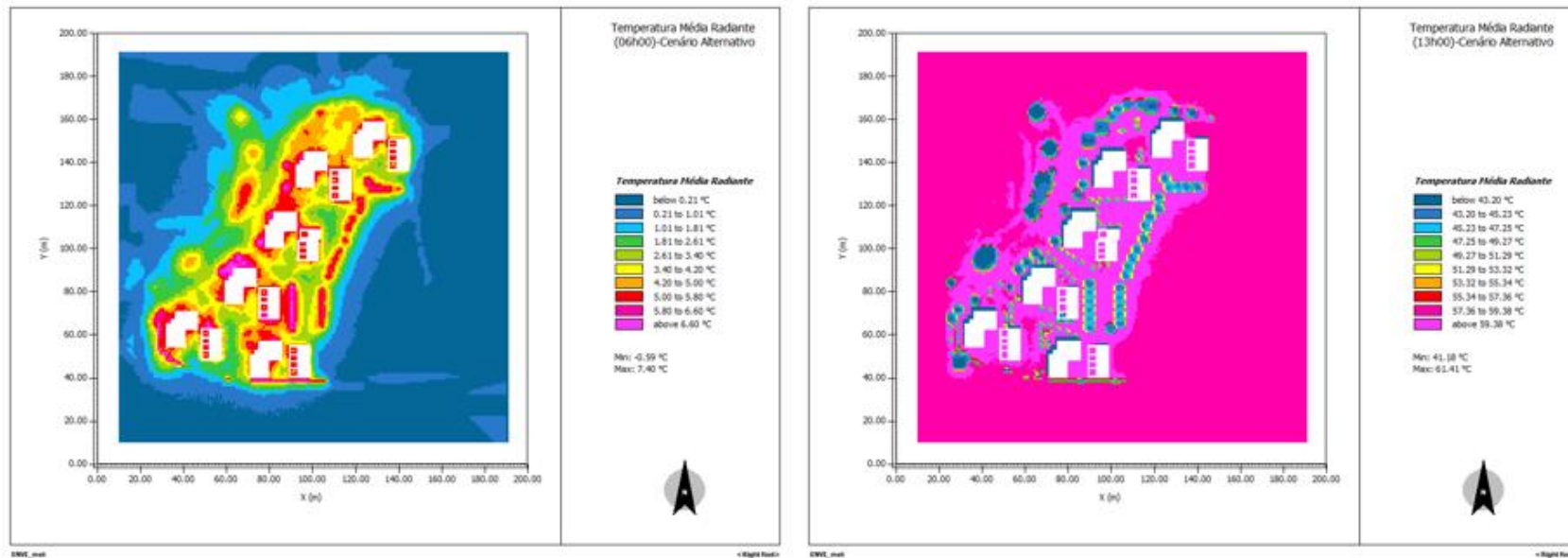


Figura 79: Resultados temperatura média radiante para as 06h00 (esquerda) e as 13h00 (direita)-cenário alternativo.

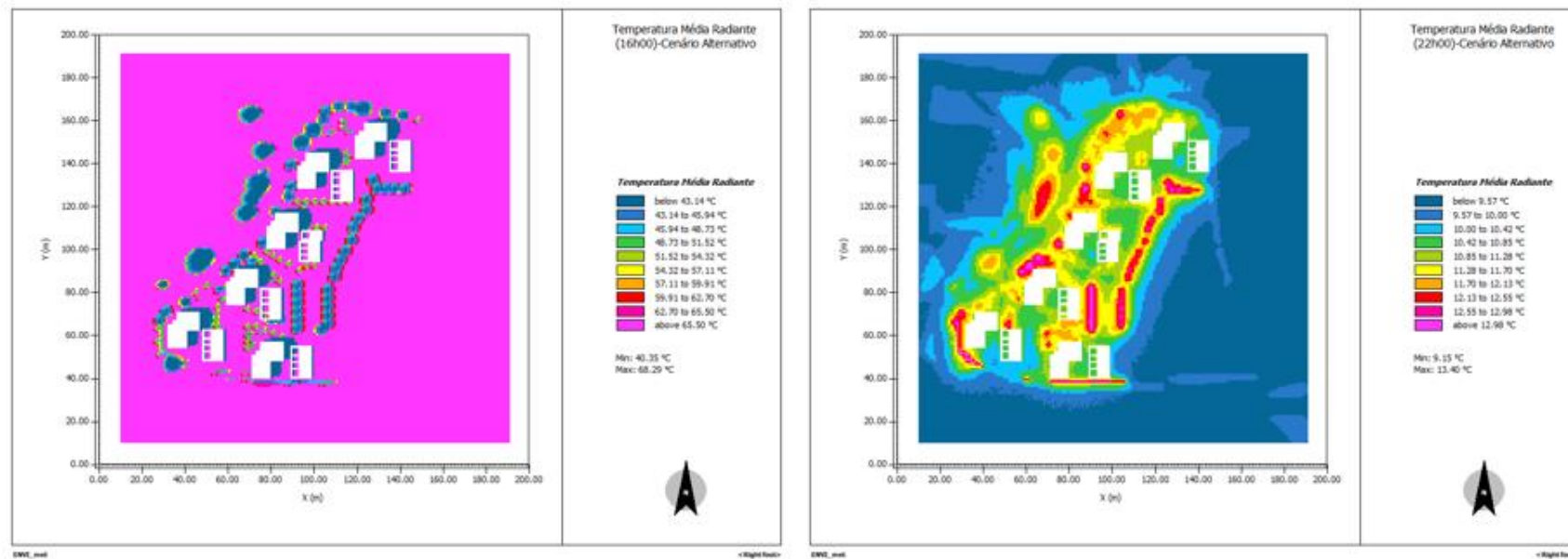


Figura 80: Resultados temperatura média radiante para as 16h00 (esquerda) e as 22h00 (direita)-cenário alternativo.

4.4.1 Resultados para Predicted Mean Vote (PMV)-Cenário Alternativo

Também se calculou o PMV para o cenário alternativo, simulando resultados tanto para o gênero masculino como para o feminino, utilizando as médias dos valores obtidos nos inquéritos.

A Figura 81 apresenta os resultados de PMV para as 06h00, quer para o gênero feminino, quer para o masculino, sendo que houve uma variação entre -3,70 e -2,52 e entre -4,26 e -2,96, respectivamente.

Pela Figura 82 é possível concluir que há um acréscimo dos valores para as 07h00, variando entre -2,97 e -1,95 (feminino) e entre -3,47 e -2,37 (masculino), sendo que foi nesta hora que começou a incidir a radiação solar sobre a área de estudo.

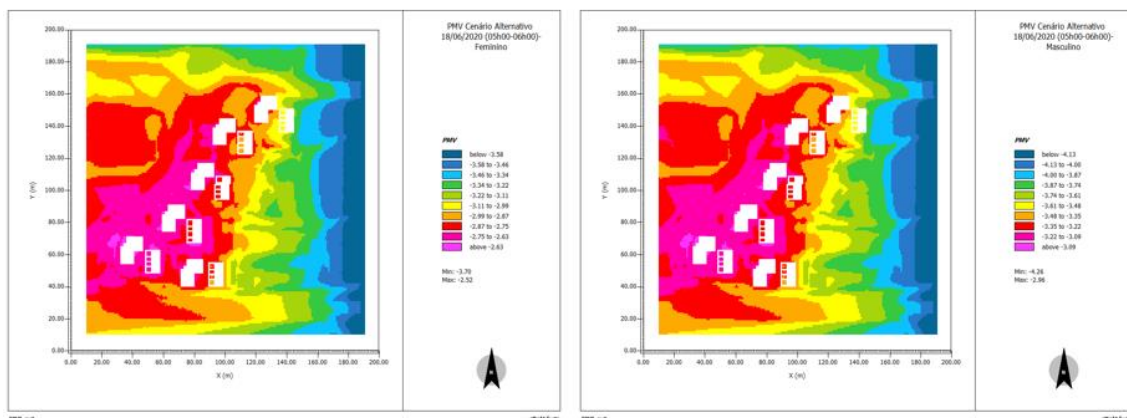


Figura 81: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o gênero feminino (esquerda) e masculino (direita) às 06h00.

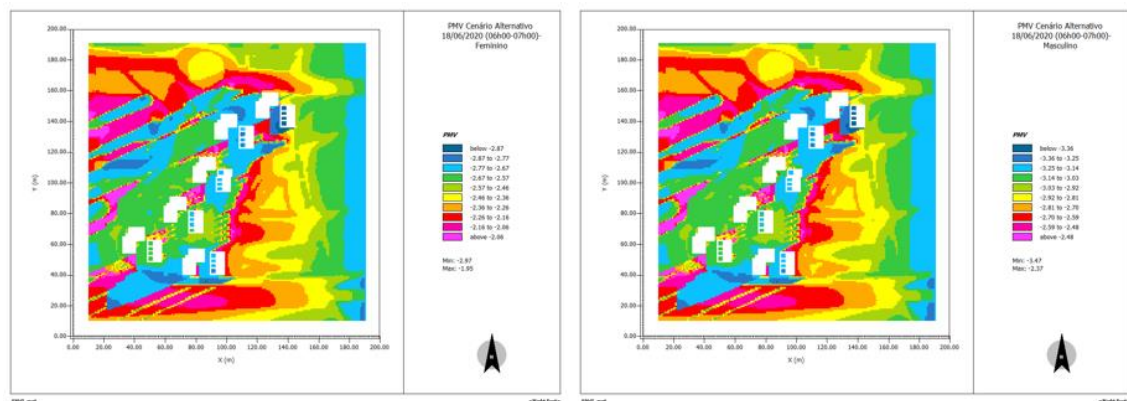


Figura 82: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o gênero feminino (esquerda) e masculino (direita) às 07h00.

A Figura 83 apresenta os resultados de PMV para as 12h00, resultados esses que variaram entre 0,36 e 2,09 (feminino) e entre 0,16 e 2,05 (masculino).

Para as 13h00, os resultados de PMV variaram entre 0,89 e 2,56 (feminino) e entre 0,74 e 2,57 (masculino) (Figura 84), um acréscimo em relação aos resultados da hora anterior, devido ao aumento de temperatura.

Os locais que apresentam valores entre +1 e -1, situam-se junto à vegetação arbórea, devido ao efeito de sombra e também junto aos edifícios também devido ao efeito de sombra.

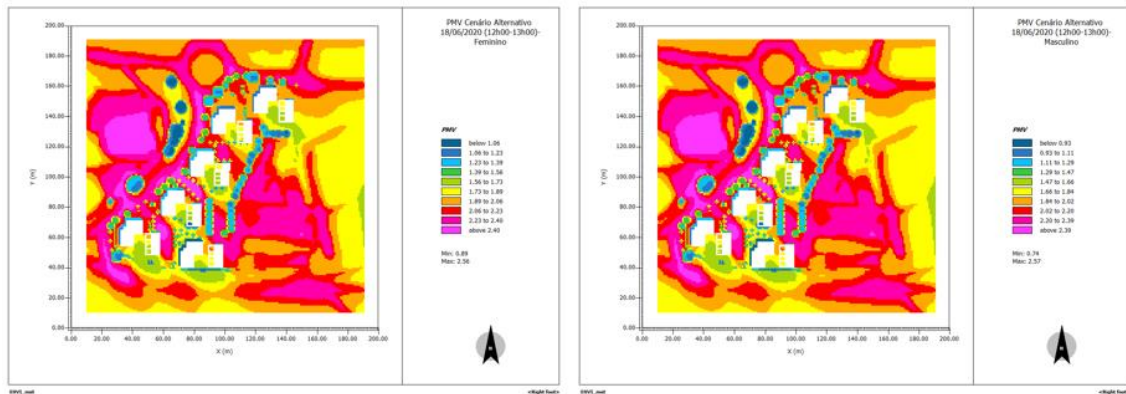


Figura 83: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 12h00.

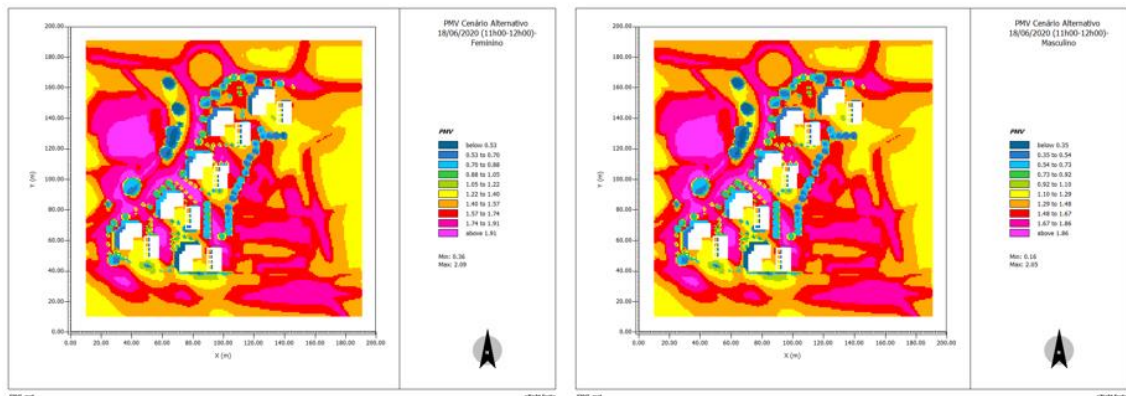


Figura 84: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 13h00.

Para o período da tarde, às 16h00, os resultados variaram entre 1,30 e 3,42 (feminino) e entre 1,71 e 3,52 (masculino), como demonstra a Figura 85. Também nesta situação se verifica o efeito de sombra causado pela vegetação adicionada.

Às 17h00, a Figura 86, mostra os resultados que variaram entre 1,24 e 3,55 (feminino) e entre 1,14 e 3,65 (masculino), comparando com os resultados da hora anterior, há um aumento da amplitude entre valores de PMV.

O mapa obtido para esta hora, mostra que grande parte da zona de estudo apresenta elevados valores de PMV, com exceção dos locais com vegetação (valores próximos de +1), devido ao efeito de sombra. Os locais modificados revelam melhorias ao nível do conforto térmico, devido ao efeito de sombra das árvores.

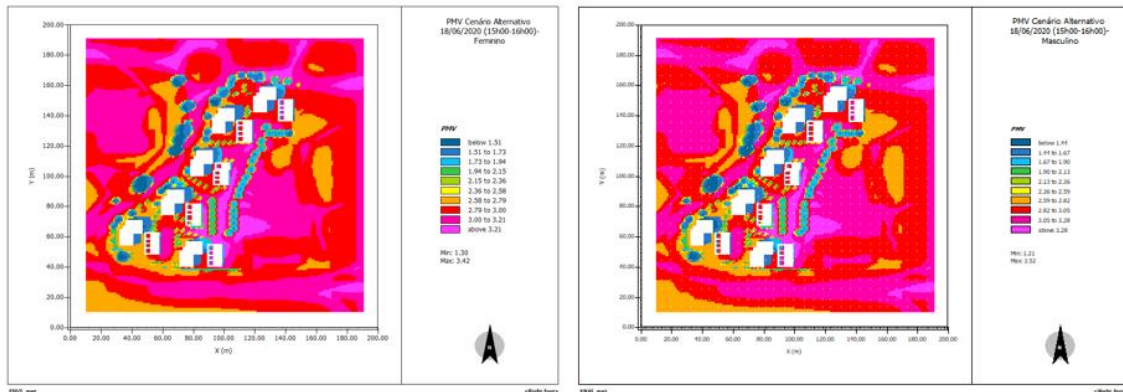


Figura 85: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 15h00.

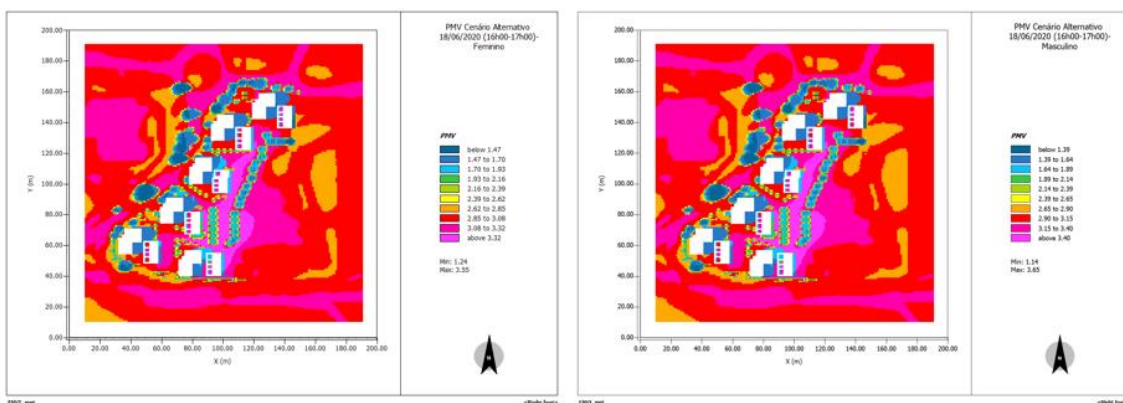


Figura 86: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 16h00.

Na Figura 87, os resultados de PMV variaram entre -1,38 e -0,70 (feminino) e entre -0,96 e -1,68 (masculino).

Para as 22h00, a Figura 88 mostra os resultados, que variaram entre -0,93 e -1,57 (feminino) e entre -1,21 e -1,88 (masculino).

Os mapas revelam que os locais onde se estimaram valores entre +1 e -1, situam-se na envolvente dos edifícios.

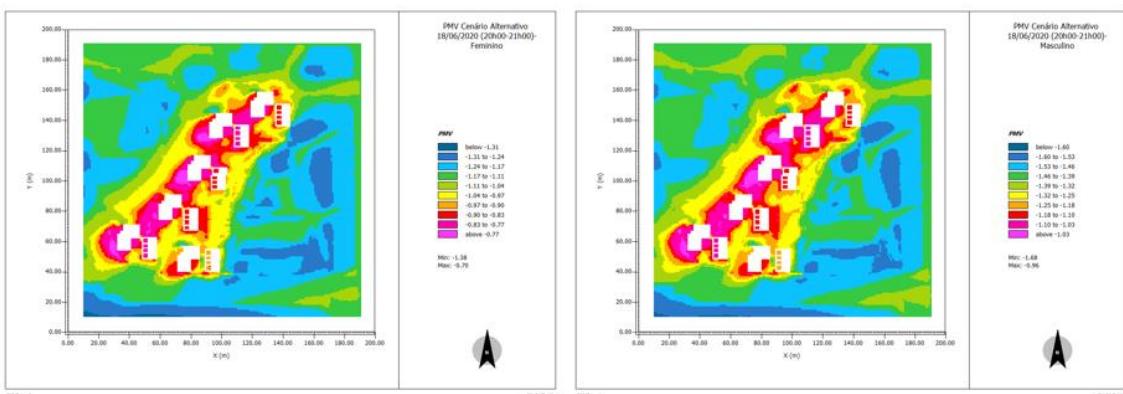


Figura 87: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 21h00.

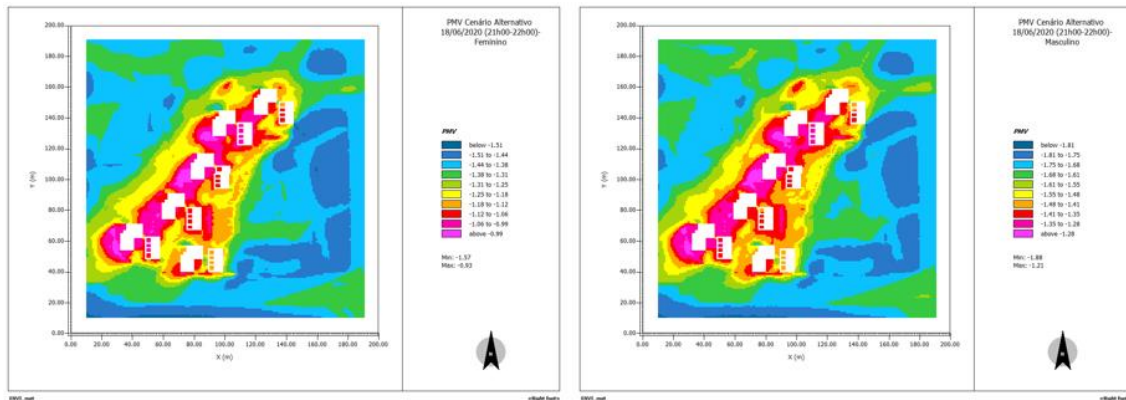


Figura 88: Resultados estimados para PMV (cenário alternativo) para o género feminino (esquerda) e masculino (direita) às 22h00.

Os resultados estimados, permitem concluir que no período da manhã e na primeira hora do período do pôr do sol (21h00), se apresentam valores entre +1 e -1, nos locais com vegetação arbórea e na envolvente dos edifícios.

4.5 Discussão dos resultados

Na Figura 89 são apresentados os resultados da temperatura do ar nos locais de monitorização e os valores estimados pela simulação para esses mesmos pontos. Nestes gráficos é possível identificar os períodos de monitorização, que estão separados por barras verticais.

Em todos os pontos verificou-se uma estimativa mais elevada para os valores de temperatura na simulação durante o nascer do sol e do pôr do sol, quando comparados com os dados da monitorização. Nos pontos 2 e 4, a sobrestimação continua para o período da manhã e da tarde. Já para o ponto 1 e 3 os resultados da simulação estimaram valores mais baixos de temperatura do ar, quando comparados com os dados registados pela monitorização no local.

Importa referir que onde houve uma maior diferença de resultados foi no período do nascer do sol, principalmente na primeira hora (05h00), onde a diferença ultrapassou os 3°C. Nos estudos de Coltri *et al.* (2019) também se verificou a sobrestimação de resultados relativos à temperatura do ar, embora com maior incidência tanto no período da manhã, como no tarde. Já no estudo de Chow *et al.* (2012, *cit. in* X. Yang *et al.*, 2013) referiu-se também uma sobrestimação dos valores da temperatura durante a noite e uma subestimação durante o dia.



Figura 89: Comparação entre os valores da temperatura do ar medida e os valores estimados na simulação.

Através da correlação de Pearson é possível medir o grau de correlação entre duas variáveis (temperatura registada por medição e temperatura estimada por simulação), onde se pode também retirar se a mesma é positiva ou negativa. A Tabela 8 apresenta os valores de correlação entre os valores da temperatura registados por medição e os valores estimados por simulação, onde se verifica uma correlação positiva e muito forte nos quatro pontos, já que os valores se aproximam de 1.

Tabela 8: Correlação de Pearson entre os dados registados por medição e os dados estimados por simulação para a temperatura

| | Ta Ponto 1 (ENVI-met) | Ta Ponto 2 (ENVI-met) | Ta Ponto 3 (ENVI-met) | Ta Ponto 4 (ENVI-met) |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ta Ponto 1 | 0,983 | - | - | - |
| Ta Ponto 2 | - | 0,984 | - | - |
| Ta Ponto 3 | - | - | 0,968 | - |
| Ta Ponto 4 | - | - | - | 0,990 |

A comparação entre os dados medidos e os resultados estimados por simulação para a humidade relativa está visível na Figura 90. Neste parâmetro observou-se essencialmente uma sobrestimação dos valores de simulação em relação aos valores registados na medição no local. As principais diferenças também se verificaram na primeira hora do período de medição referente ao nascer do sol (05h00), que pode ser explicado pelo acionamento do sistema de rega. Esta sobrestimação dos valores da humidade relativa já se verificou num estudo de Tsoka *et al.* (2018).

Tendo em conta a relação existente entre a temperatura do ar e a humidade relativa, era expetável que a uma sobrestimação dos valores da temperatura do ar corresponda uma subestimação da humidade relativa.

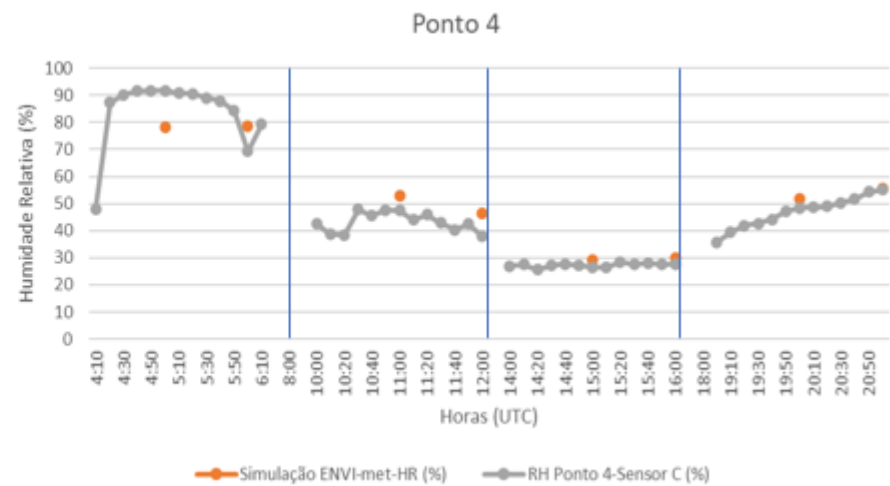
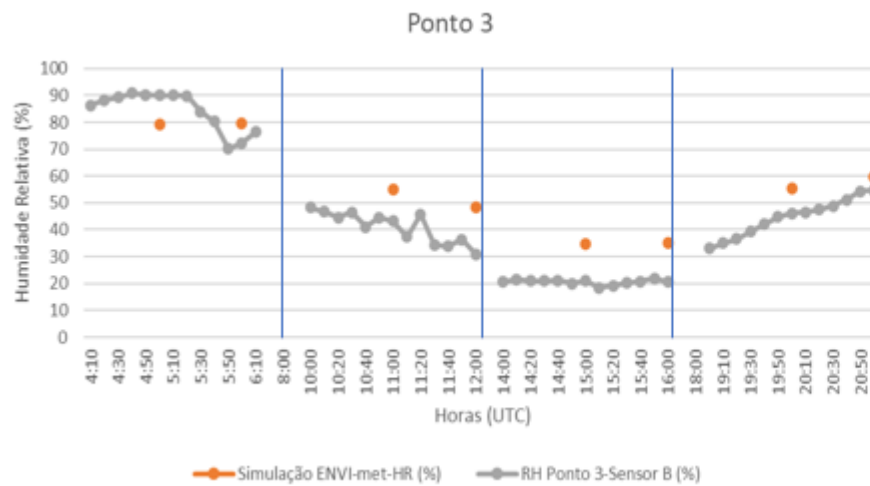
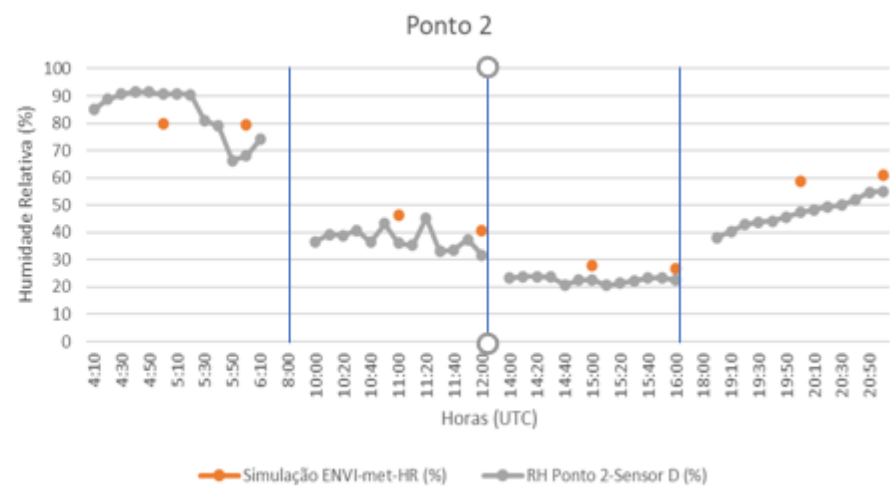
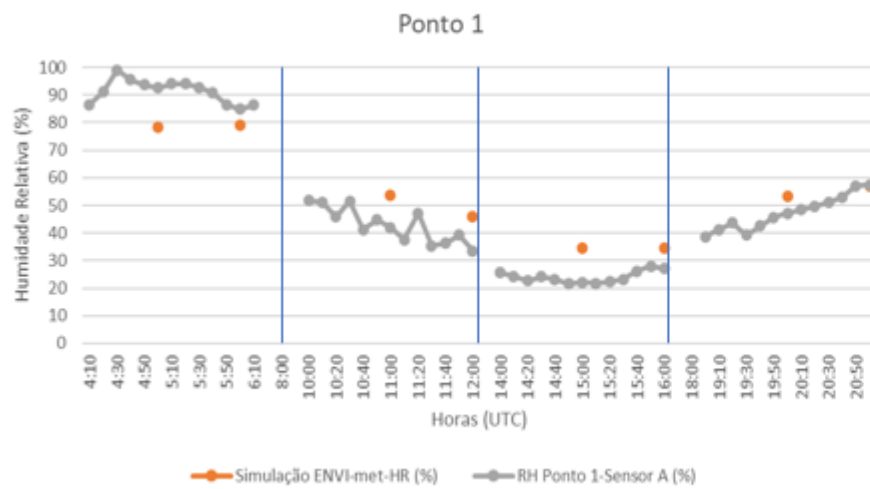


Figura 90: Comparação entre os valores da humidade relativa medida e os valores estimados na simulação.

A Tabela 9 apresenta os valores de correlação entre os valores registados por medição e os estimados na simulação para a humidade relativa, onde se conclui que a correlação é muito forte e positiva nos quatro pontos.

Tabela 9: Correlação de Pearson entre os dados registados por medição e os dados estimados por simulação para a humidade relativa.

| | HR Ponto 1 (ENVI- met) | HR Ponto 2 (ENVI- met) | HR Ponto 3 (ENVI- met) | HR Ponto 4 (ENVI- met) |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| HR Ponto 1 | 0,982 | - | - | - |
| HR Ponto 2 | - | 0,955 | - | - |
| HR Ponto 3 | - | - | 0,966 | - |
| HR Ponto 4 | - | - | - | 0,955 |

Os gráficos da Figura 91 são referentes à comparação de valores medidos e os estimados na simulação, onde se denotou em todos os pontos, uma subestimação dos valores da simulação. Importa referir que o modelo assume um vento de fundo constante e como tal, não simula as variações registadas.

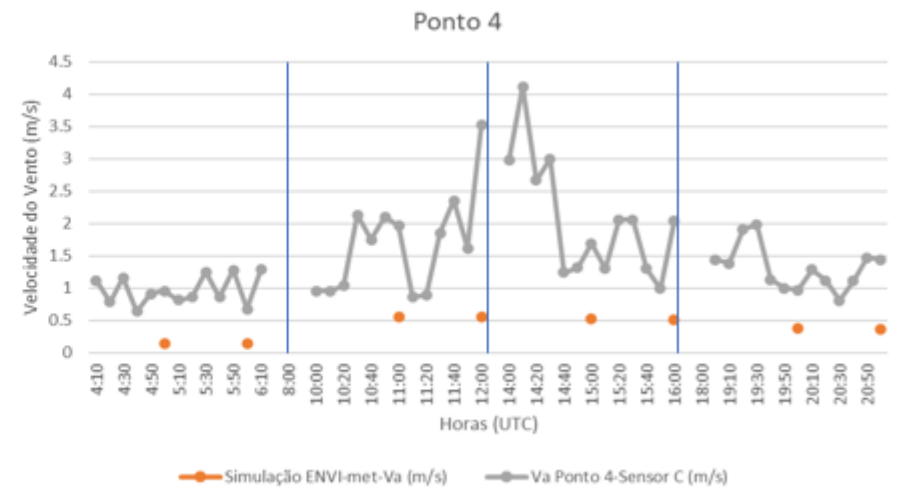
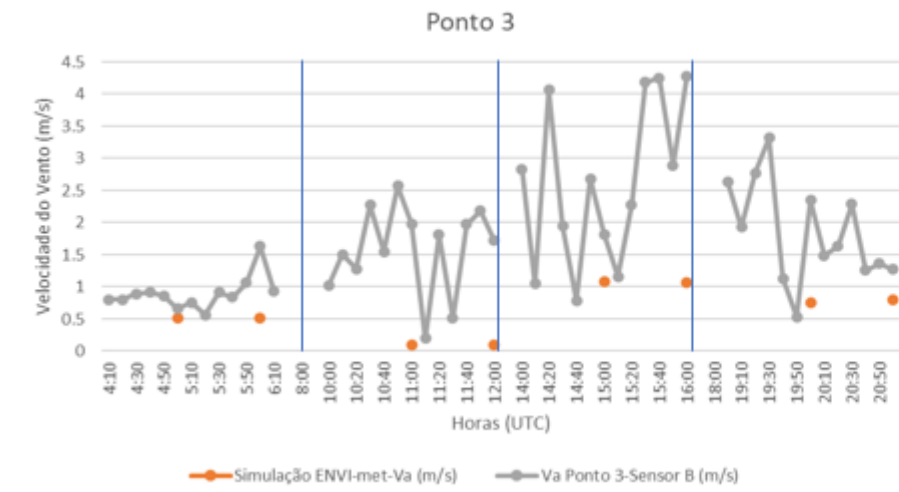
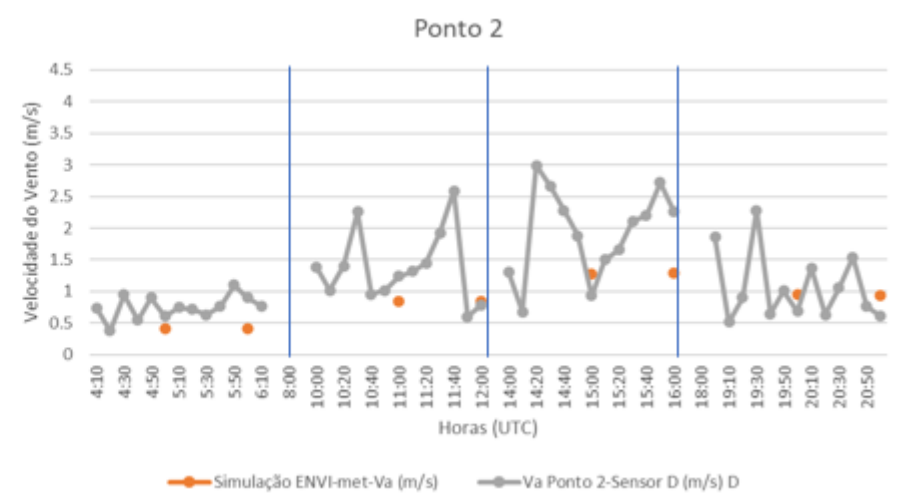
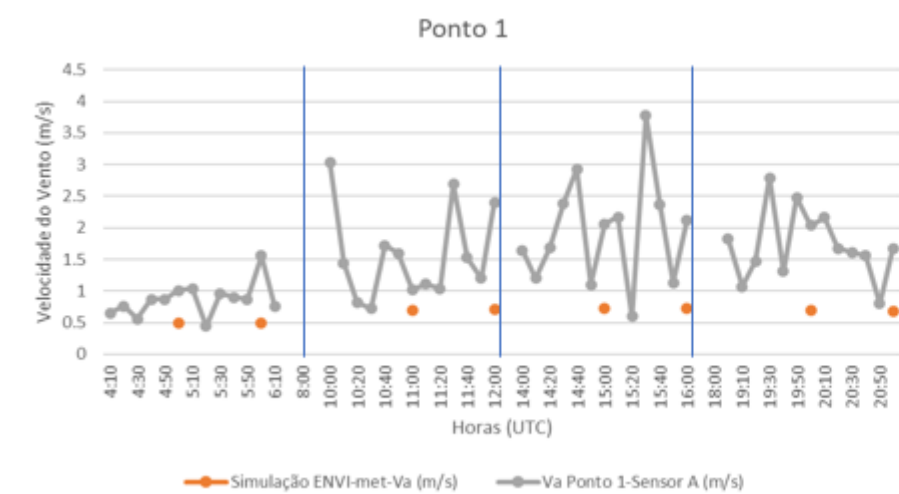


Figura 91: Comparação entre os valores da velocidade do vento medida e os valores estimados na simulação.

Para a temperatura média radiante, os gráficos apresentados na Figura 92 permitem comparar os valores estimados por intermédio da simulação com os valores medidos, nos quatro pontos. As maiores diferenças neste parâmetro verificaram-se no ponto 1 às 16h00, com 21°C de diferença e no ponto 3 às 06h00 com 31°C de diferença. Esta situação de grande diferença, entre os valores registados por medição e os valores estimados por simulação, poderá eventualmente ser explicada pela divergência entre os parâmetros associados às superfícies na simulação, como sejam os valores de albedo, ou também pela forma que os fluxos radiativos emitidos são calculados no modelo (Gál *et al.*, 2020).

A Tabela 10 é referente aos valores de correlação para a temperatura média radiante, correlação essa que é feita entre os valores de simulação e os valores da medição no local, concluindo-se assim que a correlação é positiva e muito forte.

Tabela 10: Correlação de Pearson entre os dados registados por medição e os dados estimados por simulação para a temperatura média radiante.

| | Tmrt Ponto 1 (ENVI- met) | Tmrt Ponto 2 (ENVI- met) | Tmrt Ponto 3 (ENVI- met) | Tmrt Ponto 4 (ENVI- met) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Tmrt Ponto 1 | 0,946 | - | - | - |
| Tmrt Ponto 2 | - | 0,981 | - | - |
| Tmrt Ponto 3 | - | - | 0,937 | - |
| Tmrt Ponto 4 | - | - | - | 0,869 |

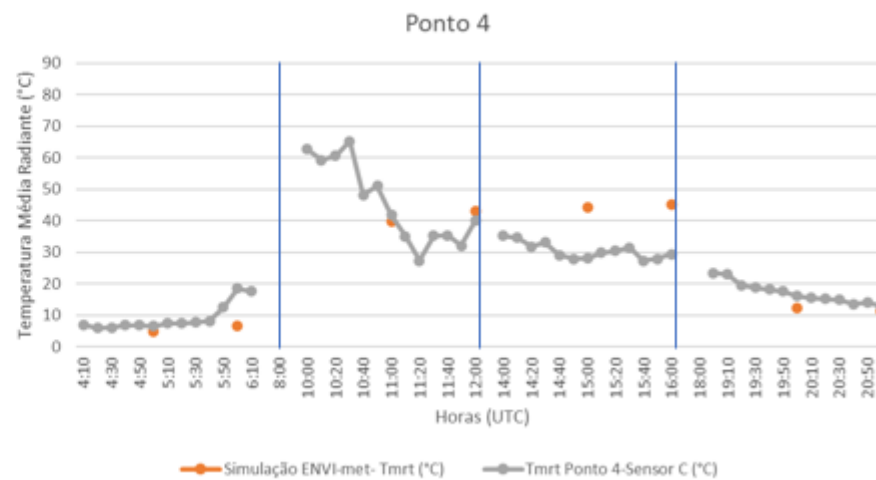
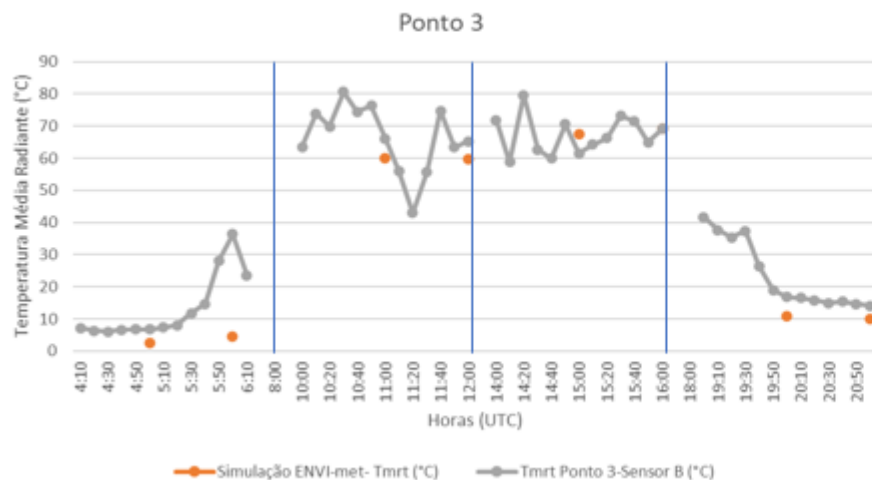
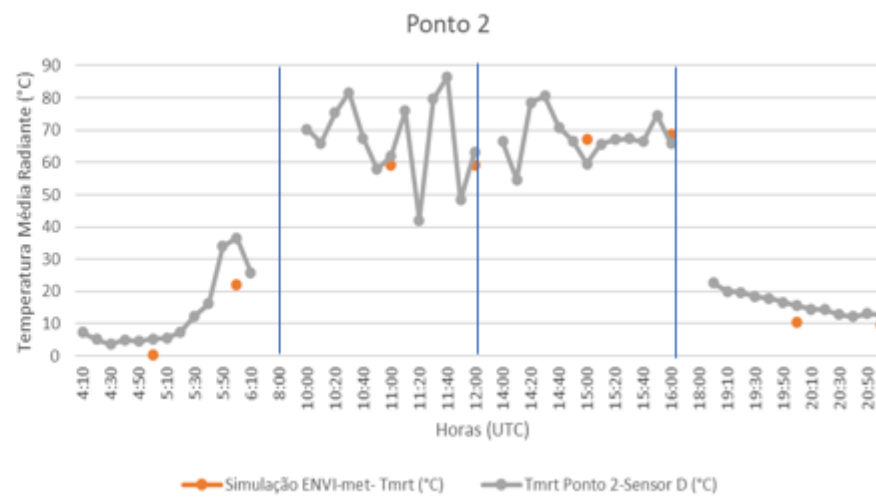
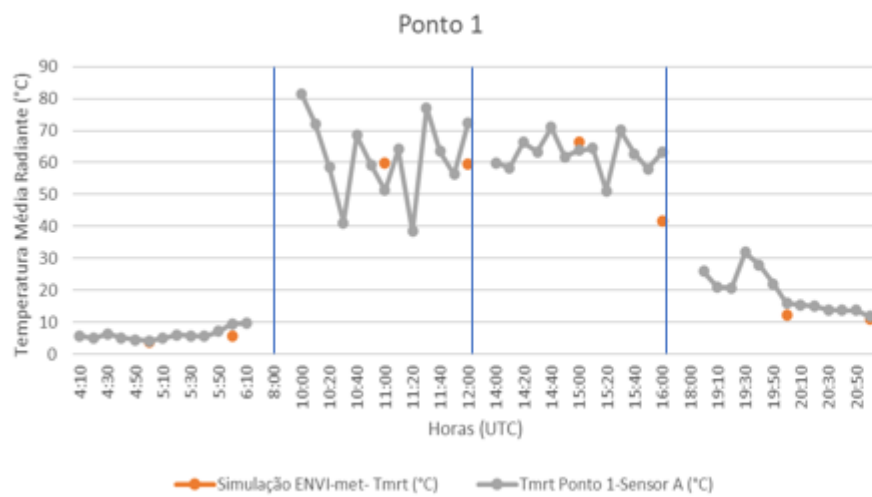


Figura 92: Comparação entre os valores da temperatura média radiante medida e os valores estimados na simulação.

4.5.1 Comparação de resultados entre o cenário alternativo e a simulação para o dia 18 de junho de 2020

O *software* ENVI-met também permite que se comparem dois resultados entre si, podendo assim verificar-se as diferenças entre a simulação para o cenário inicial e o cenário alternativo, tendo por base a informação recolhida para o dia 18 de junho de 2020.

Os valores estimados para a diferença absoluta para as 06h00 não apresentaram grandes variações, como se verifica na Figura 93, embora haja acréscimos na temperatura do cenário alternativo de 0,48°C no seu valor máximo.

Os resultados da hora seguinte (07h00), revelaram algo idêntico, com variações entre -0,55°C e 0,13°C, como se pode ver na Figura 94. O aumento pode ser explicado pela diminuição da ventilação, por incremento da rugosidade promovido pela presença de mais vegetação, assim como uma alteração substancial do Fator de Visão do Céu, que pode ter determinado diferenças na libertação de radiação de maior comprimento de onda durante a noite.

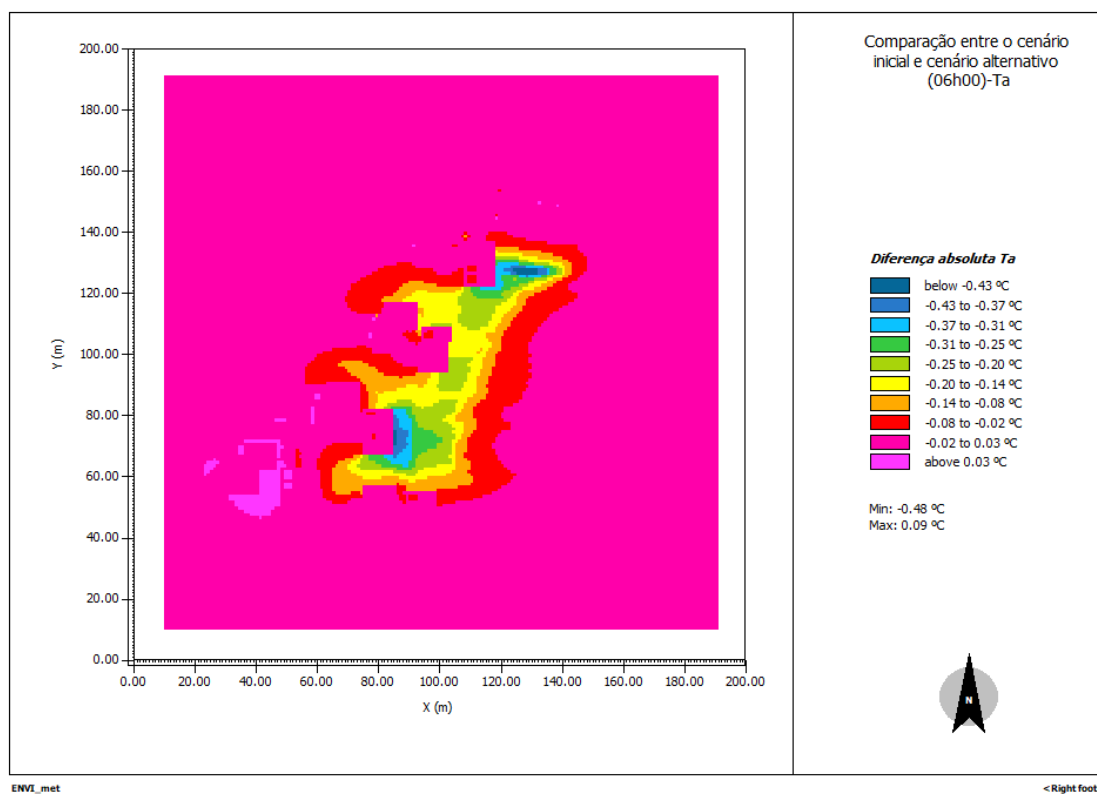


Figura 93: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 06h00.

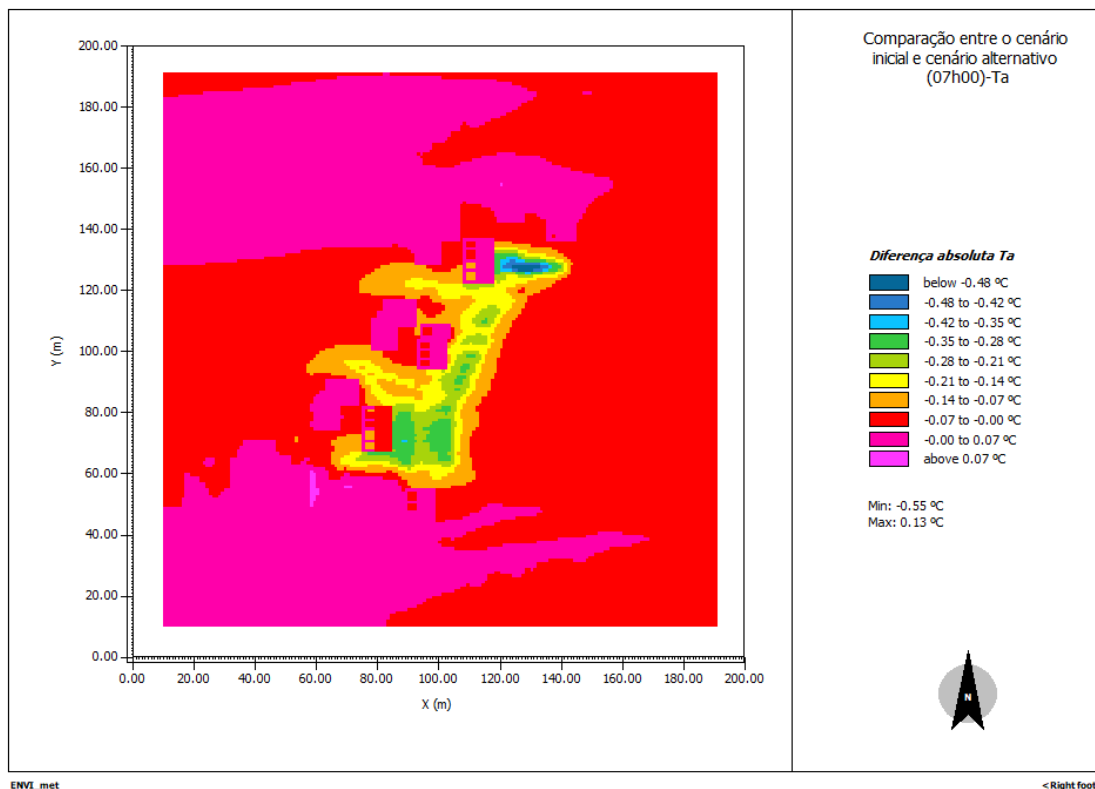


Figura 94: Compara o entre os resultados estimados para a simula o de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 07h00.

A Figura 95 mostra a diferença absoluta entre o resultado estimado para a simula o para o dia 18 de junho de 2020 e para o cenário alternativo, para as 12h00. Em toda a área de estudo verificou-se que houve locais que registaram um decréscimo simulado máximo de 1,04 C. Este decréscimo ocorreu em locais próximos das zonas onde foi introduzida a vegeta o. Pontualmente, registaram-se ligeiros acréscimos de temperatura podendo esta diferença ser explicada pela menor ventila o que resulta do aumento da rugosidade motivada pela presença de vegeta o.

Para as 13h00 (Figura 96), acompanhando o acréscimo da temperatura, também se verificou um aumento da diferença entre os resultados, sendo o valor máximo de 1,41 C, por oposi o aos locais que sofreram um aumento da temperatura, principalmente os pavimentados com asfalto, sendo esse acréscimo próximo de 1,0 C.

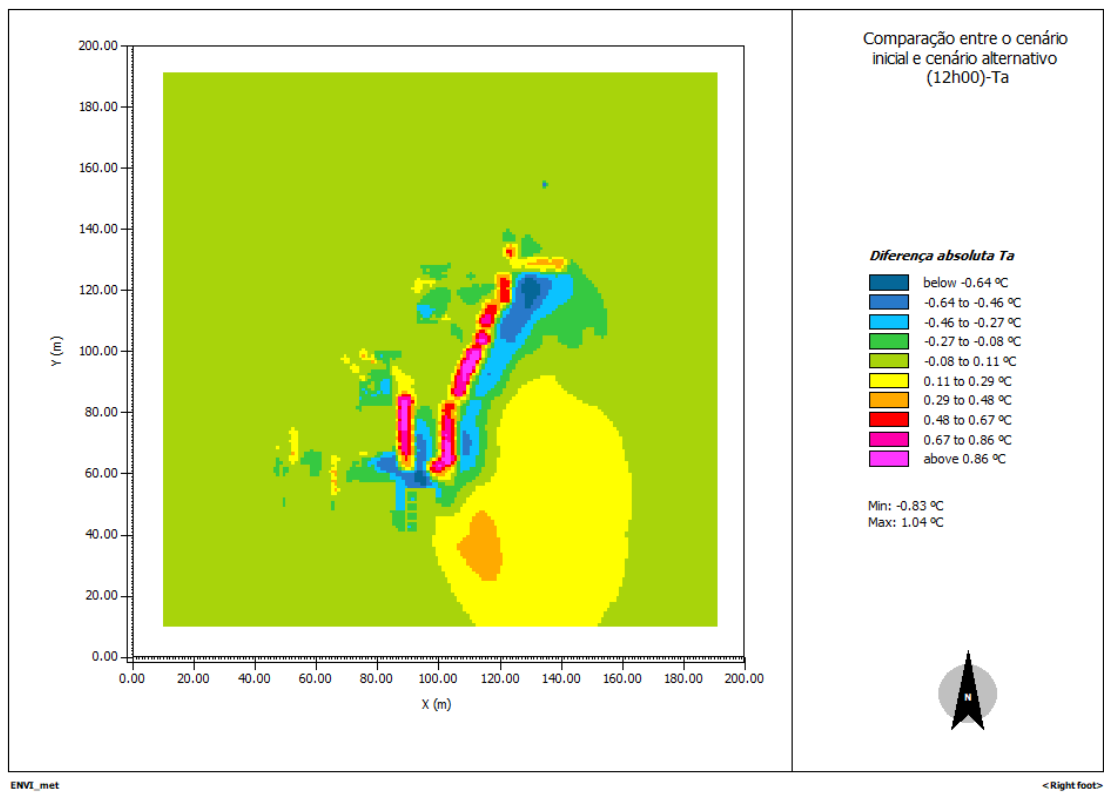


Figura 95: Compara o entre os resultados estimados para a simula o de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 12h00.

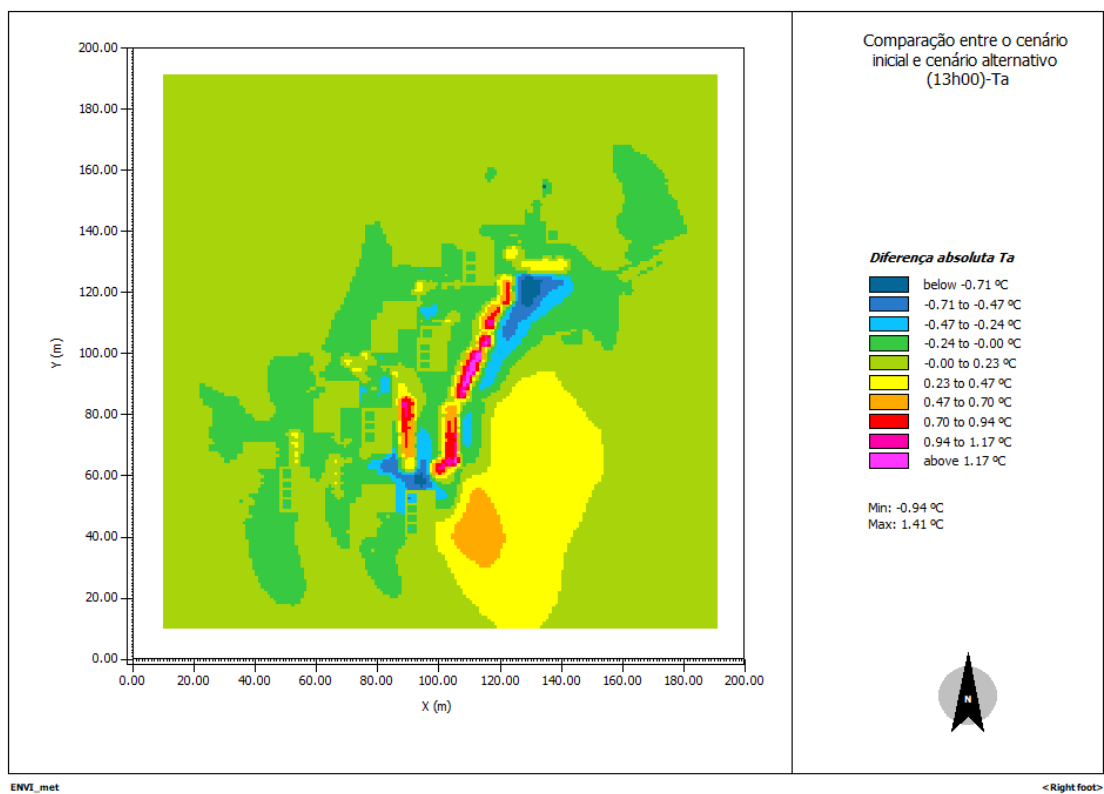


Figura 96: Compara o entre os resultados estimados para a simula o de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 13h00.

Para as simulações da tarde as diferenças acentuaram-se com o aumento da temperatura.

A Figura 97 mostra as diferenças para as 16h00, sendo a diferença máxima de 1,77°C. Nalguns locais, verificou-se também um aumento estimado da temperatura após a introdução das árvores no cenário, sendo que o mesmo aumento atingiu os 0,41°C.

A Figura 98 é referente às 17h00, nesta hora os resultados estimados indicaram uma variação entre a diminuição máxima de temperatura de 1,34°C e um aumento da temperatura em certos pontos de 0,56°C.

Este acréscimo poderá ser explicado, tal como anteriormente foi mencionado, pelo incremento da rugosidade no local originando uma diminuição da ventilação.

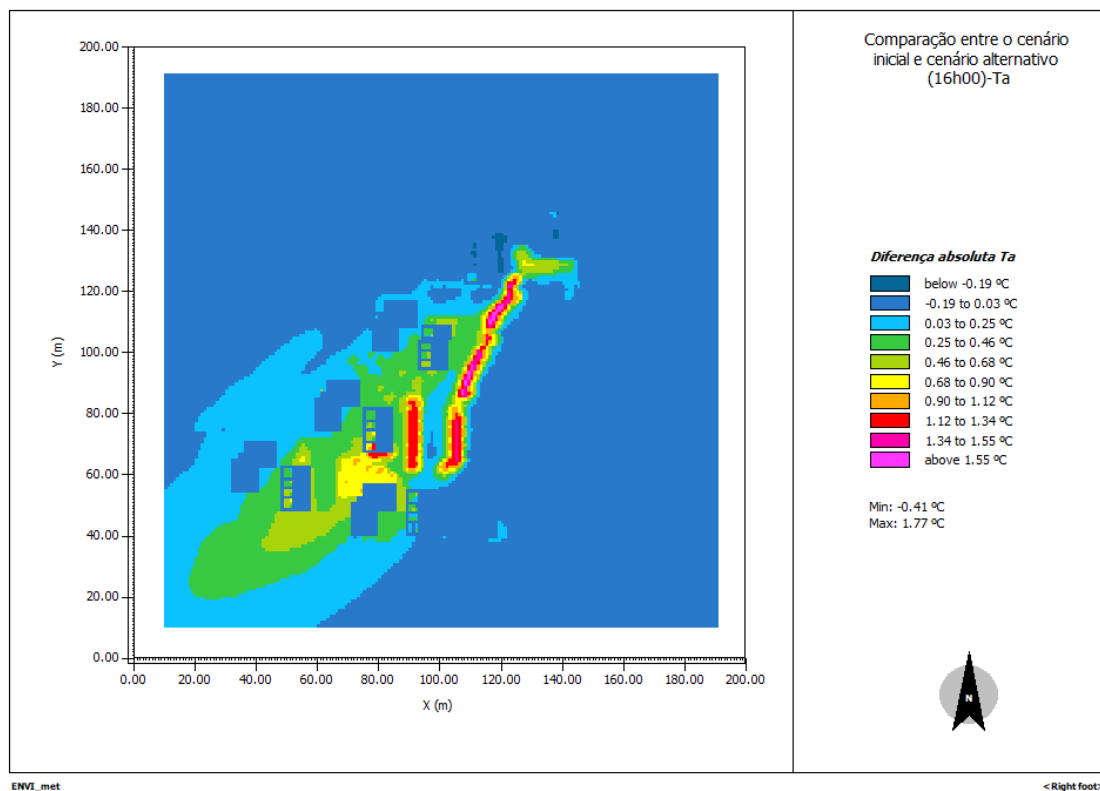


Figura 97: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 16h00.

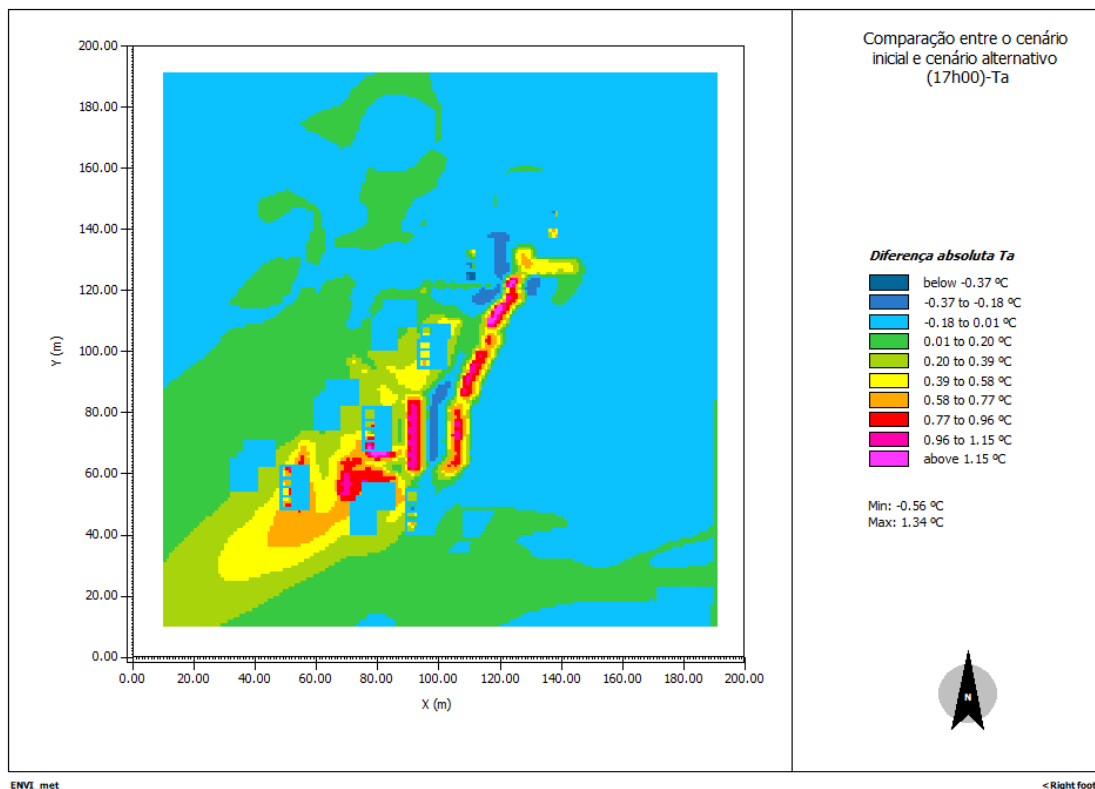


Figura 98: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 17h00.

Durante o período do pôr do sol, as diferenças entre os resultados estimados na simulação de dia 18 de junho e os estimados no cenário alternativo para as 21h00 são quase nulas (Figura 99), destacando-se que houve locais onde se estimou um ligeiro decréscimo na temperatura e outros que estimaram um ligeiro acréscimo da temperatura, entre $-0,11^{\circ}\text{C}$ e $0,16^{\circ}\text{C}$.

Às 22h00 (Figura 100) as diferenças absolutas variaram entre $-0,13^{\circ}\text{C}$ e $0,17^{\circ}\text{C}$, não diferindo muito da hora anterior.

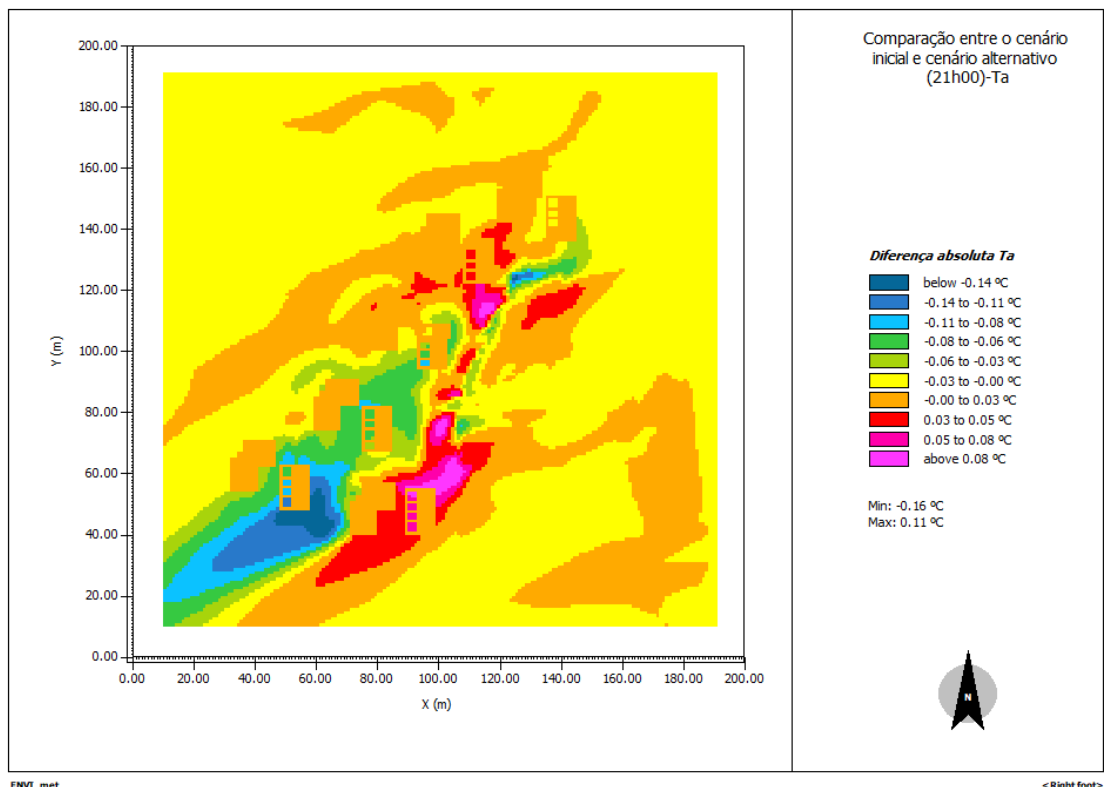


Figura 99: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 21h00.

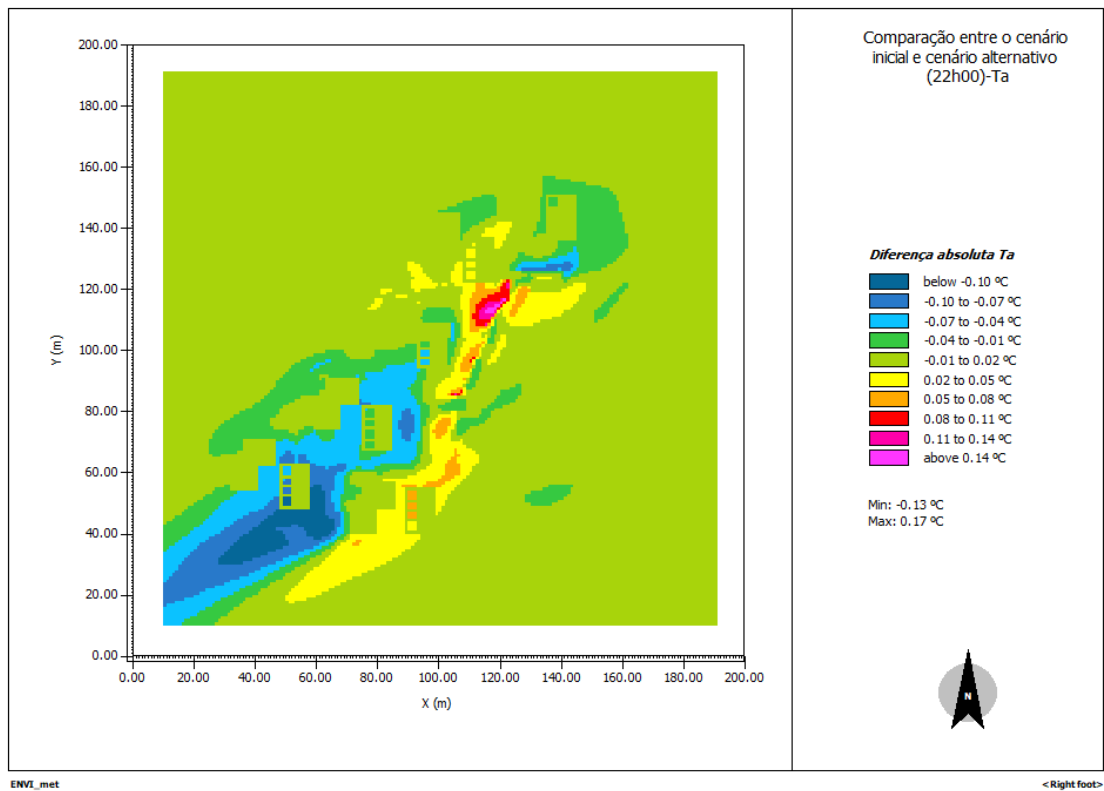


Figura 100: Comparação entre os resultados estimados para a simulação de dia 18 de junho de 2020 e o cenário alternativo para as 22h00.

Como expetável, com a introdução de vegetação arbórea, o *software* estimou uma diminuição da temperatura na quase totalidade da área de estudo. Pontualmente, o incremento da densidade das árvores pode ainda levar à diminuição da ventilação, o que por sua vez pode determinar incrementos pontuais da temperatura em locais com pavimentos de baixo albedo, Yilmaz *et al.* (2018) chegaram a conclusões idênticas.

Também se compararam os resultados estimados da temperatura média radiante, onde a Figura 101 é referente às 06h00 e às 13h00 e a Figura 102 é referente às 16h00 e às 22h00.

Para as 06h00 e as 22h00 os resultados indicaram que, onde foi introduzida a vegetação arbórea, o local tem um acréscimo da temperatura média radiante, podendo ser explicado pela retenção de alguma radiação que sai sob a copa das árvores (Ferwati *et al.*, 2020). Já os resultados estimados para as 13h00 e as 16h00 indicaram que esses mesmos locais sofrem um decréscimo da temperatura média radiante.

Para melhor se entender as melhorias no local, também se comparam os resultados estimados de PMV entre o cenário inicial e o cenário alternativo.

A Figura 103 apresenta os resultados da diferença absoluta para as 06h00 e para as 13h00, para o sexo feminino. Para as 06h00, a introdução de vegetação arbórea trouxe melhorias, já que se pensa que a copa das árvores diminui a perda de radiação de grande comprimento de onda, aumentando assim o valor de PMV. No período das 13h00, observou-se que devido ao efeito de sombra, o valor de PMV diminuiu, trazendo melhorias também para este momento.

Na Figura 104 são apresentados os resultados para as 16h00 e para as 22h00, para o sexo feminino. Durante a primeira hora, o efeito de sombra também trouxe melhorias, estimando-se menores valores de PMV. Na segunda hora estimou-se um aumento do valor de PMV.

Para o sexo masculino, a Figura 105 apresenta os resultados para 06h00 e para as 13h00 e a Figura 106 para as 16h00 e para as 22h00, estes resultados apresentados revelaram que não há diferenças comparativamente com os resultados apresentados para o sexo feminino, com a introdução da vegetação arbórea.

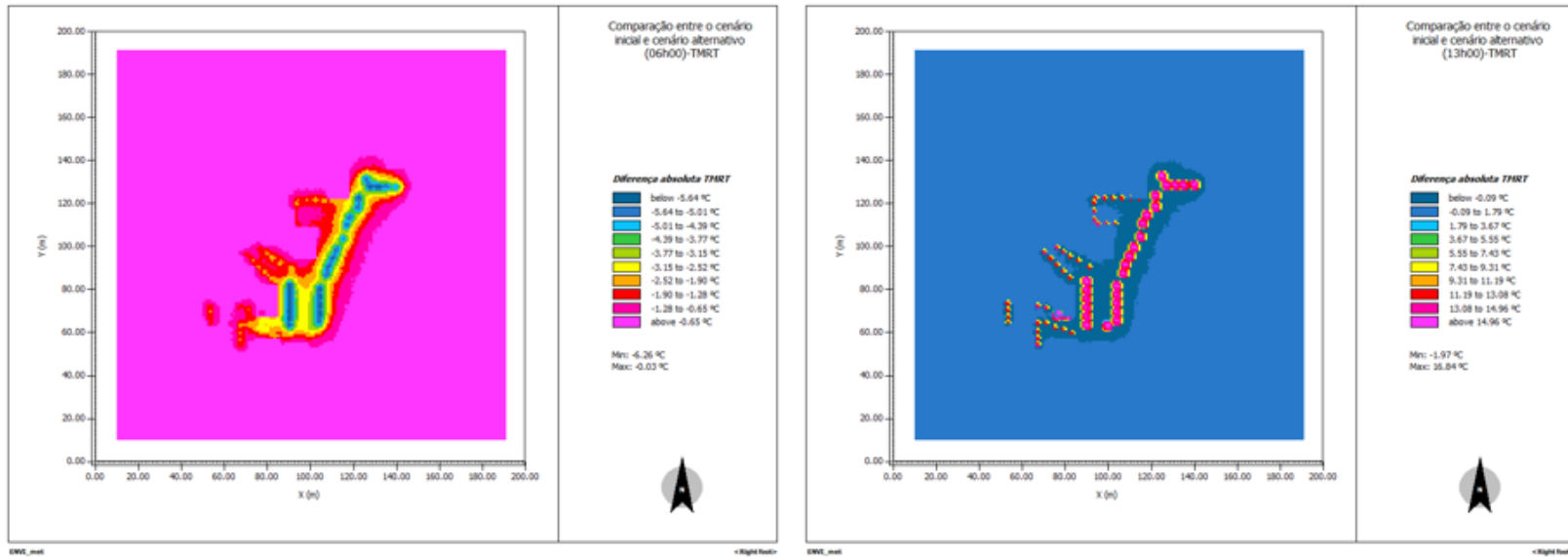


Figura 101: Comparação entre os valores da temperatura média radiante do cenário inicial e do cenário alternativo para as 06h00 (esquerda) e 13h00 (direita).

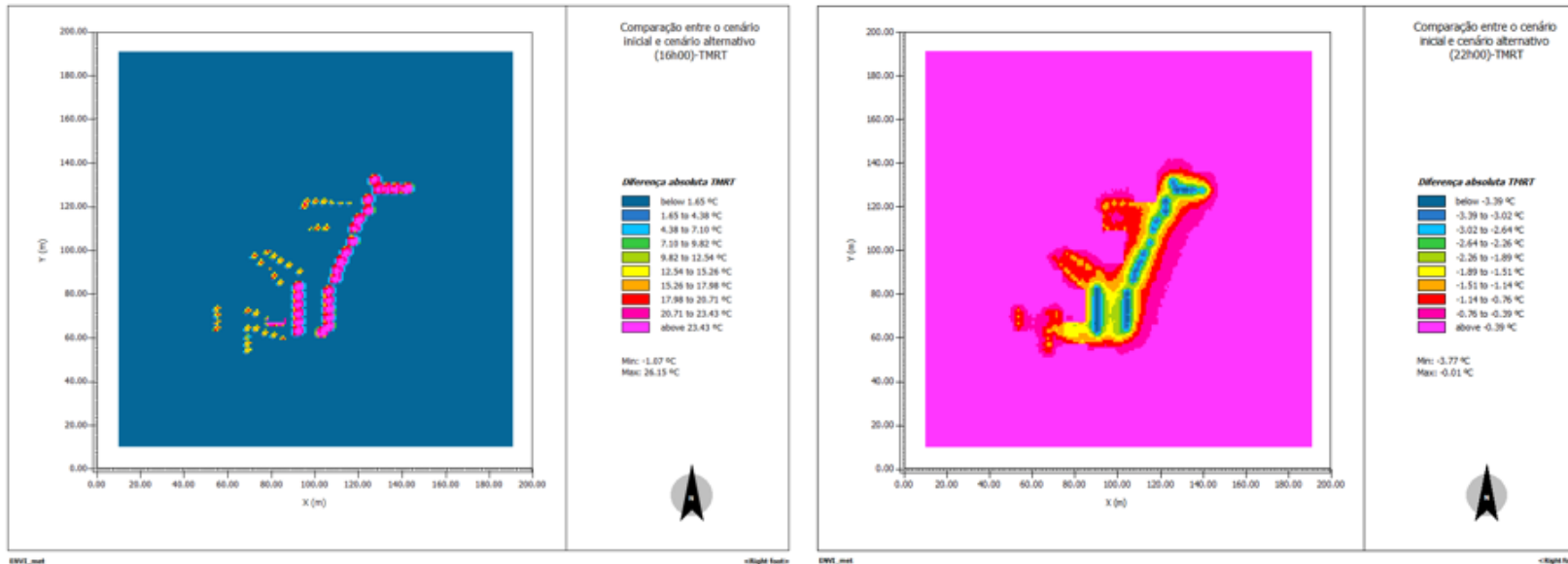


Figura 102: Comparação entre os valores da temperatura média radiante do cenário inicial e do cenário alternativo para as 16h00 (esquerda) e 22h00 (direita).

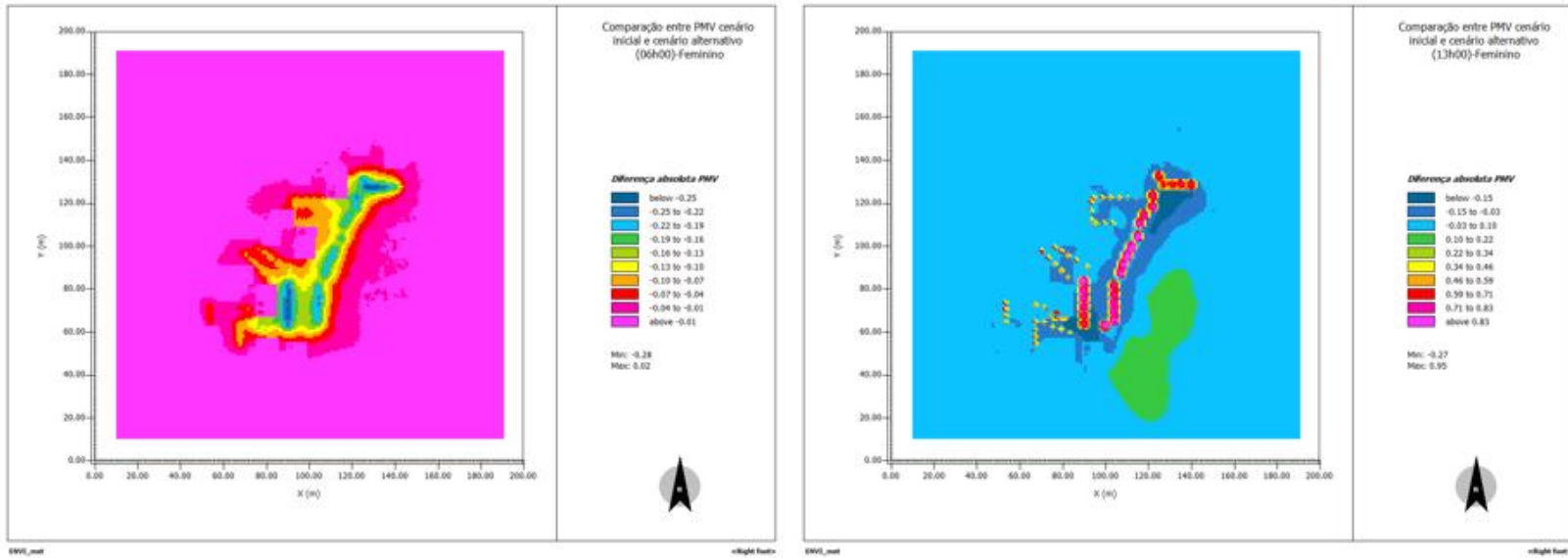


Figura 103: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 06h00 (esquerda) e para as 13h00 (direita)-feminino.

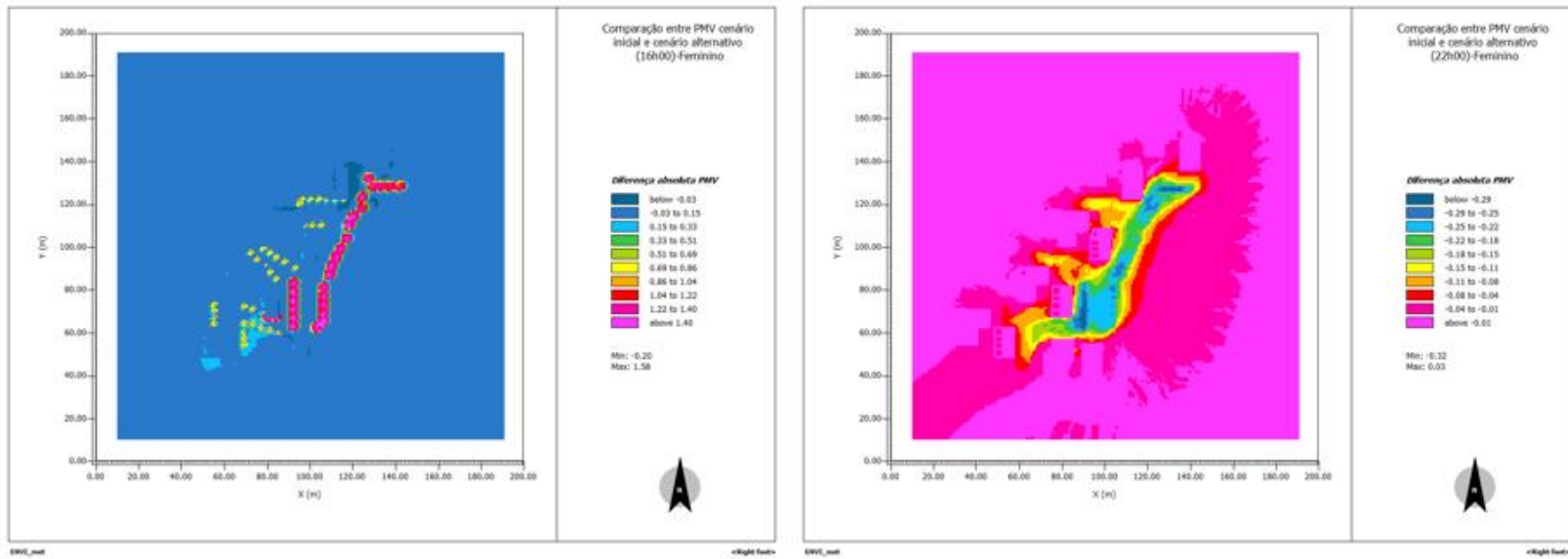


Figura 104: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 16h00 (esquerda) e para as 22h00 (direita)-feminino.

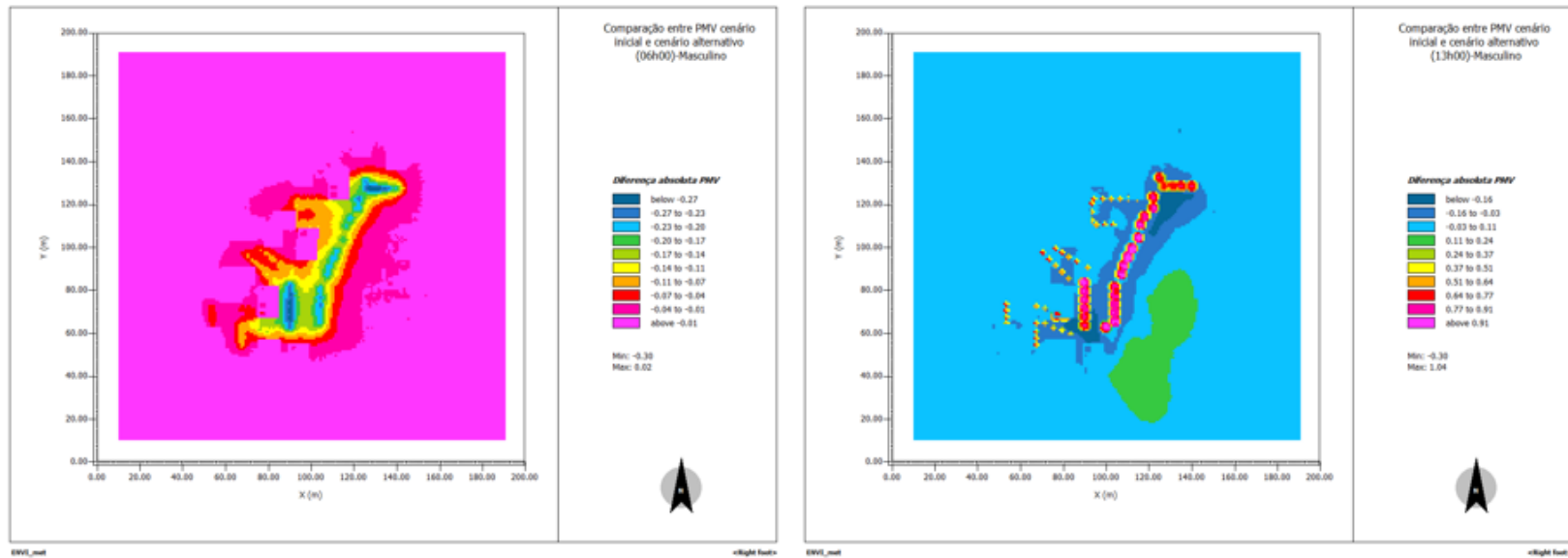


Figura 105: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 06h00 (esquerda) e para as 13h00 (direita)-masculino.

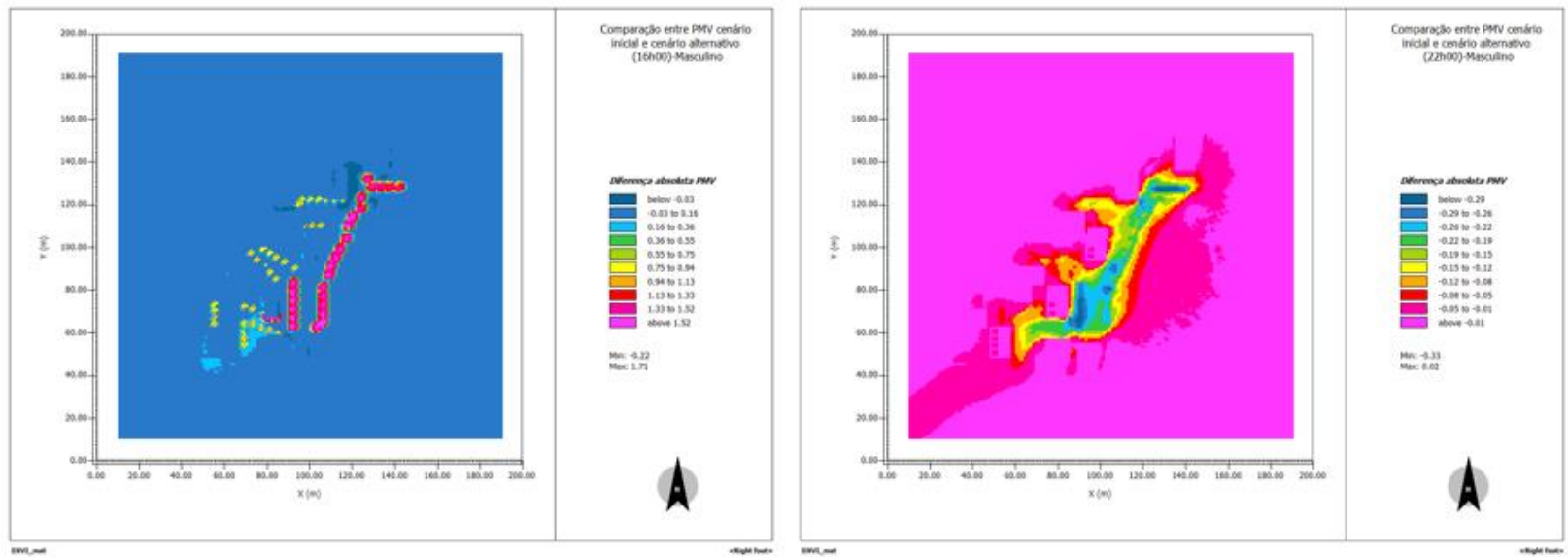


Figura 106: Comparação entre valores de PMV do cenário inicial e cenário alternativo para as 16h00 (esquerda) e para as 22h00 (direita)-masculino.

5. Conclusão

Os estudos de conforto térmico são de extrema importância tendo em conta os tempos que se vivem, e em particular quando se prevê que ocorram alterações climáticas de grande impacto. Muitos estudos sobre este tema são realizados para o interior dos edifícios, existindo ainda um défice no desenvolvimento de estudos para o contexto exterior. Com o auxílio de ferramentas como ENVI-met é hoje possível modelar contextos climáticos e avaliar cenários alternativos visando a melhoria das condições locais.

Este estudo combinou a realização de trabalho de campo, por intermédio de medições dos edifícios e das árvores, monitorização de condições microclimáticas e realização de inquéritos, complementando ainda o trabalho de simulação, permitindo avaliar o potencial de conforto térmico num contexto residencial. Neste âmbito, foi ainda realizada uma simulação para um cenário alternativo, prevendo os potenciais benefícios da introdução de vegetação. Este estudo foi realizado num período quente, obtendo-se assim resultados válidos para esse contexto climático.

Os inquéritos realizados permitiram estabelecer algumas relações, principalmente entre a temperatura do ar e a sensação térmica, e entre a resistência da roupa e a perceção térmica, no entanto, a dimensão da amostra não permite validar estatisticamente esses resultados.

Na comparação dos dados medidos de temperatura do ar, humidade relativa e temperatura média radiante, foi possível identificar diferenças nos resultados para os diferentes locais e nos quatro períodos do dia.

Os resultados da modelação revelam boas correlações entre os parâmetros registados na monitorização local, sendo que o vento é uma exceção. No entanto, a temperatura do ar (simulada) apresenta uma sobrestimação relativamente aos dados registados no local para o nascer do sol e pôr do sol. Esta diferença estará relacionada com uma subestimação dos valores da humidade relativa, devido à relação que existe entre esta variável e a temperatura do ar.

Os mapas criados na simulação permitem ter noção dos pontos mais críticos, quer a nível da temperatura, quer a nível de conforto térmico. Para tentar melhorar as condições locais, desenvolveu-se um cenário alternativo com a introdução de árvores nas zonas de estacionamento, dando-se assim preferência à utilização de elementos naturais. A

simulação resultante estimou uma melhoria por diminuição da temperatura no período mais quente, próxima dos 2°C e acréscimos pontuais de temperatura.

De futuro, para se obter uma melhor validação, seria interessante fazer monitorização no local, nas diferentes estações do ano, sendo os inquéritos aplicados a uma amostra representativa da população local.

Para o cenário alternativo seria importante estudar mais opções, pela incorporação de elementos naturais e não naturais, como seja a substituição do asfalto por um material com maior valor de albedo ou uma maior incorporação superfícies com relva. Segundo Hathway *et al.* (2012) e Gunawardena *et al.* (2017) (*cit. in* Ferwati *et al.*, 2020), que a introdução de água (ex: pequenas lagoas) pode funcionar como uma estratégia de mitigação de calor.

Os estudos desenvolvidos neste projeto deverão ter continuidade, com vista a completar o trabalho realizado, já que o mesmo foi realizado no âmbito do projeto POCTEP EnerUSER. No futuro, é importante que se realizem mais estudos onde se utilize a modelação, já que o ENVI-met é um instrumento relevante para o estudo do Efeito de Ilha de Calor Urbano, permitindo estimar os efeitos resultantes das opções de arquitetura e urbanismo.

Neste particular, começa a ser imperativo que as entidades comecem a integrar as metas dos ODS nas suas decisões, visando a mitigação e adaptação às alterações climáticas para um futuro mais sustentável. Neste estudo em particular, o objetivo 11 “*Tornar as Cidades e Comunidades Inclusivas, Seguras, Resilientes e Sustentáveis*”, é o mais relevante e para o qual se pretendeu contribuir com a realização deste estudo.

Referências Bibliográficas

- Almeida, E. M. A. (2006). A configuração urbana e sua relação com os microclimas: estudo de frações urbanas na cidade de Maceió. 117. <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/720>
- Andrade, H. (2012). O Clima Urbano - Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. *Finisterra*, 40(80), 67–91. <https://doi.org/10.18055/finis1479>
- ASHRAE. (2010). ASHRAE Standard 55-2010. ASHRAE Inc. <https://doi.org/ISSN1041-2336>
- Ayyad, Y. N., & Sharples, S. (2019). Envi-MET validation and sensitivity analysis using field measurements in a hot arid climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 329(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/329/1/012040>
- Azam, M. H., Bernard, J., Morille, B., Musy, M., & Andrieu, H. (2018). A pavement-watering thermal model for SOLENE-microclimat: Development and evaluation. *Urban Climate*. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.04.005>
- Baltazar, S. (2014). Novos mapas bioclimáticos de Lisboa. *Modelação da temperatura fisiológica equivalente. Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, 98, 81–94.
- Barbirato, G. M., Souza, L. C. L., & Torres, C. T. (2007). Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos.
- Barceló, A. M., & Nunes, L. F. (2009). Atlas Climático Ibérico - Iberian Climate Atlas 1971-2000.
- Bento, A. C. (2018). Diferentes Índices para Estimção do Conforto Térmico em Sorocaba-SP.
- Bokwa, A., Geletič, J., Lehnert, M., Žuvela-Aloise, M., Hollósi, B., Gál, T., Skarbit, N., Dobrovolný, P., Hajto, M. J., Kielar, R., Walawender, J. P., Št'astný, P., Holec, J., Ostapowicz, K., Burianová, J., & Garaj, M. (2019). Heat load assessment in Central European cities using an urban climate model and observational monitoring data. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07.023>
- Borges, M. G. E. (2009). Influência do ambiente construído no microclima: estudo de caso no campus da Universidade Federal de Santa Catarina. 157.
- Brandão, R. S. (2009). As interações espaciais urbanas e o clima: incorporação de análises térmicas e energéticas no planejamento urbano. 350. <https://doi.org/10.11606/T.16.2009.tde-23032010-093854>

- Brito, A. (2018). Modelação ambiental e também a educação: a utilidade de saber o ponto de partida e para onde vamos. <https://www.industriaeambiente.pt/noticias/modelacao-ambiental/>
- Bruse, M., & Fler, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling and Software*. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5)
- Brysse, K., Oreskes, N., O'Reilly, J., & Oppenheimer, M. (2013). Climate change prediction: Erring on the side of least drama? *Global Environmental Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.008>
- Caluwaerts, S., Hamdi, R., Top, S., Lauwaet, D., Berckmans, J., Degrauwe, D., Dejonghe, H., De Ridder, K., De Troch, R., Duchêne, F., Maiheu, B., Van Ginderachter, M., Verdonck, M. L., Vergauwen, T., Wauters, G., & Termonia, P. (2020). The urban climate of Ghent, Belgium: A case study combining a high-accuracy monitoring network with numerical simulations. *Urban Climate*, 31(September 2019), 100565. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100565>
- Castelo Branco, L. M. B. (2009). *Microclimas Urbanos no Plano Piloto de Brasília: O Caso da Superquadra 108 Sul*.
- Cheung, P. K., & Jim, C. Y. (2019). Improved assessment of outdoor thermal comfort: 1-hour acceptable temperature range. *Building and Environment*, 151(February), 303–317. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.057>
- Chow, W. T. L., & Brazel, A. J. (2012). Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.027>
- Coelho, D. A. S. (2014). Avaliação do Conforto térmico em salas de aula. 118.
- Coltri, P. P., Pinto, H. S., Gonçalves, R. R. do V., Zullo Junior, J., & Dubreuil, V. (2019). Low levels of shade and climate change adaptation of Arabica coffee in southeastern Brazil. *Heliyon*, 5(2), e01263. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01263>
- Crank, P. J., Sailor, D. J., Ban-Weiss, G., & Taleghani, M. (2018). Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. *Urban Climate*, 26(September), 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.09.002>
- da Silva, F. T., & Alvarez, C. E. de. (2015). A correlação entre variáveis climáticas em diferentes configurações urbanas. 237–246.

- de Souza, C. A., Filho, A. C. P., & Guaraldo, E. (2019). Identificação e caracterização da paisagem urbana e entorno rural de Campo Grande. 220–229.
- Deng, J. Y., & Wong, N. H. (2020). Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts. *Sustainable Cities and Society*, 53(October 2019), 101966. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101966>
- Devia, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). A Review on Hydrological Models. *Aquatic Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>
- Duarte, D. (2000). Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental. Pós. *Revista Do Programa de Pós-Graduação Em Arquitetura e Urbanismo Da FAUUSP*, 9, 88. <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i9p88-107>
- ENVI-met. (n.d.). Modelo 3D. <https://www.envi-met.com/>
- Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2019). Urban Microclimate-Designing the Spaces Between Buildings. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ermatita, Sri Hartati, Wardoyo, R., & Harjoko, A. (2011). Electre Methods in Solving Group Decision Support System Bioinformatics on Gene Mutation Detection Simulation. *International Journal of Computer Science and Information Technology*. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2011.3104>
- Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. In *British Journal of Industrial Medicine*. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>
- Fariña Tojo, J., Huerta, M., & Hernández, A. (2013). *Manual de Diseño Bioclimático Urbano Manual de Desenho Bioclimático Urbano*.
- Ferwati, S., Skelhorn, C., Ferwati, S., Shandas, V., & Makido, Y. (2020). Urban Adaptation to Climate Change Urban Form and Variation in Temperatures.
- Frota, A. B., & Schiffer, S. R. (2001). *Manual Conforto Térmico*. In *Society*.
- Gál, C. V., & Kántor, N. (2020). Modeling mean radiant temperature in outdoor spaces, A comparative numerical simulation and validation study. *Urban Climate*, 32(November 2019), 100571. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100571>
- Ganho, N. (2019). *Clima urbano e a climatologia urbana : fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano*.
- Golden, J. S., & Kaloush, K. E. (2006). Mesoscale and microscale evaluation of surface pavement impacts on the urban heat island effects. *International Journal of Pavement*

- Engineering, 7(1), 37–52. <https://doi.org/10.1080/10298430500505325>
- Gonçalves, A., Feliciano, M., & Ribeiro, A. C. (2014). Metodologia de Avaliação do Clima Urbano.
- Gonçalves, A., Ribeiro, A., Maia, F., & Feliciano, M. (2014). Clima Urbano de Bragança.
- Gouveia, H. (2017). A Importância dos Climas de Referência na Simulação.
- Heringer, P., & De Lucas, T. (2014). A influência da vegetação em um microclima da cidade de Belo Horizonte, MG. *Caderno de Geografia*, 24(42), 56–72. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2014v24n42p56>
- Höppe, P. R. (1993). Heat balance modelling. In *Experientia*. <https://doi.org/10.1007/BF01923542>
- Huttner, S., Bruse, M., & Dostal, P. (2008). Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, 18(18), 307–312.
- Ingram, H. A. P., & Allaby, M. (1994). *The Concise Oxford Dictionary of Ecology*. The Journal of Applied Ecology. <https://doi.org/10.2307/2404169>
- Instituto Nacional de Estatística. (2012). Censos 2011. https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_quadros
- IPCC. (2019). Aquecimento Global de 1,5°C: Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa. *Ipcc*, 28. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>
- ISO 10551. (1995). ISO 10551:1995. Ergonomics of the Physical Environment — Subjective Judgement Scales for Assessing Physical Environments.
- Jafarzadegan, K., Merwade, V., & Moradkhani, H. (2020). Combining clustering and classification for the regionalization of environmental model parameters: Application to floodplain mapping in data-scarce regions. *Environmental Modelling and Software*, 125(September 2019), 104613. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104613>
- Jänicke, B., Meier, F., Hoelscher, M. T., & Scherer, D. (2015). Evaluating the effects of façade greening on human bioclimate in a complex Urban environment. *Advances in Meteorology*, 2015(May). <https://doi.org/10.1155/2015/747259>
- Joaquim, F. (2011). Efeito Ilha de Calor na cidade de Lisboa-Proposta de medidas de

- mitigação. 22(3), 256–278.
- Lai, L. W. (2018). The influence of urban heat island phenomenon on PM concentration: an observation study during the summer half-year in metropolitan Taipei, Taiwan. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1975-7>
- Lamberts, R., Goulart, S., Xavier, A., & Vecchi, R. De. (2014). Conforto e Stress Térmico.
- Lindberg, F., & Grimmond, C. S. B. (2019). Manual SOLWEIG.
- Lindberg, Fredrik, Holmer, B., & Thorsson, S. (2008). SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 697–713. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0162-7>
- Loureiro, A. (2019). Modelação bioclimática do Plano de Pormenor Calçada das Lajes (Libsoa) em cenários de alterações climáticas. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.1.78>
- Luley, C. J., & Bond, J. (2001). A Report to North East State Foresters Association A Plan to Integrate Management of Urban Trees into Air Quality Planning. Davey Resource Group.
- Manuel, T., & Gonçalves, F. (2017). Conforto térmico no interior de edifícios.
- Mao, J., Fu, Y., Afshari, A., Armstrong, P. R., & Norford, L. K. (2018). Optimization-aided calibration of an urban microclimate model under uncertainty. *Building and Environment*, 143(July), 390–403. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.034>
- Marques, D. M. G. (2012). Contributo da climatologia para a sustentabilidade urbana: o caso da Figueira da Foz. 191. <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/20408>
- Matzarakis, A. (2012). RayMan and SkyHelios model - two tools for urban climatology. *Proceedings MettoolsVIII*, 8. Fachtagung Des Ausschusses Umweltmeteorologie Der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, 5(5), 1–6. <http://www.urbanclimate.net/matzarakis/pub2012.php>
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2006). Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan model. PLEA 2006 - 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings, September, 6–8.

- Mayer, E. (1993). Objective criteria for thermal comfort. *Building and Environment*.
[https://doi.org/10.1016/0360-1323\(93\)90016-V](https://doi.org/10.1016/0360-1323(93)90016-V)
- Menezes, G. (2017). *Análise do Clima Urbano da Cidade de Bragança: Estudo da Ilha de Calor*.
- Musy, M., Malys, L., & Inard, C. (2017). Assessment of Direct and Indirect Impacts of Vegetation on Building Comfort: A Comparative Study of Lawns, Green Walls and Green Roofs. *Procedia Environmental Sciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.134>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*, Second edition. In Inc.
- Oke, T. R. (2006). Instruments and observing methods report n°81 Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization. <https://doi.org/Reporte>
- Paas, B., & Schneider, C. (2016). A comparison of model performance between ENVI-met and Austal2000 for particulate matter. *Atmospheric Environment*, 145, 392–404. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.031>
- Perini, K., Chokhachian, A., Dong, S., & Auer, T. (2017). Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper. *Energy and Buildings*, 152, 373–384. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.061>
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*, 631–632, 390–406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
- Ren, C., Ng, E. Y. Y., & Katschner, L. (2011). Urban climatic map studies: A review. *International Journal of Climatology*, 31(15), 2213–2233. <https://doi.org/10.1002/joc.2237>
- Ribeiro, A. G. (1993). As escalas do clima. *Boletim de Geografia Teoretica*, 23(45–46), 288–294. <http://biblat.no-ip.org/revista/boletim-de-geografia-teoretica/articulo/as-escalas-do-clima>
- Rodler, A., & Leduc, T. (2019). Local climate zone approach on local and micro scales: Dividing the urban open space. *Urban Climate*, 28(November 2018), 100457. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100457>

- Ruas, Á. C. (1999). Conforto térmico em locais de trabalho. Ministério Do Trabalho, 0–97.
- Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., Prasad, D., & Synnefa, A. (2017). Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.006>
- Scherer, D., Fehrenbach, U., Lakes, T., Lauf, S., Meier, F., & Schuster, C. (2013). Quantification of heat-Stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. *Erde*. <https://doi.org/10.12854/erde-144-17>
- Schmitz, L. K. (2014). Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba-PR: diagnóstico , modelagem e cenários.
- Sharmin, T., Steemers, K., & Matzarakis, A. (2017). Microclimatic modelling in assessing the impact of urban geometry on urban thermal environment. *Sustainable Cities and Society*, 34(July), 293–308. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.006>
- Silva, B., Adário, J., & Silva, C. (2019). Aplicação do Arquivo Climático na Análise do Microclima Urbano da Cidade de Juiz de Fora – Minas Gerais. November.
- Silva, B., Silva, C., & Santo, T. (2018). Protocolo de Simulação Computacional do Microclima Urbano para a Cidade de Lisboa, Portugal. 1, 430–439.
- Silva, L. (2015). Avaliação do conforto térmico e da qualidade do ar interior nos edifícios A e B do Instituto Pedro Nunes.
- Silvert, W. (2001). Modelling as a discipline. *International Journal of General Systems*. <https://doi.org/10.1080/03081070108960709>
- Singh, M., & Laefer, D. F. (2015). Recent Trends and Remaining Limitations in Urban Microclimate Models. *Open Urban Studies and Demography Journal*. <https://doi.org/10.2174/2352631901401010001>
- Sustainable Design Lab. (n.d.). Urban Modelling Interface. <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/umi/index.html>
- Tsoka, S., Tsikaloudaki, A., & Theodosiou, T. (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model’s performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, 43(August), 55–76. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.08.009>
- Xu, D., Zhou, D., Wang, Y., Meng, X., Chen, W., & Yang, Y. (2020). Temporal and

- spatial variations of urban climate and derivation of an urban climate map for Xi'an, China. *Sustainable Cities and Society*, 52(July 2019), 101850. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101850>
- Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q. (2013). Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, 60, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.008>
- Yang, Yujin, Gatto, E., Gao, Z., Buccolieri, R., Morakinyo, T. E., & Lan, H. (2019). The “plant evaluation model” for the assessment of the impact of vegetation on outdoor microclimate in the urban environment. *Building and Environment*, 159(December 2018), 106151. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.029>
- Yang, Yujun, Zhou, D., Wang, Y., Ma, D., Chen, W., Xu, D., & Zhu, Z. Z. (2019). Economical and outdoor thermal comfort analysis of greening in multistory residential areas in Xi'an. *Sustainable Cities and Society*, 51(July), 101730. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101730>
- Yilmaz, S., Mutlu, E., & Yilmaz, H. (2018). Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(26), 26307–26321. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2590-1>
- Yousef, A. A. (2010). The Use of Geographical Information Systems for 3D Urban Models Reconstruction from Aerial Lidar Data.
- Yu, B., Chen, Z., Shang, P., & Yang, J. (2008). Study on the influence of albedo on building heat environment in a year-round. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.07.009>

ANEXO 1

Conforto Térmico no Bairro Rainha Santa Isabel (Bragança)

Local: _____ Data e hora: _____ Número: _____ Idade: _____ Altura: _____

Peso: _____ Género: Masculino Feminino País de Origem: _____

Nível de atividade: _____ Última refeição: _____ Hora: _____

1. Sensação Térmica (Preencha com um X).

| Classificação | |
|--------------------------|--|
| Muito Quente (+3) | |
| Quente (+2) | |
| Ligeiramente quente (+1) | |
| Neutro (0) | |
| Ligeiramente frio (-1) | |
| Frio (-2) | |
| Muito Frio (-3) | |

2. Circulação de Ar (Preencha com um X).

| Classificação | |
|---------------------|--|
| Muito Vento (+2) | |
| Vento Moderado (+1) | |
| Bom (0) | |
| Calmo (-1) | |
| Muito Calmo (-2) | |

3. Humidade (Preencha com um X).

| Classificação | |
|--------------------------|--|
| Muito Húmido (+2) | |
| Húmido (+1) | |
| Razoavelmente Húmido (0) | |
| Seco (-1) | |
| Muito Seco (-2) | |

4. Como gostaria de se sentir, neste momento, neste local? (Preencha com um X).

| | |
|-----------------------------|--|
| Muito Mais Calor (+3) | |
| Mais Calor (+2) | |
| Um Pouco Mais de Calor (+1) | |
| Como Está Neste Momento (0) | |
| Mais Frio (-1) | |
| Bastante Mais Frio (-2) | |
| Muito Mais Frio (-3) | |

5. Como descreveria o que lhe causa incomodidade térmica? (Preencha com X as opções que achar adequadas).

| | |
|------------------------|--|
| Muita Humidade | |
| Muito Seco | |
| Muita Circulação de Ar | |
| Baixa Circulação de Ar | |
| Incidência do Sol | |
| Superfícies | |
| Luminosidade | |
| Outros | |
| Sem Incomodidade | |

6. Que temperatura acha que está neste local, neste momento?

_____ °C

7. Como está vestido? (Preencha com X).

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Camisola de manga comprida | <input type="checkbox"/> Calças de treino | <input type="checkbox"/> Sapato com sola grossa |
| <input type="checkbox"/> Camisola de manga curta | <input type="checkbox"/> Calções | <input type="checkbox"/> Botas |
| <input type="checkbox"/> Camisa de manga comprida | <input type="checkbox"/> Saia curta | <input type="checkbox"/> Sandálias abertas |
| <input type="checkbox"/> Camisa de manga curta | <input type="checkbox"/> Saia longa | <input type="checkbox"/> Sandálias fechadas |
| <input type="checkbox"/> Casaco | <input type="checkbox"/> Vestido curto | <input type="checkbox"/> Chinelos |
| <input type="checkbox"/> Máscara | <input type="checkbox"/> Vestido longo | Outros _____ |
| <input type="checkbox"/> Calças de ganga | <input type="checkbox"/> Sapato com sola fina | |