



**Modelação Microclimática no Contexto Urbano-Industrial,
Um Caso da Zona Industrial das Cantarias (Bragança) -
Portugal**

Felipe Macedo Alves

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Orientado por:

Artur Jorge de Jesus Gonçalves

Maristela Denise Moresco Mezzomo

Bragança

2020



Felipe Macedo Alves

**Modelação Microclimática no Contexto Urbano-Industrial,
Um Caso da Zona Industrial das Cantarias (Bragança) -
Portugal**

Bragança

2020

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, a minha fé, meus Orixás e toda a energia que o universo e natureza me deram nesse período tão conturbado, mas por fim, gratificante.

Agora agradeço ao meu orientador Prof. Dr. **Artur Jorge de Jesus Gonçalves**, que em meio a tantos compromissos, sempre se dispôs a me orientar, me ajudar e me compreender, assim como **Leonardo Furst**. A minha coorientadora, Prof. Dra. **Maristela Denise Moresco Mezzomo**, que me deu todo suporte nas correções e na parte emocional. E ao programa de Dupla Diplomação com a Universidade Tecnológica Federal campus Campo Mourão junto ao Instituto Politécnico de Bragança, que tornaram este sonho possível e deram todo o respaldo científico para que chegasse até aqui.

Agora agradeço a minha família, a minha mãe e melhor amiga **Lucienne Macedo Costa**, ao meu pai **Carlos Alberto Alves** e meu irmão **Diego Macedo Alves**. Eles são meus alicerces, minha base e minha inspiração, me fizeram ser quem sou hoje. Agradeço também as minhas tias **Laura Regina Alves** e **Caterine Macedo Costa**, que muito me ajudaram neste período.

Quero dizer, um muito obrigado, ao **Gilmar Bandeira**, que esteve ao meu lado mesmo nos momentos mais difíceis e doloridos, desde o começo dessa jornada, na entrega de papéis, na ida para o aeroporto, durante minha estadia aqui. Assim como meus amigos de faculdade **Letícia Scala Frâncica**, **Bianca Awada** e **Ederson**, que sempre torceram e torcem pelo meu sucesso.

Não menos importantes, os meus amigos de casa, **Karolina Rodrigues**, **Bruno Mourad** e **Larissa Ghirro**, que entraram comigo nessa jornada incrível, chorando, sorrindo e se divertindo. E ao meu psicólogo **Samuel Siconatto**, que me ajudou a me entender melhor neste processo, entender meus medos, minhas dores, e fazendo com que eu me permita sentir e não fugir.

E por fim, as melhores amigas que a vida me deu **Ana Andrade**, **Ana Karolina**, **Elizandra Adrohain** e **Bruna Campetelli**, a melhor palavra para este momento é gratidão.

RESUMO

A urbanização promove modificações nos sistemas ambientais nomeadamente, alterações das propriedades da radiação e da dinâmica das superfícies, ocasionando mudanças em suas propriedades térmicas e seus substratos, bem como em propriedades hidráulicas na superfície do solo. Além disso, é possível a criação de microclimas específicos, com condições diferentes do envolvente. Diante disso, se faz necessário o planejamento de projetos que se adequem a situações da alteração urbana, de forma efetiva buscando tornar o local mais agradável aos usuários. Soluções que buscam mitigar efeitos antrópicos são chamadas de Soluções Baseadas na Natureza (SBNs), as quais incorporam elementos naturais aos urbanos e tem a premissa de regularizar cenários alterados pelo ser humano. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as condições microclimáticas de uma zona industrial da cidade de Bragança e estimar os benefícios resultantes da incorporação de SBNs, utilizando como recurso o *software* ENVI-Met. A metodologia parte do levantamento das características do espaço urbano, incluindo as características de edifícios, superfícies e do coberto arbóreo. Posteriormente, foi construído um modelo 3D de análise e foram realizadas simulações para diferentes condições climáticas. Para validação, foram recolhidos dados com quatro estações de conforto térmico (Delta Ohm hd32.1 e hd32.3), em duas campanhas, uma para primavera (21.05.2020) e outra para o verão (15.07.2020). Partindo do contexto base, foi elaborado um cenário que incorpora as SBNs, sendo verificados os efeitos em variáveis climáticas como a temperatura do ar, humidade relativa, radiação e conforto térmico. Os resultados indicam uma boa correlação para a temperatura média radinte (T_r), entre os pontos das estações de conforto térmico e da estação meteorológica fixa, para os dois dias, sendo em sua maioria classificados na escala de correlação entre forte e muito forte para o período da nascer do sol e do pôr do sol. Nas correlações da T_a , os melhores resultados foram para o período da pôr do sol. Em relação a comparação entre os cenários, as SBN's tornaram-se eficazes para a mitigação de altas temperaturas em todos os pontos para todos os períodos nos dois dias.

Palavras-chave: Modelação; ENVI-Met; Temperatura do ar; Fator Visão do Céu; Soluções Baseadas na Natureza.

ABSTRACT

Urbanization promotes changes in environmental systems, namely, changes in the properties of radiation and the dynamics of surfaces, causing changes in their thermal properties and their substrates, as well as in hydraulic properties on the soil surface. In addition, it is possible to create specific microclimates, with different conditions from the surroundings. Therefore, it is necessary to plan projects that suit the situations of urban change, effectively seeking to make the place more pleasant for users. Solutions that seek to mitigate anthropic effects are called Nature-Based Solutions (SBNs), which incorporate natural elements into urban areas and have the premise of regularizing scenarios altered by humans. Thus, the present work aimed to evaluate the microclimate conditions of an industrial zone in the city of Bragança and to estimate the benefits resulting from the incorporation of SBNs, using the ENVI-Met software as a resource. The methodology starts from the survey of the characteristics of the urban space, including the characteristics of buildings, surfaces, and the tree cover. Subsequently, a 3D analysis model was built, and simulations were carried out for different climatic conditions. For validation, data were collected with four thermal comfort stations (Delta Ohm hd32.1 and hd32.3), in two campaigns, one for spring (21.05.2020) and another for summer (15.07.2020). Starting from the base model, a scenario was developed that incorporates the SBNs, checking the effects on climatic variables such as air temperature, relative humidity, radiation, and thermal comfort. The results indicate a good correlation of average radiant temperature (T_r), between the points of the thermal comfort stations and the fixed meteorological station, for the two days, being mostly classified in the scale of correlation between strong and very strong for the morning and night period. In the correlations of T_a , the best results were for the night period. Regarding the comparison between the scenarios, the SBN's have become effective for the mitigation of high temperatures at all points for all periods in the two days.

Keywords: Modeling; ENVI-Met; Air temperature; Sky View Factor; Nature-based Solutions.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
1 INTRODUÇÃO	1
2 MODULAÇÃO E ANÁLISE DO MICROCLIMA URBANO	3
2.1 CLIMA URBANO	3
2.1.1 Escalas	4
2.1.2 Variáveis climáticas.....	8
2.1.3 Zonas Climáticas Locais.....	10
2.2 MICROCLIMA	11
2.2.1 Materiais	11
2.2.2 Vegetação	13
2.2.3 Edifícios.....	14
2.2.4 Fator de Visão de Céu	14
2.3 CONFORTO TÉRMICO.....	14
2.3.1 Carta Bioclimática de Olgyay	15
2.4 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	16
2.5 MODELAÇÃO.....	17
2.5.1 Representação de formas de modelação.....	18
2.5.2 ENVI-MET	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 ÁREA DE ESTUDO	20
3.3 MEDIÇÕES DE DADOS E MONITORIZAÇÃO CLIMÁTICA	21
3.3.1 Período de medição	23

3.3.2 Materiais e métodos de medição	23
3.3.3 Definição dos pontos de medição	24
3.3.4 Cálculo de FVC	27
3.3.5 Câmara termográfica	28
3.4 MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS	29
3.4.1 Dimensionamento dos edifícios.....	29
3.4.2 Levantamento arbóreo	30
3.4.3 Caracterização do solo e superfícies urbanas	32
3.5 MODELAÇÃO ENVIMET.....	32
3.5.1 Processos de configuração e edição do modelo.....	33
3.5.2 Configuração do arquivo de entrada.....	37
3.6 CENÁRIO	38
3.7 ANÁLISE DE CONFORTO POTENCIAL	39
3.7.1 Plotagem da Carta Bioclimática de Olgyay.....	39
3.8 ANÁLISE DE DADOS	40
4 RESULTADOS	41
4.1 MONITORIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA	41
4.1.1 Resultados fator de visão de céu.....	41
4.1.2 Registos com câmara termográfica	43
4.1.3 Comparação dos dados monitorizados de temperatura do ar e temperatura média radiante	44
4.1.4 Correlação de dados.....	58
4.1.5 Resultados para Carta de Olgyay.....	64
4.2 CENÁRIO ATUAL SIMULADO.....	66
4.3 CENÁRIO NOVO SIMULADO.....	69

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE A MONITORIZAÇÃO E OS CENÁRIOS SIMULADOS (ATUAL E NOVO).....	70
4.4.1 Comparação entre a monitorização microclimática, o cenário atual e o cenário novo	70
4.4.2 Resultado da simulação do ENVI- Met e a comparação entre CA e CN	78
5 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	84
BIBLIOGRAFIA	86
ANEXO.....	93
ANEXO 1: Tabela A 1 – Resultados das medições das estações de conforto térmico e da estação meteorológica fixa para o dia 21.05.2020.....	94
ANEXO 2: Tabela A.2 – Resultados das medições das estações de conforto térmico e da estação meteorológica fixa para o dia 15.07.2020.....	95
ANEXO 3: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário atual simulado.	96
ANEXO 4: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário atual novo intervencionado.	97
ANEXO 5: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário atual simulado.	98
ANEXO 6: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário novo simulado.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Os componentes biofísicos que compõem um ecossistema urbano	4
Figura 2 - Definições da escala horizontal definida por Oke.	7
Figura 3 - (A) Escalas Climáticas e camadas verticais encontradas em áreas urbanas; (B) Velocidade do vento média generalizada (espacial e temporal).....	8
Figura 4 - Esquema ilustrativo dos tipos de radiação.....	9
Figura 5 - Alguns exemplos de um design bioclimático de espaço aberto.	13
Figura 6 - Carta Bioclimática de Olgyay.....	16
Figura 7 - Localização da Zona industrial em Bragança.	20
Figura 8 - Estação meteorológica automática fixa da Zona Industrial das Cantarias, Bragança.	22
Figura 9 - Registradores de dados de microclima térmico – <i>Datalogger</i> , Delta Ohm 32.1 (A) e Delta Ohm 32.3(B).....	22
Figura 10 - Mapa de localização dos pontos de medição do microclima das estações móveis.....	25
Figura 11 - Ponto A de medição (A); Ponto B de medição (B); Ponto C de medição (C); Ponto D de medição (D).	26
Figura 12 - Câmera Cânon EOS 800D com a lente de peixe (A). Medidor de nível em cima da câmara para auxiliar no nivelamento da fotografia.....	27
Figura 13 - Edição das fotos olhos de peixe no software RayMan Pro, para o cálculo de FVC.	28
Figura 14 - Medidor de distância laser LD 500 STABILA.....	29
Figura 15 - Medidor de distância laser no tripé apontando ao ponto de inserção do solo(A), para o horizonte (B) e para o ponto culminante do edifício (C).....	30
Figura 16 - Vara Telescópica utilizada para medir altura das árvores.	31
Figura 17 - Imagem <i>Bitmap</i> . recortada da zona industrial, sem a rotação de -10°	33
Figura 18 - Imagem da modelação dos edifícios e da vegetação no <i>software</i> ENVI-Met.	34
Figura 19 - Imagem da modelação da superfície do terreno no <i>software</i> ENVI-Met. ...	35
Figura 20 - Imagem da modelação da topografia do terreno no <i>software</i> ENVI-Met....	36

Figura 21 – Modelo Tridimensional do Terreno no software ENVI-Met.	36
Figura 22 - Imagem disponibilizada pela Universidade de Valhadolid para o projeto INDNATUR, com o cenário desejado, com a incorporação de soluções baseadas na natureza.....	38
Figura 23 - Modelação do novo cenário de acordo com as premissas do projeto INDNATUR.	39
Figura 24 - Diagrama polar para o FVC no dia 21.05.2020.....	42
Figura 25 - Diagrama polar para o FVC no dia 15.07.2020.....	42
Figura 26 – Exemplo de uma imagens da câmara termográfica para o ponto A, no período da nascer do sol, para o dia 15.07.2020.....	44
Figura 27 – Evolução da temperatura do ar durante o dia nos três períodos de medição para o dia 21 de maio de 2020.....	46
Figura 28 - Representação em <i>boxplot</i> para a temperatura do ar de cada ponto para o dia 21 de maio de 2020.....	47
Figura 29 - Evolução da temperatura média radiante durante o dia nos três períodos de medição para o dia 21 de maio de 2020.	50
Figura 30 - Representação em <i>boxplot</i> para a temperatura média radiante de cada ponto para o dia 21 de maio de 2020.....	51
Figura 31 - Evolução da temperatura do ar nos três períodos de medição para o dia 15 de julho de 2020.	53
Figura 32 - Representação em <i>boxplot</i> para a temperatura do ar de cada ponto, por período para o dia 15 de julho de 2020.....	54
Figura 33 - Evolução da temperatura média radiante durante o dia nos três períodos de medição para o dia 15 de julho de 2020.	56
Figura 34 - Representação em <i>boxplot</i> para a temperatura média radiante de cada ponto para o dia 15 de julho de 2020.....	57
Figura 35 - Parâmetros da matriz de correlação de Pearson.....	58
Figura 36 - Matriz de correlação de Pearson para os valores de temperatura do ar entre todos os pontos e por período para o dia 21 de maio de 2020.....	59
Figura 37 - Matriz de correlação de Pearson para os valores de temperatura média radiante, entre todos os pontos e por período para o dia 21 de maio de 2020.....	61

Figura 38 - Matriz de correlação de Pearson para os valores de temperatura do ar entre todos os pontos e por período para o dia 15 de julho de 2020..	62
Figura 39 - Matriz de correlação de Pearson para os valores de temperatura média radiante entre todos os pontos e por período para o dia 15 de julho de 2020.	63
Figura 40 - Carta bioclimática de Olgyay para os quatro pontos de medição no período da nascer do sol.	64
Figura 41 - Carta bioclimática de Olgyay para os quatro pontos de medição no período da meio dia solar.	65
Figura 42 - Carta bioclimática de Olgyay para os quatro pontos de medição no período da pôr do sol.	66
Figura 43 - Evolução da temperatura ambiente nos períodos de medição, para os quatro pontos, e os resultantes da simulação do cenário atual e do cenário novo para o dia 21 de maio de 2020.	71
Figura 44 - Evolução da temperatura ambiente nos períodos de medição, para os quatro pontos, e os resultantes da simulação do cenário atual e do cenário novo para o dia 15 de julho de 2020.	75
Figura 45 - Comparação entre as simulações do cenário real e do cenário novo, através do <i>software</i> ENVI-Met.	79
Figura 46 - Comparação entre as simulações do cenário real e do cenário novo, através do <i>software</i> ENVI-Met.	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Ordens de Grandeza sintetizadas por Ribeiro.	6
Tabela 2 - Dados meteorológicos utilizados para simulação do software ENVI-Met. ...	37
Tabela 3 - Resultado do valor de visão do céu para os quatro pontos de medição.	41
Tabela 4 – Temperatura de superfície (Tc – temperatura central, T _{máx} – temperatura máxima e T _{mín} – temperatura mínima) para os quatro pontos de medição, no período da nascer do sol, meio dia solar e pôr do sol, para o dia 15.07.2020.	43
Tabela 5 - Relação das médias e desvio padrão para os pontos de medição das estações de conforto térmico e para estação meteorológicas, nos três períodos.....	45
Tabela 6 - Relação das médias e desvio padrão para a temperatura média radiante para os pontos de medição das estações de conforto térmico, nos três períodos.	49
Tabela 7 - Relação das médias e desvio padrão para os pontos de medição das estações de conforto térmico e para estação meteorológicas, nos três períodos.....	52
Tabela 8 - Relação das médias e desvio padrão para a temperatura média radiante para os pontos de medição das estações de conforto térmico e para estação meteorológicas, nos três períodos.....	55
Tabela 9 - Resultados da simulação do ENVI-Met para os locais estudados no dia 21.05.2020.	67
Tabela 10 - Resultados da simulação do ENVI-Met para o dia 15.07.2020.	68
Tabela 11 - Resultados da simulação do ENVI-Met para o cenário novo, intervencionado.	69
Tabela 12 - Resultados da simulação do ENVI-Met para o cenário novo, após a intervenção.....	70
Tabela 13 – Diferenças para temperatura do ar e temperatura média radiante, entra os valores monitorizados e os cenários.	73
Tabela 14 - Diferenças para temperatura do ar, entra os valores monitorizados e os cenários.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS

CRO	Obstáculo
CRT	Componente refletido do terreno
CSD	Componente solar direto
CSdf	Componente solar direto e difusa
DCEq	Diâmetro de Copa Equivalente
FVC	Fator de Visão de Céu
IREQ	Isolamento de roupas necessário (<i>Required clothing insulation</i>)
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
PMV	Voto médio estimado (<i>Predicted Mean Vote</i>)
PPD	Porcentagem de Pessoas insatisfeitas (<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>)
RH	Umidade Relativa (<i>Relative Humidity</i>)
SBNs	Soluções Baseadas na Natureza
Ta	Temperatura ambiente
Tg	Temperatura de termometro de globo
Tr	Temperatura radiante média
U	Perfil em uma área urbana densamente desenvolvida
UCL	Atmosfera Urbana Inferior
UBL	Atmosfera Urbana Superior
Va	Velocidade média
WBGT	Temperatura de bulbo úmido (<i>wet bulb globe Thermometer</i>)
WCI	Índice de sensação térmica (<i>Wind Chill Index</i>)
Zd	Comprimento de deslocamento no plano zero
Zh	Elementos de rugosidade
Zr	Subcamada de rugosidade
z0	Comprimento de rugosidade

1 INTRODUÇÃO

As alterações ambientais promovidas pelo processo de urbanização podem envolver diversas situações, entre as quais mudanças no clima, estresse bioclimático, alterações nos fluxos dos ventos, na precipitação da chuva, entre outros. Estas alterações se manifestam na atmosfera local, afetando a saúde humana, danificando edifícios, bem como ocasionando o aumento do consumo de energia através da climatização artificial (ASSIS, 2006).

No caso das alterações do clima no contexto urbano, criam-se condições particulares que determinam as características do clima. Sua complexidade requer análises espaciais das cidades para explicar as diferenças quanto ao conforto térmico (FIGUEIREDO, *et al.* 2007), uma vez que o clima tem grande influência sobre o conforto térmico e a saúde de habitantes, sendo um elemento importante do ambiente urbano, contribuindo para as condições de qualidade de vida (ALCOFORADO & ANDRADE, 2010).

À medida que as preocupações climáticas globais vão crescendo, os modelos climáticos ficam mais sofisticados para contribuir para as pesquisas e ações a serem tomadas, permitindo analisar cenários, a partir de parâmetros e suas validações. Na década de 1980, os estudos climáticos tratavam apenas da atmosfera e superfície, mas gradualmente, foi-se desenvolvendo modelos que incluem componentes climáticos cada vez mais complexos, que resultam da conjugação de inúmeros fatores ambientais como temperatura de oceanos, vegetação, radiação, posição das nuvens, topografia, gelo marítimo, entre outros (HENSON, 2009).

Diante deste contexto focado no clima urbano, o objetivo deste trabalho foi avaliar as condições microclimáticas de uma parte da zona da industrial das Cantarias na cidade de Bragança e estimar os benefícios resultantes da incorporação de Soluções Baseadas na Natureza (SBNs), com recurso ao software ENVI-Met. Para tal, foi necessário fazer o levantamento das características do espaço urbano, incluindo as características de edifícios, superfícies e do coberto arbóreo, com a construção de um modelo 3D de análise e realizações de simulações para diferentes condições climáticas. Ainda, comparar os dados medidos em quatro estações móveis e uma fixa, com os dados preditos pelo ENVI-Met.

O trabalho teve o intuito de desenvolver uma pesquisa que possa também contribuir para o projeto POCTEP INDNATUR, que resulta de uma parceria liderada pela Universidade de Valhadolid e no qual participam sete entidades, incluindo o Instituto Politécnico de Bragança. O principal objetivo do projeto é promover a melhoria das condições ambientais em Zonas ou Parques Industriais por meio de implementações de Soluções Baseadas na Natureza. Estas soluções incorporam elementos de vegetação e de drenagem urbana, contribuindo para a melhoria dos espaços industriais enquanto proporciona benefícios sociais, económicos e ambientais.

Assim, o trabalho foi estruturado em quatro partes: referencial teórico, metodologia, resultados e conclusão.

O referencial teórico está subordinado ao tema de monitorização e modelação climática urbana industrial, em que se descrevem: as principais características do clima urbano, como suas escalas e variáveis; microclima, onde se discute as diferentes zonas climáticas e a influência dos materiais, da vegetação, dos edifícios e do conforto térmico; modelagem, que contempla o conceito de modelação e a modelagem para sistemas ambientais.

Na metodologia será apresentada a área de estudo, assim como algumas de suas particularidades, para além dos aspetos metodológicos da recolha de dados, incluindo os instrumentos utilizados e o seu tratamento. Ainda neste apartado, serão apresentados os cenários aplicados no modelo e a análise de conforto térmico desenvolvido.

No capítulo seguinte, são apresentados os resultados obtidos a partir das modelagens e dos cenários, relacionando os dados com as características da área de estudo. Desse modo, é possível analisar não apenas as características microclimáticas do contexto, como os potenciais benefícios das soluções baseadas na natureza propostas pelo projeto.

Por fim, na conclusão é apresentada uma síntese e uma reflexão sobre os resultados, identificando possíveis ações para o futuro.

2 MODULAÇÃO E ANÁLISE DO MICROCLIMA URBANO

2.1 CLIMA URBANO

O clima é um dos fatores responsáveis pelas variações de paisagens, diversidade biológica, métodos e tipologias de construção, assim como os hábitos e costumes humanos. A relação da sociedade com o meio em que vive, pode ser analisada a partir da arquitetura do local, que está, em muitos casos, relacionada com o meio climático e geográfico. Em outras palavras, a consonância entre o ser humano e seu habitat desde sua construção, assim como a sua harmonia e adaptação com o ambiente através de expressões sociais e culturais, é empírica através de gerações (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

A relação do clima com a urbanização é influenciada pelo aumento de pessoas morando nas cidades, que ocorre, muitas vezes por meio da industrialização e da oferta de empregos. Essas mudanças moldam as condições locais e levam à formação de mesoclimas e microclimas, fazendo com que existam particularidades para cada local.

A morfologia urbana inclui múltiplos fatores, como sejam o tamanho, altura e forma dos edifícios, com os seus elementos construtivos e materiais. Neste contexto, existe uma constante interação entre as construções e seu entorno influenciando o clima e vice e versa. Como exemplo, o número de edifícios afeta as condições climáticas para os pedestres nas calçadas, protegendo-os de chuvas ou sol. Ou seja, a proteção dos pedestres é feita mediante as construções, que contribuem para o maior conforto e reduzem a sua carga térmica (GIVONI, 1977).

Sendo assim, a compreensão do clima urbano, deve servir para planejamento das cidades e adoção de medidas protetoras (RIBEIRO *et al* 2016), de modo a obter ambientes confortáveis, salubres e com baixo consumo de energia. Esta ideia associada a Oke *et al.* 2017, correlaciona o ser humano, animais e vegetais (Figura 1), e corresponde aos tipos de variáveis urbanas que devem ser consideradas no estudo do clima urbano, tais como escalas climáticas, bases físicas e fisiológicas, radiação solar, vento, umidade, topografia (TOJO, *et al.*, 2013).

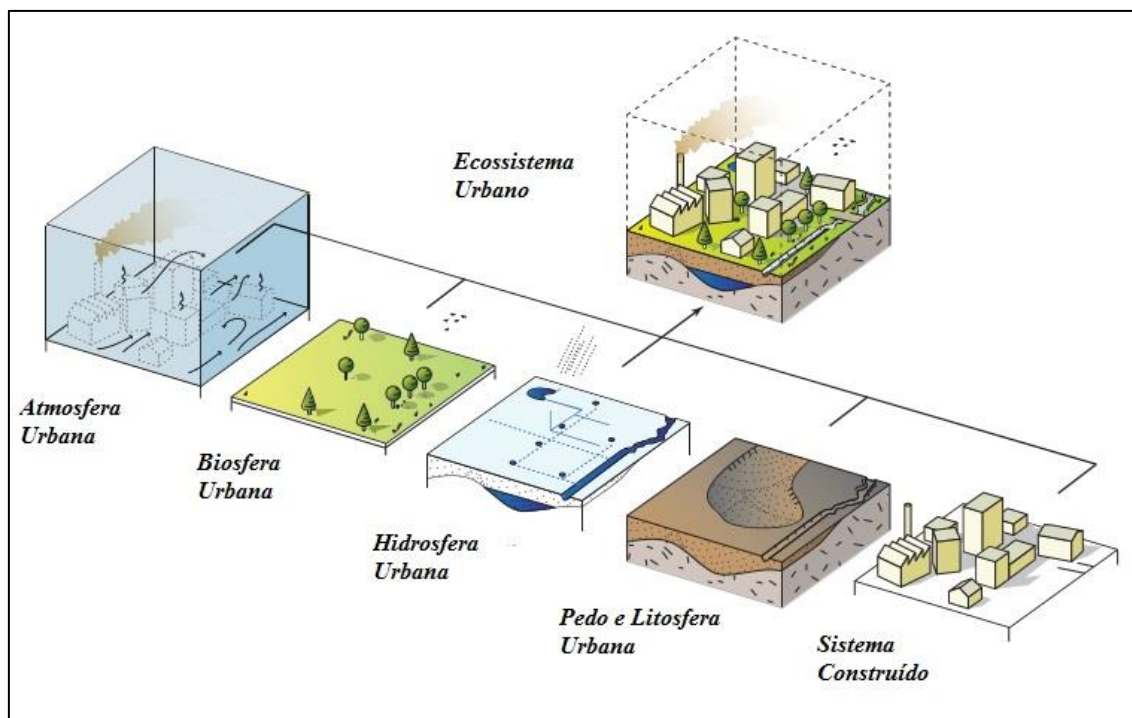


Figura 1 - Os componentes biofísicos que compõem um ecossistema urbano

Fonte: Oke *et al.* (2017)

2.1.1 Escalas

A escala é uma referência numérica segundo critérios arbitrários que interessam à compreensão de um fenômeno (RIBEIRO, 1993). Para definições das escalas climáticas existem diversos autores como Landsberg (1981), Ribeiro (1993), Oke (2004), Andrade (2012), que as classificam de modo a facilitar a sua compreensão. Contudo, o que melhor se enquadra para estudos é entender que as escalas partem de um grau maior e mais abrangente e vão decrescendo para as menos minuciosas (RIBEIRO, 1993; LANDSBERG, 1981).

De acordo com Landsberg (1981), o clima urbano não deve ser visto de forma isolada pois as suas condições são determinadas pelo clima de grande escala que podem ser lidas por mapas sinóticos, através de parâmetros de pressão atmosférica, nebulosidade, precipitação, humidade, velocidade do ar, concentração de poluentes, distância horizontal de temperatura e gradiente vertical de temperatura a grande altura. Por sua vez, outra escala é definida pelo clima local, que se entende pela camada limite da atmosfera da cidade, que conta com parâmetros de altura e plano horizontal (TOJO, *et al.* 2013).

Andrade (2012), acredita que a definição das terminologias é discreta, arbitrária e sempre artificial, uma vez que os fenômenos atmosféricos são contínuos. Contudo, em seu compilado de informações ele define as terminologias das escalas climáticas, como a microescala como sistemas individuais de dois quilômetros, mesoescala como metrópoles de dois a dois mil quilômetros (ambos definidos fenômenos urbanos) e a macroescala definida por mais de dois mil quilômetros. Estas nomenclaturas são também definidas por Oke (2004), que enquadra estas categorias em escalas verticais.

Ainda segundo Andrade (2003), ele sintetiza e simplifica a terminologia utilizada em diferentes fontes, demonstrando de forma mais precisa os conceitos e as categorias do conjunto de elementos sem que seja necessário adotar limites rígidos para as dimensões:

- Microclima: Elementos urbanos individuais e arranjos elementares, de até 100 metros;
- Clima Local: Clima de uma área com combinação de elementos, com ocupação do solo diferenciada, topografia específica e engloba vários microclimas;
- Mesoclima: Influência integrada da cidade, com efeito da mesoescala, ou seja, de dimensão próxima ou superior à da cidade e com escala de 20 a 2000 quilômetros.

Ribeiro (1993) também divide o clima em escalas decrescentes, ele determina primeiro os níveis interativos, como o macroclimático, que conta com ampla área, interação da radiação, curvatura da terra e movimento de rotação; mesoclimático com interação entre a energia disponível e as feições do meio ambiente terrestre, com áreas de pequena extensão (10 a 100 quilômetros) que define o clima urbano; microclimáticas como interação entre sistemas ambientais particulares na modificação de fluxo de energia, umidade e massa, com extensão menor que 100 quilômetros. Para ele as ordens de grandeza são sintetizadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Ordens de Grandeza sintetizadas por Ribeiro.

Ordem de Grandeza	Definição	Extensão	Registro	Plano metodológico
Clima Zonal	Distribuição latitudinal da radiação solar, curvatura da superfície do planeta e a inclinação de seu eixo.	Horizontal 1000 e 5000 km. Vertical Abarcam a atmosfera.	Norma Climatológica - 30 anos de observação	Contemplar o tratamento dos registros mencionados, em nível de atlas planisféricos.
Clima Regional	Variações regionais do clima zonal de ritmo mensal, anual e etc.	Horizontal 150 e 2500 km. Vertical Limitados pela Tropopausa.	Análise de cartas sinóticas, imagens de satélite metereológicos apoiados em estações climatológicas de	Interpretação do clima regional através de suas relações como os seus efeitos, no próprio espaço regional.
Clima Local	Variações em seu interior devido à ação de feições fisiográficas ou antrópicas interferindo no fluxo energético regional.	Horizontal Variável, sem padrão. Vertical 1200 e 2000 metros de altura.	Rede de observação metereológica básica, estações termoplúviométricas ou postos pluviométricos.	Análise rítmica, correlação diária entre tipos de tempo e variação, e elementos climáticos.
Topoclima	Ampliar gradiente horizontal, é uma derivação do clima local devido a rugosidade do terreno.	Horizontal Restringe a forma do relevo e vertente (0,5 a 5 km). Vertical 50 a 100 metros de altura.	Estações não convencionais, fixas ou móveis, automáticas e episódicas informando escala de horas.	O mapeamento das declividades e das exposições das vertentes, associado ao uso do solo fornece indicador com detalhamento de um clima local.
Microclima	Nível escalar mais próximo do indivíduo, define as trocas gasosas dispostas na superfície e envolvente.	Horizontal 0,1 a 1000 metros Vertical Depende da natureza da	Aparelhos de alta sensibilidade e precisão, importante identificar variação no tempo em minutos.	Definição de mosaicos de microclimas controlados pela organização interna dos espaços agrícolas e dos

Fonte: Adaptado de Ribeiro (1993).

Por fim, definindo as escalas em duas vertentes, Oke (2004) aponta primeiramente uma escala horizontal (Figura 2), que minucia três tipos diferentes de escalas, e depois a escala vertical, que é definida através de parâmetros que meçam as trocas de momento, calor e humidade que não ocorrem em superfícies planas, mas em outro nível de cobertura urbana.

Mesoescala : Compreende o clima influenciado por toda cidade, com extensão de 10 quilômetros, não é representado por uma estação comum.

Escala Local: Clima de bairros, contendo recursos de paisagem topográfica e exclui efeitos da microescala, com extensão de um a vários quilômetros.

Microescala: É uma parte menor da escala local, toda superfície tem um microclima, temperatura de superfície e ar variam em pequenas distâncias e sua extensão pode ser de um edifício, árvore, ruas, jardins, etc.

Figura 2 - Definições da escala horizontal definida por Oke.

Fonte: Adaptado de Oke (2004).

As escalas verticais analisam a influência que o clima sofre em relação ao espaço entre o nível do solo e a parte superior até atmosfera. Medindo efeitos microclimáticos de superfície e obstáculos individuais, persistentes a curtas distâncias da sua fonte que se misturam. Estes efeitos são definidos por uma subcamada (OKE, 2004).

Desse modo, Oke define camadas horizontais e verticais, que interagem entre si para definir as escalas climáticas. Essas camadas (Figura 3), demonstram espaços físicos que sofrem influência e auxiliam na compreensão do espaço para cálculos.

A parte superior das camadas é denominada por Oke (2004) como Atmosfera Urbana Superior (UBL), que integra a influência térmica de toda cidade. A camada de baixo é a Atmosfera Urbana Inferior (UCL), abaixo da UBL, que tem a subcamada de rugosidade, referente a rugosidade provocada por elementos individuais que influenciam os fluxos. A velocidade horizontal média, demonstrada pelo gráfico (Figura 3), é definida por U que é perfil em uma área urbana densamente desenvolvida. As medidas na escala de altura são a altura média dos elementos de rugosidade (z_H), a subcamada de rugosidade (z_r , ou altura de mesclagem), comprimento de rugosidade (z_0) e comprimento de deslocamento no plano zero (z_d). Já a linha tracejada é o perfil extrapolado da subcamada inercial; linha sólida ou perfil real.

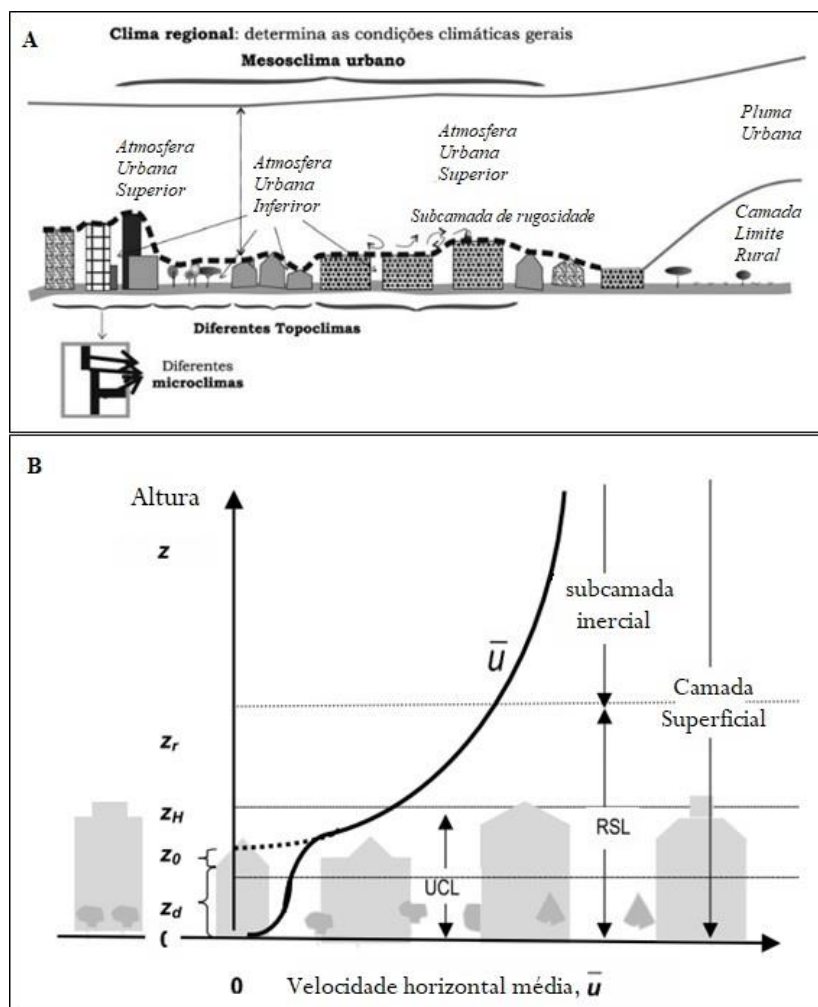


Figura 3 - (A) Escalas Climáticas e camadas verticais encontradas em áreas urbanas; (B) Velocidade do vento média generalizada (espacial e temporal)

Fonte: Adaptado de Oke (2004).

Para o seguinte trabalho, será considerada a forma de escala definida por Oke, pois suas informações são renomadas e de confiabilidade, portanto para melhor estudo suas referências serviram de base para o tratamento do tema.

2.1.2 Variáveis climáticas

O clima urbano compreende uma série de variáveis, com uma relação de causa e efeito, de tal modo que ao interferir em uma delas, outras também sofrerão esta interferência. Esta relação pode ser vista por meio dos princípios das leis de termodinâmica que determinam que a energia adquirida por um sistema precisa ser liberada do sistema ou armazenada para ser liberada depois. Desse modo, toda forma de radiação e calor, são inseridos no processo de balanço de energia e são liberados na forma

de calor latente ou sensível ou ficam estocados nas superfícies urbanas, para posterior lançamento (VILELA, 2007).

A radiação é uma energia eletromagnética que atinge a Terra após parcial absorção na atmosfera, sendo fundamental na troca de energia da superfície atmosférica, motivando a evaporação e os fluxos de calor sensíveis (FROTA, 2003). A nível da vegetação, as folhas das árvores funcionam como termorreguladoras, uma vez que absorvem a radiação, influenciando na temperatura abaixo das suas folhas pela sombra, contribuindo ainda para a libertação de vapor de água na atmosfera através da evapotranspiração (TOJO, *et al.* 2013).

Alguns parâmetros interferem na sua troca, como as temperaturas das superfícies, aspectos geométricos e físicos, e a emissividade térmica que é a capacidade que uma superfície tem de emitir calor (FROTA, 2003). A troca de radiação dentro do volume do UCL da camada superficial, apresenta um grande desvio devido a sua estrutura vertical e à variedade de materiais presentes (OFFERLE, *et al.* 2003).

A radiação pode incidir em diferentes pontos nas superfícies exteriores de um edifício, e pode ser absorvida ou entrar pelas janelas em forma de radiação de pequeno ou de grande comprimento de onda. De acordo com Soleamiento e Contaminaci, (2006) sua transmissão (Figura 4), pode ter uma componente solar direta (CSD), e difusa (CSDf), refletida do terreno (CRT) ou de obstáculos (CRO).

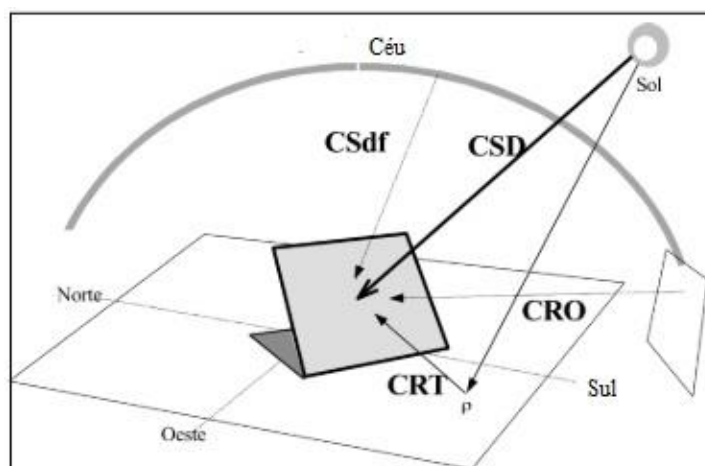


Figura 4 - Esquema ilustrativo dos tipos de radiação.

Fonte: Soleamiento & Contaminaci, (2006).

O vento é resultado das diferenças de pressão atmosféricas pela influência direta da temperatura, que se desloca tanto na vertical quanto na horizontal. Em centros urbanos, a velocidade do vento é genericamente menor que na sua envolvente, devido a rugosidade da superfície edificada, no entanto, pode também aumentar pela formação de canais nas ruas ou de desvio do fluxo do ar até o solo por edifícios, criando turbulência (BARBIRATO, *et al.* 2007)

A água é um elemento fundamental para determinar o microclima urbano, pois se incorpora ao espaço urbano com a precipitação, podendo ser absorvida pelo solo ou pelos materiais do pavimento. As massas de água e a evapotranspiração influenciam a quantidade de água contida no ambiente, com influência no clima urbano. A humidade contida no ambiente é um dos fatores responsáveis pelo conforto térmico no interior ou exterior e tem-se que a humidade relativa, parâmetro indicado por percentagem, é a quantidade de vapor contida num volume de ar em relação à quantidade máxima de vapor que pode existir nesse mesmo volume (TOJO, *et al.* 2013).

A topografia, por sua vez, está relacionada com as escalas climáticas, devido a sua verticalização. De modo geral, a temperatura diminuía gradativamente com um aumento da cota altimétrica, e a geomorfologia pode criar caminhos preferenciais para escoamento de água e fluxo do vento. No entanto, em escala locais, pelos efeitos de inversão térmica, a temperatura pode aumentar com a altura e caso existam poluentes no local, eles podem ficar presos e causar problemas de saúde para a população local (VILELA, 2007).

2.1.3 Zonas Climáticas Locais

Devido à grande variedade de superfícies presentes no espaço urbano e aos seus microclimas associados, é complexa a determinação de zonas climáticas locais podendo variar de metros a quilômetros. Desse modo, a noção das escalas é de suma importância para estudos climáticos para o design inteligente de medidas, modelagem e esquemas aplicados na climatologia urbana (OKE *et al.*, 2017).

As unidades urbanas derivam da soma de combinações de materiais e arranjos de superfícies que se aproximam de um clima integrado, demonstrando uma hierarquia dessas unidades urbanas, usando nomes característicos em comum, que são reconhecidos mundialmente (OKE *et al.*, 2017).

Afim de fazer uma divisão lógica das categorias de espaço, Stewart & Oke (2012) definem as chamadas Zonas Climáticas Locais (ZCL). Este nome é apropriado pois as classes são locais em escala, de natureza climática e de representação zonal. Define-se então as ZCL como regiões de cobertura superficial, estrutura, materiais e atividade humana uniformes, que abrangem de centenas de metros a vários quilômetros em escala horizontal.

As ZCL estão enquadradas nas unidades morfológicas da cidade e seus fenômenos climáticos, sua escala climática é local. Seus fenômenos climáticos característicos são a brisa local e os fenômenos de poluição do ar localizados. As características de águas ou espaços verdes, são de cinturão verde, floresta, lagos e pântanos. Seus recursos de construção são os centros de cidades, bairros residenciais e zonas industriais (OKE *et al.*, 2017).

2.2 MICROCLIMA

Como mencionado anteriormente, o microclima registra-se numa área relativamente pequena, em que as condições atmosféricas são diferentes da envolvente, tendo em conta as condições de radiação, a geomorfologia, os materiais, a vegetação e os edifícios, entre outros fatores. Os parâmetros do microclima urbano devem dar sustento e as melhores recomendações para que haja um melhor conforto térmico, em todas as épocas do ano (JOHANSSON & ERIK, 2009).

O clima abrange a totalidade dos fenômenos meteorológicos de um determinado local, dessa forma, as situações médias e o decurso natural do tempo, compreendem fenômenos extraordinários, como tufões, geadas ou tempestades. Mesmo em camadas junto ao solo pode se verificar um limite superior do microclima, com condições muito particulares, no interior de uma formação vegetal ou agrupamento urbano (GEIGER, 1927).

2.2.1 Materiais

Os materiais influem tanto no balanço térmico como no hídrico e suas trocas energéticas no sentido da capacidade de absorção, armazenagem e emissão de energia. Eles sofrem interferências, tanto das suas propriedades, como no tamanho, disposição no meio e configuração espacial. Essas interferências acontecem diante da radiação,

permeabilidade do material, textura, absorção e emissividade, albedo e inércia térmica (TOJO, *et al.* 2013).

O albedo, por sua vez, é a porcentagem de radiação solar que qualquer superfície reflete de acordo com a radiação nela incidida. Desse modo, o albedo dos materiais também condiciona a temperatura superficial dos revestimentos do espaço urbano, quanto maior for o seu valor, menor será a retenção de calor, devendo escolher-se materiais tendo em consideração esta característica (TOJO, *et al.* 2013).

Portanto, em casos em que se procura conforto no inverno, recomenda-se materiais escuros que por sua vez têm um menor albedo, pois permitem o acúmulo de energia ou o aumento da temperatura superficial do material; Já na procura de conforto para o verão, o contrário é recomendado, pois evita-se o acúmulo de calor na superfície, com a incorporação de materiais mais claros e com maior albedo (TOJO, *et al.* 2013).

A permeabilidade de um material é uma medida macroscópica da facilidade com que um fluido tem para atravessar um corpo (VIVALDINI *et al.*, 2014). A impermeabilização de um solo, com as alterações de um terreno, quebra o ciclo natural da água, fazendo com que reduza os períodos de concentração e de umidade. Este processo provoca o aumento de temperatura ambiente, uma vez que o material mais impermeável faz com que a água não penetre nele, ou seja ele canaliza a energia radiante armazenando o calor ou trocando com envolvente, fazendo com que seja feita em forma de calor sensível; Já em superfícies mais permeáveis, a libertação lenta de umidade faz com que parte do calor presente seja utilizado para trocar o estado da água, de líquido para gasoso com a evaporação (TOJO, *et al.* 2013).

A inércia térmica é a capacidade que a massa tem de conservar energia térmica e de a libertar progressivamente, dependendo do seu volume, densidade, calor específico e condução térmica do material. Nos materiais, ela faz com que a energia solar incidida sobre eles seja acumulada em seu interior, evitando uma excessiva temperatura do ar nos momentos de captação. Em materiais sólidos, para estes acumularem energia no seu interior devem receber radiação direta, sendo esta acumulação maior em materiais com um elevado coeficiente de absorção e alta condutividade. Sólidos fragmentados, como gravilha, tem melhor acumulação de calor (TOJO, *et al.* 2013).

2.2.2 Vegetação

Os espaços verdes nas cidades, e a sua vegetação, contribuem para as características do clima urbano a todas as escalas, tanto em modificações pontuais, feitas por um pequeno agrupamento de plantas, como num impacto mais extenso sobre os parâmetros ambientais, associados à presença de parques urbanos (TOJO, *et al.* 2013).

Um bom exemplo da utilização da vegetação para a melhoria do clima urbano são as árvores de folha caduca (Figura 5), que permitem a exposição solar durante parte do ano, enquanto as de folha persistente atuam de modo continuado como barreira contra o vento. Em relação à redução de ruído, a vegetação pode também ser considerada para barreiras acústicas, enquanto também é usada para sombreamento ou quebra de vento (KATZSCHNER, 2007).

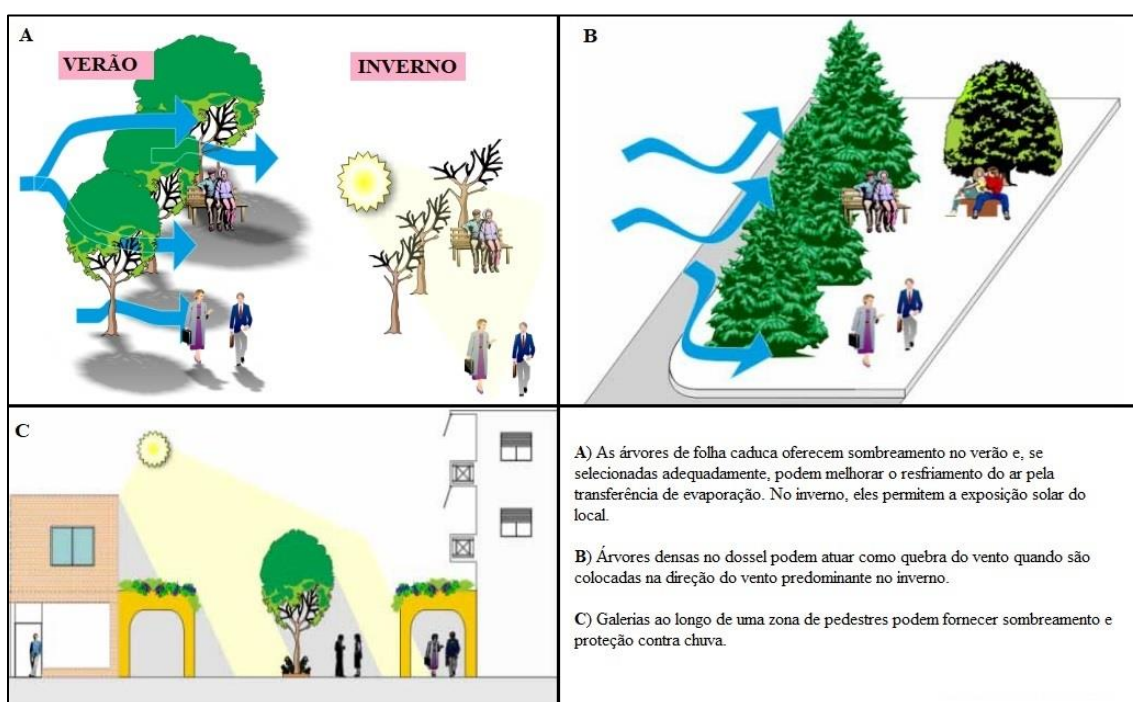


Figura 5 - Alguns exemplos de um design bioclimático de espaço aberto.

Fonte: Adaptado de Katzschner (2007).

2.2.3 Edifícios

O maior ganho de calor tem origem das radiações solares que não se distribuem igualmente pela superfície. A exposição à radiação tem relação com o formato do edifício, com a sua posição na Terra e a sua orientação. Como por exemplo, em climas quentes, com latitudes menores, um edifício alto e retangular, com orientação para leste, intercepta menos radiação do que um prédio baixo de mesmo volume com exposição ao Equador, porque minimiza a área exposta; já em climas mais frios de maior latitude, a área da parede voltada para o Equador maximiza a exposição (OKE *et al.*, 2017).

2.2.4 Fator de Visão de Céu

O fator de visão de céu (FVC) é o ângulo de obstrução do hemisfério celeste, um parâmetro adimensional que quantifica o céu é visível de um local (BARBIRATO, *et al.* 2007), seus valores variam de 0 à 1, sendo o 1 correspondente a uma área sem qualquer obstáculo que interponha o ponto escolhido e o hemisfério celeste (COLISCHONN & FERREIRA, 2015).

Desse modo, o FVC influi na troca de calor por radiação entre os elementos urbanos, entre si, e com o céu. Quando há obstrução existe uma maior dificuldade do ambiente em dispersar a energia térmica armazenada para a atmosfera, pois a verticalização aumenta a superfície de contato exposta a radiação e aumenta a incidência de radiação solar em superfícies, fazendo com que haja uma maior acumulação de calor. Por outro lado, com um maior FVC ocorre uma menor acumulação de calor, mais acentuada durante a pôr do sol, com uma maior capacidade de resfriamento. Sendo assim, esse fator indica a relação geométrica da Terra e o céu, algumas vezes se relacionando com o fluxo de radiação, através de expressões trigonométricas da razão da radiação do céu recebida por uma superfície plana e aquela recebida de todo ambiente radiante (BARBIRATO, *et al.* 2007).

2.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é uma condição termofisiológica, que associada a fatores psicológicos e culturais, pode por sua vez, afetar a saúde e o rendimento de um indivíduo. Suas condições são função da atividade exercida por cada pessoa, como as roupas que usa no dia a dia, as variáveis ambientais que proporcionam a troca de calor entre o corpo e o exterior. Por sua vez, os aspectos termofisiológicos dependem de parâmetros básicos

do ambiente, que podem ser atmosféricos como temperatura, radiação, umidade e vento, ou pessoais, como o metabolismo e a roupa. Os índices de conforto térmico procuram englobar, em um único parâmetro, diversas variáveis e foram criados para avaliar esses componentes para melhorar as condições de, principalmente, ambientes fechados (ALCOFORADO, *et al.* 2011).

Para avaliar as condições de conforto, o indivíduo deve estar apropriadamente vestido, sem problemas de saúde ou de aclimatação. Lembrando que as condições ambientais no local sempre influenciaram o conforto térmico de maneiras diferentes, de acordo com o clima. Ou seja, as percepções de conforto dos habitantes de áreas quentes e húmidas, serão diferentes das dos habitantes de locais de climas quentes e secos ou de clima temperado ou frio (FROTA, 2003).

O conforto térmico não se relaciona somente a sensação de conforto das pessoas, como também afeta o desempenho no trabalho e a saúde humana. Seus limites depende do tempo de exposição de uma pessoa às condições ambientais, variando para condições de conforto e para saúde humana (NETO, *et al.* 2016) .

2.3.1 Carta Bioclimática de Olgyay

A Carta Bioclimática de Olgyay (1963), que associa a adaptação das edificações com o clima, a partir das condições climáticas da envolvente. Esta carta assume a forma gráfica, possui a zona de conforto ao centro e os elementos climáticos indicados com curvas ao redor. A zona de conforto é baseada em suposições arbitrárias, não tendo um limite preciso, pois ela varia com o mínimo de esforço e pode virar uma situação de desconforto facilmente. (BOGO *et al.* 1994).

A carta, portanto, consiste em um diagrama de valores de temperatura no eixo da ordenada e valores de humidade na abcissa, com seu centro com uma zona neutra ou de conforto (Figura 6). Esta zona não possui limites fixos, podendo variar para cada indivíduo (OLGYAY, 1963).

Com valores de temperatura do ar e humidade, delimitam-se pontos de intersecção dos eixos, que possibilitam determinar em se esta é uma zona de conforto ou de correção para o conforto. Evidentemente, se esses pontos estiverem localizados na região central, serão considerados como zonas de conforto, se saírem desta região, será necessária uma ação corretiva. Caso os pontos estejam acima da região central, será

necessário recorrer ao efeito de movimentação do ar, lembrando que se a temperatura for elevada e a humidade baixa, esse movimento de ar não é de grande valia. Quando a intersecção está abaixo do limite da zona de conforto, as linhas representam a radiação necessária para atingir a zona de conforto, em termos de radiação solar e aquecimento do ambiente (FROTA & SCHIFFER; 2003).

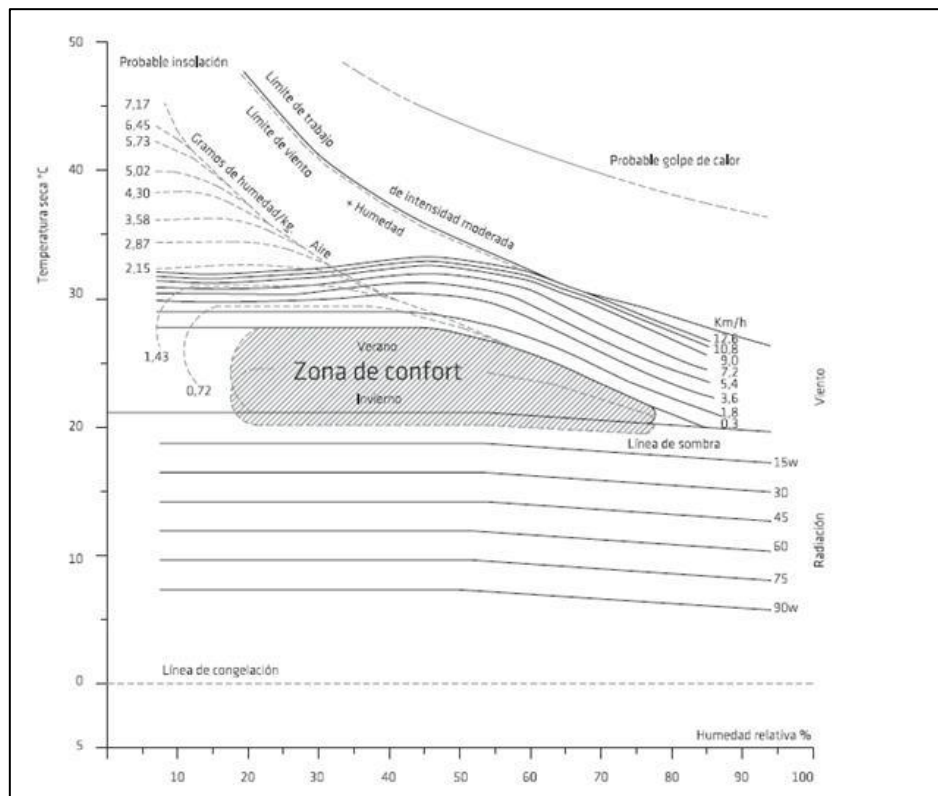


Figura 6 - Carta Bioclimática de Olgyay.

2.4 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

Com intuito manutenção da sustentabilidade global, as Soluções Baseadas na Natureza (SBNs) visam conter e controlar os impactes das ações antrópicas, tendo a natureza como inspiração. Com este foco, a *International Union for Conservation of Nature* (um conjunto de diversas organizações e governos nacionais) listou, em 2018, seis principais desafios globais atuais, sendo um deles as mudanças climáticas. E para este fim, uma das ferramentas chave são as SBNs, que mais meio dia solar foram encorajadas pela Comissão Europeia (STÖBERL *et al.*, 2019).

As SBNs são ações inspiradas, relacionadas ou copiadas da natureza, aprimorando, criando ou usando as soluções que já existem para ajudar a sociedade a enfrentar os desafios ambientais, sociais e econômicos de maneira mais sustentável. As SBNs usam processos e recursos complexos da natureza, como a capacidade de regular fluxos de água e armazenar carbono, para redução de risco de desastres ambientais. Estas soluções são resilientes às mudanças, bem como eficientes em termos energéticos e de recursos tendo que se adaptar as condições locais para atingir estes critérios (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

O conceito das SBNs é baseado e apoia-se em conceitos relacionados com os ecossistemas, serviços ecossistêmicos, adaptação e mitigação de alterações climáticas. Reconhecem a importância da natureza, exigindo uma abordagem ambiental para compreensão de seu funcionamento e das suas estruturas, incluem as ações humanas e suas consequências. Portanto, a aplicação de conhecimentos inspirados e apoiados pela natureza, valorizam os recursos naturais, oferecendo respostas positivas a desafios da sociedade, como o conforto térmico urbano, podendo atender simultaneamente a objetivos ambientais, sociais e econômicos (EUROPEAN COMMISSION., 2015).

2.5 MODELAÇÃO

Os fenômenos naturais são habitualmente complexos, o que faz com que o seu estudo e compreensão sejam difíceis. Uma maneira de abordar a complexidade, passa pela aplicação de modelos de análise que permitem analisar ou antecipar esses fenômenos (KOBİYAMA & MANFROI, 1999).

A modelação pode ser compreendida como o processo de gerar modelos e a simulação é a execução desses modelos, sendo que a sua calibração é imprescindível e é sempre feita com dados de monitoramento (KOBİYAMA & MANFROI, 1999).

A modelagem pode ser usada para aplicação dos métodos científicos a sistemas complexos, usando a teoria para estudar, descrever e fazer previsões de sistemas complexos. Conforme a complexidade aumenta, não havendo mais resoluções matemáticas analíticas, existe uma necessidade de resoluções baseadas em sistemas computacionais com recurso a métodos numéricos. A simulação por computador é útil e ajuda a compreender o impacto de atrasos e não-linearidades no sistema (GARCIA, 2005)

A modelação permite ainda o gerenciamento dos processos, evitando surpresas que podem ser evitadas durante a execução, antecipando situações desfavoráveis, para

que ações preventivas e corretivas possam ser tomadas, agilizando decisões, uma vez que as informações estão estruturadas e disponíveis (ROMANO & BACK, 2001).

2.5.1 Representação de formas de modelação

Como ferramenta importante para a compreensão e a previsão do comportamento climático, os modelos climáticos investigam o grau em que as mudanças climáticas derivam da variabilidade natural, da intervenção humana ou das suas combinações. Suas projeções e resultados dão informações essenciais para a melhoria da tomadas de decisão de gerenciamento e manejo de um local estudado (GFDL, 2020).

Conseqüentemente, o processo de modelação tem origem num modelo conceptual e numa descrição qualitativa, requer estudo teórico, abrangente e específico, com a recolha do máximo de informação possível, para que ele se aproxime da realidade e, assim, possa fornecer informações de confiabilidade para tomadas de decisões e ajustes mais eficientes. Desse modo, eles são usados não apenas para entender o sistema terrestre, mas também para fornecer as informações para as políticas públicas possam lidar com as mudanças climáticas causadas pelo ser humano. Frequentemente, o ambiente e a economia dependem de opções de política escolhidas com base nos resultados desses modelos (GETTELMAN & ROOD, 2016).

2.5.2 ENVI-MET

O ENVI-Met é um *software* de modelação climática que tem por objetivo contribuir para o planeamento de áreas urbanas, que através da compreensão da dinâmica do ambiente permita definir projetos mais sustentáveis. Dessa forma, permite investigar e quantificar os efeitos da arquitetura e do planeamento urbano no microclima de espaços exteriores através de simulações (BRUSE & SIMON, 2020).

O ENVI-Met é um modelo holístico de microclima, no qual todos os diferentes elementos, urbanos ou paisagísticos, interagem entre si. Seus módulos de cálculo abrangem inúmeras disciplinas científicas, como a dinâmica de fluídos, a termodinâmica, a fisiologia de plantas e os solos. Seu princípio é integrar diversas abordagens em um único modelo, para que possam reproduzir sinergia e demonstrar informações reais (BRUSE & SIMON, 2020).

O *software*, oferece modelagem de radiação solar através da sua análise em todas as fachadas dos edifícios e envolvente. Calcula ainda a temperatura das folhas,

considerando a taxa fotossintética, a disponibilidade de água no solo e a taxa de evapotranspiração local (BRUSE, 2004).

Sua grande vantagem está em ser um dos primeiros modelos que reproduz os principais processos da atmosfera que afetam o microclima, pois inclui o fluxo dos ventos, sua turbulência, fluxos de radiação, temperatura e humidade, fundamentando nas leis de dinâmica dos fluidos e da termodinâmica. Ele simula a dinâmica microclimática dentro de um ciclo diário em estruturas urbanas complexas, com edifícios e vegetação de inúmeras formas e tamanhos. Tem uma boa resolução espacial e temporal, que permite boa compreensão do microclima em pequena escala (ALI-TOUDERT & MAYER, 2006).

No que tange o potencial do programa, ele corresponde à maioria das expectativas, o que pode ser relatado pela diversidade de trabalhos que o utilizam para modelação microclimática. Contudo, é preciso que além das análises do ENVI-Met, seja explicitados suas limitações e que as características sejam levadas em consideração pelo usuário durante a interpretação dos resultados (TSOKA, *et al.* 2018).

Além disso, ainda não é claro se os esforços para validação do modelo fornecem garantias para que o modelo capture de forma adequada a mistura vertical e a troca de calor do solo ao nível de telhado (CRANK *et al.*, 2018).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Bragança está localizada no extremo nordeste de Portugal, norteada pela Serra de Montesinho e a oeste da Serra da Nogueira. A cidade tem área de extensão de 1.674 km² e população de 35.341 habitantes, com densidade de 30,1 hab./km² (BRAGANÇA, 2008). O espaço urbano é marcado por vários tipos de construções, como bairros com edifícios plurifamiliares e unifamiliares, comércio e zonas industrial. A economia tem como principal atividade as prestações de serviços, em sua maioria públicos, sendo a atividade industrial pouco representativa (GONÇALVES *et al.*, 2018).

A área do estudo fica situada na zona industrial das Cantarias (Figura 7), numa zona com maior concentração de empresas e nenhuma moradia, a região que possui poucos espaços verdes formais ou tratados e amplas zonas asfaltadas. Esta zona industrial tem área de 970 mil m², sendo 830 mil m² de instalações. Os principais segmentos de empresas localizadas nesta zona, são dos sectores autoelétrico, comércio de automóveis, transformação de ferro, máquinas industriais, serralharias, indústrias gráficas, equipamentos e materiais de construção, reboques, comércio de pneus, entre outros.

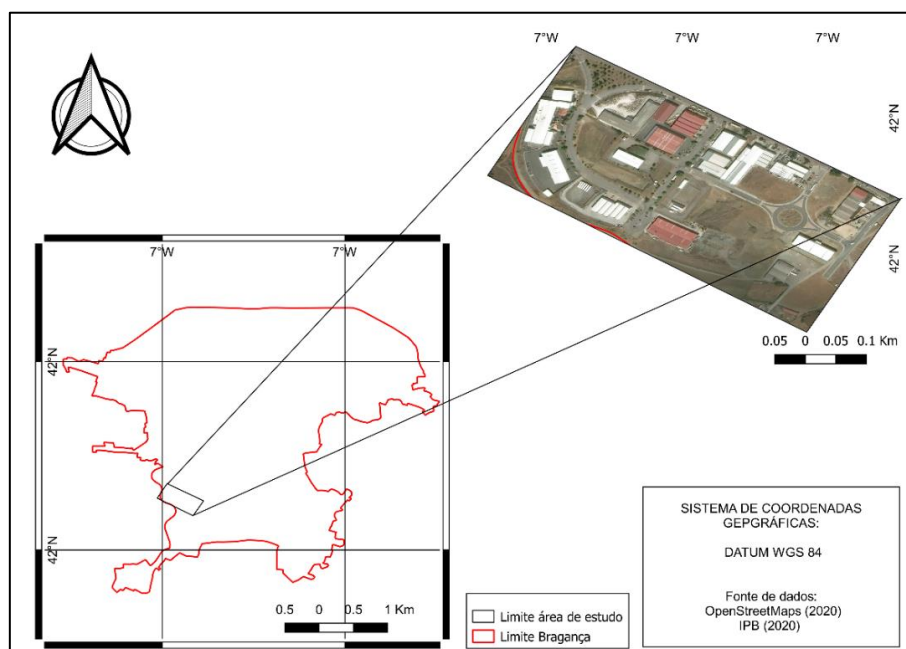


Figura 7 - Localização da Zona industrial em Bragança.

A cidade de Bragança conta com clima temperado caracterizado como Csb, classificado como clima mediterrâneo de verões mornos e secos e com invernos chuvosos, sendo amenos a frios, de acordo com Köppen (1936). O clima local pode ser caracterizado pela predominância de baixas temperaturas na maior parte do ano, em particular no período noturno. Nos meses mais quentes, em particular no verão, as temperaturas alcançam valores acima das condições ideais de conforto (GONÇALVES, *et al.* 2014).

3.3 MEDIÇÕES DE DADOS E MONITORIZAÇÃO CLIMÁTICA

Para o desenvolvimento da monitorização foi necessária a recolha de dados para dar entrada na simulação do ENVI-Met, e ainda para proceder à validação dos dados gerados pelo *software*, verificando a adequação as características físicas e climáticas.

Para medir os dados de radiação, temperatura e humidade, velocidade e direção do vento e precipitação é utilizada uma estação meteorológica automática fixa (Figura 8) da rede de monitorização do clima da cidade de Bragança, localizada nas coordenadas 41°47'14.6"N e 6°46'53.6"W. A estação conta com um registrador de dados CR300, com possibilidade de acesso remoto, um sensor de velocidade e direção de vento Lambrecht ORA, um sensor de temperatura e humidade Campbell Scientific CS215 com escudo de radiação, um sensor de precipitação Lambrecht 15189 com mastro de fixação e um sensor de radiação solar Campbell Scientific CS300. Tem, por fim, um sistema de alimentação solar constituído por um painel solar de 20 W, com regulador de carga e uma bateria de 18Ah.

A validação dos dados gerados pelo ENVI-Met, foi feita através de uma estação meteorológica automática fixa (Figura 8), uma estação registradora de dados de microclima térmico – *Datalogger*, Delta Ohm 32.1 e três estações Delta Ohm 32.3 (Figura 9). Os dados permitiram a validação da sensibilidade do modelo e explicar as particularidades climáticas medidas em diferentes locais dentro da área de estudo.



Figura 8 - Estação meteorológica automática fixa da Zona Industrial das Cantarias, Bragança.



Figura 9 - Registradores de dados de microclima térmico – *Datalogger*, Delta Ohm 32.1 (A) e Delta Ohm 32.3(B).

3.3.1 Período de medição

As campanhas de medições decorreram em dois meses distintos, sendo a primeira medição realizada no dia 21 de maio de 2020, durante a primavera, onde o clima é mais húmido e com temperaturas mais amenas. Já o segundo foi realizado no dia 15 de julho de 2020, no verão, com clima mais seco e as temperaturas mais elevadas. Os horários estabelecidos para as medições foram: no nascer do sol, entre as 4:00 e as 7:00; o meio-dia solar, das 12:00 às 14:00, e o pôr do sol, das 19:00 às 21:00.

Para os arquivos de entrada do programa, a alimentação do sistema foi feita de acordo com os valores máximos e mínimos, calculados a partir das médias dos dados dos locais estudados. Contendo assim, dois cenários com características climáticas mais representativas durante o período do estudo, uma vez que devido a pandemia mundial do COVID-19, não foi possível fazer as medições em meses com períodos muito distintos com temperaturas mais baixas, uma vez que a primeira campanha teve que ser suspensa.

As medições em estações portáteis, abrangem uma porção maior da área, o que não é possível com a estação fixa. Dando uma melhor configuração a variáveis de conforto térmico, pois podem ser colocadas em locais distintos, verificando assim o modelo que configura o comportamento térmico da área de estudo em condições atmosféricas ideais, como céu limpo e ventos fracos (OKE, 1982).

3.3.2 Materiais e métodos de medição

Os dados de entrada da estação meteorológica fixa, são retirados através da estação de referência supracitada. A radiação solar global é medida com um piranómetro constituído por um sensor fotométrico (modelo CS300, Campbell Sci.) com um espectro de medição entre os 300 e 1100 nm; para temperatura e umidade utilizam sensores (modelo CS215, Campbell Sci.) que estão incorporados num único instrumento, sua calibração deve ser constante; a velocidade e direção do vento é medida através de um único instrumento que integra um anemómetro de hélice e um catavento (ORA-Family); a precipitação é medida por sensor (modelo 15189, Joss-Tognini). Os sensores estão ligados a um sistema de aquisição de dados (*Datalogger*) (Modelo CR300, Campbell Sci.) programado para armazenar a informação em cada 10 minutos. A estação possui um sistema de alimentação solar constituído por painel solar de 20W, regulador de carga e bateria de 18Ah.

Como estações de monitorização móveis, foram usados dois modelos diferentes. Uma unidade do *Datallogger*, Delta Ohm 32.1 (Figura 8a) e outro, foram três unidades do Delta Ohm 32.3 (Figura 8b). Ambos os instrumentos são multifuncionais registradores de dados que medem as condições do ambiente. Foram projetados para análises de microclima no local de trabalho, utilizados para detectar os parâmetros necessários para estabelecer um determinado espaço de trabalho adequado para os funcionários, podem, no entanto, ser igualmente usados no exterior. Ambos podem gerenciar três programas operacionais que são carregados pelo usuário, de acordo com as medições, sendo eles para análise microclimática, análise de desconforto e quantidades física, utilizando os índices de Temperatura radiante média (T_r), Temperatura ambiente (T_a), Temperatura de termômetro de globo (T_g), Temperatura de bulbo úmido (T_w), Isolamento de roupas necessário (IREQ), Temperatura de bulbo Úmido (WBGT), Índice de sensação térmica (WCI), Voto médio estimado (PMV), Porcentagem de Pessoas insatisfeitas (PPD) entre outros. Suas diferenças mais características são em relação à entrada de sondas equipadas com módulo SICRAM, tendo o primeiro com oito entradas e o segundo três. E os seus padrões de referências são distintos, sendo o do primeiro, Delta Ohm 32.1, as ISO7726, ISO7730, ISO7243, ISO7933, ISO11079 e ISO8996, e a do segundo, Delta Ohm 32.3, somente as ISO 7243, ISO 8996, ISO 7726, ISO 7730.

3.3.3 Definição dos pontos de medição

A validação dos dados de *input* do ENVI-Met foi feita através de medições em cinco diferentes locais, sendo quatro deles, nomeadamente ponto A, B, C e D, medidos pelas estações de conforto térmico (Figura 9a e 9b), e um deles correspondente à estação meteorológica automática fixa, designada como ponto E (Figura 8). Esta etapa foi realizada dentro da área de pesquisa (Figura 10), para os dois dias de análise. Vale enfatizar que as variáveis referentes ao ponto B são contabilizadas num período maior, pois neste local foi possível deixar o aparelho por 24 horas. Para os outros pontos foi considerado o mesmo período de medição utilizado para a configuração do arquivo de entrada.

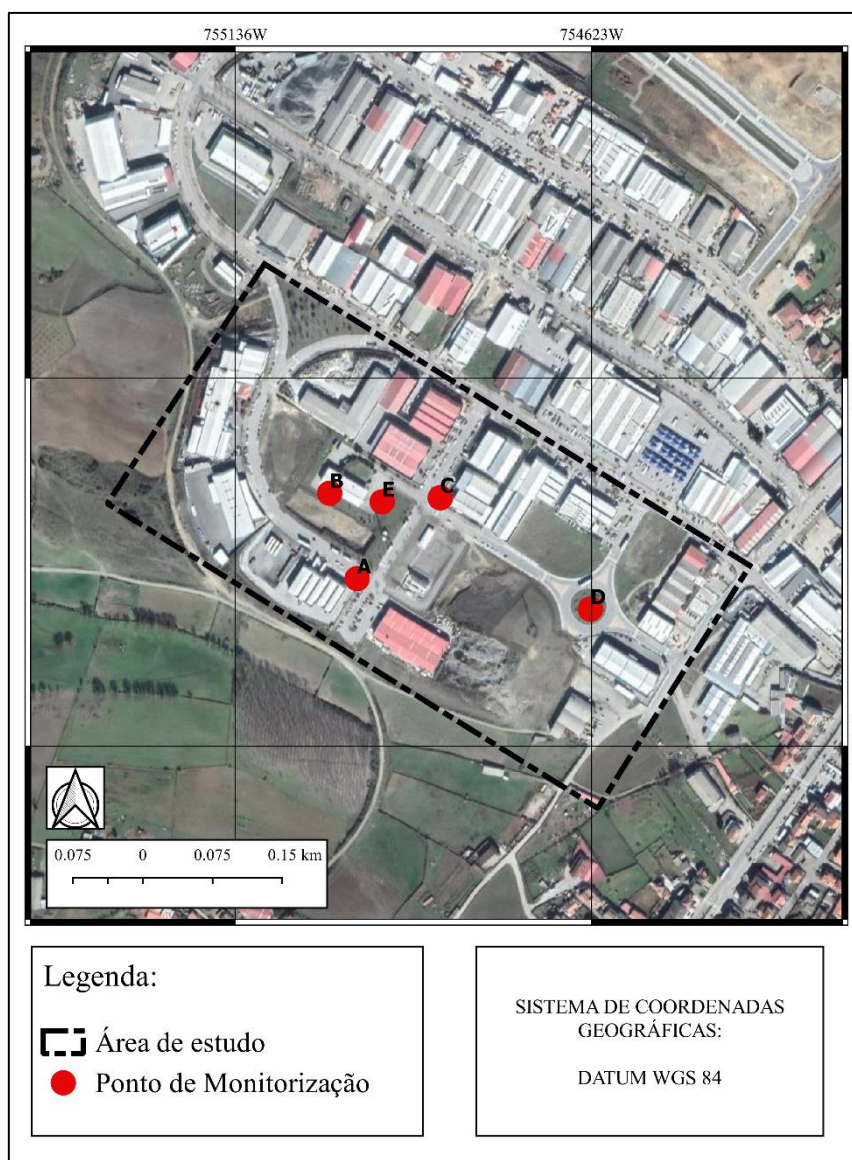


Figura 10 - Mapa de localização dos pontos de medição do microclima das estações móveis

A escolha da localização dos pontos foi feita de modo a ser representativa das condições na área de estudo: ponto A (Figura 11a), o que mais recebeu maior radiação durante os períodos de medição, pois estava em uma área mais aberta, com um edifício a alguns metros de distância, foi posicionado em uma zona de passagem e só recebeu sombra ao final da meio-dia solar. O ponto B (Figura 11b) dentro do matadouro da cidade, numa posição com alguma projeção de sombra do pavilhão industrial, somente no período da nascer do sol e final da meio-dia solar. O ponto C (Figura 11c) num local com sombra de uma árvore durante as horas intermédias do dia solar, recebendo sol somente nos primeiros períodos da nascer do sol e final da meio-dia solar. E ponto D (Figura 11d), que

estava em relva e solo exposto na rotunda, também sem sombra em todas as horas do dia e onde não existem áreas construídas ao seu redor. Essa heterogeneidade de contextos microclimática, permite uma melhor análise dos resultados da aplicação do modelo, aumentando a variabilidade estatística.



Figura 11 - Ponto A de medição (A); Ponto B de medição (B); Ponto C de medição (C); Ponto D de medição (D).

3.3.4 Cálculo de FVC

O fator de visão de céu foi calculado nos quatro pontos (A, B, C e D). Primeiramente utilizou-se uma câmera Cânon EOS 800D com auxílio de um tripé flexível e uma lente formato olho de peixe (Figura 12a). Para nivelar a foto ao nível do chão, além do tripé flexível ainda foi utilizado um medidor de nível comum (Figura 12b). A câmera foi posicionada orientada para o *zenit*, no mesmo local em que as estações móveis estavam, as imagens foram captadas no primeiro horário da meio-dia solar, e foram realizadas somente no dia 15.07.2020 pois assumiu-se que as condições de FVC não sofreram variação entre os dois dias de medição.

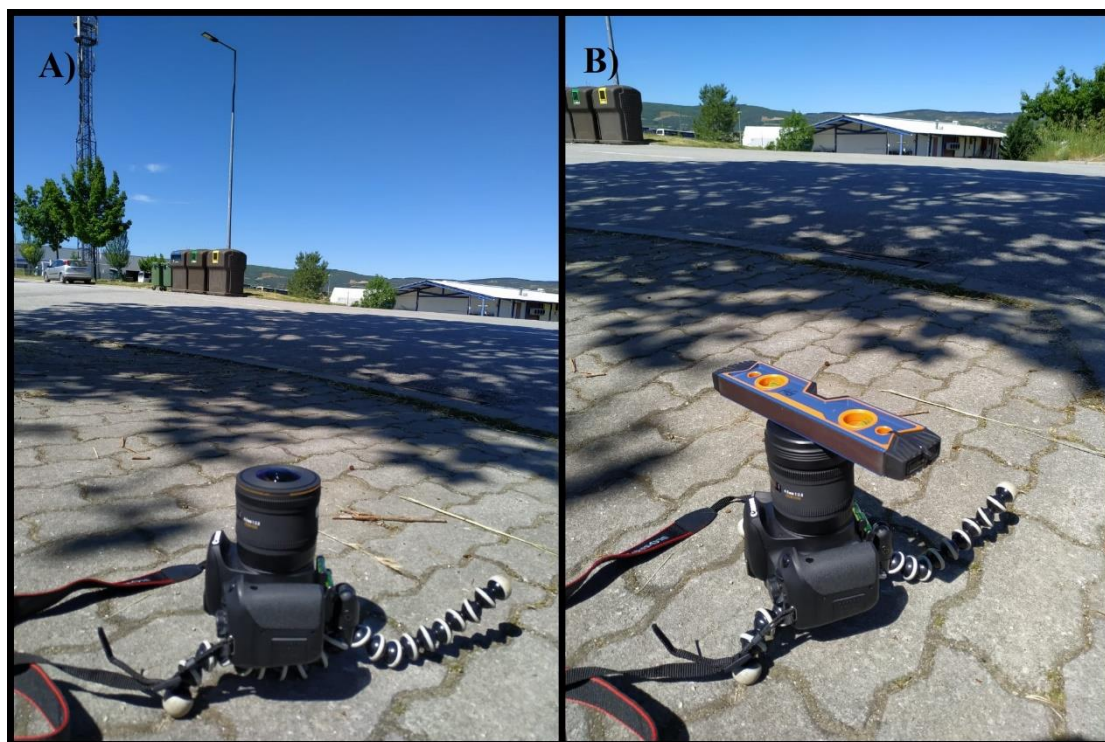


Figura 12 - Câmera Cânon EOS 800D com a lente de peixe (A). Medidor de nível em cima da câmera para auxiliar no nivelamento da fotografia.

Para o tratamento da imagem utilizou-se o software gratuito GIMP 2.10.20 para transformar as imagens em formato bitmap, sem que estas perdessem a qualidade e mantivessem o número de pixels. Para então o processamento das imagens e obtenção do FVC, temperatura média radiante, foi utilizado o *software* RayMan Pro 1.2, desenvolvido pelo Matzarakis, *et al.* (2007), o programa aceita dados de entrada como a temperatura máxima e mínima, assim como a umidade, e também calcula a radiação por meio dos

dados de latitude e longitude que também são colocados manualmente. Por meio do sistema ele aceita as fotos olho de peixe no formato bitmap, retira o céu e transforma a parte de sombra em preto (Figura 13), dessa forma ele conta os pixels que fazem o FVC e efetua os cálculos de acordo com o *input* colocado.

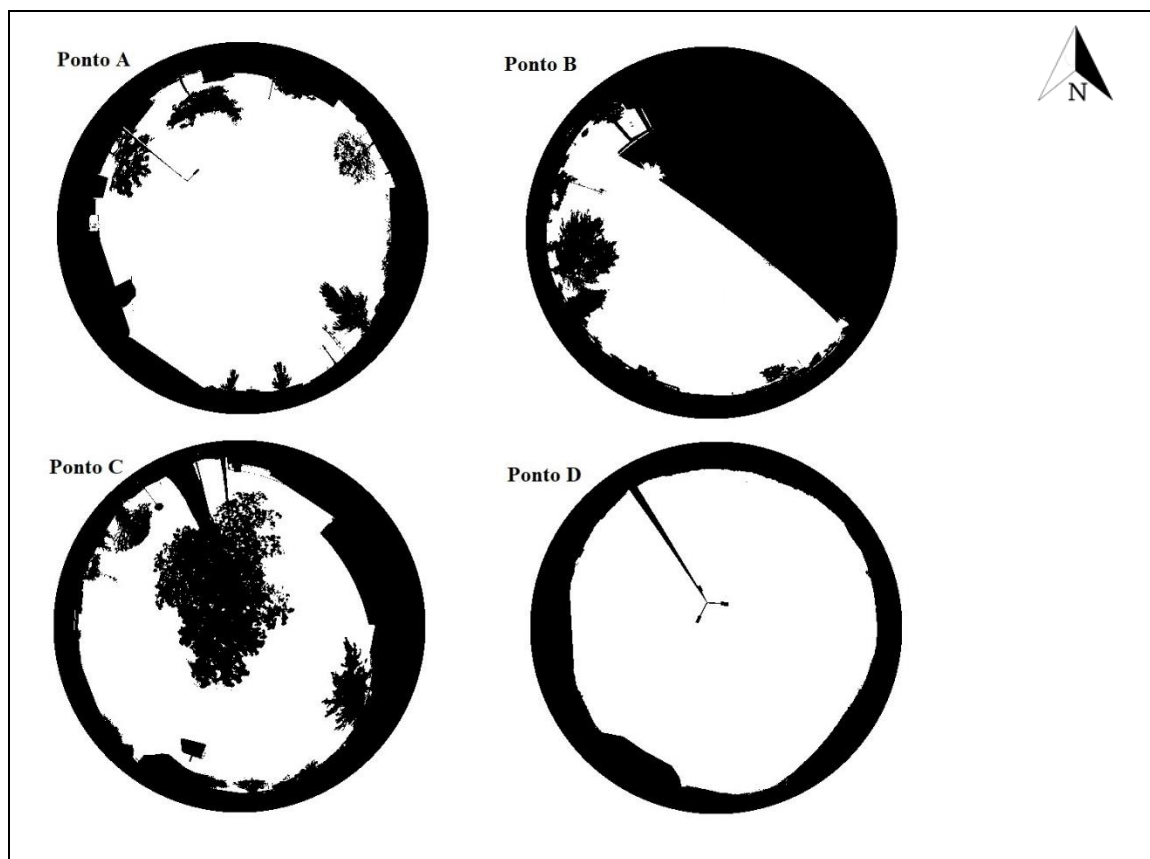


Figura 13 - Edição das fotos olhos de peixe no software RayMan Pro, para o cálculo de FVC.

O FVC obtido será usado como uma variável de análise permitindo avaliar possíveis relações com os dados medidos pelas estações móveis e dados preditos pelo ENVI-Met, com intuito de dar credibilidade e assegurar uma boa correlação.

3.3.5 Câmara termográfica

A fim acrescentar dados ao estudo, foi ainda utilizada a câmera termográfica THT 33 da empresa HT-*instruments* para medir a temperatura superficial do chão nos três períodos do dia 15.07.2020. Esses dados demonstraram a temperatura da superfície de

cada ponto de medição, constituindo um dado adicional para este estudo. Vale lembrar que para o dia 21.05.2020, pois o equipamento ainda não estava disponível.

3.4 MEDIÇÕES DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS

A fim de criar um banco de dados espacial, que caracterizam as entradas do programa, o mais fidedigno possível, foi feito o levantamento das dimensões dos edifícios, das características da vegetação e a das superfícies.

3.4.1 Dimensionamento dos edifícios

Para medição das alturas dos edifícios das zonas, foi utilizado um medidor de distância laser (Figura 14) (LD 500 STABILA) que é acoplado a um tripé com medidor de nível, para que assim, sua medição seja o mais precisa possível evitando erros de desnível do terreno. Para tirar as medidas, primeiro mede-se a distância ao ponto de inserção no solo, na direção da parede que se quer medir. Posteriormente, sem tirar o equipamento do lugar, medida é feita a medição horizontal. Por fim, medida é feita a medição do ponto culminante do edifício (Figura 15). O próprio aparelho faz a medição baseada nestes três valores.

Quando foi possível entrar dentro dos pavilhões da zona industrial, foi possível medir de modo mais preciso a altura destes edifícios. Para o efeito, posicionou-se o medidor junto ao piso de modo perpendicular para extrair uma medida única. Estas medidas foram confrontadas com dados base da prefeitura de Bragança.



Figura 14 - Medidor de distância laser LD 500 STABILA.



Figura 15 - Medidor de distância laser no tripé apontando ao ponto de inserção do solo(A), para o horizonte (B) e para o ponto culminante do edifício (C).

Para medição das áreas, utilizou o medidor de distância laser, que faz o cálculo automático para as alturas dos edifícios. Para alguns edifícios que não foi possível a utilização desse método por falta de acesso, utilizou-se o cálculo de área por polígonos, através do *software* QGis 3.10.3, com imagens disponíveis na plataforma google maps.

3.4.2 Levantamento arbóreo

A inserção dos elementos de vegetação no *software* ENVI-Met, exige conhecimentos de botânica do pesquisador, pois o modelo permite a seleção de múltiplas especificações quanto às características da vegetação, que se não forem alteradas manualmente, não vão interferir na aplicação do modelo, porém diminuem sua confiabilidade. Em particular, a função Albero, permite desenhar uma árvore em 3D, baseada num banco de dados pré-existente, em que é possível colocar a dimensão e tamanho da copa, tamanho das raízes, tipo de folhas e suas características ao sazonais,

fixação de CO₂, resistência dos estômatos e albedo das folhas, assim como outras funções e características.

A obtenção dos dados de caracterização da vegetação arbórea foi feita com auxílio do Professor Doutor Paulo Cortes. Foram feitas visitas a campo para identificação a nível de espécie da vegetação, orientadas pelo professor. Posteriormente foi utilizado o banco de dados do programa para espécies, onde verificou-se quais já dispunham de um modelo 3D, bem como quais precisariam ainda de ser modeladas.

Já para obtenção das alturas e diâmetro de copa equivalente (DCEq), foi utilizada uma vara telescópica (Figura 16) e uma trena ou fita métrica, que serviram para a recolha de dados no terreno.



Figura 16 - Vara Telescópica utilizada para medir altura das árvores.

No total foram contabilizadas e medidas 271 árvores, de 11 espécies diferentes, distribuídas ao longo das calçadas e interior de terrenos.

3.4.3 Caracterização do solo e superfícies urbanas

A classificação de superfícies do solo foi realizada com as observações *in loco*, com fotografias e consultas bibliográficas em relação as cores, rugosidade e tipologia dos materiais, para assim classificá-las de acordo com o modelo do ENVI-Met.

Em relação ao solo, foi utilizada pesquisa bibliográficas a partir da carta de solos da cidade de Bragança.

3.5 MODELAÇÃO ENVIMET

O *software* utilizado para modelagem é o ENVI-Met versão 4.4.5. Para processar os dados é ideal utilizar uma máquina com uma capacidade de processamento mínimo de 2 GByte de RAM e 2 GHz de CPU (ROSSETI, 2013). Além disso, o processamento não pode ser interrompido por nenhum tipo de interferência, como falta de energia ou acesso à internet.

A modelação do programa é feita na aplicação SPACES, e para começar foi necessário carregar uma imagem de satélite de alta resolução. A imagem necessitou de tratamento pois a relação de pixels é o que dará confiabilidade ao modelo, sendo assim é necessária uma equivalência de escala de modo que a imagem aérea corresponda em altura e largura aos pixels definidos para processamento no *software*.

O arquivo na interface do ENVI-Met tem formato 2D, caracterizado por uma malha que denomina o módulo, chamada de *Grid* (grade). Esta matriz de análise corresponde a uma unidade de edição do modelo, na qual são atribuídas dimensões horizontais e verticais, além de informações que são colocadas manualmente durante o processo, tanto na camada de superfície, como na de vegetações e de edificações. O ENVI-Met conta com uma biblioteca de revestimentos de solo e de vegetação pré-definidos, que podem ser editadas (ROSSETI, 2013).

Após o tratamento da imagem, é necessário inserir os dados de entrada que servem para que o programa entenda a que corresponde cada parcela da imagem para assim construir uma imagem em 3D. Esses dados são as alturas e materiais dos edifícios, e o tipo de vegetação, assim como o uso e ocupação do solo e topografia.

3.5.1 Processos de configuração e edição do modelo

O primeiro passo da modelação foi o tratamento da imagem com formato *bitmap* (.bmp) retirada do *Google Earth* (Figura 17). A escala, ficou definida como sendo um metro para cada *pixel*. A imagem precisou ser rodada a 350° para facilitar a modelação, e ainda foi definido para cada *grid* um comprimento de 5 metros para os eixos X e Y, e 3 metros para o eixo Z. Para o modelo de elevação, foi utilizado um DEM de 710 metros. Todas essas informações servem como base de entrada para a modelação, a partir delas é que se inicia o processo de modelagem.



Figura 17 - Imagem *Bitmap*. recortada da zona industrial, sem a rotação de -10°

O primeiro passo é feito na aba *building* onde se categoriza todos os edifícios da zona, assim como sua área e altura, que foram previamente medidas com o Medidor de distância laser (Figura 14).

Após a classificação dos edifícios, foi feita a classificação da vegetação (Figura 18). Para o efeito, foi utilizado a extensão *Albero* que serve para a modelação das árvores em 3D, dessa forma, tanto seu tamanho, como diâmetro de copa foram desenhados uma a uma, para que fossem o mais fidedignas possível. Todos os dados de *input* (271 árvores) foram medidos através da Vara Telescópica (Figura 16), e classificados, sendo elas *Cypress sp.*, *Spartium junceum*, *Acer campestre*, *Acer negundo*, *Acer pseudoplatanus*, *Privet sp.*, *Quercus robur*, *Sophora japonica*, *Tilia cordata*.

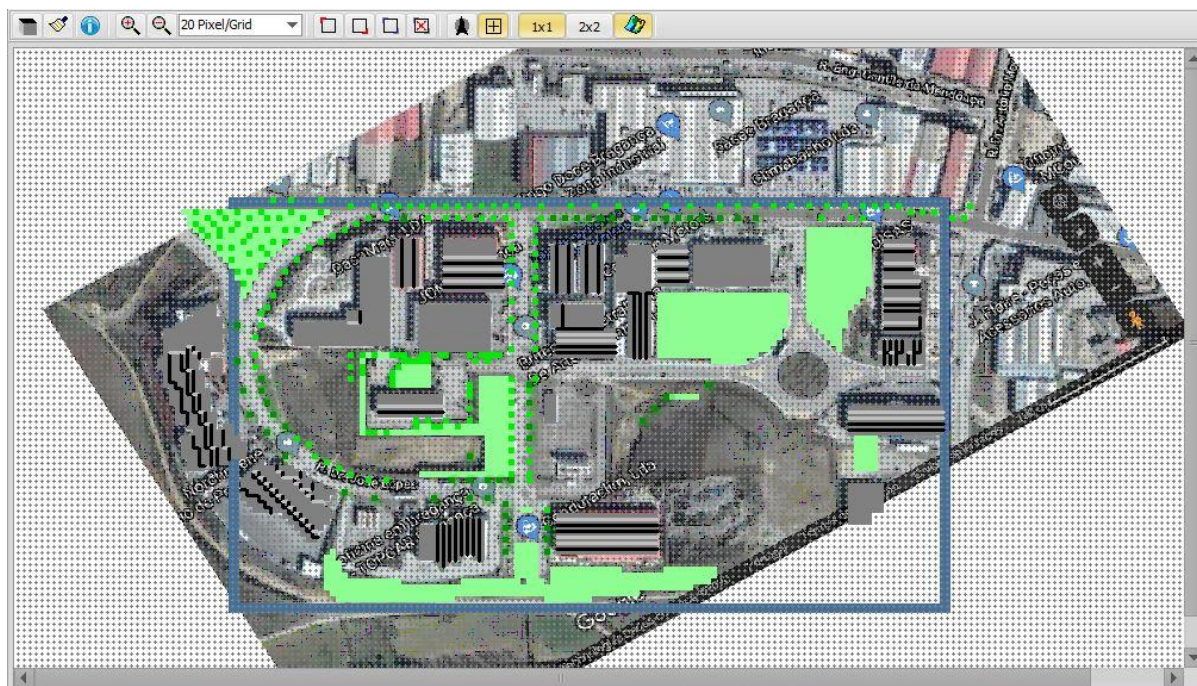


Figura 18 - Imagem da modelação dos edifícios e da vegetação no *software* ENVI-Met.

Após a modelação da vegetação, foram incorporados os dados do modelo da superfície do terreno (Figura 19), na aba *soil and surface*, nesta parte foram realizadas visitas de campo para analisar a superfície, com o auxílio da carta de solos de Bragança, classificando o solo como Leptosolo, solos esqueléticos, com textura fraca, média fertilidade e capacidade de troca catiônica (AFONSO; ARROBAS, 2009), em sua maior parte. As calçadas foram classificadas com *paviment*; o asfalto como *asphalt road*; a estrada de terra como *terre battue*; o solo arenoso como *sandy soil*; e os demais solos como default *unsealed soil*.

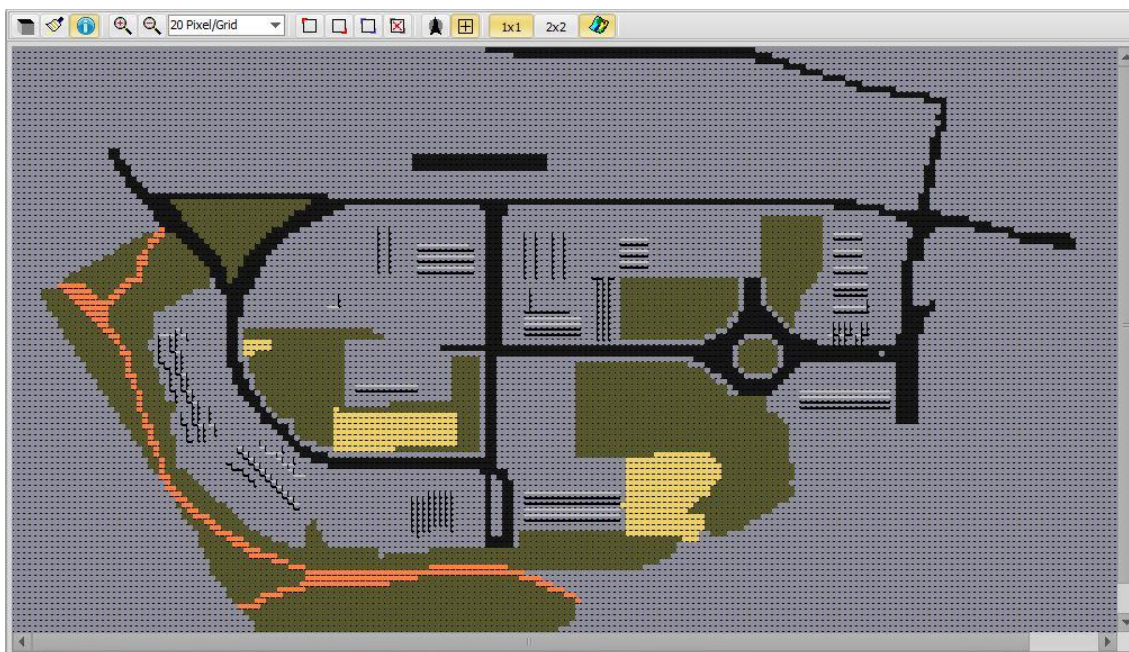


Figura 19 - Imagem da modelação da superfície do terreno no *software* ENVI-Met.

O último passo na introdução de dados do modelo é a inserção da topografia (Figura 20), que foi classificada manualmente com o auxílio de uma imagem *bitmap* com as curvas de níveis que foi feita no *software* QGis 3.10.3. As curvas são classificadas de acordo com a cota mais baixa da aba DEM, e vão subindo de acordo com a classificação que o próprio programa delimita. Ou seja, para cada número que coloca ele acrescenta a altura que o programa delimitou desde a cota mais baixa até a mais alta.

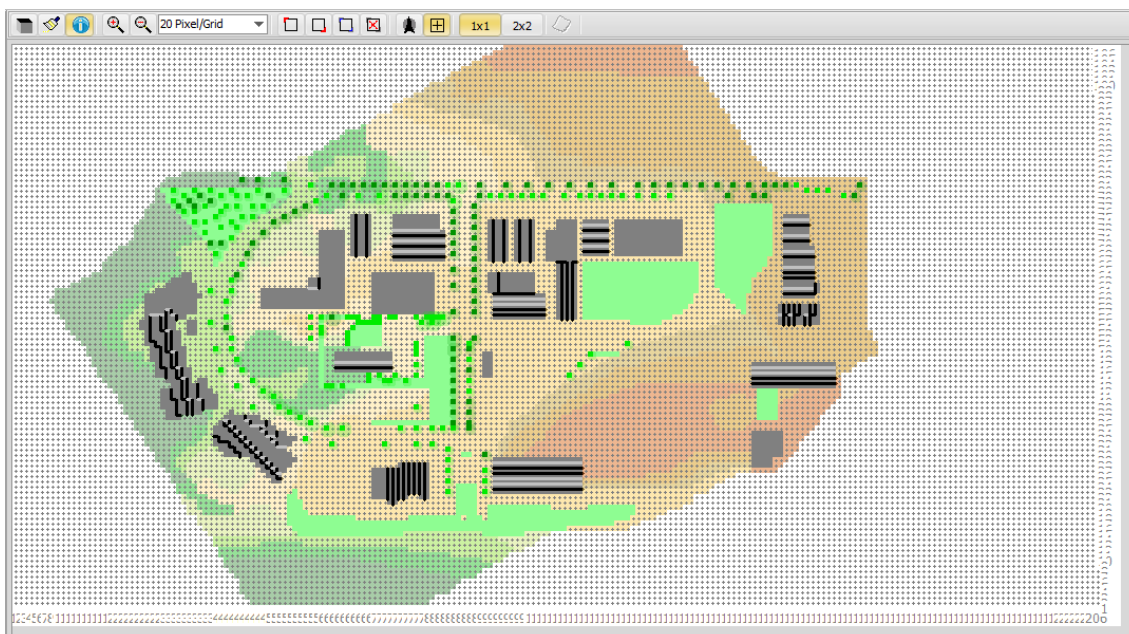


Figura 20 - Imagem da modelação da topografia do terreno no software ENVI-Met.

Após terminada a incorporação dos *inputs* do modelo, é possível visualizar o projeto em 3D (Figura 21) para verificar se não há erros e assim dar o seguinte passo, que passa pela modelagem final pela qual se obtém uma previsão do da área de estudo com resultados quanto à previsão de temperatura do ar, temperatura radiante, entre muitas outras variáveis. Os dados de entrada incluem a indicação de valores de temperatura do ar, humidade relativa, direção e velocidade do vento.



Figura 21 – Modelo Tridimensional do Terreno no software ENVI-Met.

3.5.2 Configuração do arquivo de entrada

A simulação foi feita em duas etapas, primeiro utilizando os dados das medições do dia 21.05.2020, tanto das estações meteorológicas como dos pontos A, B, C, D e E, depois, será feita a mesma simulação com os mesmos dados, só que para o dia 15.07.2020. Em seguida, será feita uma simulação com os mesmos dados, porém com o novo cenário de acordo com o projeto INDNATUR.

Esta é uma das etapas mais importante na construção do modelo, pois corresponde à configuração dos arquivos de entrada, onde se informa os dados climáticos de entrada além de definições necessárias para o processamento.

No início da simulação é necessário colocar o dia e horário que começa o processo, e o tempo de duração, assim como a nomenclatura que será dada ao *output*. Em seguida, o programa coloca a radiação de acordo com a latitude, longitude e o dia do ano em que a área de estudo foi inserida nos primeiros passos da modelação.

Os dados de partida inseridos no modelo corresponderam às máximas, mínimas e médias da temperatura, humidade e velocidade e direção do vento (Tabela 2). Cada simulação teve uma duração de entre 8 a 13 horas. O modelo correu em modo *simple forcing*, que permite alterar dinamicamente os valores de temperatura e humidade no nível de 2m dentro de um ciclo de 24 horas (GALVÃO, 2018).

Tabela 2 - Dados meteorológicos utilizados para simulação do software ENVI-Met.

		Ta (°C)	RH (%)	Va (m/s)	DirVento (Deg)
Dia 21.05.2020	Mínima	12,20	20,10	1,61	254,36
	Máxima	32,60	94,50		
Dia 15.07.2020	Mínima	14,10	15,60	1,55	111,93
	Máxima	44,50	63,10		

Fonte: Autoria própria.

3.6 CENÁRIO

O cenário foi delineado de acordo com as orientações do projeto INDNATUR, que incluem a incorporação de soluções baseadas na natureza. Nele foi alterada parte da vegetação do local, com acréscimo de árvores e relva, ou seja, na parte de modelação houve pouca alteração na superfície, sendo somente feita a adição de uma pequena parcela de solo permeável na rotunda, nenhuma alteração na topografia e nas edificações. As alterações seguiram o arquivo enviado pela Universidade de Valhadolid (Figura 22), que serviu como base de imagem bitmap, para a modelação do novo cenário. Cabe destacar que projeto usados nesta simulação, não corresponde ao projeto final, tratando-se apenas de um anteprojeto ou proposta de intervenção.



Figura 22 - Imagem disponibilizada pela Universidade de Valhadolid para o projeto INDNATUR, com o cenário desejado, com a incorporação de soluções baseadas na natureza

Fonte: Projeto INDNATUR.

Neste cenário propõe-se a incorporação de novos elementos de vegetação e de uma área húmida numa rotunda (Figura 23). Esses novos dados foram simulados com os mesmos valores de temperatura, humidade, velocidade e direção do vento para os dois

dias (21.05.2020 e 15.07.2020) para assim serem comparados com as primeiras simulações.



Figura 23 - Modelação do novo cenário de acordo com as premissas do projeto INDNATUR.

3.7 ANÁLISE DE CONFORTO POTENCIAL

Para analisar o conforto térmico potencial, procedeu-se a uma análise do conforto térmico potencial no local, que serve para interpretar as condições locais. Esta análise foi feita através da Carta Bioclimática de Olgyay.

3.7.1 Plotagem da Carta Bioclimática de Olgyay

Essa análise foi feita utilizando a carta como uma imagem de fundo no Excel, então foi ajustado as coordenadas a um gráfico comum de linhas, para que com os dados medidos pelos equipamentos móveis e pela estação meteorológica pudessem ser plotados no gráfico e assim ajustado automaticamente a carta.

Utilizando, dessa forma, o gráfico de linhas no Excel, com suas variáveis climáticas inseridas formam as retas da carta que indicam em qual parcela de conforto os pontos estão, desse modo, como a carta estava ajustada no gráfico, os valores ficaram expressos nela.

3.8 ANÁLISE DE DADOS

Para a realização deste trabalho foram feitas análises estatísticas de comparações e correlações para os dados microclimáticos obtidos nos dois dias, na área de estudo. Primeiramente, para discriminar a distância entre valores medidos pelas estações de conforto térmico nos quatro pontos, e a estação meteorológica em apenas um ponto, foi realizado uma comparação gráfica dos dados e uma matriz de correlação de Pearson, englobando os parâmetros de temperatura ambiente e temperatura média radiante.

Posteriormente, os valores medidos pelas estações de conforto térmico, nomeadamente, temperatura do ar, humidade relativa e temperatura média radiante, foram comparados e correlacionados com os valores preditos pelo programa ENVI-Met,

Por fim, comparou-se as médias horárias das temperaturas ambientes, humidades e temperaturas médias radiantes, correspondentes as simulações do cenário atual em relação ao cenário novo.

As correlações foram feitas seguindo a metodologia do programa IBM SPSS Statistics, um *software* científico de análise estatística avançada com algoritmo muito grande de *Machine Learning*, e de interação contínua com outros aplicativos. Já as comparações dos dados foram feitas utilizando o programa Excel e as das simulações utilizando a extensão LEONARDO do programa ENVI-Met.

Para caracterizar a divisão dos resultados, foram definidas siglas para os cenários e para as variáveis, a fim de facilitar a utilização delas para a análise. Desse modo, a monitorização microclimática feita pelas estações, as simulações do ENVI-Met com os cenários reais e as simulações com os cenários intervencionados, foram chamadas de M, CA e CN, respectivamente. Já para os dados climáticos como temperatura ambiente, humidade relativa do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante, foram chamados de Ta, RH, Va e Tr, respectivamente.

4 RESULTADOS

4.1 MONITORIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA

4.1.1 Resultados fator de visão de céu

Para demonstrar a parcela de céu visível, relacionando com o comportamento da radiação, incidente e emitida, num ponto, foi calculado o FVC para os quatro pontos (Tabela 7). Esse valor demonstra qual a proporção de céu pode ser vista a partir de um local, tendo como referência uma fotografia com uma lente de olho de peixe. O FVC é parametrizado numa escala de 0 a 1, sendo o valor 0 correspondente à total obstrução do hemisfério celeste, e o mais próximo de 1 uma área sem qualquer obstáculo que interponha com a desse mesmo hemisfério.

Tabela 3 - Resultado do valor de visão do céu para os quatro pontos de medição.

FATOR VISÃO DO CÉU	
Ponto A	0,665
Ponto B	0,397
Ponto C	0,507
Ponto D	0,742

Esses resultados avaliam a obstrução do hemisfério à entrada de radiação que pode ser obtida por estimativa do FVC, pois a as construções urbanas, pela sua geometria, favorecem a maior obstrução de ondas curtas e contribuem para diminuição da perda líquida de radiação de onda longa devido a redução do horizonte local (OKE, 1987). Por sua vez os diferentes valores para os pontos, contribuem para diferentes balanços de radiação e, conseqüentemente, diferentes taxas de retenção de energia (COLISCHONN & FERREIRA, 2015).

Como a geometria urbana ou qualquer outro elemento que obstrua a visão do céu, influem no controle da temperatura de superfície e na temperatura ambiente (MINELLA, *et al.* 2009), esta análise nos permite obter representação exata do hemisfério sobre o local de monitorização e suas características.

Os valores obtidos podem ser confirmados observando a Figura 13, que proporcionou o cálculo do FVC e podem ser contrastados com o diagrama polar (Figura

24 e 25), que permite identificar o ângulo solar, assim como o horário do nascer e pôr do sol, bem como o percurso solar.

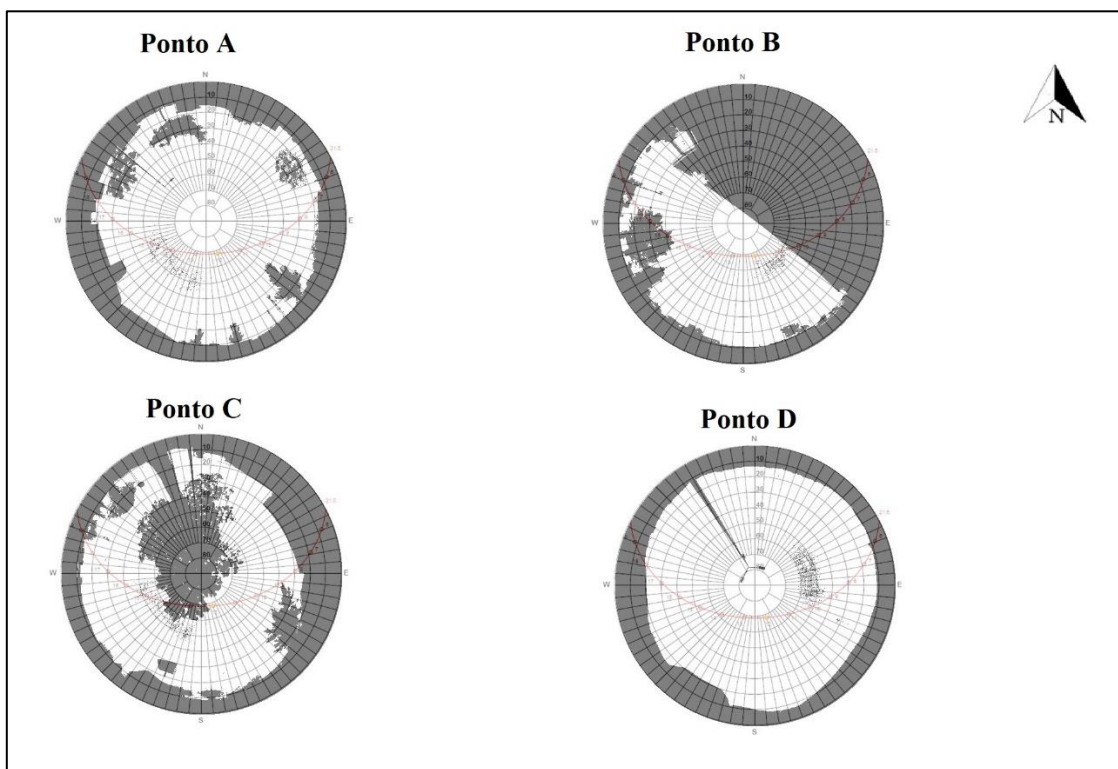


Figura 24 - Diagrama polar para o FVC no dia 21.05.2020

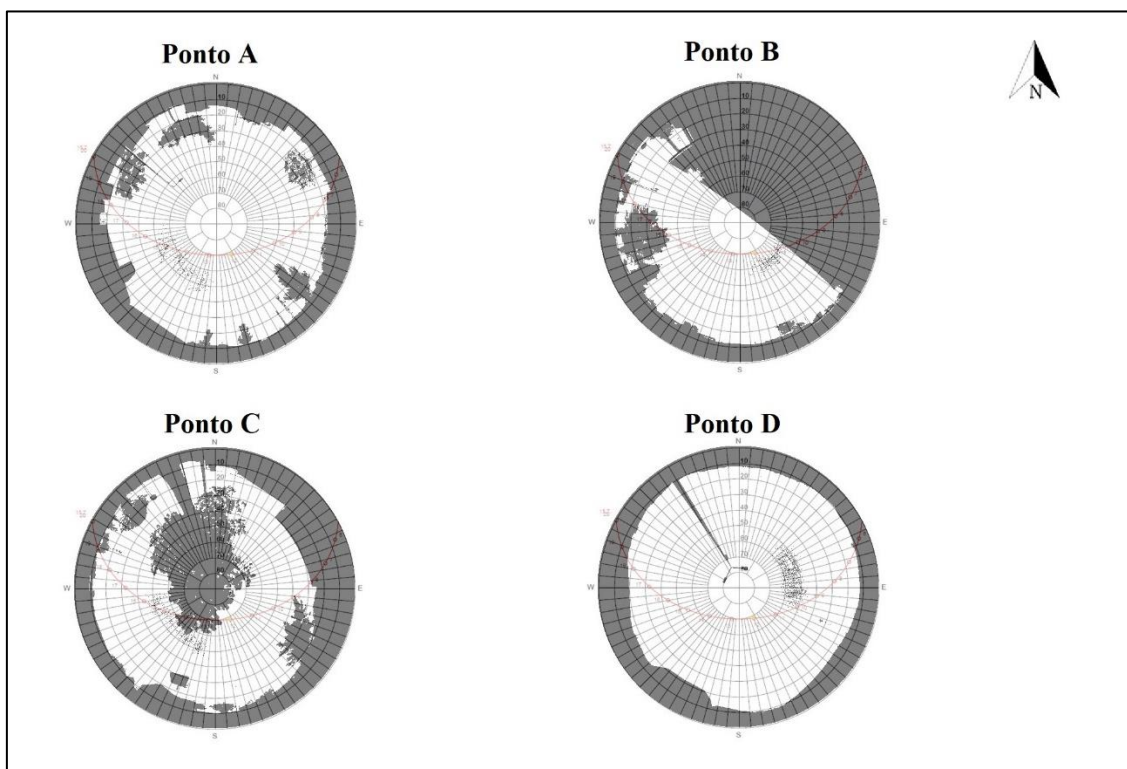


Figura 25 - Diagrama polar para o FVC no dia 15.07.2020

4.1.2 Registos com câmara termográfica

O registo termográfico como já mencionado no item 3.3.5 deste trabalho, regista a temperatura das superfícies (Ts) no contexto de estudo, este registo serve para notar se a superfície está emitindo radiação infravermelha, fazendo assim uma análise termográfica. Para este trabalho, os resultados da medição (Tabela 8) serviram como auxílio da interpretação dos resultados para o dia 15.05.2020.

Tabela 4 – Temperatura de superfície (Tc – temperatura central, Tmáx – temperatura máxima e Tmín – temperatura mínima) para os quatro pontos de medição, no período da nascer do sol, meio dia solar e pôr do sol, para o dia 15.07.2020.

	Ponto	Tc (°C)	Tmáx	Tmín
NASCER DO SOL	A	21,8	23,5	20,6
	B	22,9	23,4	20,7
	C	21,2	22	19,3
	D	18,3	20,9	14,9
MEIO-DIA SOLAR	A	58,5	61,7	55,2
	B	65	66,6	60
	C	30,5	32,8	29,7
	D	55,5	64,2	28,6
PÔR DO SOL	A	37,2	38,2	34
	B	36,9	37,5	34,2
	C	34,9	35,8	34,2
	D	30,5	33	26,1

No caso da nascer do sol, o ponto D é o que tem um maior FVC, o que explica que durante a pôr do sol as superfícies tiveram um maior arrefecimento, o que combinado com a presença de um solo com vegetação, justifica a presença de valores mais baixos nesse período. Já no ponto B, os valores são mais elevados pelo efeito combinado com a maior retenção de calor, pelo baixo FVC, determinado pelas características das superfícies que acumulam maior quantidade de calor.

Na Figura 26 são apresentadas um exemplo de uma das imagens da câmara térmica, que demonstram, através de uma escala de cores da superfície, a variação da temperatura à superfície. Sendo “S” o valor de menor temperatura, “H” da maior e “C” a temperatura do centro.

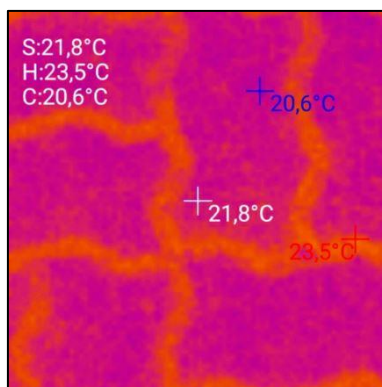


Figura 26 – Exemplo de uma imagem da câmara termográfica para o ponto A, no período da nascer do sol, para o dia 15.07.2020.

4.1.3 Comparação dos dados monitorizados de temperatura do ar e temperatura média radiante

A monitorização microclimática pela estação meteorológica automática fixa e pelas estações de monitorização de microclima, estão dispostos no Anexo – Tabela A.1 para o dia 21.05.2020 e Tabela A.2 para o dia 15.07.2020, demonstrando os valores de todas as medições realizadas para o estudo. Estes foram os valores de entrada no programada para realização das simulações, bem como a caracterização dos cenários (Atual e Novo).

Dia 21 de maio de 2020 – Temperatura do Ar (T_a)

Dando continuidade ao estudo, foi feito o teste de normalidade que permitiu a análise ANOVA, sendo assim para o primeiro dia de medição a análise de variância nos permite identificar que há diferenças significativas entre as médias dos conjuntos de dados, o que faz sentido, pois são registos em condições diferentes.

Desse modo, pode-se extrair a Tabela 3, que categoriza a média e o desvio padrão para as temperaturas do ar para cada ponto e para estação fixa em seus respectivos períodos.

Tabela 5 - Relação das médias e desvio padrão para os pontos de medição das estações de conforto térmico e para estação meteorológicas, nos três períodos.

Período		Ta (A)	Ta (B)	Ta (C)	Ta (D)	Ta (E)
NASCER DO SOL	Média	14,41	13,42	14,20	14,40	13,11
	Desvio Padrão	2,13	0,61	1,52	1,40	0,46
MEIO-DIA SOLAR	Média	30,68	29,62	30,83	27,53	27,63
	Desvio Padrão	0,90	0,99	0,78	0,99	0,69
PÔR DO SOL	Média	23,55	24,47	24,05	24,27	23,89
	Desvio Padrão	1,71	2,22	1,64	1,75	1,58

Ta – Temperatura do ar

Os resultados momentâneos relatados no Anexo – Tabela A.1, assim como os valores das médias, demonstram a presença de diferenças, embora não substanciais, entre os pontos e a estação, bem como nos diferentes períodos. O desvio padrão calculado mostra o grau de dispersão dos dados para cada ponto.

Sendo assim, suas variações se adequam aos envolventes de cada estação microclimática ou da estação fixa, como por exemplo, no período do amanhecer o ponto A, C e D, foram os pontos que receberam os primeiros raios de sol (demonstrado na Figura 24), determinando assim, as maiores temperaturas do período. Já o ponto B, estava na presença de sombra do edifício, o que justifica uma menor temperatura, assim como o ponto E, este poderá receber sombra de edifícios situados a nordeste, uma cota superior, nas primeiras horas do dia. Contudo, em relação às suas médias, mesmo o ponto A, tendo a maior temperatura no período, seu desvio padrão foi o maior entre os períodos.

O período do meio-dia solar, foi quando a maioria dos valores medidos foi mais homogêneo, aproximando os valores médios. Sendo assim, é possível observar que as médias mais elevadas continuam para os pontos A e C. No caso do ponto A, tal acontece pela maior incidência solar. Já no caso do ponto C, apesar de estar à sombra, registra uma das temperaturas mais elevadas. Este ponto, embora estando localizado sobre o passeio e debaixo da copa de uma árvore, encontra-se na proximidade de uma via alcatroada (menos de dois metros), o que terá influenciado no incremento da temperatura do ar neste ponto.

No que respeita ao período do pôr do sol, é possível observar que a maior temperatura no período da pôr do sol foi registrada no ponto B, que tem efeito de obstrução do hemisfério celeste (baixo FVC), o que faz com que o calor se liberte mais lentamente no início da pôr do sol. Neste ponto, a proximidade de um edifício e da respetiva estrutura

de sombra exterior (extensão do telhado), exerce influência na libertação de calor durante este período, como de resto é possível constatar pela análise da fotografia de olho de peixe (Figura 13).

Observando a evolução das temperaturas do ar ao longo dos períodos de medição é possível observar que o comportamento desta variável (Figura 27) antes do nascer do sol e após o pôr do sol é semelhante. Contudo, as diferenças entre os dados medidos e a estação meteorológica, no período do amanhecer ao meio-dia solar, podem estar relacionadas a fatores como a proximidade de edifícios, sombras, ações antropogênicas, nuvens entre outros.

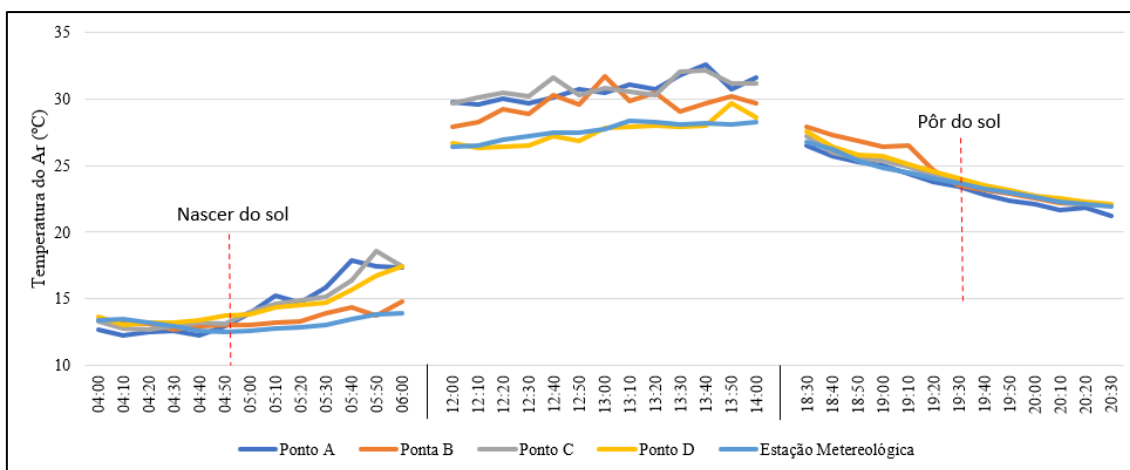


Figura 27 – Evolução da temperatura do ar durante o dia nos três períodos de medição para o dia 21 de maio de 2020.

No nascer do sol, os valores mais baixos registam-se na estação meteorológica e do ponto B. No caso do ponto B, este facto deverá ter sido motivado pela sombra do pavilhão industrial, ao início do nascer do sol. Já a estação meteorológica, sua baixa temperatura pode ser explicada devido a disposição de um abrigo, que impede os termómetros de receber radiação direta. Diferente dos outros pontos, em que recebem maior influência da incidência solar pelo nascer do sol.

No período do meio dia solar é onde os valores da estação meteorológica e o ponto D se distanciam dos outros valores. A menor temperatura em D, pode ser motivada pela presença de relva em seu envolvente, que contribui para o menor aquecimento local, contribuindo para uma temperatura do ar menor. Já para a estação meteorológica sua baixa temperatura pode ser explicada devido a disposição de um abrigo, que impede os

termômetros de receber radiação direta. Os pontos A e C têm comportamentos semelhantes, mesmo com o efeito de sombra em C, pois a sua localização sobre o passeio, pode ter afetado a temperatura do ar pela proximidade da via alcatroada .

A fim de representar melhor os resultados (Figura 28), o diagrama de bigodes (*boxplot*) demonstra a representação das medianas, assim como o intervalo entre os quartis e os valores extremos para cada ponto.

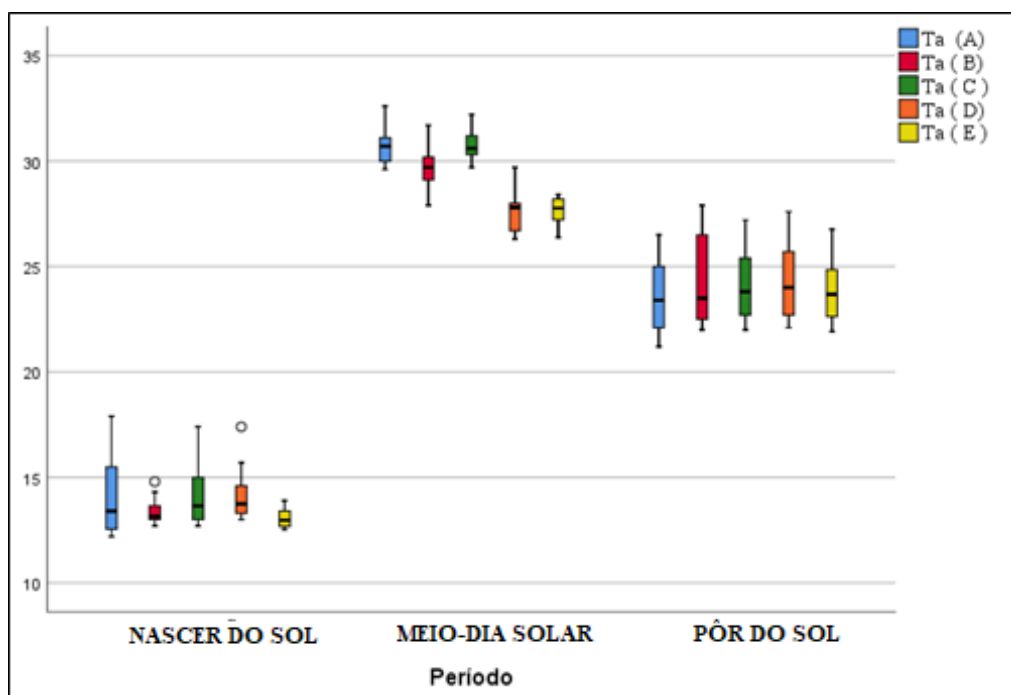


Figura 28 - Representação em *boxplot* para a temperatura do ar de cada ponto para o dia 21 de maio de 2020.

Os diagramas de bigodes permitem corroborar com os dados apresentados para comparação dos pontos, apresentam os resultados que são influenciados pelas características do envolvente das estações. Para o período do nascer do sol, a posição das medianas para todos os valores é próxima (Figura 28), em que suas temperaturas não sofrem grandes alterações até o amanhecer, o intervalo interquartílico entre as hastes é mais amplo, remetendo para uma maior dispersão no ponto A e C, pois ambos têm maior variabilidade entre os pontos, que por conseguinte são os pontos com maior desvio padrão e demonstram uma assimetria positiva. Ambos os pontos foram os que receberam a primeira incidência solar no dia.

Vale mencionar que os pontos B e E, são os pontos com menor temperatura e menor dispersão de valores para o amanhecer. No caso do ponto B, isso deve-se ao efeito de sombra do edifício que limitou a incidência da radiação nas primeiras horas do dia. No caso do ponto E, este poderá receber sombra de edifícios situados a nordeste, uma cota superior, nas primeiras horas do dia.

O meio-dia solar é o período em que existe uma maior divergência nos valores das medianas, tendo os pontos com as medianas mais baixas o D e o E (Figura 28). A dispersão dos dados para cada haste é pequena em quase todos os pontos, com exceção do ponto D. A simetria dos diagramas para esse período é positiva para o ponto C e negativa para o ponto D, pois suas medianas se aproximam do quartil um e do três, respectivamente.

Para o período do pôr do sol, as posições das medianas são parecidas, com maior intervalo interquartil para o ponto B, pois foi a haste com maior dispersão dos dados e com maior desvio padrão. O ponto B também é o ponto mais assimétrico, com simetria positiva, aproximando seus valores do quartil um.

Os maiores valores foram registrados no ponto A, uma vez que este recebeu uma maior incidência solar durante o nascer do sol e no período do meio-dia solar, ficando à sombra só no final do dia. Já os pontos B e C ficaram à sombra na maior parte do dia e o D que estando sob a relva, que terá absorvido mais a radiação, convertendo em calor latente, em lugar de gerar calor sensível.

Desse modo, é possível identificar que no ponto D e na estação meteorológica (E) foi onde houve maiores assimetrias entre as medianas e o terceiro quartil, e o ponto D foi o ponto que teve o menor intervalo interquartil entre as outras hastes. Essas semelhanças entre estes pontos também são observadas na Figura 24, pois esses pontos responderam de forma diferente aos demais, devido às suas características de relva e proteção do equipamento, respectivamente.

Dia 21 de maio de 2020 – Temperatura Média Radiante (Tr)

Outra análise que pode ser feita é referente a temperatura média radiante, que representam a temperatura média à superfície dos elementos que envolvem os pontos e que trocam calor por radiação ou condução, para isto as médias e desvio padrão para cada ponto (Tabela 4) podem demonstrar maiores relações do envolvente.

Tabela 6 - Relação das médias e desvio padrão para a temperatura média radiante para os pontos de medição das estações de conforto térmico, nos três períodos.

Período		Tr (A)	Tr (B)	Tr (C)	Tr (D)
NASCER DO SOL	Média	18,15	13,72	17,92	15,74
	Desvio Padrão	9,34	1,33	7,50	3,69
MEIO-DIA SOLAR	Média	68,86	78,47	74,88	35,89
	Desvio Padrão	8,06	12,01	8,58	2,68
PÔR DO SOL	Média	25,24	33,47	26,77	28,00
	Desvio Padrão	7,79	12,19	5,39	6,52

Tr – Temperatura média radiante

As médias assumem o maior valor para o ponto A e ponto C, que foram os pontos que começaram a receber a primeira incidência do sol, contudo o desvio padrão para ambos tem um grau de dispersão muito grande. No ponto B e D, registaram-se menores temperaturas médias radiantes pois as superfícies estavam sobre efeito de sombra, registrando um menor aquecimento. Vale a pena salientar que a estação meteorológica fixa não mede este parâmetro.

No período do meio-dia solar, o ponto A esta sobre incidência direta do sol que aumenta a temperatura por intercepção da radiação de pequeno comprimento de onda, gerando efeitos sobre a temperatura de superfície. A maior temperatura média radiante foi registada no ponto B, este valor pode estar associado à proximidade das paredes do edifício e de sistema de climatização. Para o ponto C, pode-se assumir que a proximidade da estrada asfaltada com alcatrão, como fatores determinantes para os resultados. No caso do ponto C, a presença de um coberto com vegetação, que tem baixo albedo, promove a formação de calor latente e fez com que a Tr fosse menor.

No período do pôr do sol, o ponto B estava sob influência do pavilhão industrial próximo dele, o que pode justificar um comportamento diferenciado no contexto da libertação de calor das superfícies, uma vez que proximidade de materiais, como o pavilhão, faz com que o calor seja transferido por condução, fazendo com que fique mais tempo na superfície dos obstáculos, até que seja transferido por convecção. Fato que pode ser determinado uma vez que é o ponto com menor FVC.

Para corroborar com os dados da Tabela 4, o gráfico da evolução da temperatura média radiante (Figura 29) demonstra os seus valores em relação ao tempo e o seu comportamento através dos períodos.

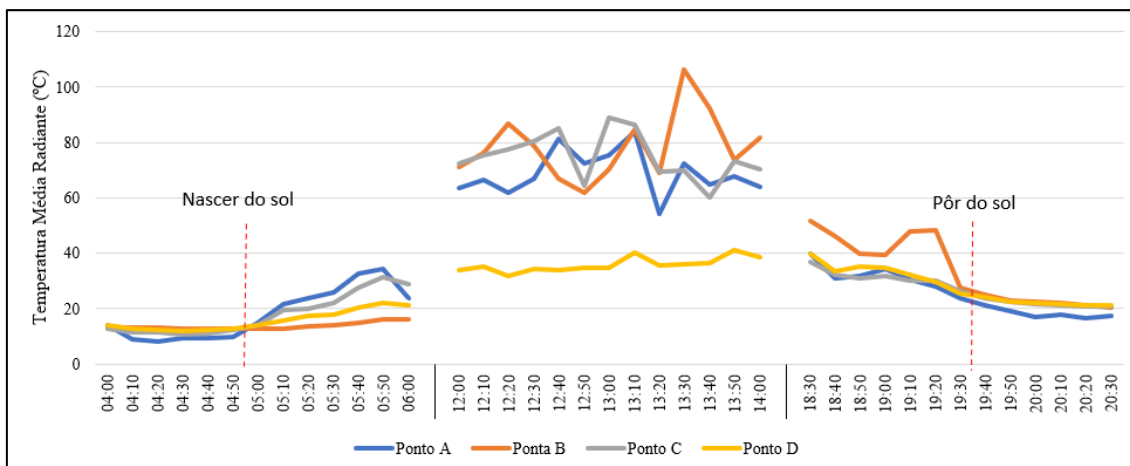


Figura 29 - Evolução da temperatura média radiante durante o dia nos três períodos de medição para o dia 21 de maio de 2020.

A temperatura média radiante, ao longo do dia, tem um comportamento similar ao da temperatura do ar, para antes do nascer do sol e após o pôr do sol, nos momentos em que todos os pontos estão sobre o efeito de sombra e não recebem influência solar. Com o amanhecer os valores de temperatura média radiante dos pontos A e C sobem mais rapidamente pela incidência de radiação solar, enquanto a menor variação nos pontos B e D é motivada pela presença de sombra.

No período do meio-dia solar, os valores ficam mais desiguais, com especial destaque para o ponto D, com a temperatura média radiante mais baixa, motivado pelo facto de existir relva na sua envolvente. No ponto A, as oscilações podem ser explicadas por algumas variações devido à presença ocasional de nuvens. Já o maior valor registado no ponto B, pode ser explicado pela influência de fontes antrópicas, como por exemplo os sistemas de refrigeração do edifício, que podem ter pontos de exaustão próximos.

Ao nascer do sol e no período do pôr do sol, os valores voltam a se relacionar, como também demonstrado na Tabela 4, com um valor mais alto no ponto B, devido ao pavilhão industrial e ao maior tempo que este ponto tem em perder o calor no local, devido ao seu baixo FVC. Já o ponto A, tem um FVC maior, logo a liberação de calor é feita de forma mais rápida, com radiação de maior comprimento de onda.

Para representar melhor os resultados (Figura 30), o diagrama de bigodes (*boxplot*) demonstra a representação das medianas, assim como o intervalo entre os quartis e os valores extremos para cada ponto de forma visual.

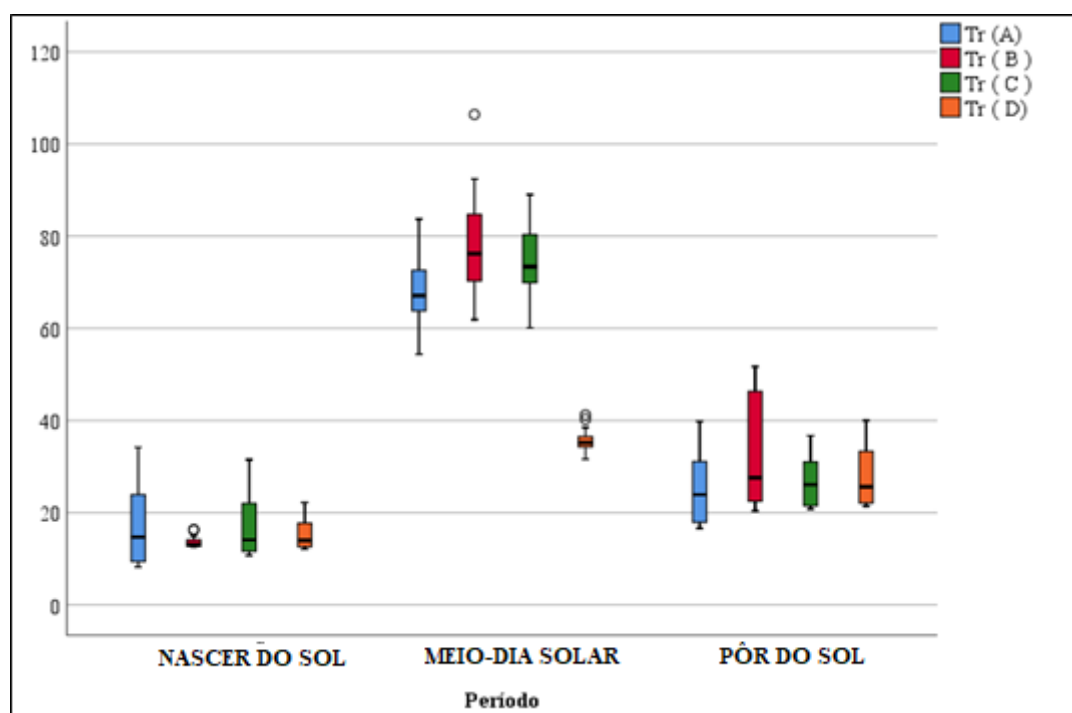


Figura 30 - Representação em *boxplot* para a temperatura média radiante de cada ponto para o dia 21 de maio de 2020.

O diagrama de bigodes permite que evidenciemos uma melhor relação entre os dados de forma visual entre os períodos. Dessa forma, para o período do nascer do sol a posição para todas as medianas é similar e relacionando a Figura 29, nota-se que o comportamento da Tr antes do amanhecer os valores de suas medianas são próximos. O ponto B, tem menor intervalo interquartílico e apresenta menores valores de Tr, este resultado pode ser explicado pelo efeito da sombra sobre este local, durante este período, que retardou o efeito de aquecimento por incidência de radiação. Os demais pontos são mais assimétricos, com simetria positiva pois se aproximam do primeiro quartil.

Para o período do meio-dia solar, o ponto D é o que apresenta menor mediana e menor variabilidade entre os dados. Este dado estará relacionado com a presença de relva na envolvente, o que traduz uma menor formação de calor, por conversão parcial da radiação de pequeno comprimento de onda em calor latente. Os outros pontos, tem maior variabilidade, sendo ainda maior para o ponto B, que também teve efeito diferenciado nos dados ao longo do tempo, os quais podem ser justificados pela ação proveniente de fontes antrópicas, como por exemplo os sistemas de refrigeração do edifício, que podem ter

pontos de exaustão próximos. Assim como no período da pôr do sol que sua variabilidade pode ser explicada devido a libertação de calor das superfícies que o circundam.

Dia 15 de julho de 2020 – Temperatura do Ar (Ta)

O teste de normalidade permitiu a análise ANOVA, sendo assim para o segundo dia de medição a análise de variância nos permite identificar que há diferenças significativas entre as medianas dos conjuntos de dados, sendo o $p < 0,05$, rejeitando a hipótese de inexistência de diferenças entre estes.

Para o segundo dia de medição, foram feitas as mesmas análises de comparação, primeiramente analisando a relação das médias e seu desvio padrão para temperatura do ar (Tabela 5) para cada ponto e estação.

Tabela 7 - Relação das médias e desvio padrão para os pontos de medição das estações de conforto térmico e para estação meteorológicas, nos três períodos.

Período		Ta (A)	Ta (B)	Ta (C)	Ta (D)	Ta (E)
NASCER DO SOL	Média	14,93	15,22	14,94	14,93	14,84
	Desvio Padrão	0,77	0,32	0,33	0,33	0,32
MEIO-DIA SOLAR	Média	30,20	30,18	30,74	27,66	27,20
	Desvio Padrão	1,26	1,02	1,31	0,99	0,79
PÔR DO SOL	Média	26,85	27,55	27,01	27,95	27,14
	Desvio Padrão	2,11	2,25	1,63	2,42	1,45

Ta – Temperatura do ar

Para o período do nascer do sol, os valores são sutilmente diferentes do primeiro dia de medição, contudo o desvio padrão para todos os valores é baixo, diferente do primeiro dia que eram ligeiramente mais altos, demonstrando um conjunto mais uniforme de dados para o segundo dia.

As médias do meio-dia solar, apresentam valores próximos e o desvio padrão é menor, com exceção do ponto D e do E. É importante salientar, que no período do meio-dia solar, o ponto D, tem o valor mais baixo que é motivado pelas superfícies na envolvente, ou seja, vegetação, que tem baixo albedo e essa circunstância é verificável tanto para a Tr como para a Ts, que traduz as térmicas da envolvente local. Para a estação meteorológica o seu valor pode ser justificado devido ao seu abrigo no equipamento.

Para o período do pôr do sol, as médias continuam próximas, com valores maiores para o ponto D, que tem menor albedo que promove a formação do calor latente, e permite o acúmulo de energia ou o aumento da temperatura superficial.

As relações da temperatura do ar entre os diferentes pontos no segundo dia de medição (Figura 31), demonstram de maneira gráfica o comportamento ao longo do dia, o que permite que algumas interpretações possam ser feitas, mesmo que elas sejam semelhantes ao primeiro dia.

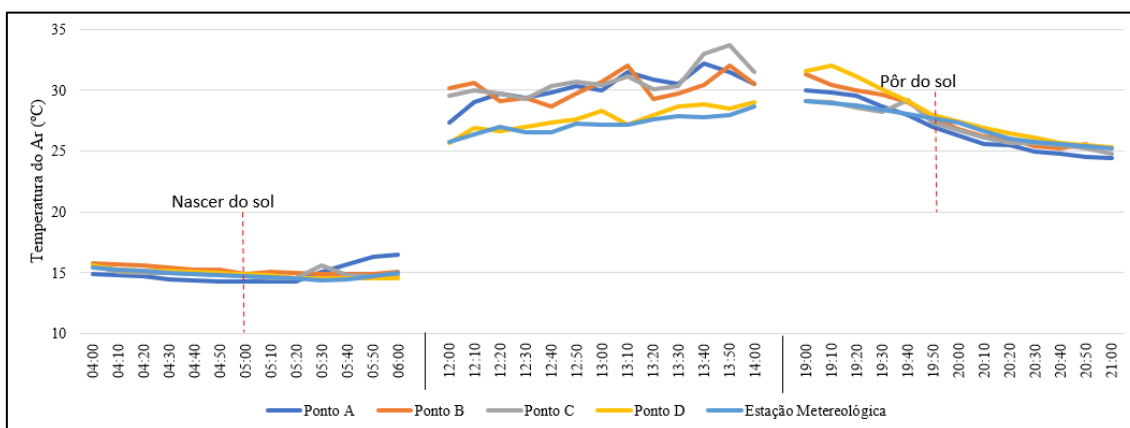


Figura 31 - Evolução da temperatura do ar nos três períodos de medição para o dia 15 de julho de 2020.

Genericamente, o comportamento da temperatura do ar, atua de forma semelhante ao primeiro dia de medição, uma vez que as temperaturas não tiveram grandes alterações de um dia para o outro, principalmente no período do meio dia solar. Contudo, no período do nascer do sol e do pôr do sol do segundo dia, registam-se temperaturas mais elevadas, uma vez que para o dia 21.05 temos um intervalo de mínimas de 12°C e máximas de 18°C para o período do nascer do sol e 21°C e 28°C para o pôr do sol, e no dia 15.07 temos 14°C e 16 °C no nascer do sol e 24°C e 32°C ao final do dia.

Em todo o primeiro período até ao amanhecer, os dados se apresentam semelhantes. Com o amanhecer o ponto A assume maior temperatura pois foi o primeiro a receber incidência do sol, assim como o ponto D, porém sua envolvente de vegetação não faz com que a temperatura suba de modo tão rápido. Já ao longo do dia, mais uma vez os valores para o ponto D para a estação meteorológica, são mais baixos que os demais, concordando com a análise feita para o primeiro dia.

Para o pôr do sol, o comportamento ainda é semelhante ao primeiro dia, porém, conforme demonstrado na Tabela 5, o ponto D tem uma elevação sutil, que pode ser motivado pelas superfícies do envolvente, uma vez que por mais que a relva e o solo absorvam a radiação para processos fotossintético, a incidência do sol sobre o ponto aumenta a temperatura.

O diagrama de bigodes (*boxplot*) (Figura 32) apresenta as medianas, assim como o intervalo entre os quartis e os valores extremos para cada ponto de forma visual.

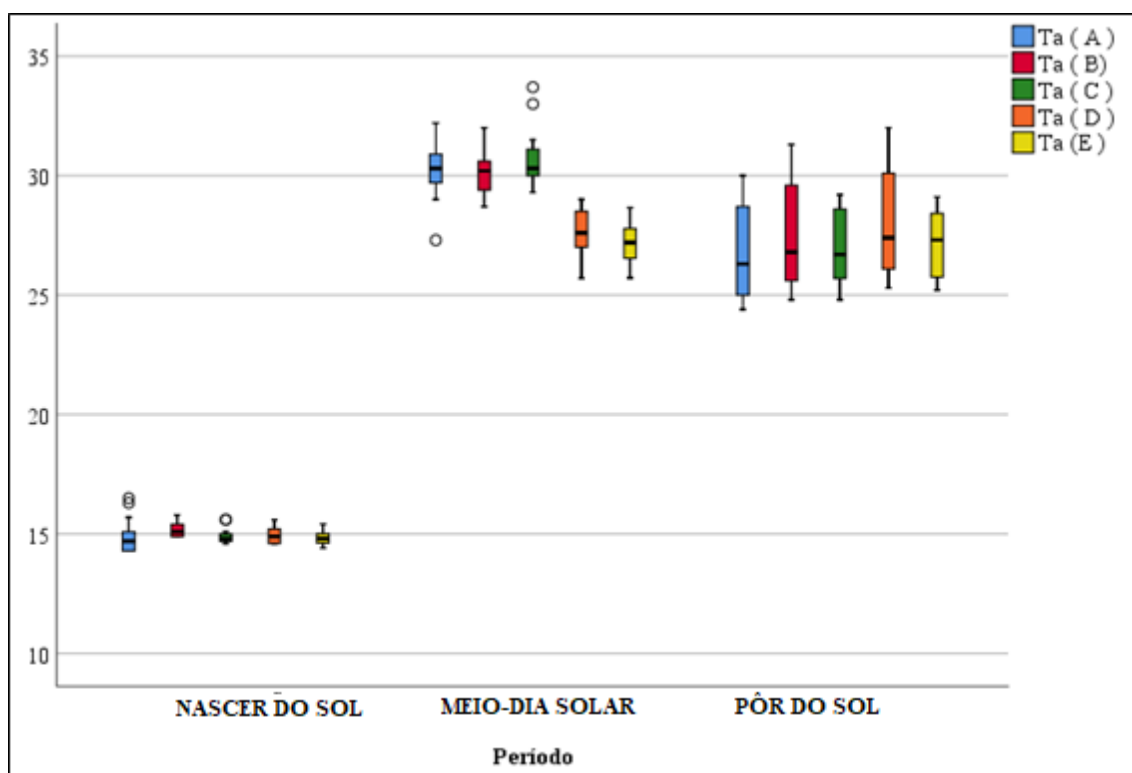


Figura 32 - Representação em *boxplot* para a temperatura do ar de cada ponto, por período para o dia 15 de julho de 2020.

Para o período do nascer do sol, a posição das medianas é próxima, com a dispersão mais branda uma vez que a diferença entre o terceiro e primeiro quartil é muito pequena. O valor mais alto é evidenciado pelo ponto B, uma vez que recebe a incidência do sol, porém o ponto A, tem *otliers* mais altos, devido a exposição direta ao sol em um maior período que o ponto B.

No decorrer do dia, o período do meio-dia solar é mais característico, com as hastes dos pontos D e E, novamente os valores se apresentam mais baixos, assim como

suas médias e desvio padrão, confirmando as análises supracitadas do efeito da relva e da proteção contra radiação da estação meteorológica. O ponto A, assim como o ponto C tem *outliers* para valores mais baixos e mais altos, respectivamente, que podem demonstrar, assim como analisado na Figura 31, ações das nuvens para o ponto A e para o ponto C, pode ser devido à proximidade da via alcatroada.

No período da pôr do sol, os intervalos interquartílicos são maiores que os demais horários, aumentando a dispersão dos dados.

Dia 15 de julho de 2020 – Temperatura Média Radiante

A temperatura média radiante para o segundo dia, contribui para corroborar com as análises de comparação de dados, sendo assim, médias e desvio padrão para cada ponto (Tabela 6).

Tabela 8 - Relação das médias e desvio padrão para a temperatura média radiante para os pontos de medição das estações de conforto térmico e para estação meteorológicas, nos três períodos.

Período		Tr (A)	Tr (B)	Tr (C)	Tr (D)
NASCER DO SOL	Média	15,23	14,82	13,02	14,41
	Desvio Padrão	6,97	0,56	2,32	1,05
MEIO-DIA SOLAR	Média	67,14	75,17	68,78	32,85
	Desvio Padrão	6,34	12,09	6,23	5,56
PÔR DO SOL	Média	29,98	34,19	26,66	32,81
	Desvio Padrão	11,60	10,81	3,09	10,02

Tr – Temperatura média radiante

A temperatura média radiante para o segundo dia, tem um comportamento substancialmente diferente do primeiro dia, com um menor desvio padrão para os valores.

O período do nascer do sol, tem as menores médias para quase todos os pontos, em relação ao primeiro dia, com exceção do ponto B, que pare este dia o arrefecimento das superfícies pode não ter sido tão rápido como no primeiro dia, fazendo com que a Tr seja mais alta. Contudo, o ponto C tem menores médias, uma vez que tem o efeito de sombra de uma árvore, e o desvio padrão demonstra uma menor dispersão dos dados.

No período do meio-dia solar, o aumento é expressivo devido a incidência do sol, com o aumento da temperatura, sendo assim todos os pontos têm um acréscimo demasiado dos valores, podendo o valor mais alto, no ponto B, associado à proximidade

das paredes do edifício e de sistemas de climatização. Para o ponto C, seu valor pode ser, novamente, justificado pela proximidade da estrada asfaltada com alcatrão, superfície artificial de baixo albedo. O ponto D, o qual teve menor crescimento, pode estar relacionado com a envolvente por relva, com baixo albedo, que promove a formação de calor latente o que diminui a Tr.

No período do pôr do sol, o ponto B que estava sob influência da proximidade do pavilhão industrial, foi o único que recebeu a última incidência do sol, o que pode justificar um comportamento diferenciado no contexto da libertação de calor das superfícies, uma vez que tem o menor FVC.

Para corroborar com os dados da Tabela 6, o gráfico da evolução da temperatura média radiante (Figura 33) demonstra os valores em relação ao tempo demonstrando o seu comportamento através dos períodos.

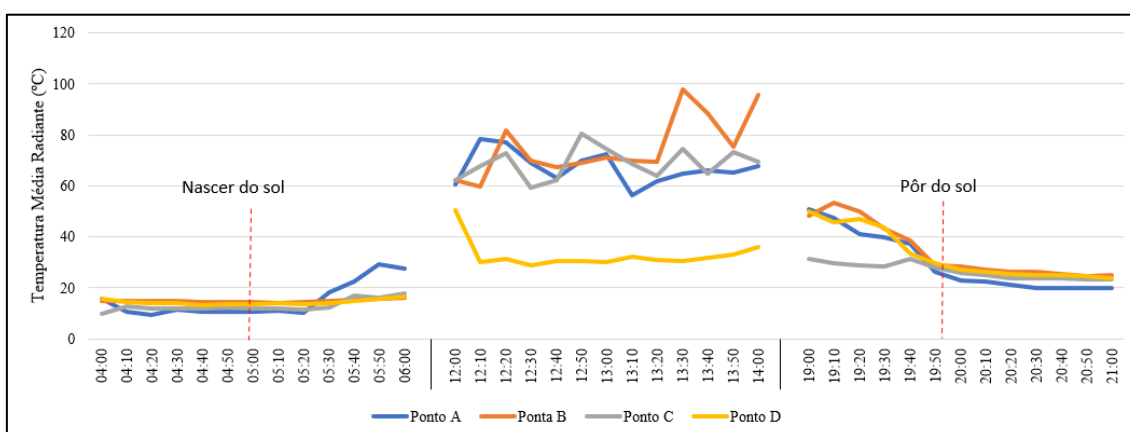


Figura 33 - Evolução da temperatura média radiante durante o dia nos três períodos de medição para o dia 15 de julho de 2020.

A evolução da temperatura média radiante tem um comportamento similar ao da temperatura do ar. Assim, pode-se observar que antes do nascer do sol e após o pôr do sol, os valores são próximos, bem como foi analisado através das suas médias, na Tabela 6. Sendo assim, o período do nascer do sol o maior destaque é para o ponto A, que assim como o ponto D recebe a primeira incidência solar, e tem a sua temperatura mais elevada, o que não acontece no ponto D, pois o seu envolvente é bastante heterogêneo, incluindo a presença de vegetação, fazendo com o aquecimento seja atenuado.

O período do meio-dia solar, mais uma vez é o período mais característico, pela maior temperatura e incidência do sol. É importante observar o aumento abrupto dos valores em B, no mesmo horário do primeiro dia, o que pode estar relacionado com ações antropogênicas. Também se observa o menor valor em D, visto que a sua envolvente inclui relva, o que pode ter contribuído para uma menor temperatura média radiante.

Ao nascer do sol, assim como nos valores do pôr do sol, os valores ficam mais próximos, com destaque ao ponto C, que por estar sobre o efeito da sombra de uma árvore, sua temperatura estava mais baixa que as demais, pois as árvores podem melhorar o resfriamento do ar pela transferência de evapotranspiração (KATZSCHNER, 2007).

Com efeito de corroborar com os resultados (Figura 34), o diagrama de bigodes (*boxplot*) demonstra a representação das medianas, assim como o intervalo entre os quartis e os valores extremos para cada ponto de forma visual.

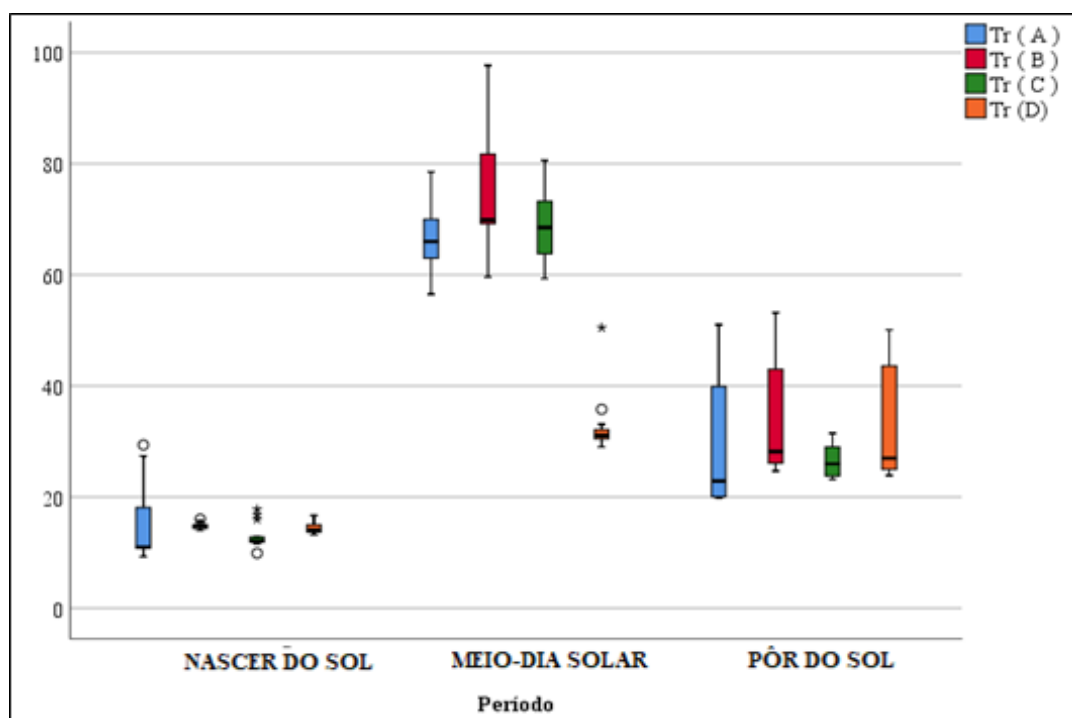


Figura 34 - Representação em *boxplot* para a temperatura média radiante de cada ponto para o dia 15 de julho de 2020.

O diagrama nos permite analisar a variação de dados para todos os pontos em seus períodos, desse modo, o período do nascer do sol tem a posição das hastes próximas, incluindo que suas medianas têm valores próximos, o que também foi identificado entre

as médias e através do gráfico do mesmo período. Sendo assim, o ponto com maior dispersão entre os dados, com intervalo interquartilico mais extenso e assimétrico, foi o ponto A, que recebeu incidência solar primeiro que os outros pontos (demonstrado na Figura 24). O ponto C, tem *outliers* mais altos, que podem ser devido a um breve momento que este recebe incidência solar, porém não foi expressivo.

Os *boxplot* para o período do meio-dia solar, são os com maior diferença entre as posições das hastes. Primeiramente o ponto D, com menor dispersão e variância entre os dados, tendo a mediana mais baixa entre os três, próxima do seu valor para o período do pôr do sol, fato que pode ser identificado na Figura 33 e na Tabela 6, sendo o seu desvio padrão para meio dia solar, o menor entre os quatro pontos. Os outros pontos têm valores mais simétricos, com exceção do ponto B, devido a sua mediana se aproxima do primeiro quartil, ocasionando uma assimetria positiva entre os dados, pode-se relacionar ao fato do horário de medição e a ação antropogénica do matadouro.

No período do pôr do sol, o ponto C é o único que não tem assimetria positiva, nem grande variância entre os dados, sendo ponto mais simétrico entre eles. Esta falta de relação pode ser devida ao efeito de sombra da árvore. Entretanto, as medianas são próximas, e não sofrem alterações substanciais entre as hastes.

4.1.4 Correlação de dados

Verificando o grau de associação entre os resultados medidos para cada ponto, foi feita a matriz de correlação de Pearson, que correlaciona variáveis, dando a elas uma correlação inversamente ou diretamente proporcional, podendo ser também sem relação. Esta correlação pode variar de bem fraca a muito forte (Figura 35), demonstrando sua proporcionalidade, e para este trabalho foi analisado as correlações entre os pontos e a estação meteorológica fixa nos dois dias.

Valor de ρ (+ ou -)	Interpretação
0.00 a 0.19	Uma correlação bem fraca
0.20 a 0.39	Uma correlação fraca
0.40 a 0.69	Uma correlação moderada
0.70 a 0.89	Uma correlação forte
0.90 a 1.00	Uma correlação muito forte

Figura 35 - Parâmetros da matriz de correlação de Pearson.

Fonte: Shimakura, (2006).

Dia 21 de maio de 2020 – Temperatura do Ar

A primeira análise de correlação incidiu sobre os dados de temperatura do ar e temperatura radiante entre os pontos. Na correlação da temperatura ar (Figura 36), os resultados são classificados por cor, sendo o mais próximo do azul, os valores com correlação muito forte, e o mais próximo do vermelho, correlações muito fortes, porém inversamente proporcionais. Os valores classificados como “NS” são não significativos.

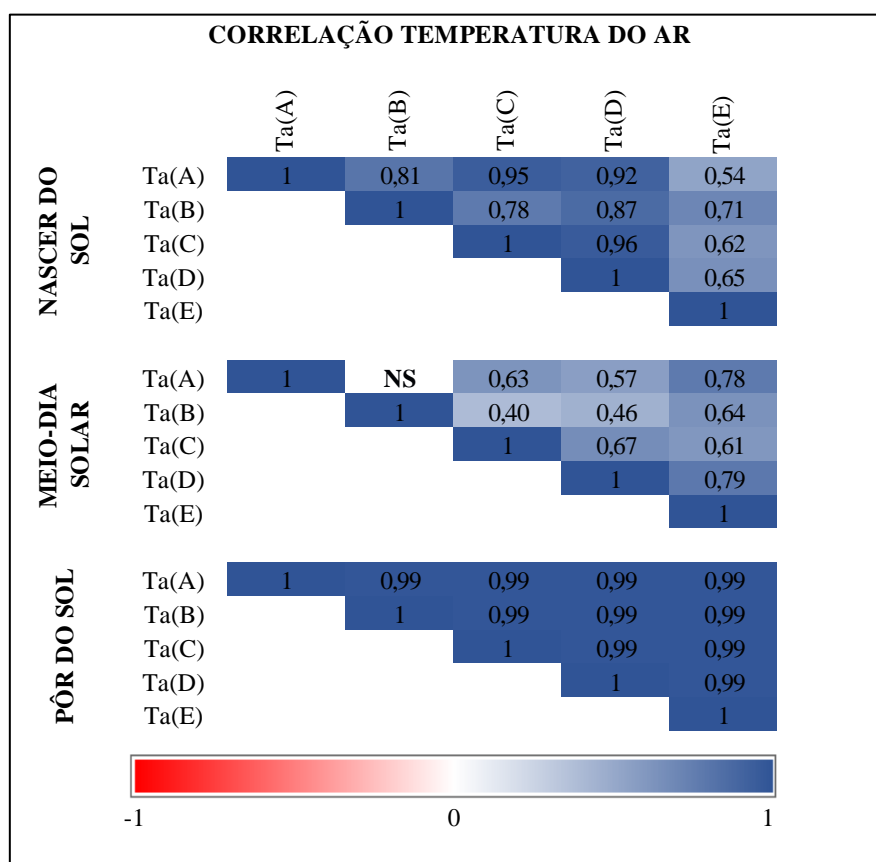


Figura 36 - Matriz de correlação de Pearson para os valores de temperatura do ar entre todos os pontos e por período para o dia 21 de maio de 2020.

A correlação das temperaturas do ar nos diferentes pontos demonstra, para todos os valores, correlações diretamente proporcionais e significativas. O período do nascer do sol, o ponto A tem um grau de associação de forte a muito forte entre os pontos, com exceção da estação meteorológica, que sua intensidade é diferente, podendo ser explicada pelo abrigo que a estação contém, que poderá atenuar os efeitos da incidência direta da radiação, registrando por isso uma menor correlação com todos os pontos incluído o que

se encontram expostos à radiação solar. Outra interpretação possível de analisar, é entre o ponto B e o ponto C, pois o ponto B recebe incidência do sol, enquanto o C está sob a sombra da árvore, o que pode justificar uma menor correlação.

No período do meio-dia solar, duas correlações são classificadas como fraca, entre o ponto B e C, e entre o ponto B e D. No ponto B, a proximidade do edifício, com a emissão de radiação de grande comprimento de onda, representado calor sensível, que poderá explicar o incremento da temperatura. Ainda no mesmo ponto, a presença próxima de condutas do sistema de refrigeração, poderão explicar os picos registados. O que torna esse ponto diferente dos demais, pois o ponto C permanece sobre a sombra da árvore durante todo período do meio-dia solar, e o ponto D tem relva em sua envolvente.

Para o período do pôr do sol, a intensidade de correlação entre todos os pontos, pode ser interpretada como muito forte, uma vez que os pontos sofrem uma menor incidência da luz solar.

Observa-se, que para o período do nascer do sol, a intensidade de correlação de todos os pontos medidos pelas estações de conforto térmico, em relação a estação meteorológica, fora substancialmente diferente das demais, o que pode ser explicado pelo fato da estação fixa, ter um abrigo e as demais não.

Dia 21 de maio de 2020 – Temperatura Média Radiante

Analisando a correlação para a temperatura média radiante (Figura 37), pode-se verificar o grau de associação entre os pontos de medição das estações de conforto térmico, lembrando que a estação meteorológica fixa não mede este parâmetro, por isso não foi utilizada nesta análise.

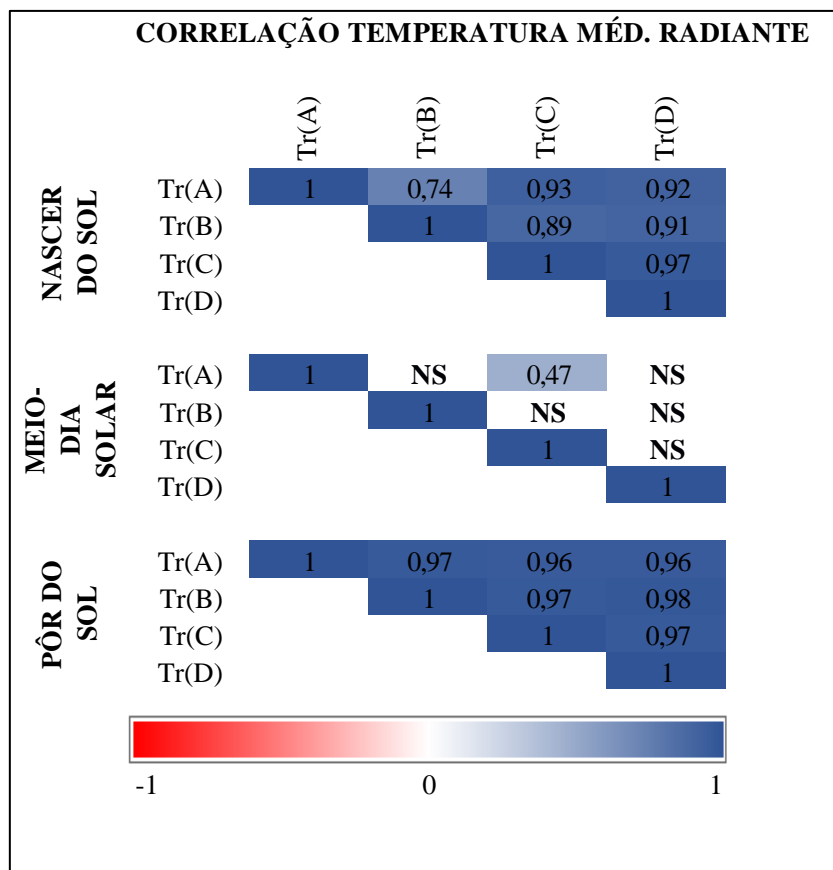


Figura 37 - Matriz de correlação de Pearson para os valores de temperatura média radiante, entre todos os pontos e por período para o dia 21 de maio de 2020.

Analisando a correlação para a temperatura média radiante, é importante observar que nos horários com incidência do sol, no período da nascer do sol ou da pôr do sol, a correlação pode ser interpretada com intensidades de muito forte, forte ou moderada. O que demonstra um maior valor absoluto do coeficiente de interpretação entre as variáveis.

Observando os pontos A com o C no período do meio-dia solar, a correlação pode ser interpretada com intensidade muito fraca, podendo demonstrar a diferença dos contextos de cada ponto em relação a incidência de sol do envolvente, uma vez que o ponto A estava sob o sol, enquanto o ponto C estava sob sombra de uma árvore, que faz com que a incidência de radiação fosse diferenciada.

Dia 15 de julho de 2020 – Temperatura do Ar

A segunda análise, foi realizada para temperatura do ar (Figura 38) com os mesmos parâmetros utilizados na outra medição. No segundo dia, a intensidade da correlação fora substancialmente diferente do primeiro, onde se obtiveram algumas correlações não significativas (NS).

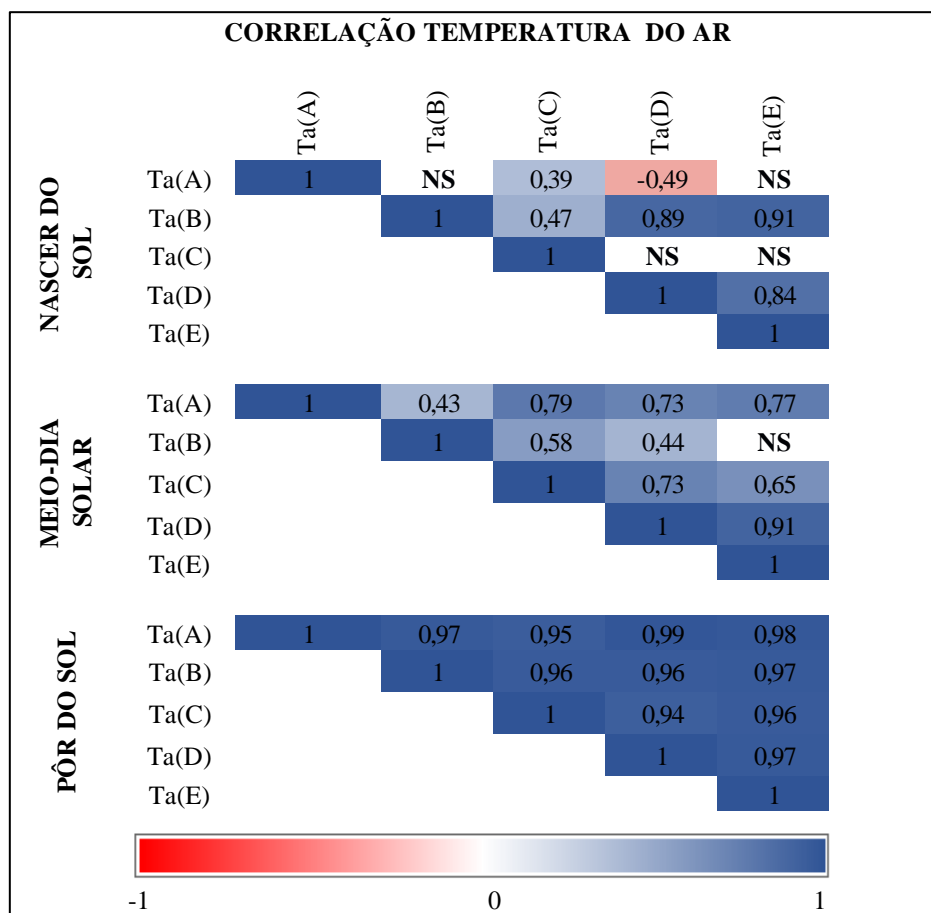


Figura 38 - Matriz de correlação de Pearson para os valores de temperatura do ar entre todos os pontos e por período para o dia 15 de julho de 2020..

Para o período do nascer do sol, os valores das correlações são bem distintos, com interpretação fraca para o ponto A em relação ao ponto C e moderada em relação ao ponto D. Porém, em relação a D, esta correlação é inversamente proporcional, ou seja, uma variável tende a aumentar à medida que as outras diminuem. Esta maior distinção entre os valores pode ser determinada pelas distintas envolventes, como suas características são diferentes as temperaturas têm comportamentos diferentes logo não serão sempre correlacionáveis.

No período do nascer do sol, o ponto A tem correlação forte com todos os outros pontos, devido ser o primeiro ponto a receber incidência solar. Já para os pontos (C, B e D) sua intensidade forte também pode ser explicada pelo efeito de sombra da árvore, que diferencia seu envolvente dos demais pontos.

Nesta correlação, os valores do meio-dia solar foram todos não significativos, tornando a interpretação inconclusiva. Contudo, as possíveis causas destas divergências, pode ser devido à variação da sombra no ponto B (do edifício) e ponto C (árvores) ou a presença de calor na envolvente construída (proximidade às paredes do edifício e emissão de calor antropogénico).

4.1.5 Resultados para Carta de Olgay

A carta de Olgay permite antecipar condições de conforto em contexto estável para roupas leves e baixa atividade física, sobrepondo os dados dos extremos para os períodos de análise. Desse modo, para o período da nascer do sol (Figura 40), do meio-dia solar (Figura 41) e da pôr do sol (Figura 42), são dadas estas análises.

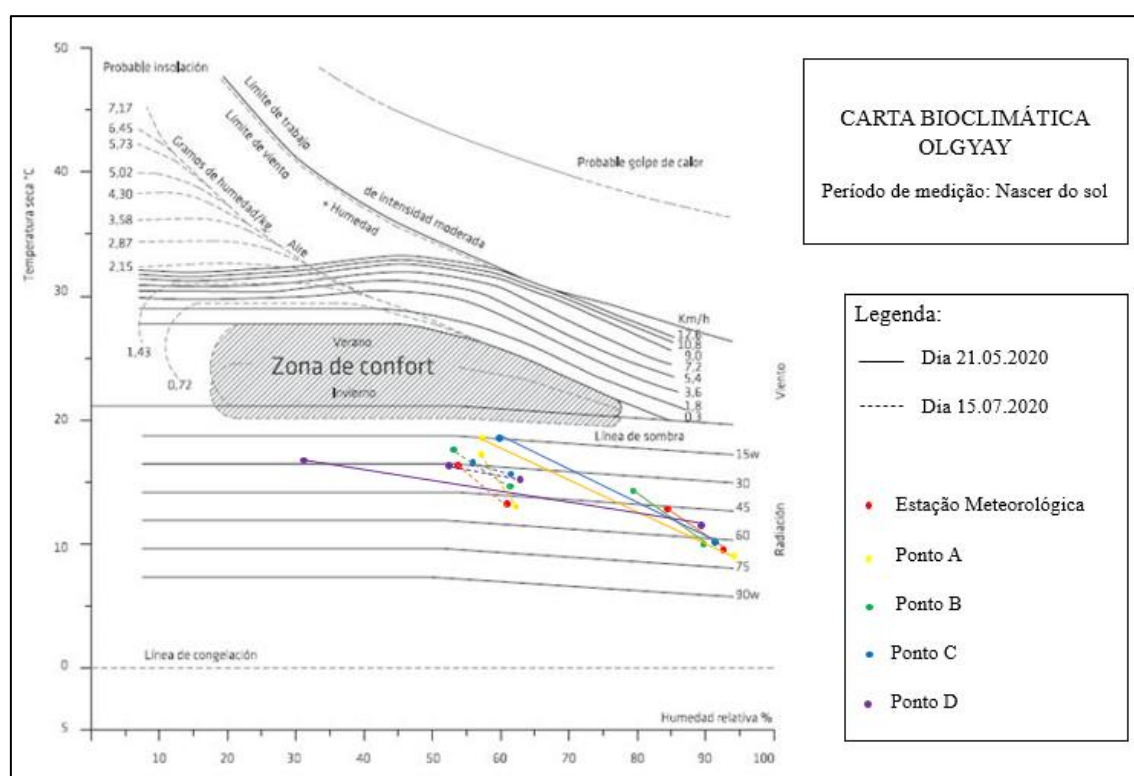


Figura 40 - Carta bioclimática de Olgay para os quatro pontos de medição no período da nascer do sol.

As diferenças das médias para os dois dias são mais visíveis em 21.05.2020, pois seus valores distam mais entre máximas e mínimas. A humidade relativa é mais alta no primeiro ponto, pela diminuição da temperatura durante a pôr do sol, com o aumento da temperatura é expectável que a humidade relativa venha a diminuir, isso é o que, em maior medida, justifica a variação da humidade, entre o primeiro e o segundo ponto.

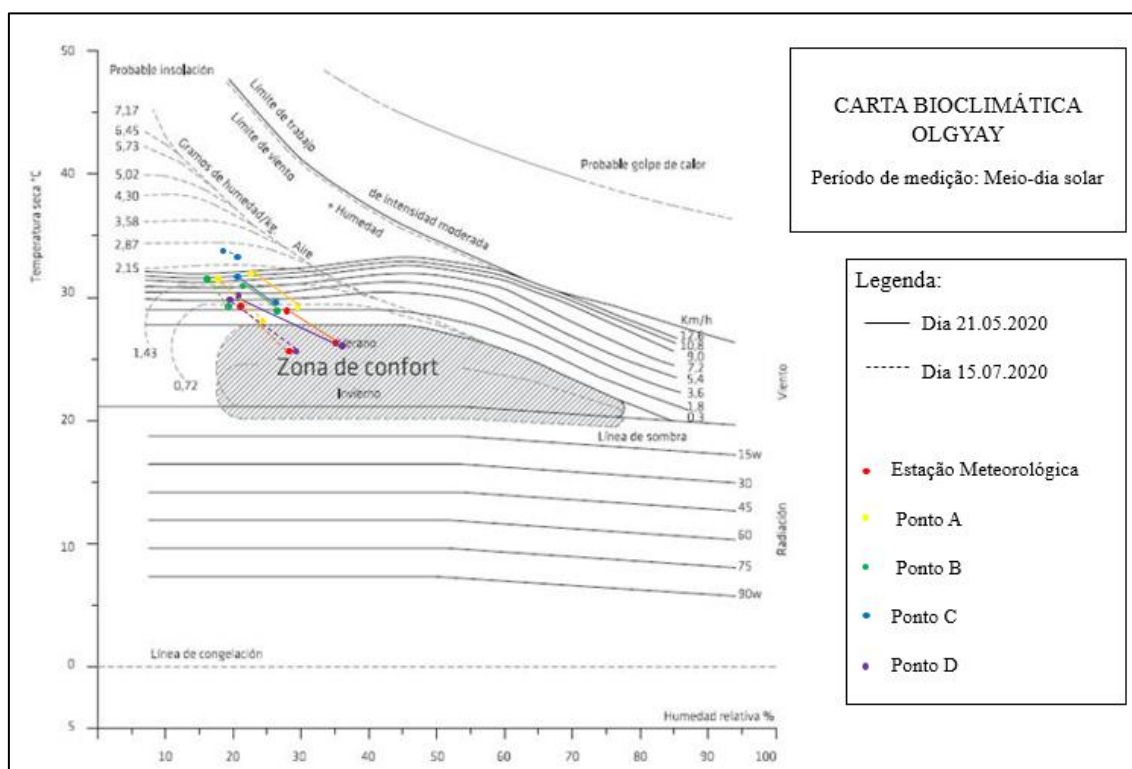


Figura 41 - Carta bioclimática de Olgay para os quatro pontos de medição no período da meio dia solar.

Para o período do meio-dia solar, tanto junto da estação meteorológica fixa, como do ponto D, para ambos os dias, registam-se temperaturas do ar que variaram entre a zona de conforto e o desconforto por calor (acima da zona de conforto), podendo, no segundo caso, a ventilação contribuir para atenuar o desconforto térmico. Nos demais pontos, para ambos os dias, seria importante a presença de ventilação. Contudo, para o ponto C do dia 15.07.2020, em que há uma elevada temperatura e pouca humidade, seria importante também a humidificação do ar, por exemplo com a presença de corpos de água.

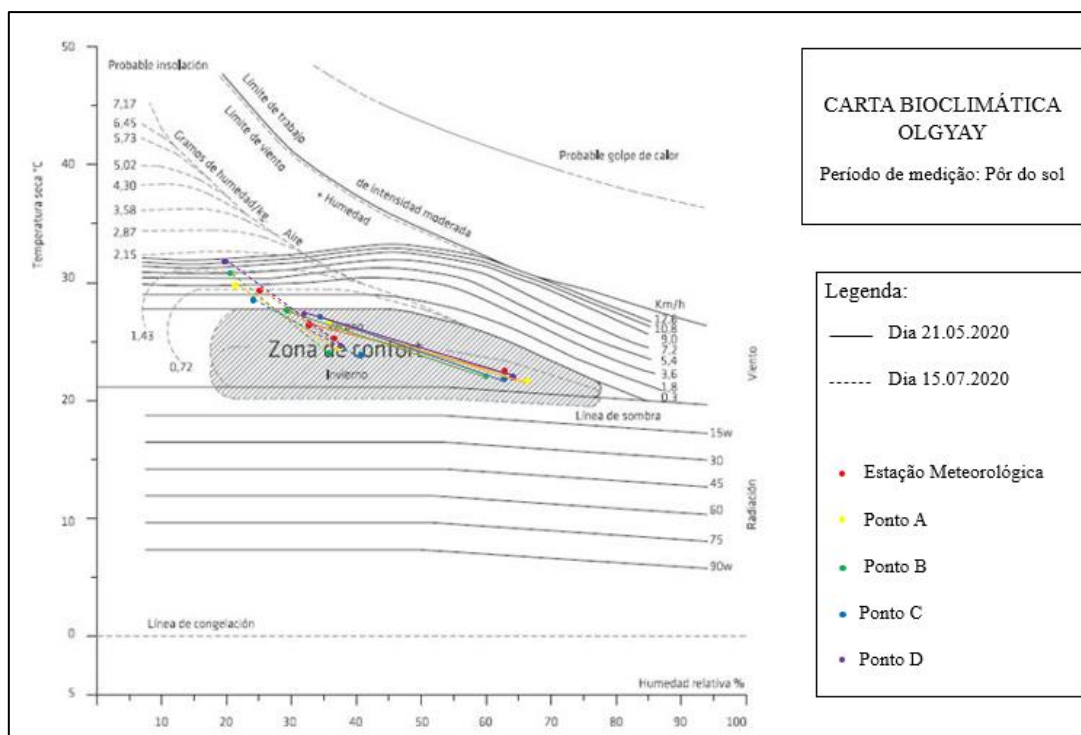


Figura 42 - Carta bioclimática de Olgay para os quatro pontos de medição no período da pôr do sol.

Para o período do pôr do sol, todos os valores do dia 21.05.2020 estão situados na zona de conforto. Os valores das máximas do dia 15.07.2020 estão situados na intersecção das zonas de humidificação e de ventilação, sendo essas as ações corretivas necessárias para o conforto.

4.2 CENÁRIO ATUAL SIMULADO

Através do ENVI-Met foi possível simular a situação atual da zona industrial, utilizando, como valores de entrada do modelo, as médias máximas e mínimas globais medidos pelas estações microclimáticas e pela fixa da temperatura do ar e umidade relativa. Este *software* permitiu simular resultados para os parâmetros de T_a , RH , V_a e Tr , em cada ponto e hora. Os resultados do programa são revolidos para cada hora, ele relaciona o modelo com os valores máximos e mínimos horários e calcula resultados para cada hora do dia, no intervalo informado. Para o dia 21.05.2020 o resultado está de acordo com a Tabela 9:

Tabela 9 - Resultados da simulação do ENVI-Met para os locais estudados no dia 21.05.2020.

Ponto	Time	Ta (°C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)
A	4:00	17,14	73,86	0,75	12,62
	5:00	17,67	73,12	0,75	14,88
	6:00	19,45	69,30	0,74	53,48
	12:00	27,07	45,29	0,70	55,83
	13:00	28,34	40,29	0,69	57,71
	14:00	29,52	35,06	0,68	61,87
	19:00	26,61	43,61	0,63	27,16
	20:00	25,68	45,41	0,63	22,69
	21:00	24,65	48,88	0,60	20,79
B	4:00	17,04	75,55	0,81	11,36
	5:00	17,56	74,62	0,81	13,30
	6:00	19,05	71,65	0,81	25,42
	12:00	26,46	44,52	0,78	60,22
	13:00	27,71	39,34	0,77	62,24
	14:00	28,93	34,05	0,76	62,84
	19:00	26,52	43,86	0,75	25,59
	20:00	25,55	46,25	0,75	21,83
	21:00	24,46	49,77	0,78	18,07
C	4:00	17,17	73,93	0,51	9,50
	5:00	17,65	73,31	0,51	11,78
	6:00	19,20	70,40	0,51	21,66
	12:00	26,91	44,37	0,49	71,60
	13:00	29,15	34,92	0,47	59,91
	14:00	28,13	39,59	0,48	73,86
	19:00	26,37	43,84	0,45	24,88
	20:00	25,49	45,72	0,45	20,55
	21:00	24,49	49,07	0,62	19,87
D	4:00	16,85	76,43	0,86	5,97
	5:00	17,33	75,64	0,87	24,73
	6:00	19,10	73,34	0,87	49,63
	12:00	26,57	46,09	0,92	70,37
	13:00	28,09	39,52	0,93	72,77
	14:00	29,55	33,26	0,95	76,38
	19:00	26,03	43,99	0,97	28,28
	20:00	24,89	47,51	0,97	18,02
	21:00	23,96	50,91	0,97	16,17

Nota-se que os valores entre os pontos são semelhantes, diferente dos valores monitorizados, isso pode ser devido a vários fatores, nomeadamente a ausência de precisão do programa, tanto em relação ao uso e ocupação do solo, como dos edifícios e arborização.

Para o segundo dia de medição o programa teve como resposta a Tabela 10:

Tabela 10 - Resultados da simulação do ENVI-Met para o dia 15.07.2020.

Ponto	Time	Ta (°C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)
A	4:00	17,96	51,81	0,78	12,77
	5:00	18,16	55,37	0,77	14,67
	6:00	19,92	55,10	0,77	53,47
	12:00	28,19	34,70	0,73	59,59
	13:00	29,67	30,04	0,71	64,55
	14:00	31,18	24,66	0,70	61,93
	19:00	28,08	31,45	0,66	29,99
	20:00	27,25	31,30	0,65	24,30
	21:00	26,27	33,46	0,65	23,00
B	4:00	18,20	52,41	0,82	11,64
	5:00	18,18	55,68	0,81	13,03
	6:00	19,66	56,39	0,81	32,43
	12:00	28,08	33,71	0,80	62,98
	13:00	29,37	29,68	0,80	65,13
	14:00	30,68	25,29	0,80	67,69
	19:00	28,26	30,45	0,79	29,86
	20:00	27,40	30,94	0,79	23,71
	21:00	26,46	33,06	0,79	22,22
C	4:00	18,20	52,38	0,60	10,01
	5:00	18,28	54,73	0,60	12,07
	6:00	19,81	53,97	0,60	21,67
	12:00	28,10	32,07	0,59	72,40
	13:00	29,46	28,15	0,58	74,37
	14:00	30,68	24,27	0,58	61,97
	19:00	28,33	28,98	0,58	36,59
	20:00	27,26	30,96	0,57	22,73
	21:00	26,31	33,09	0,57	21,20
	4:00	17,66	54,88	0,85	7,00
	5:00	17,94	56,83	0,85	26,27
	6:00	19,53	56,40	0,85	50,47
	12:00	27,97	33,41	0,89	71,33
	13:00	29,65	27,95	0,90	73,45
	14:00	31,18	23,24	0,92	77,36
	19:00	27,90	29,61	0,94	27,34
	20:00	26,63	32,34	0,94	20,89
	21:00	25,70	34,59	0,94	19,38

O segundo os valores dos pontos também são semelhantes, contudo, feito o teste de normalidade e aplicada a análise ANOVA, sendo assim para ambos os dias de medições as análises de variância nos permite identificar que há diferenças significativas entre as médias dos conjuntos de dados, sendo o $p < 0,05$, aceitando a hipótese de diferenças entre estes.

4.3 CENÁRIO NOVO SIMULADO

O cenário novo, corresponde ao cenário intervencionado de acordo com indicações do projeto INDNATUR, onde foram consideradas algumas mudanças, como o acréscimo de árvore e partes arbóreas em algumas ruas e na rotunda, já demonstradas pelas Figuras 22 e 23. Sendo assim, foi utilizado as mesmas médias das máximas e mínimas globais do cenário atual para fazer as novas simulações no ENVI-Met.

Dia 21 de maio de 2020

As simulações incidiram sobre uma hora de cada período. Sendo assim, para o primeiro dia de simulação, os resultados estão dispostos na Tabela 11:

Tabela 11 - Resultados da simulação do ENVI-Met para o cenário novo, intervencionado.

Ponto	Time	Ta (°C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)
A	Nascer do sol	18,60	67,82	0,91	22,81
A	Meio-dia solar	28,03	35,80	0,50	71,54
A	Pôr do sol	24,69	47,48	0,58	22,34
B	Nascer do sol	18,33	71,25	0,60	33,04
B	Meio-dia solar	28,04	37,08	0,80	55,51
B	Pôr do sol	24,18	50,39	0,69	20,68
C	Nascer do sol	18,45	69,75	0,62	22,57
C	Meio-dia solar	27,99	38,02	0,58	60,19
C	Pôr do sol	24,26	49,73	0,66	21,24
D	Nascer do sol	18,59	76,34	0,67	22,52
D	Meio-dia solar	27,53	43,93	0,92	50,19
D	Pôr do sol	23,56	55,33	0,88	22,51

Analisando os resultados obtidos, é possível observar a diminuição da temperatura do ar ao compararmos com a Tabela 9, nos horários das 06:00, 14:00 e 19:00. Essa mudança pode ser decorrente das SBNs implantadas na zona industrial.

Dia 15 de julho de 2020

Para o segundo dia de medição, também só foi possível calcular as simulações para as últimas horas de cada período. Sendo assim, para o primeiro dia de simulação, os resultados estão dispostos na Tabela 12:

Tabela 12 - Resultados da simulação do ENVI-Met para o cenário novo, após a intervenção.

Ponto	Date	Time	Va (m/s)	Ta (°C)	RH (%)	Tr (°C)
A	Nascer do sol	6:00	0,72	18,83	53,87	11,64
A	Meio-dia solar	14:00	0,94	29,81	27,71	70,40
A	Pôr do sol	19:00	1,14	24,81	37,99	23,52
B	Nascer do sol	6:00	0,64	18,95	53,73	12,76
B	Meio-dia solar	14:00	0,84	29,43	28,74	55,96
B	Pôr do sol	19:00	0,80	24,62	38,25	23,04
C	Nascer do sol	6:00	0,37	18,64	56,01	14,43
C	Meio-dia solar	14:00	0,77	29,16	29,77	71,20
C	Pôr do sol	19:00	0,74	24,45	40,23	24,23
D	Nascer do sol	6:00	0,60	18,89	54,10	13,84
D	Meio-dia solar	14:00	0,82	29,26	30,46	51,17
D	Pôr do sol	19:00	0,77	24,70	38,73	24,22

Através dos resultados obtidos, é possível observar a diminuição da temperatura do ar ao compararmos com a Tabela 10, nos horários das 06:00, 14:00 e 19:00. Essa mudança pode ser decorrente das SBNs implantadas na zona industrial, contudo, algumas análises precisam ser feitas antes de tal afirmação.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE A MONITORIZAÇÃO E OS CENÁRIOS SIMULADOS (ATUAL E NOVO)

4.4.1 Comparação entre a monitorização microclimática, o cenário atual e o cenário novo

Dia 21 de maio de 2020

A fim de comparar os valores medidos pelas estações microclimáticas, com as simulações do programada, tanto para o cenário atual, como para o novo cenário (simulado através das premissas do projeto vinculado supracitado), realizou-se uma análise da variação dos valores da temperatura do ar ao longo dos períodos de medição (Figura 43).

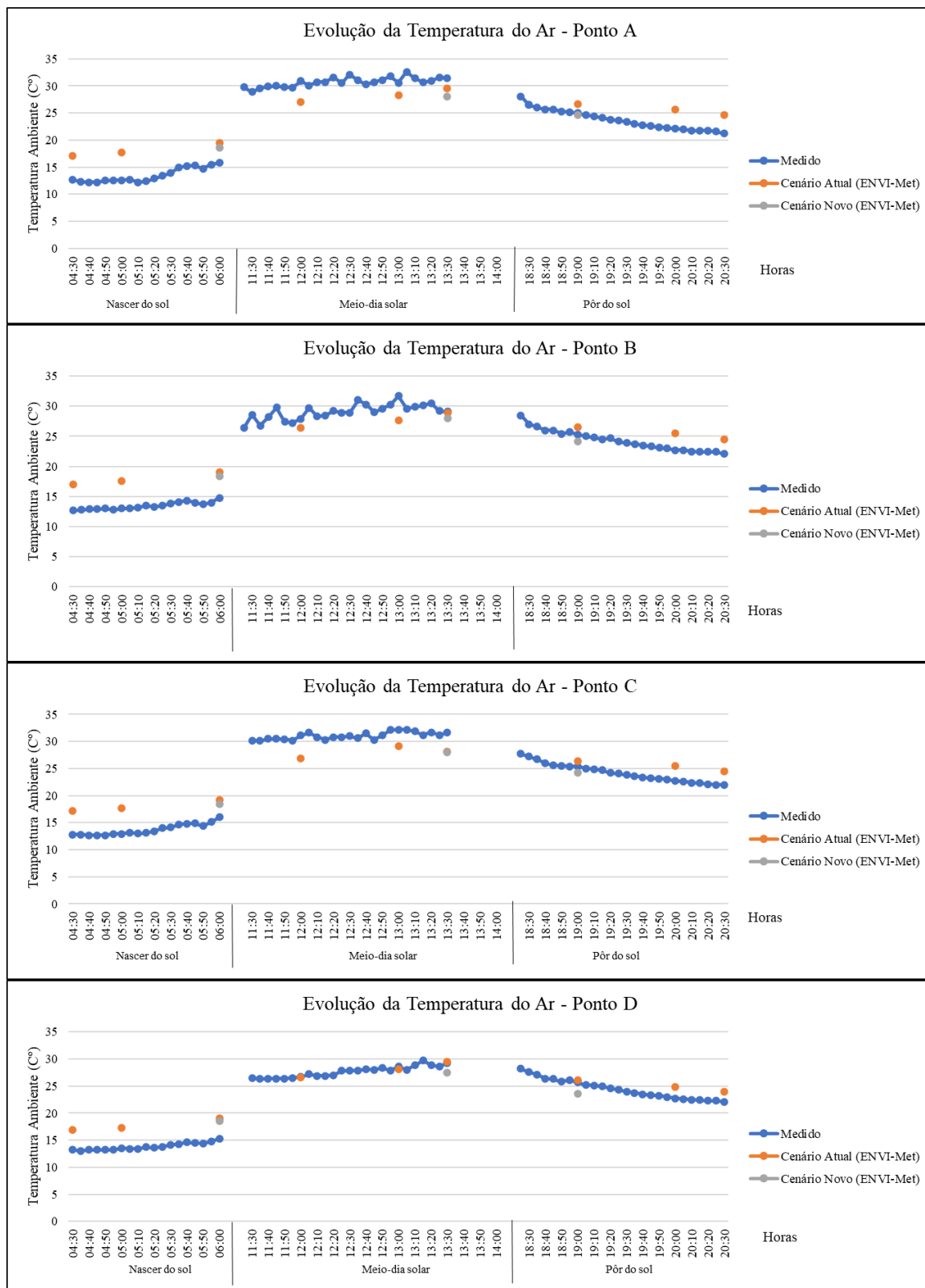


Figura 43 - Evolução da temperatura ambiente nos períodos de medição, para os quatro pontos, e os resultantes da simulação do cenário atual e do cenário novo para o dia 21 de maio de 2020.

A maior parte dos valores simulados para o cenário atual aproximam-se dos dados medidos, principalmente para o período do meio-dia solar e do pôr do sol, representando uma possível confiabilidade nos dados simulados. Essa perspectiva pode ser confirmada num estudo feito por Rosset (2013), que ao comparar cenários medidos com os preditos pelo *software* encontra grande similaridade com os resultados para temperatura do ar.

O maior distanciamento entre os dados encontra-se no período do nascer do sol, o qual pode ser explicado, pois na modelação se faz necessário uma boa caracterização da envolvente, para os valores de rugosidade, albedo, emissividade e tipo de material, para que o resultado se aproxime do real, dando assim uma maior riqueza de detalhes no uso do solo, vegetação e nos edifícios, que são fatores que influenciam no clima local. Como o programa não faz distinção de escalas e zonas climáticas, o nível de influência desses fatores pode subestimar ou sobrestimar a modelação do microclima.

Para os resultados do novo cenário, com as intervenções das SBNs, os valores de temperatura têm uma queda mínima devido ao acréscimo das árvores e espaços verdes. Este tipo de soluções que também foram incorporadas em estudo Johansson & Emmanuel, (2006), onde se obtiveram efeitos positivos. Contudo um comportamento parecido em relação aos resultados das Figuras 43, foi obtido por Ambrosini et al., (2014) e por Gusson e Duarte (2016).

Para estas comparações, os resultados estão mais próximos dos valores medidos, demonstrando ainda um melhor resultado da simulação, aproximando os valores simulados aos valores reais. Desse modo, para dar andamento na pesquisa e criar dados mais confiáveis para esta comparação, foi calculada a diferença entre as variáveis de temperatura ambiente e temperatura média radiante para ambos os dias, a fim de demonstrar se os valores são negativos ou positivos e se esta diferença é grande, o que demonstraria que um dos valores é substancialmente maior que o outro.

Para analisar a diferença para a temperatura do ar (T_a) e para temperatura média radiante medida (T_r) em horas exatas (Tabela 13), calculou-se uma diferença para cada ponto, entre os cenários. Foi realizada a subtração dos dados medidos pela monitorização microclimática (M), calculada através das estações de microclima e os dados recolhidos pela estação meteorológica fixa, em relação ao cenário atual simulado (CA), e a subtração entre o CA em relação ao cenário novo simulado (CN).

Tabela 13 – Diferenças para temperatura do ar e temperatura média radiante, entra os valores monitorizados e os cenários.

Período	PONTO A		PONTO B		PONTO C		PONTO D	
	M - CA	CA - CN	M - CA	CA - CN	M - CA	CA - CN	M - CA	CA - CN
	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)
NASCER DO SOL	-2,15	0,86	-4,25	0,71	-1,80	0,75	-1,70	0,52
MEIO-DIA SOLAR	2,08	1,49	1,38	0,89	3,07	0,14	-0,25	2,02
PÔR DO SOL	-1,61	1,92	-1,22	2,33	-0,97	2,11	-0,33	2,47
	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)
NASCER DO SOL	-30,58	30,67	-9,12	-7,62	7,24	-0,91	-28,43	27,11
MEIO-DIA SOLAR	1,93	-9,67	18,96	7,33	-3,76	13,66	-37,88	26,20
PÔR DO SOL	7,24	4,82	9,51	4,91	6,82	3,65	6,63	5,77

Analisando as diferenças, dos valores de temperatura do ar monitorizados e do modelo para o cenário atual (CA), para os períodos do nascer do sol e do pôr do sol, observa-se que os valores do cenário atual são maiores que os obtidos na monitorização, pois estes valores são negativos. Isso sugere que o modelo sobrestima os resultados de temperatura do ar nesses períodos e subestima os resultados para o período da meio dia solar, este mesmo comportamento foi demonstrado no estudo de Yang *et al.*, (2013).

Já em relação a comparação entre cenários (cenário atual com cenário novo), os valores são positivos em todos os pontos, sugerindo que as alterações incorporadas para o novo cenário, propiciam a diminuição da temperatura do ar. Incorporações bem sucedidas, também foram analisadas por Skelhorn *et al.*, (2020) , que através de novas árvores conseguiu diminuições significantes no período da meio dia solar de até 1,35°C.

Para temperatura média radiante, os valores são maiores na monitorização do microclima do que no cenário atual simulado, somente no período do pôr do sol e no período do meio-dia solar para os pontos A e B. O inverso acontece para o período do nascer do sol com exceção do ponto C que foi positivo no nascer do sol, sendo o valor simulado pelo programa subestimado.

Em relação à comparação entre o cenário real simulado e o cenário novo, no ponto D, as diferenças são positivas no nascer do sol e no meio-dia solar, indicando maior valor no CA, de modo que a superfície da lagoa possa emitir menos Tr que o solo escolhido para modelar o programa. Para os outros pontos, os deltas negativos são em maioria no período do nascer do sol, com maiores valores no ponto B, que está próximo ao matadouro e recebe radiação emitida pelos edifícios ou envolvente.

Dia 15 de julho de 2020

Analisando os valores medidos pelas estações de conforto térmico, com as simulações do programa, tanto para o cenário atual, como para o novo cenário, simulado através das premissas do projeto vinculado supracitado, realizou-se a mesma análise do primeiro dia, para a variação dos valores da temperatura do ar ao longo dos períodos de medição, (Figura 44).



Figura 44 - Evolução da temperatura ambiente nos períodos de medição, para os quatro pontos, e os resultantes da simulação do cenário atual e do cenário novo para o dia 15 de julho de 2020.

Ao observar a evolução da temperatura do ar ao longo do dia, em relação aos valores monitorizados e às simulações, há bastante similaridade entre os valores para o período do meio-dia solar, onde os pontos se aproximam. Essa característica demonstra que os valores simulados são próximos aos medidos pelas estações de conforto e estação fixa, aproximando a modelação do real e assim dando confiabilidade ao modelo para este período, o que também pode ser observado por Rosset (2013) e por Galvão, (2018), que obtiveram resultados que confirmaram a validade do modelo, principalmente em modelos de microescala.

O período do pôr do sol, o último horário simulado para o cenário atual foi sobrestimado pelo ENVI-Met para temperatura do ar, enquanto outros se assemelham aos valores monitorizados. Diferente do período do nascer do sol, em que todos os dados foram sobrestimados. Essas relações serão mais bem analisadas a seguir com a Tabela 14.

Os resultados do novo cenário simulado, com as intervenções das SBNs, a temperatura do ar sofre ligeira queda com o acréscimo das árvores e espaços verdes, essas quedas são mais visíveis para o segundo dia, devido as maiores temperaturas e a estação do ano. Como supracitado o estudo de Johansson & Emmanuel, (2006), também obteve efeitos positivos em comparações de cenários com mitigação de calor.

A mesma análise de diferenças de valores medidos em horários exatos para temperatura do ar foi feita para o segundo dia, através da Tabela 14, demonstrando um comportamento semelhante do primeiro dia de medição ao comparar o a temperatura do ar entre os cenários e os valores monitorizados.

Tabela 14 - Diferenças para temperatura do ar, entre os valores monitorizados e os cenários.

Período	PONTO A		PONTO B		PONTO C		PONTO D	
	M - CA	CA - CN	M - CA	CA - CN	M - CA	CA - CN	M - CA	CA - CN
	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)	ΔT_a (°C)
NASCER DO SOL	-3,42	1,09	-4,56	0,71	-5,01	1,18	-4,93	0,64
MEIO-DIA SOLAR	1,02	1,37	3,22	1,25	0,82	1,52	-2,18	1,92
PÔR DO SOL	-0,08	3,27	0,10	4,38	0,87	3,88	1,20	3,20
	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)	ΔT_r (°C)
NASCER DO SOL	-26,07	-1,80	-16,43	19,67	-3,87	7,24	-33,77	36,62
MEIO-DIA SOLAR	5,87	26,10	27,91	11,73	7,53	-9,23	-41,56	26,19
PÔR DO SOL	7,31	7,10	8,74	6,82	-5,09	12,35	6,26	3,13

Analisando o segundo dia de medição para temperatura do ar, e comparando a monitorização do microclima local e comparando com os dados estimados pela simulação do cenário atual, pode-se identificar que o *software* continua a sobrestimar os valores de temperatura do ar do programa para o período da nascer do sol, e subestima-os durante o meio-dia solar e o pôr do sol. Temos como exceção o ponto D no período do meio-dia solar, que tem os valores sobrestimados pelo programa, e o mesmo no ponto A no período do pôr do sol. Alguns estudos anteriores como de Chow & Brazel, (2012) e Duarte *et al.*, (2015) indicaram que o modelo tende a subestimar a temperatura do ar diurno e superestimar a noturna.

Contudo, outros trabalhos demonstram que não existe um padrão determinado sobre a subestimação e a sobrestimação dos valores da temperatura do ar simulados em relação ao que é medido por estações meteorológicas ou de microclima. Demonstrado por Acero & Herranz-Pascual, (2015) e Middel *et al.*, (2014), seus estudos relatam maiores valores simulados para temperatura do ar diurna e menores para noturna, ou geralmente tende a subestimar todos os valores de Ta, como em um estudo por Morakinyo *et al.*, (2016). E em outros estudos como no de Nasrollahi, Hatami e Taleghani, (2017), essa diferença é relatada no mesmo dia, porém em diferentes pontos ao longo do dia.

Essa falta de padrão entre os valores medidos e preditos, foi analisada e melhor relatada num estudo realizado por Tsoka, Tsikaloudaki e Theodosiou, (2018), no qual eles analisam diversos trabalhos que utilizaram o ENVI-Met para simulações para diversos fins, e compilam-nos em uma revisão bibliográfica muito didática.

Para todos os pontos, a diferença de valores na temperatura do ar entre os cenários simulados, denota que as SBN's respondem bem na diminuição da temperatura do ar, todos os valores para o cenário novo, diminuíram a temperatura, por isso os valores das segundas colunas são positivos. Tsoka, Tsikaloudaki e Theodosiou, (2018) relatam em seu estudo que em suas análises o modelo revelou que pode ser considerado uma ferramenta útil para estratégias de mitigação do calor com vegetação urbana, dando resultados ainda melhores quando se utilizam estratégias combinadas, como por exemplo, telhados verdes.

Para temperatura média radiante, os valores foram sobrestimados pelo programa em relação ao monitorizado em todo o período do nascer do sol, com destaque aos pontos C e D, que também foram subestimados no período do pôr do sol e meio-dia solar

respectivamente. Estudos de Duarte *et al.*, (2015), demonstram valores sobrestimados do modelo simulado para Tr para o pôr do sol, corroborando somente para o ponto C. Suas análises entre os cenários da simulação, demonstraram melhor comportamento.

Algumas diferenças podem ser justificadas pelas características do modelo que incluem na escala as restrições nas seleções dos elementos. A título de exemplo, o ponto D apresenta uma superfície heterogênea que inclui solo exposto, superfícies relvadas e deposição de materiais de construção, no entanto o *software* apenas permite a definição de uma característica de superfície, sendo selecionado solo.

4.4.2 Resultado da simulação do ENVI-Met e a comparação entre CA e CN

Dia 21 de maio de 2020

A simulação do ENVI-Met nos permite retirar várias informações, uma delas é obter os valores de qualquer ponto na área modelada para diversas variáveis. Contudo para este trabalho, a fim de comparar o cenário atual com o novo cenário do projeto INDNATUR, é possível plotar mapas com escalas de temperaturas, que apresentem as diferenças entre os dois cenários. Todos os mapas plotados tomam como referência, o CA e subtraem os valores do CN, para os dias e períodos de simulação.

Para melhor entendimento dos dados, os resultados simulados pelo ENVI-Met para o cenário atual e para o cenário novo, com as intervenções estão disponíveis no Anexo 3 e Anexo 4.

O primeiro mapa (Figura 45) exprime o comportamento do período do nascer do sol para o primeiro dia. Essas comparações não podem ser comparadas diretamente com as Tabelas 10 e 11, uma vez que elas dão uma diferença referente a uma temperatura medida, num exato momento, num ponto específico, já o *output* do ENVI-Met apresenta a variação em todo o espaço de modelagem. O segundo resultado (Figura 45) é relativo ao período do meio-dia solar e apresenta uma previsão do comportamento da zona industrial para este dia. E por fim, a terceira imagem (Figura 45), é relativa ao período do pôr do sol do mesmo dia.

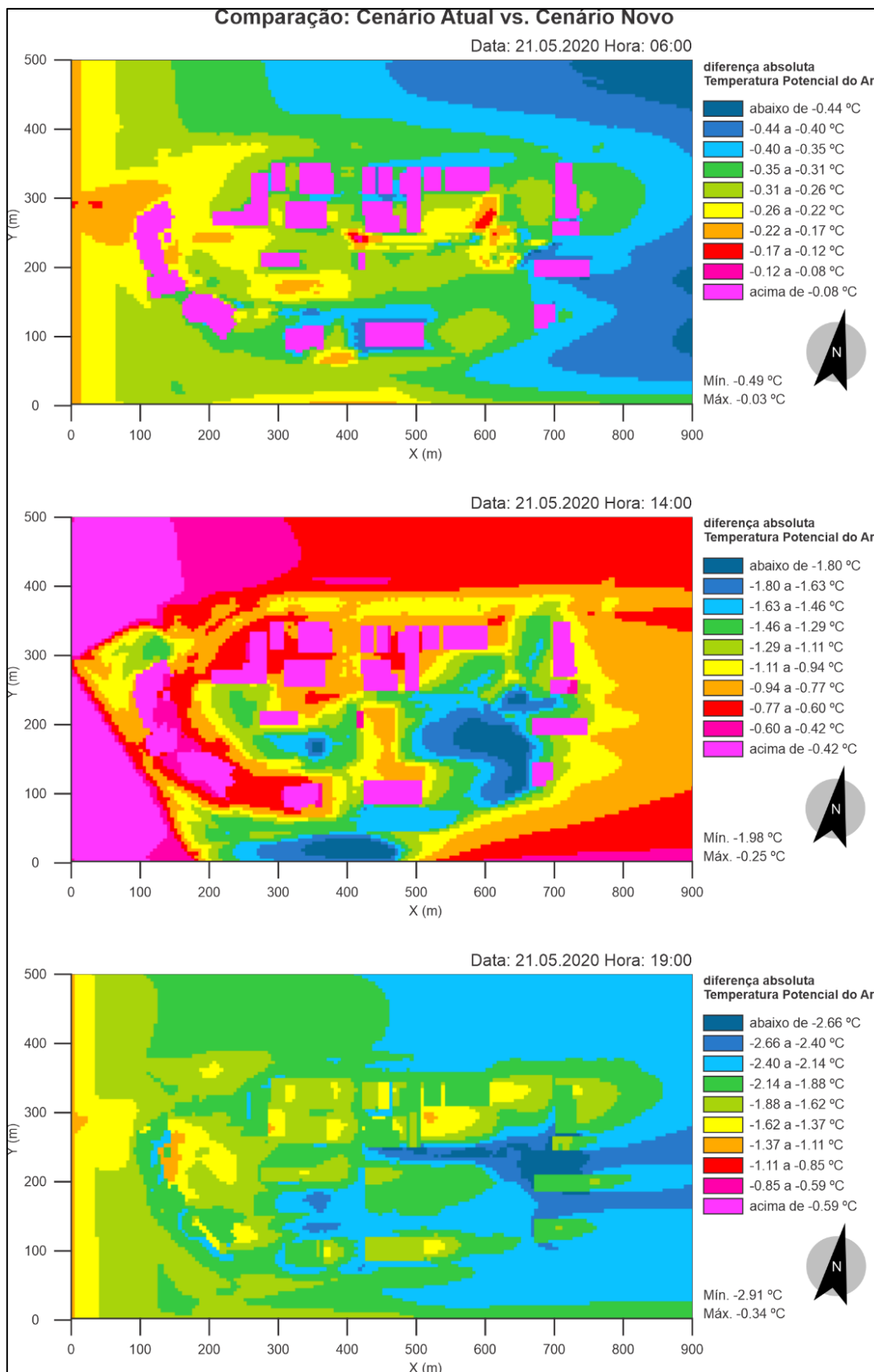


Figura 45 - Comparação entre as simulações do cenário real e do cenário novo, através do *software* ENVI-Met.

No período do nascer do sol, é importante observar que as temperaturas sofrem queda em todo o contexto após a adição das árvores. Sendo assim, entre alguns edifícios notam-se temperaturas mais baixas pois pode ocorrer um fluxo de vento que diminua as temperaturas, principalmente antes do nascer do sol. Contudo, não se pode afirmar com certeza sobre tais efeitos, pois a geometria de edifícios mais estreitos podem promover múltiplas reflexões solares e reduzir o fator de visão do céu, o que leva à retenção de calor (ROSSETI, 2013).

Ainda sobre a Figura 45 é possível notar que as menores diferenças nas temperaturas estão junto dos edifícios para o período do nascer do sol e do meio-dia solar, onde o tom de rosa é o mais claro. Este mesmo fenômeno é demonstrado por Ambrosini *et al.*, (2014), que faz uma pesquisa ao longo de três dias para demonstrar o comportamento microclimático de um bairro.

No período do meio-dia solar a simulação é mais representativa devido as altas temperaturas, a diferença entre os cenários continua negativa, demonstrando assim que o novo cenário teve sua temperatura mais baixa. Essa resposta relacionada com resultados de Rosseti, (2013), demonstram que o período do meio dia solar é bem expressivo.

No meio-dia solar, é possível identificar as temperaturas mais baixas nas ruas com maior arborização, mesmo não tendo ficado tão nítida a silhueta das árvores no desenho. Embora as árvores possam ter diminuído a velocidade do vento, como também foi constatado por Langer, Sodoudi e Cubasch (2012), as temperatura ainda diminuem para este período.

Para o período do pôr do sol, os arredores dos edifícios apresentam temperaturas menores correspondendo aos efeitos de sombra. É possível identificar que as temperaturas mais frias estão próximas da rotunda, que teve a adição de uma parte húmida, com um pequeno lago, que ao final do dia faz com que em seu arredor a temperatura diminua.

Dia 15 de julho de 2020

O dia segundo dia o primeiro mapa o correspondente ao período do nascer do sol, o segundo para o período do meio-dia solar e o último ao pôr do sol (Figura 46). Assim como seus resultados disponíveis no Anexo 5 e 6.

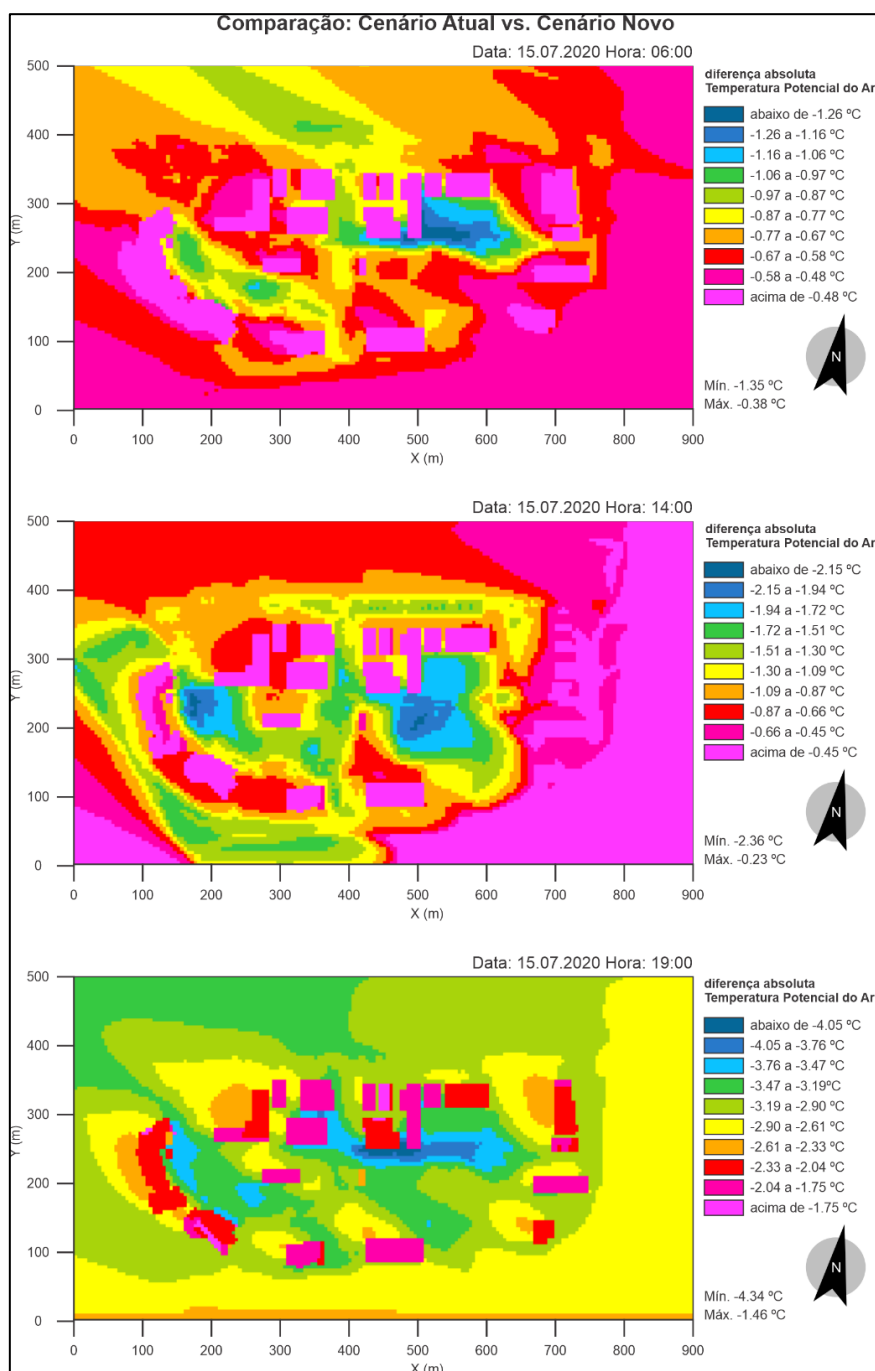


Figura 46 - Comparação entre as simulações do cenário real e do cenário novo, através do software ENVI-Met.

Para o período do nascer do sol, as temperaturas mais altas estão em torno dos edifícios, os quais podem armazenar calor, que ao longo da pôr do sol é dissipado, fato que foi apresentado no estudo de Kusumastuty, Poerbo e Koerniawan (2018), onde se observa que as cores mais fortes vão sumindo ao amanhecer do dia.

No período do meio-dia solar para esse dia, observa-se melhores resultados, as ruas onde se registaram maiores alterações (do matadouro e da rotunda), são mais definidas para o segundo dia, o que resulta numa melhoria das condições térmicas simuladas para este horário. Vale a pena salientar, que este dia era no período de verão, onde as temperaturas costumam ser altas na cidade de Bragança.

No pôr do sol, a diferença térmica é visível nos espaços onde foram inseridas as árvores e novos pisos, principalmente na via da rotunda. Essas diferenças asseguram que a inserção arbórea pelo programa tem efeito positivo na diminuição da temperatura. Contudo, como analisado no período do nascer do sol supramencionado, as temperaturas com menos interferências são as que tem menor diferença, demonstrando que não houve tanta influência quando comparado às vias, mas não inviabiliza a diminuição da temperatura para o novo contexto.

Pesquisas semelhantes por Galvão (2018) e por Gusson e Duarte (2016), também apresentam resultados coerentes no contexto da aplicação do modelo, utilizando as simulações em *simple forcing* (também aplicada neste estudo). Esta ferramenta que permite alterar dinamicamente os valores de temperatura e humidade no nível de 2 metros dentro de 24 horas. Também é importante salientar que o modelo topográfico sofreu alguns problemas técnicos na modelação, devido a inconsistência da nova versão do *software*, estes problemas foram relatados pelos desenvolvedores do ENVI-Met e estão em constante processo de adequação. Alguns contrastes nos resultados podem estar relacionados com a escala do modelo, que de acordo com Galvão (2018), escalas menores (16 m) dão melhores resultados.

Outra justificativa para inconsistência dos dados é relatada por Cranket al., (2018) em que ele menciona que apesar do *software* ser utilizado há mais de uma década, não existem estudos que consideram seriamente seus limites em relação a sensibilidade de escala de execução do modelo, assim como as suas carências estatística em dados que são utilizado com grades maiores que 2 metros (para estas simulações foi utilizada 3 m). E que muitas das pesquisas de comparações de dados medidos vs. modelados, utilizam

como base para esta comparação somente temperatura do ar. Ele sugere então, ajuste rigoroso do modelo para melhor desempenho.

Como contraponto Salata et al., (2016), apresenta resultados positivos no compromisso do programa com a precisão dos resultados. Com desvios de 0,6% para a temperatura do ar, 0,9% para a temperatura radiante média, cerca de 2,0% para a umidade relativa e cerca de 10% para a radiação global. Contudo, ele saliente que pequenas alterações climáticas como nuvens, o programa não simula adequadamente, causando alterações nos resultados. Outro estudo de Mcrae *et al.*, (2020), também foi feito um cenário com aumento da vegetação como uma estratégia diurna que afeitou positivamente a área de estudo, com resfriamento máximo e médio de -3,5 e -3,3°C, respectivamente, no entanto, o contexto climático e a quantidade de vegetação acrescentada, muito superior, fazem com que este estudo assumam características muito diferentes do presente estudo.

Em suma, outros trabalhos demonstram que sempre pode haver melhorias quanto as simulações de modelos matemáticos, como implicado pelos desenvolvedores do ENVI-Met, Bruse & Fleer, (1998) que citam que é impossível avaliar todas as mudanças climáticas no modelos apenas por combinação linear de fatos únicos, que é necessário ferramentas de simulações numéricas para estimar os efeitos das diferenças de um projeto, afim de otimizar o clima. O que contribui com a conclusão de Perini *et al.*, (2017), que para simular os efeitos das árvores e calcular seus parâmetros utilizou de mais de um *software* de simulação, para dar confiança aos seus resultados.

5 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir dos resultados foi possível confirmar que para alguns aspectos a ferramenta de previsão microclimática ENVI-Met, apresenta uma simulação aproximada das variáveis meteorológicas para espaços abertos e em micro escala.

A utilização das metodologias para a determinação o Fator de Visão de Céu, deram abrangência nos resultados, demonstrando que as construções urbanas contribuem para diminuição da perda líquida de radiação de grande comprimento de onda (no período noturno). Os diferentes valores para os pontos, significam diferentes balanços de radiação e armazenamentos de energia.

Já para os resultados das medições da câmera termográfica com auxílio dos resultados de FVC, demonstraram que durante a pôr do sol o ponto com maior FVC sofre maior arrefecimento, combinado com solo e vegetação tem menor valor de temperatura de superfície, já o menor FVC foi o ponto B que teve retenção de calor e combinado com as superfícies teve a maior temperatura de superfície. E para o período da meio dia solar, os valores mais baixos podem ser justificados em razão da presença de sombra da árvore no ponto C.

Para a comparação dos resultados, as médias e os desvios padrões demonstraram boa relação numérica entre os valores monitorizados, com os maiores desvios para os períodos da meio dia solar, com uma aceitável representação gráfica da sua evolução ao longo do tempo das características de T_a e T_r . Em relação à correlação dos resultados entre os pontos, podemos observar que esta foi significativa para o período da nascer do sol e da pôr do sol para ambos os dias, com interpretações de forte e muito forte.

Seguindo com as comparações entre os valores monitorizados e os valores do cenário atual, pode-se observar um comportamento coerente para o esperado, com algumas sobrestimações do programa em relação à temperatura do ar no período da nascer do sol e da pôr do sol e subestimação para o período do meio-dia solar. No entanto, para a temperatura média radiante os valores sobrestimados pelo ENVI-Met, correspondem maioritariamente no período da nascer do sol.

Por fim, na comparação do cenário atual simulado com o cenário novo simulado (que consistia na incorporação de árvores e de um jardim com água), obtiveram-se resultados satisfatórios para todos os períodos, demonstrando que as soluções baseadas na natureza propostas diminuíram a temperatura do ar para o contexto da simulação.

Porém, os mapas das simulações ficaram resultados algo inconsistentes, provavelmente por falta de uma melhor calibração do modelo. De forma geral o *software* foi capaz de simular de forma adequada a temperatura do ar e outras variáveis.

Para as perspectivas futuras, considerando os resultados obtidos para a zona industrial, recomenda-se uma análise em outras estações do ano com menores temperaturas, como o outono e inverno, a fim de dar um maior contraste aos resultados obtidos. Adicionalmente, ampliar a análise para mais dias do ano nas mesmas estações, para que possam dar mais precisão as análises estatísticas.

Para a análise termográfica, seria conveniente utilizar mais dias de medições, podendo dar maior contraste aos dados.

E por fim, seria interessante calibrar melhor o modelo tendo em atenção a leitura das características das superfícies.

BIBLIOGRAFIA

ACERO, J. A.; HERRANZ-PASCUAL, K. A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. **Building and Environment**, v. 93, n. P2, p. 245–257, 2015.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 94–108, 2006.

AMBROSINI, D. et al. Evaluating mitigation effects of urban heat islands in a historical small center with the ENVI-Met® climate model. **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 10, p. 7013–7029, 2014.

AMILCAR BOGO; CLAUDIO E. PIETROBON; MIRIAM JERONIMO BARBOSA; SOLANGE GOULART; TELMA PITTA; LAMBERT, R. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico** Santa Catarina Núcleo de Pesquisa em Construção, , 1994.

ANA PAULA MADDALOZZO STÖBERL, LARISSA TORRES DIAZ, TATIANA MARIA CECY GADDA, L. D. V. TRAJETÓRIA DO CONCEITO SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E A RELAÇÃO COM O BRASIL Uma análise bibliográfica. 2019.

ANDRADE, H. O Clima Urbano - Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, v. 40, n. 80, p. 67–91, 2012.

ANDRADE, H. J. N. **Bioclima Humano e Temperatura do Ar em Lisboa**. [s.l.] Universidade de Lisboa, 2003.

ARTUR GONÇALVES, ANTÓNIO CASTRO RIBEIRO, F. M. E M. F. **Clima Urbano de Bragança** Bragança FEDER, , 2014.

ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade de Belo Horizonte. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, p. 21–25, 2006.

BARBIRATO, GIANNA MELO; SOUZA, LÉA CRISTINA LUCAS DE; TORRES, S. C. **Clima e cidade: A abordagem climática como subsídio para estudos urbanos.** Maceió: Edufal, 2007.

BRAGANÇA, C. M. DE. **Plano de Urbanização de Bragança** Bragança, 2008.

BRUSE, M. ENVI-met 3.0: Updated Model Overview. n. March, p. 1–12, 2004.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling and Software**, v. 13, n. 3–4, p. 373–384, 1998.

CARLOS EDUARDO VILELA GALVÃO. **Simulação Microclimática Para Fins de Estudos de Conforto Ambiental, Uma Contribuição Metodológica Para Cidades de Clima Tropical Continental.** [s.l.] Universidade Federal de Mato Grosso, 2018.

CHOW, W. T. L.; BRAZEL, A. J. Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. **Building and Environment**, v. 47, n. 1, p. 170–181, 2012.

CLAUDIO GARCIA. **Modelagem e Simulação.** 2 ed. rev. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

COLISCHONN, E.; FERREIRA, C. V. D. O. O Fator de Visão do Céu e Sua Influência Sobre as Características Térmico-Higrométricas Intraurbanas em Pelotas/RS, BRASIL. **Geographia Meridionalis**, v. 1, n. 1, p. 160, 2015.

CRANK, P. J. et al. Evaluating the ENVI-met microscale model for suitability in analysis of targeted urban heat mitigation strategies. **Urban Climate**, v. 26, n. July, p. 188–197, 2018.

DANIELA BRUSE, MICHAEL BRUSE, HELGE SIMON. **ENVI-MET GmbH** Alemanha, 2020.

DUARTE, D. H. S. et al. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, v. 14, p. 224–239, 2015.

EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION. **Towards an EU research and innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities : final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities' : (full version)**. [s.l: s.n.].

FARIÑA TOJO, J.; HUERTA, M.; HERNÁNDEZ, A. **Manual de Diseño Bioclimático Urbano Manual de Desenho Bioclimático Urbano**. [s.l: s.n.].

FROTA, A. B. S. R. S. **Manual de Conforto Térmico**. 7ª ed. São Paulo: [s.n.].

GETTELMAN, A.; ROOD, R. B. **Demystifying Climate Models, A Users Guide to Earth System Models**. University ed. Oldenburg: UNESCO—IHE Institute for Water Education, 2016.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Climate**. Canadá: John Wiley & Sons, Inc, 1977.

GONÇALVES, A. et al. Urban cold and Heat Island in the City of Bragança (Portugal). **Climate**, v. 6, n. 3, p. 1–14, 2018.

GUSSON, C. S.; DUARTE, D. H. S. Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. **Procedia Engineering**, v. 169, p. 2–10, 2016.

HENSON, R. Ciência: Como foi descoberto o que sabemos acerca das alterações climáticas. In: HENSON, R. (Ed.). . **Alterações Climáticas: Sinais, Ciência, Soluções**. Porto: Rough Guides, 2009. p. 227–244.

JOHANSSON, ERIK, D. O. **Climate Conscious Architecture and Urban Design in Jordan Towards energy efficient buildings and**. Jordan: Swedish International Development Cooperation Agency (Sida), 2009.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 2, p. 119–133, 2006.

KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI. **EFEITOS DO USO DE TELHADOS VEGETADOS EM ILHAS DE ENVI- Met**. [s.l.] Universidade Federal

do Mato Grosso, 2013.

KATZSCHNER, L. Application of regional and local Climate Maps. In: TOMÁS DE FIGUEIREDO, LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO, ANTÓNIO CASTRO RIBEIRO, L. F. F. (Ed.). . **Clima e Recursos Naturais: Conferências de Homenagem ao Professor Doutor Dionísio Afonso Gonçalves**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2007. p. 167–182.

KOBIYAMA, M.; MANFROI, O. J. **Importância da modelagem e monitoramento em bacias hidrográficas** Curso de Extensão: **O Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal - UFPR**, 1999.

KUSUMASTUTY, K. D.; POERBO, H. W.; KOERNIAWAN, M. D. Climate-sensitive urban design through Envi-Met simulation: Case study in Kemayoran, Jakarta. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 129, n. 1, 2018.

LABORATORY, G. F. D. **Climate Modeling**.

LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. [s.l: s.n.]. v. 53

LANGER, I.; SODOUDI, S.; CUBASCH, U. Using the ENVI-MET program to simulate the micro climate in new Town HASHTGERD. **The International Conference on ...**, n. September 2014, p. 61–64, 2012.

MARIA JOÃO ALCOFORADO, HENRIQUE ANDRADE, A. L. Clima e ordenamento urbano na escala microclimática: o exemplo do bairro de Telheiras em Lisboa. In: TOMÁS DE FIGUEIREDO, LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO, A. C. R.; FERNANDES, E L. F. (Eds.). . **Clima e Recursos Naturais: Conferências de Homenagem ao Prof. Doutor Dionísio Gonçalves**. Instituto ed. Bragança: [s.n.]. p. 43–82.

MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H. Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, p. 323–334, 2007.

MCRAE, I. et al. Integration of the WUDAPT, WRF, and ENVI-met models to simulate extreme daytime temperature mitigation strategies in San Jose, California. **Building and Environment**, v. 184, n. August, p. 107180, 2020.

MIDDEL, A. et al. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 16–28, 2014.

MORAKINYO, T. E. et al. Modelling the effect of tree-shading on summer indoor and outdoor thermal condition of two similar buildings in a Nigerian university. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 721–732, 2016.

NASROLLAHI, N.; HATAMI, Z.; TALEGHANI, M. Development of outdoor thermal comfort model for tourists in urban historical areas; A case study in Isfahan. **Building and Environment**, v. 125, p. 356–372, 2017.

NATÁLIA AFONSO; MARGARIDA ARROBAS. Qualidade do Ambiente urbano: novos desafios. In: CIMO (Ed.). . **Beyou-Bemore.Com**. IPB ed. Bragança: Insituto Politécnico de Bragança, 2009.

NETO, JOÃO LIMA SANT'ANNA, MARGARETE C. DE C. TRANDADE AMORIM, CHARLEI APARECIDO DA SILVA. **Clima e Gestão do Território**. Jundiaí: Paco Editorial, 2016.

OFFERLE, B.; GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Parameterization of net all-wave radiation for urban areas. **Journal of Applied Meteorology**, v. 42, n. 8, p. 1157–1173, 2003.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1–24, 1982.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2^o ed. London: [s.n.].

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **World Meteorological Organization**, n. 81, p. 51, 2004.

OLGYAY, V. **Design with Climate**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

PERINI, K. et al. Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper. **Energy and Buildings**, v. 152, p. 373–384, 2017.

RANYÉRE SILVA NÓBREGA, T. V. DA S. L. O Microclima E O (Des)Conforto Térmico Em Ambientes Abertos Na Cidade Do Recife. **Revista de Geografia (Recife)**,

v. 28, n. 1, p. 93–109, 2011.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de geografia teoretica**, v. 23, n. 45–46, p. 288–294, 1993.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. R.; DE SOUSA ZANOTTI STAGLIORIO COELHO, M. Clima urbano e saúde: Uma revisão sistematizada da literatura recente. **Estudos Avancados**, v. 30, n. 86, p. 67–82, 2016.

ROMANO, F.; BACK, N. a Importância Da Modelagem Do Processo De Projeto Para O Desenvolvimento Integrado De Edificações. n. i, 2001.

ROSSETI, K. DE A. Efeitos do Uso de Telhado Vegetado em Ilhas Calor Urbanas com Simulação pelo Software Envi- Met. p. 275, 2013.

ROSSI, FLÁVIA OSAKU MINELLA; FRANCINE A. KRÜGER, E. L. Influência Do Fator De Visão Do Céu No Conforto Térmico Em Duas. v. 1, n. February 2018, p. 193–197, 2009.

RUDOLF GEIGER. **Manual de Microclimatologia**. Braunschweig: Fundação Calouste Gulbenkian, 1927.

SALATA, F. et al. Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 318–343, 2016.

SILVIA EMIKO SHIMAKURA. **Coefficiente de determinação**. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

SKELHORN, C. et al. Urban Form and Variation in Temperatures. In: **Springer Nature**. [s.l: s.n.]. p. 51–73.

SOLEAMIENTO, N.; CONTAMINACI, V. Calidad Ambiental en la Edificación para Las Palmas. In: **GUIA DE APLICACIÓN -Manuales de design ICARO**. ICARO ed. Islas Canarias: [s.n.]. p. 61–101.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

TIMOTHY R. OKE, GERALD MILLS, ANDREAS CHRISTEN, J. A. V. **Urban Climates**. 1. ed. Cambridge: Sheridan Books, Inc. A, 2017.

TSOKA, S.; TSIKALOUDAKI, A.; THEODOSIOU, T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. **Sustainable Cities and Society**, v. 43, n. July, p. 55–76, 2018.

VILELA, J. A. **VARIÁVEIS DO CLIMA URBANO: ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL E PROGNÓSTICOS PARA A REGIÃO DO BAIRRO BELVEDERE III, BELO HORIZONTE**Belo Horizonte, 2007.

VIVALDINI, D. O. et al. Revisão: fundamentos e materiais para o projeto da microestrutura de isolantes térmicos refratários de alto desempenho. **Cerâmica**, v. 60, n. 354, p. 297–309, jun. 2014.

YANG, X. et al. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Building and Environment**, v. 60, p. 93–104, 2013.

ANEXO

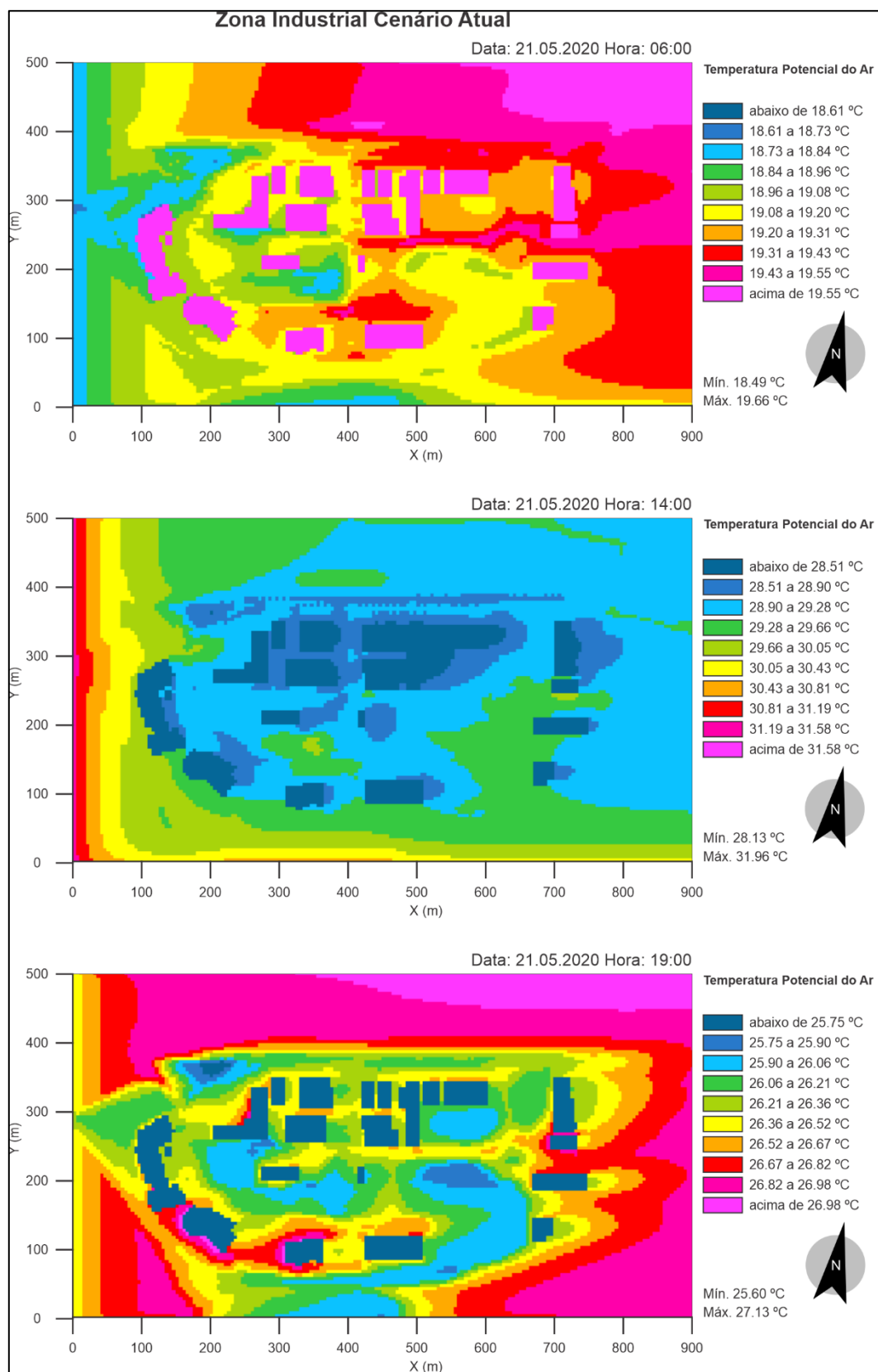
ANEXO 1: Tabela A 1 – Resultados das medições das estações de conforto térmico e da estação meteorológica fixa para o dia 21.05.2020.

Período	Horário	PONTO A				PONTO B				PONTO C				PONTO D				ESTAÇÃO METEOROLÓGICA		
		Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)
NASCER DO SOL	04:00	12,70	91,30	0,72	14,00	13,40	89,20	0,33	13,10	13,30	89,30	1,07	12,80	13,60	87,30	0,58	13,80	13,40	89,50	0,00
	04:10	12,20	94,40	1,18	9,00	13,10	88,20	0,67	13,30	12,80	91,40	0,75	11,60	13,00	90,00	0,43	12,60	13,42	88,60	0,02
	04:20	12,50	94,50	0,96	8,20	13,10	90,40	0,16	13,10	12,70	92,20	0,66	11,30	13,20	89,40	0,72	12,20	13,19	89,00	0,85
	04:30	12,60	93,90	0,55	9,20	12,70	91,50	0,45	12,90	12,90	90,30	0,80	10,70	13,20	89,70	0,70	12,10	12,93	89,80	0,37
	04:40	12,20	94,30	0,99	9,40	12,90	90,30	0,14	12,70	13,20	88,70	0,96	11,10	13,40	88,20	0,66	12,40	12,57	91,30	0,49
	04:50	12,90	90,70	0,99	9,60	13,00	90,20	0,26	12,60	13,10	89,20	0,83	12,30	13,70	85,90	0,73	12,80	12,53	92,20	0,18
	05:00	13,90	84,40	0,33	14,70	13,00	89,80	0,17	12,60	14,00	82,10	0,84	14,10	13,80	84,50	0,19	14,00	12,61	92,30	0,23
	05:10	15,20	76,40	0,32	21,50	13,20	88,80	0,41	12,70	14,60	77,50	1,42	19,30	14,30	81,10	0,40	15,50	12,75	91,30	0,17
	05:20	14,70	80,40	0,80	23,60	13,30	87,00	0,38	13,70	14,90	78,70	0,95	19,80	14,50	81,30	1,06	17,60	12,84	90,70	0,38
	05:30	15,80	76,20	1,31	26,00	13,90	84,80	0,54	14,10	15,10	74,50	1,22	22,00	14,70	79,50	0,71	17,70	13,01	89,10	0,04
	05:40	17,90	61,10	1,06	32,70	14,30	82,30	0,31	15,00	16,40	69,60	0,75	27,60	15,70	74,80	0,77	20,50	13,43	87,00	0,75
05:50	17,40	57,80	1,87	34,20	13,70	83,80	0,52	16,30	18,60	59,40	0,63	31,50	16,70	65,10	0,77	22,20	13,80	85,70	1,01	
06:00	17,30	58,30	1,22	23,90	14,80	79,60	0,39	16,30	17,40	56,90	1,17	28,90	17,40	57,50	0,46	21,20	13,90	85,50	0,27	
MEIO-DIA SOLAR	12:00	29,80	28,60	1,37	63,60	27,90	27,00	1,15	71,30	29,70	26,10	1,79	72,50	26,70	31,40	1,91	34,00	26,38	35,55	1,65
	12:10	29,60	26,70	1,13	66,40	28,30	26,10	1,26	76,20	30,10	25,90	2,29	75,40	26,30	34,80	1,05	35,20	26,50	35,57	1,63
	12:20	30,00	27,90	1,52	61,90	29,20	25,50	2,28	86,60	30,50	25,30	1,98	77,40	26,40	33,00	0,73	31,60	26,95	35,06	1,23
	12:30	29,70	28,50	1,70	67,10	28,90	25,20	1,53	78,70	30,20	26,30	2,14	80,30	26,50	35,30	2,17	34,30	27,22	34,83	1,64
	12:40	30,10	28,00	3,02	81,10	30,30	24,60	1,03	67,10	31,60	26,00	2,16	84,90	27,20	32,70	1,79	34,00	27,47	32,86	2,35
	12:50	30,70	27,40	2,21	72,60	29,60	24,30	0,42	61,90	30,30	27,20	1,01	64,40	26,90	33,70	1,93	34,80	27,48	32,80	1,94
	13:00	30,50	28,00	2,96	75,50	31,70	21,10	0,51	70,30	30,80	26,20	3,57	89,00	27,80	33,10	2,22	34,60	27,77	32,19	1,35
	13:10	31,10	24,60	4,02	83,70	29,90	20,30	2,03	84,70	30,60	25,30	3,95	86,50	27,90	28,80	4,31	40,30	28,41	31,60	1,76
	13:20	30,70	24,80	1,01	54,40	30,50	22,60	0,87	68,90	30,30	24,90	2,10	69,50	28,00	28,60	2,94	35,60	28,28	28,76	1,86
	13:30	31,80	23,80	2,13	72,50	29,10	21,90	5,17	106,40	32,10	22,50	1,42	69,90	27,90	30,20	2,20	36,00	28,10	30,20	1,66
	13:40	32,60	22,70	2,12	64,80	29,70	22,20	2,75	92,40	32,20	23,40	0,56	60,10	28,00	31,60	1,29	36,50	28,21	27,66	1,81
13:50	30,70	23,20	2,68	67,80	30,20	20,30	1,15	73,80	31,20	21,20	2,93	73,40	29,70	22,40	2,37	41,20	28,10	28,54	2,18	
14:00	31,60	25,10	2,40	63,80	29,70	20,10	1,86	81,80	31,20	25,10	2,59	70,10	28,60	26,90	1,57	38,50	28,28	29,25	2,12	
PÔR DO SOL	18:30	26,50	35,90	2,32	39,80	27,90	26,20	1,95	51,70	27,20	33,00	0,89	36,70	27,60	32,30	1,41	40,00	26,76	34,10	1,49
	18:40	25,70	39,70	3,35	31,10	27,30	26,60	1,13	46,30	26,00	39,10	1,75	32,20	26,40	37,50	2,69	33,30	26,27	36,68	1,85
	18:50	25,30	50,50	3,35	31,80	26,90	27,00	0,32	39,70	25,50	49,30	2,71	31,00	25,80	49,10	4,02	35,30	25,33	47,14	3,29
	19:00	25,00	52,70	3,32	34,40	26,40	28,40	0,88	39,50	25,40	51,00	2,04	31,70	25,70	50,80	2,35	34,90	24,85	52,23	3,22
	19:10	24,40	55,80	3,34	30,60	26,50	30,10	1,29	47,90	24,90	54,00	1,71	29,90	25,10	53,20	3,96	32,30	24,45	54,35	3,51
	19:20	23,80	58,50	1,47	27,80	24,70	34,90	2,33	48,20	24,20	56,10	2,24	29,90	24,60	55,70	2,94	29,70	24,07	56,73	3,05
	19:30	23,40	58,10	3,34	23,90	23,50	44,20	0,97	27,60	23,80	56,50	2,80	26,10	24,00	56,50	1,88	25,60	23,68	57,72	2,97
	19:40	22,80	60,50	2,27	21,00	23,20	51,50	1,53	24,80	23,40	58,30	1,92	23,80	23,50	57,70	2,56	24,10	23,28	58,69	2,92
	19:50	22,40	62,50	2,01	19,00	22,90	56,40	2,75	23,10	23,10	59,50	1,89	22,30	23,20	59,40	3,14	22,40	22,95	59,89	2,34
	20:00	22,10	63,60	3,69	16,90	22,50	59,20	1,83	22,50	22,70	61,00	3,29	21,50	22,70	61,40	1,26	22,10	22,63	61,39	1,60
	20:10	21,70	65,90	2,33	17,90	22,20	61,00	1,56	22,00	22,40	62,70	1,63	21,20	22,50	62,50	1,27	21,50	22,30	63,02	1,66
20:20	21,80	64,90	2,46	16,60	22,10	61,00	2,03	21,40	22,10	63,40	1,45	20,90	22,30	63,10	0,84	21,40	22,07	64,04	1,67	
20:30	21,20	67,70	1,71	17,30	22,00	59,60	1,79	20,40	22,00	64,40	1,21	20,80	22,10	64,10	0,51	21,40	21,91	64,66	1,02	

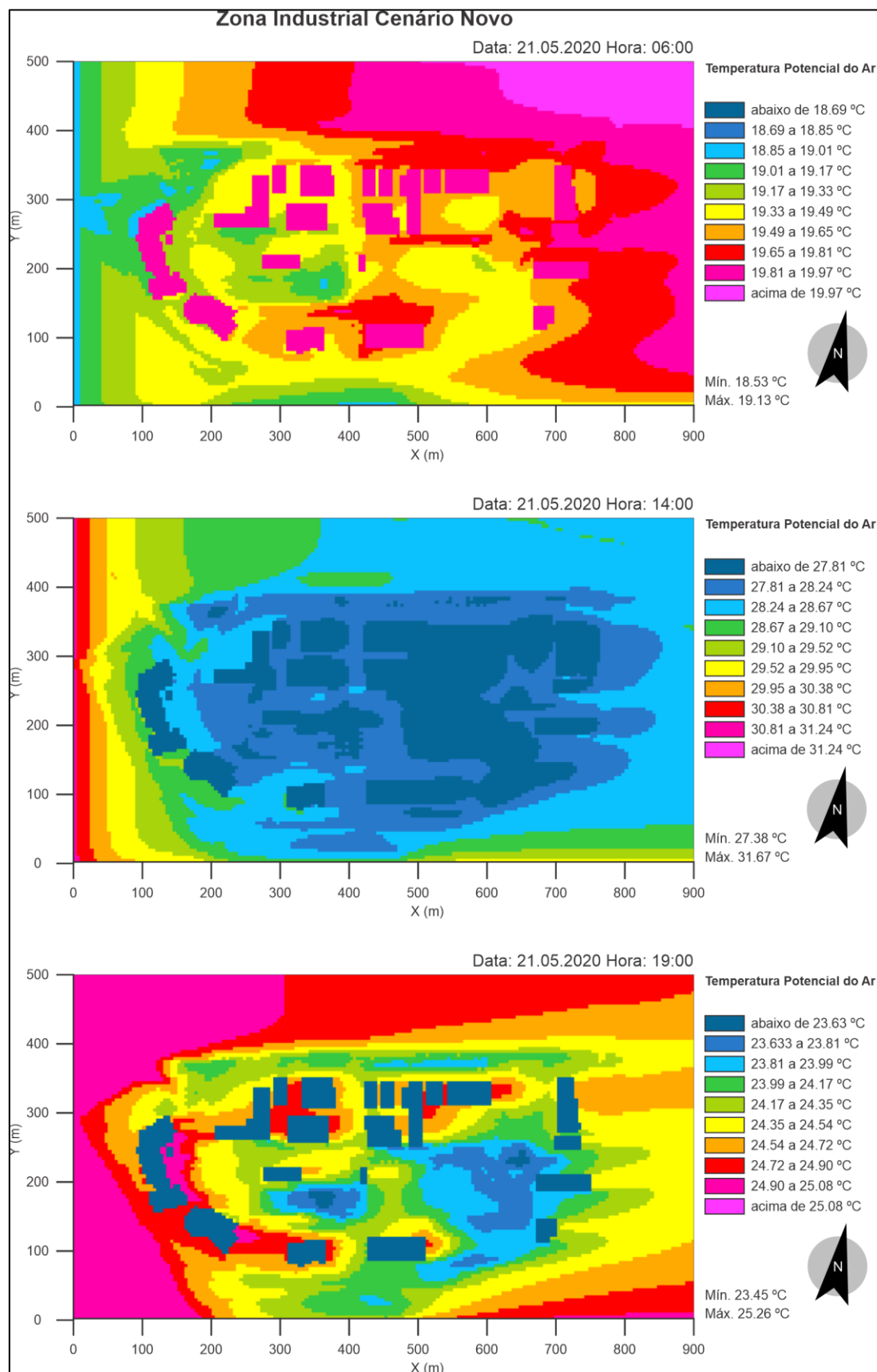
ANEXO 2: Tabela A.2 – Resultados das medições das estações de conforto térmico e da estação meteorológica fixa para o dia 15.07.2020.

		PONTO A				PONTO B				PONTO C				PONTO D				ESTAÇÃO METEOROLÓGICA		
Período	Horário	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (C)	Ta (C)	RH (%)	Va (m/s)
NASCER DO SOL	04:00	14,90	57,70	2,76	15,80	15,80	54,40	0,77	15,00	15,60	55,50	2,87	9,90	15,60	54,70	2,09	15,60	15,42	55,40	1,36
	04:10	14,80	58,30	2,03	10,80	15,70	54,90	0,48	14,90	15,10	56,10	1,86	12,80	15,30	55,60	0,56	14,60	15,27	55,92	1,09
	04:20	14,70	58,80	3,00	9,30	15,60	56,60	0,11	14,90	15,00	56,90	2,38	12,00	15,20	55,90	1,45	13,80	15,14	56,41	0,68
	04:30	14,50	59,40	1,57	11,40	15,40	56,60	0,16	14,80	15,00	57,20	1,95	11,90	15,20	56,20	1,46	13,80	14,99	57,08	1,04
	04:40	14,40	60,00	1,67	10,60	15,30	56,90	0,43	14,40	14,90	57,60	2,27	11,70	15,10	56,90	2,19	13,20	14,88	57,70	1,14
	04:50	14,30	61,20	2,08	10,80	15,30	57,10	0,40	14,40	14,80	58,60	1,61	12,30	15,00	57,60	1,92	13,40	14,81	58,26	1,25
	05:00	14,30	61,20	1,98	10,80	14,90	58,50	0,45	14,30	14,70	59,20	1,85	12,00	14,90	58,10	1,13	13,60	14,70	58,97	0,95
	05:10	14,30	61,70	1,40	11,00	15,10	58,30	1,00	14,00	14,60	59,80	1,81	12,10	14,80	59,00	1,83	14,00	14,62	59,48	1,32
	05:20	14,30	62,30	2,49	10,20	15,00	59,40	0,50	14,50	14,60	60,40	2,70	11,60	14,60	60,20	1,85	13,70	14,53	60,43	1,25
	05:30	15,10	59,80	2,04	18,10	14,90	60,30	0,81	14,70	15,60	59,00	1,58	12,30	14,60	60,80	2,27	14,20	14,41	61,67	1,14
	05:40	15,70	58,70	1,98	22,40	14,90	60,70	0,62	15,10	14,80	61,10	1,86	16,80	14,60	61,40	1,49	15,00	14,44	62,23	1,23
05:50	16,30	58,10	2,26	29,40	14,90	61,60	0,90	15,70	14,70	62,50	2,20	16,00	14,60	62,50	1,83	15,70	14,71	62,05	1,39	
06:00	16,50	57,40	1,07	27,40	15,10	61,60	0,88	16,00	14,80	62,90	2,30	17,80	14,60	63,10	1,76	16,70	15,02	61,68	1,22	
MEIO-DIA SOLAR	12:00	27,30	24,80	1,37	60,50	30,20	20,10	0,60	62,30	29,50	21,80	1,80	62,10	25,70	27,40	1,73	50,50	25,72	30,14	2,35
	12:10	29,00	22,90	4,18	78,50	30,60	19,30	0,23	59,60	30,00	20,00	2,66	67,90	26,90	25,20	2,04	30,20	26,39	28,38	2,02
	12:20	29,70	22,70	3,21	77,00	29,10	20,60	1,55	81,70	29,70	22,50	3,03	72,80	26,60	26,40	2,44	31,50	27,01	27,87	1,78
	12:30	29,40	21,60	3,62	69,10	29,40	19,50	1,17	69,90	29,30	21,70	1,71	59,30	27,00	24,40	0,68	29,00	26,52	27,53	2,85
	12:40	29,80	20,70	2,19	63,00	28,70	19,80	1,19	67,20	30,30	20,10	1,88	62,20	27,30	24,00	1,76	30,50	26,54	26,65	2,89
	12:50	30,30	19,90	2,77	70,00	29,70	19,10	0,88	69,20	30,70	19,90	3,87	80,60	27,60	23,50	1,24	30,70	27,27	25,92	2,13
	13:00	30,00	20,30	2,77	72,60	30,70	18,40	1,12	71,20	30,40	20,70	2,77	74,70	28,30	22,50	1,91	30,20	27,20	26,30	2,58
	13:10	31,50	18,20	0,98	56,50	32,00	16,80	0,88	69,80	31,10	19,10	3,06	68,50	27,20	23,80	1,75	32,10	27,13	26,32	2,79
	13:20	30,90	19,60	3,11	61,70	29,30	19,40	1,00	69,40	30,10	20,70	2,19	63,80	28,00	22,70	2,71	31,10	27,58	25,50	2,66
	13:30	30,50	18,40	2,12	64,70	29,70	17,70	2,81	97,70	30,30	19,50	3,55	74,70	28,70	21,00	0,94	30,60	27,83	25,13	2,13
	13:40	32,20	17,00	1,86	66,00	30,40	15,70	1,58	88,30	33,00	17,00	1,41	64,80	28,80	20,50	0,93	31,70	27,78	24,17	2,26
13:50	31,50	17,40	1,46	65,40	32,00	15,60	0,65	75,30	33,70	17,20	2,12	73,20	28,50	22,00	1,12	33,10	27,98	24,53	1,82	
14:00	30,50	18,10	2,63	67,80	30,50	16,50	2,62	95,60	31,50	19,10	2,40	69,50	29,00	20,70	2,60	35,80	28,66	23,29	2,39	
PÔR DO SOL	19:00	30,00	22,30	4,37	51,00	31,30	20,70	0,43	48,40	29,10	25,60	2,71	31,40	31,60	21,10	1,04	50,10	29,11	26,56	2,08
	19:10	29,80	22,60	1,93	47,40	30,40	22,20	1,29	53,20	29,00	25,40	1,60	29,50	32,00	19,60	0,48	45,80	28,94	26,99	1,68
	19:20	29,50	23,20	1,24	41,10	30,00	22,50	0,92	49,80	28,60	26,00	1,53	29,00	31,10	21,50	1,17	47,00	28,73	27,29	1,71
	19:30	28,70	25,20	1,73	39,90	29,60	24,10	0,80	43,00	28,20	27,20	1,78	28,20	30,10	24,00	0,95	43,60	28,42	27,99	1,87
	19:40	28,00	27,00	2,41	37,30	29,00	25,50	0,95	38,60	29,20	26,20	1,44	31,50	29,10	25,30	0,74	33,60	28,03	28,69	1,85
	19:50	27,00	30,30	1,01	26,30	27,80	28,70	0,52	28,90	27,30	29,30	1,40	28,00	28,00	28,10	0,41	29,80	27,71	29,41	1,58
	20:00	26,30	33,00	1,35	22,90	26,80	30,80	0,51	28,20	26,70	31,20	1,04	26,00	27,40	29,90	0,92	27,00	27,31	30,53	1,24
	20:10	25,60	34,50	0,91	22,40	26,20	32,50	0,64	27,10	26,10	32,70	1,02	25,10	26,90	31,70	1,15	26,20	26,59	32,53	0,58
	20:20	25,50	34,90	0,95	21,30	26,00	33,50	0,49	26,10	25,70	33,60	1,46	23,90	26,50	32,20	1,22	25,30	25,98	33,82	0,46
	20:30	25,00	36,60	1,41	19,80	25,40	34,70	0,54	26,10	25,70	34,10	1,01	23,80	26,10	33,00	1,14	24,80	25,75	34,23	0,75
	20:40	24,80	37,40	1,11	20,10	25,20	35,60	0,44	25,60	25,50	35,30	0,73	23,60	25,70	34,40	0,42	25,00	25,57	34,94	0,85
20:50	24,50	39,40	1,21	20,10	25,60	36,30	0,27	24,70	25,20	36,90	0,98	23,20	25,50	36,40	0,41	24,40	25,44	36,06	1,39	
21:00	24,40	40,20	0,84	20,10	24,80	39,10	0,13	24,80	24,80	40,10	0,46	23,40	25,30	37,30	0,74	23,90	25,21	37,38	0,99	

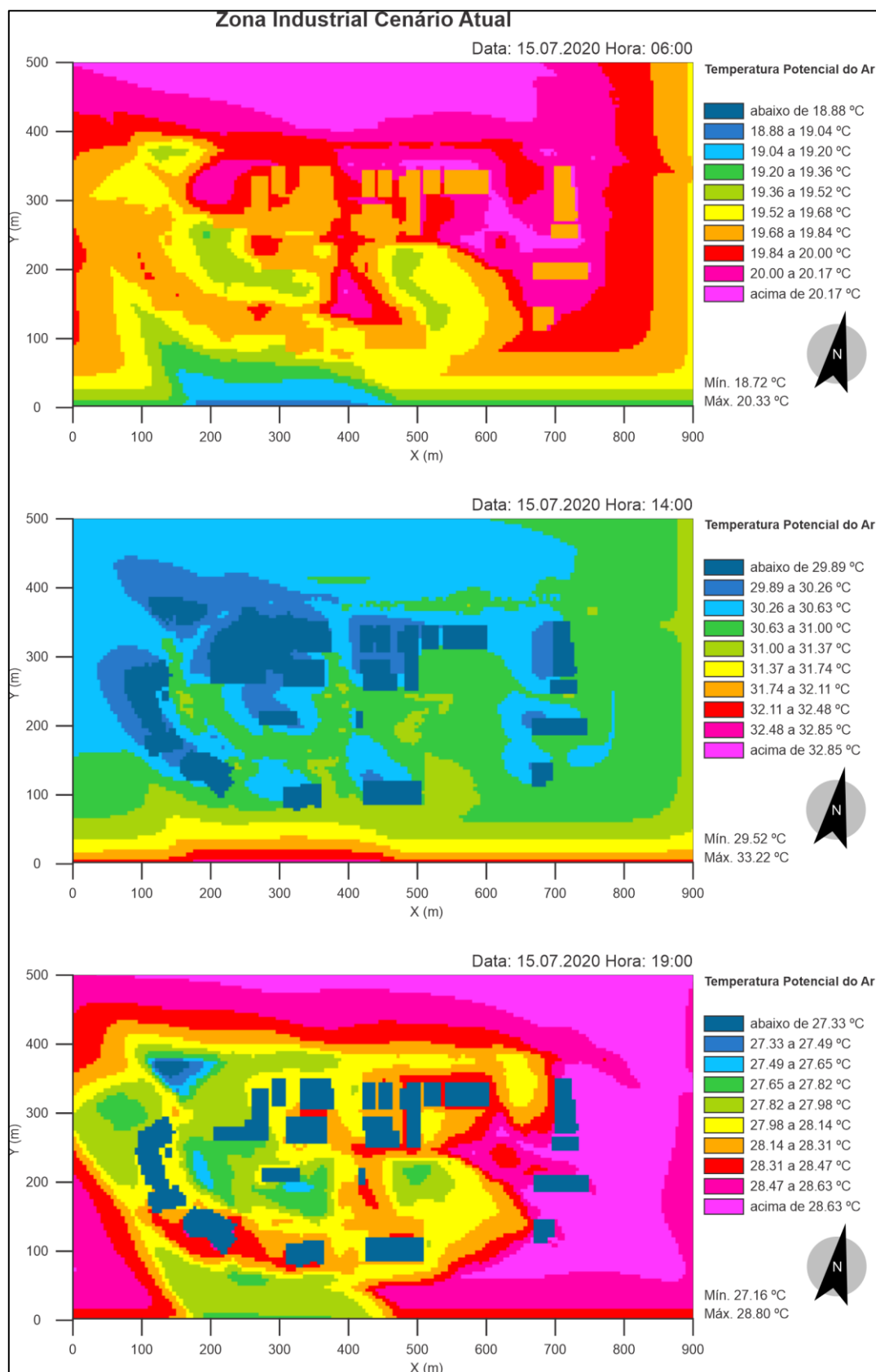
ANEXO 3: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário atual simulado.



ANEXO 4: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário atual novo intervencionado.



ANEXO 5: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário atual simulado.



ANEXO 6: Mapa de resultados para simulação ENVI-Met para o cenário novo simulado.

