

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA E URBANISMO

MAIDA PASSAMAI BALDOTTO

**O EFEITO DO VIDRO REFLETIVO NO MICROCLIMA URBANO: FACHADAS DE
EDIFÍCIOS COMERCIAIS**

VITÓRIA

2022

MAIDA PASSAMAI BALDOTTO

**O EFEITO DO VIDRO REFLETIVO NO MICROCLIMA URBANO: FACHADAS DE
EDIFÍCIOS COMERCIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Edna Aparecida Nico Rodrigues.

VITÓRIA

2022

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

B178e Baldotto, Maida Passamai, 1993-
O efeito do vidro refletivo no microclima urbano: fachadas de edifícios comerciais / Maida Passamai Baldotto. - 2022.
106 f. : il.

Orientadora: Edna Aparecida Nico Rodrigues.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Vidro refletivo. 2. Microclima urbano. 3. Edifícios comerciais. 4. Fachadas (Arquitetura). 5. Desenvolvimento urbano sustentável. 6. Simulação (Computadores). I. Nico Rodrigues, Edna Aparecida. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. III. Título.

CDU: 72


MAIDA PASSAMAI BALDOTTO

“O EFEITO DO VIDRO REFLETIVO NO MICROCLIMA URBANO: FACHADAS DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS”


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 19 de dezembro de 2022.


Comissão Examinadora

Documento assinado digitalmente
 EDNA APARECIDA NICO RODRIGUES
Data: 04/01/2023 11:42:57-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues
(orientadora – PPGAU/UFES)

Documento assinado digitalmente
 ANDREA COELHO LARANJA
Data: 26/01/2023 09:04:55-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Andréa Coelho Laranja
(membro interno – PPGAU/UFES)

Documento assinado digitalmente
 CAROLINA DOS SANTOS GUSSON
Data: 19/01/2023 11:43:37-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dra. Carolina dos Santos Gusson
(membro externo)

Aos meus pais, Olívia e Eurico, pelo incentivo e suporte.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me permitir aprender cada dia mais e a superar meus desafios.

Aos meus pais, Olívia e Eurico, pelo apoio financeiro e emocional e por sempre incentivarem meus estudos. Ao meu irmão Mário, por me encorajar a iniciar o mestrado.

À professora Edna Aparecida Nico Rodrigues, por ser uma orientadora presente e incentivadora. Por em todas as conversas cobrar meu posicionamento crítico nas leituras e escrita, e contribuir com seu conhecimento no desenvolvimento da pesquisa.

Às professoras Andrea Coelho Laranja e Liziane Jorge, pelas contribuições atenciosas aos meus estudos na qualificação.

À Carolina Gusson e Paula Shinzato, pelos ensinamentos passados com paciência e plenitude no curso sobre o ENVI-met e por sempre serem solícitas, quando precisei do auxílio delas.

À professora Andrea e Carolina Gusson, por participarem da minha banca de defesa e colaborarem com seus ensinamentos e observações minuciosas.

À Daniela Werneck e Ivaniel Maia, por terem sido gentis e apresentarem disponibilidade para tirar minhas dúvidas e contribuir com a minha pesquisa.

Aos meus primos Willian e Vinicius, por me fazerem companhia nas medições noturnas.

Aos colegas, Daniela e Matheus, pelo compartilhamento de ideias, pelas palavras de ânimo e por serem apoio, principalmente durante a pandemia.

Aos membros do Laboratório de Planejamentos e Projetos (LPP), pelas trocas construtivas. Em especial, à Juliana, por ser solícita e gentil quanto aos meus questionamentos.

Aos meus amigos, por torcerem por mim e pelas palavras de encorajamento. Em especial à Lorraine, que me ajudou com o ArcGIS e com as traduções. E Gervaldo, Rogério e Isabela, por sempre me incentivarem e acreditarem na minha capacidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

RESUMO

O aumento acelerado do número de pessoas vivendo em cidades é preocupante, conforme os centros urbanos se desenvolvem, é perceptível a diminuição das áreas verdes, o crescimento das superfícies pavimentadas e do adensamento urbano. As mudanças ambientais, e especialmente o aumento previsto da temperatura global, fazem com que o fenômeno das ilhas de calor urbanas agrave os estresses térmicos, sendo os efeitos mais severos nas áreas urbanas, afetando principalmente o nível do usuário. A envoltória do edifício (vedações verticais, aberturas e cobertura) tem papel de destaque em relação à interferência ao meio externo. A utilização de superfícies refletivas na pele da edificação, pode causar alterações significativas nas condições ambientais do entorno, provocando superaquecimento do local, ofuscamento e até riscos à saúde do pedestre. Edificações com grandes áreas envidraçadas vêm se consolidando como um estilo internacional de arquitetura comercial adotado em vários países e seguindo este caminho, a utilização do vidro, principalmente o refletivo está crescendo em determinados bairros de Vitória/ES. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi analisar o efeito do uso de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais, no microclima urbano na cidade de Vitória/ES. A metodologia adotada foi dividida em quatro etapas: caracterização do objeto de estudo e as variáveis físicas e climáticas, medições microclimáticas, simulações computacionais e parâmetros de análise dos resultados. Sendo assim, foi definida a área para estudo e realizada a medição em campo. Após, ocorreu a calibração e simulação dos cenários no programa ENVI-met, sendo um modelo do local existente e os outros hipotéticos, estes diferenciando-se entre si no quantitativo de vidro refletivo nas fachadas e apenas um com a utilização de vidro incolor. Os resultados obtidos demonstraram que os fatores comparados entre os cenários hipotéticos: temperatura do ar, temperatura radiante média, Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice Climático Térmico Universal (UTCI) apresentaram uma tendência de aumento nos cenários com o uso de vidro refletivo, nos horários mais quentes do dia, mas as diferenças não foram significativas, estando os valores em uma faixa inferior a 1°C. Concluindo-se que há uma interferência do vidro refletivo no meio urbano, porém é mínima para o pedestre, quase inexistente no microclima estudado.

Palavras-chave: Vidro refletivo, Microclima urbano, ENVI-met, Edifícios comerciais.

ABSTRACT

The accelerated urban growth rate is alarming. As urban centers develop, it is noticeable the decrease in green areas while the increase of paved surfaces and built up density. Environmental changes, and especially the predicted increase in global temperature, make the phenomenon of urban heat islands aggravate thermal stresses, with the most severe effects in urban areas, mainly affecting the user level. The building envelope (vertical sealing, openings and roof) plays a prominent role in terms of interference with the external environment. The use of reflective surfaces on the skin of the building can severely affect the surroundings, causing overheating, glare and even risks to the health of the pedestrian. Buildings with large glass façade have been consolidating themselves as an international style of commercial architecture adopted in several countries and consequently, the use of glass, mainly the reflective type, is growing in certain neighborhoods of Vitória/ES. Thus, the objective of this research was to analyze the effect of using reflective glass on facades of commercial buildings, in the urban microclimate of the city of Vitória/ES. The methodology adopted was divided into four stages: characterization of the object of study and the physical and climatic variables, microclimatic measurements, computer simulations and parameters for analysis of the results. Therefore, the study area was defined and the field measurement was carried out. Then, the scenarios were calibrated and simulated in the ENVI-met software, one existing model and the others hypothetical, these differing from each other in the amount of reflective glass on the facades and only one with the use of colorless glass. The results show that the factors compared between the hypothetical scenarios: air temperature, mean radiant temperature, Physiological Equivalent Temperature (PET) and Universal Thermal Climate Index (UTCI) demonstrate an increasing trend in the scenarios with the use of reflective glass, at the hottest times of the day, but the differences were not significant, with values in a range below 1°C. This indicates that there is an interference of reflective glass in the urban environment, but it is minimal for the pedestrian in the studied microclimate.

Keywords: Reflective glass, Urban microclimate, ENVI-met, Commercial buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da área de abertura em fachadas nos edifícios comerciais brasileiros	26
Figura 2 - Localização de Vitória/ES	32
Figura 3 - Temperatura de superfície de Vitória originada da imagem do satélite Landsat-8 em 31/08/2017	35
Figura 4 - Temperatura de superfície de Vitória originada da imagem do satélite Landsat-8 em 02/02/2016	36
Figura 5 - Temperatura de superfície da Enseada do Suá (em destaque no retângulo preto) originada da ampliação da imagem de Vitória do satélite Landsat-8 em 02/02/2016	36
Figura 6 - Bairro Enseada do Suá, em destaque de vermelho	37
Figura 7 - Zoneamento de altura do PDU do bairro Enseada do Suá	38
Figura 8 - Mapa de zoneamento urbanístico e área selecionada para estudo	39
Figura 9 - Vista 3D do recorte urbano	40
Figura 10 - Cenário 02	44
Figura 11 - Cenário 03	44
Figura 12 - Cenário 04	45
Figura 13 - Cenário 05	45
Figura 14 - Equipamentos adotados na pesquisa (a) e materiais utilizados para a produção dos abrigos (b), (c), (d), (e) e (f)	47
Figura 15 - Abrigos (em destaque no retângulo vermelho) fixados no carro	47
Figura 16 - Localização da medição de campo em destaque amarelo	48
Figura 17 - Aferição dos aparelhos para coleta de dados	52
Figura 18 - Localização da estação automática A612–Vitória.....	53
Figura 19 - Tela de configuração de edição/criação da área no ENVI-met	56
Figura 20 - Seleção da imagem da planta baixa base através da aba <i>Digitize</i>	56
Figura 21 - Aba do <i>Model Inspector</i> apresentando erro	57
Figura 22 - Visualização em 3D da área de estudo com localização dos receptores.....	58
Figura 23 - Aba do <i>General Settings</i> com data, horário de início e duração da simulação	58
Figura 24 - Aba <i>Meteorology</i> com o <i>Simple Forcing</i> selecionado e as informações da estação automática inseridas hora a hora.....	59

Figura 25 - Continuação do <i>Simple Forcing</i> com as informações de vento, rugosidade e nuvens	60
Figura 26 - <i>Software</i> MetarReader com informações meteorológicas do dia 23/02/2022	60
Figura 27 - Modificação do intervalo de tempo dos receptores na aba <i>Output Section</i>	61
Figura 28 - Vidros usados nas simulações.....	62
Figura 29 - Bloco de concreto criado para a segunda simulação.....	64
Figura 30 - Vidros usados nas edificações sugeridas	70
Figura 31 - Interface do <i>Software</i> RayMan.....	72
Figura 32 - Pontos de avaliação dos índices de conforto térmico	73
Figura 33 - Velocidade e direção do vento no cenário 02 às 12h em planta (h=1,20m)	81
Figura 34 - Velocidade e direção do vento no cenário 02 às 12h em corte.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo de temperatura média – Estação Vitória	33
Gráfico 2 - Umidade relativa.....	33
Gráfico 3 - Ventos: Frequência de ocorrência e velocidades predominantes por direção	34
Gráfico 4 - Comparação de temperatura do ar entre os dados medidos, simulados e a estação meteorológica de referência	63
Gráfico 5 - Comparação de umidade do ar entre os dados medidos, simulados e a estação meteorológica de referência	63
Gráfico 6 - Comparação da temperatura do ar entre os dados medidos e simulados	66
Gráfico 7 - Comparação da umidade do ar entre os dados medidos e simulados	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades térmicas do vidro segundo a NBR 16023.....	27
Quadro 2 - Caracterização das edificações existentes no cenário.....	41
Quadro 3 - Índices de controle urbanístico - Zona de Ocupação Preferencial – ZOP 4	42
Quadro 4 - Características das edificações hipotéticas nos terrenos.....	43
Quadro 5 - Caracterização dos pontos de medição	48
Quadro 6 - Resumo das informações inseridas na ferramenta <i>ENVI-guide</i>	62
Quadro 7 - <i>Simple plants</i> e <i>3D plants</i> usadas como vegetação.....	64
Quadro 8 - Resumo das informações inseridas na ferramenta <i>ENVI-guide</i> do arquivo .SIMX escolhido para as simulações dos cenários 02, 03, 04 e 05.....	69
Quadro 9 - Distribuição da radiação direta (W/m^2) em cinco horários do dia	74
Quadro 10 - Cartas solares das fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste.....	75
Quadro 11 - Comparativo da temperatura do ar no horário de 12h (h=1,20m)	76
Quadro 12 - Comparativo da temperatura do ar no horário de 21h (h=1,20m)	78
Quadro 13 - Comparação da temperatura radiante média no horário de 11h e 14h (h=1,20m).....	79
Quadro 14 - Comparativo da umidade relativa do ar no horário de 12h (h=1,20m) ..	82
Quadro 15 - Dados de Tar, RH, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 01	83
Quadro 16 - Dados de Tar, RH, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 02.....	84
Quadro 17 - Dados de Tar, RH, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 03.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Correção da defasagem da temperatura no horário de 9h.....	54
Tabela 2 - Correção da defasagem da umidade no horário de 9h	54
Tabela 3 - Diferença entre a temperatura do ar medida e da estação automática A612.....	67
Tabela 4 - Diferença entre a umidade do ar medida e da estação automática A612	68
Tabela 5 - Intervalos de PET para Vitória	71
Tabela 6 - Escala de Avaliação UTCI.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
CA	Coeficiente de Aproveitamento
COMDUSA	Companhia de Melhoramentos e Desenvolvimento Urbano
GIS	Sistema De Informação Geográfica
ICU	Ilha de Calor Urbana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISB	<i>International Society of Biometeorology</i>
LPP	Laboratório de Planejamento e Projetos
PAF	Percentual de Abertura de Fachada
PDU	Plano Diretor Urbano
PET	Temperatura Equivalente Fisiológica
PVC	Policloreto de Vinila
r	Coeficiente de Correlação de Pearson
RH	Umidade Relativa
SCU	Sistema Clima Urbano
Tar	Temperatura do Ar
TEP	Temperatura Equivalente Percebida
TRM	Temperatura Radiante Média
UCI	<i>Urban Cool Island</i>
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
USGS	Serviço Geológico Americano
UTCI	Índice Climático Térmico Universal
Vv	Velocidade do Vento
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
ZOP	Zona de Ocupação Preferencial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2	ABORDAGEM TEÓRICA	20
2.1	CLIMA URBANO	20
2.1.1	Ilha de calor urbana	22
2.1.2	Ilha de resfriamento urbano	23
2.1.3	Materiais de superfícies urbanas	24
2.2	FACHADA DE VIDRO E REFLETIVIDADE	26
2.3	SIMULAÇÕES MICROCLIMÁTICAS E O PROGRAMA ENVI-MET	29
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E AS VARIÁVEIS FÍSICAS E CLIMÁTICAS	32
3.1.1	Delimitação do recorte urbano e definição dos cenários	38
3.2	MEDIÇÃO MICROCLIMÁTICA	46
3.3	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	55
3.3.1	Modelagem e configurações dos arquivos para simulações	55
3.3.2	Simulações de calibragem	61
3.3.3	Simulações dos cenários propostos	68
3.4	PARÂMETROS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	70
4	RESULTADOS	73
4.1	TEMPERATURA DO AR – TAR	76
4.2	TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA – TRM	79
4.3	ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	APÊNDICES	99
	ANEXOS	105

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização está acelerado, grandes áreas de superfícies naturais estão se transformando em ambientes artificiais construídos pelos homens e sob tais processos, a industrialização urbana se intensifica e as populações urbanas aumentam rapidamente (LI et al., 2022). O número de habitantes que viviam em cidades em 2018 era de 55%, ou seja, a maior parte da população mundial. Em 1950 esse quantitativo era inferior, cerca de 30%, sendo a maior parte rural. Entretanto em 2050 a previsão é de que 68% da população mundial viva nas cidades (UNITED...2019).

Conforme as cidades se desenvolvem, é perceptível a diminuição das áreas verdes, o aumento das superfícies pavimentadas, bem como o aumento do adensamento urbano. A mudança na cobertura do solo resulta em menos sombra e umidade para manter as áreas urbanas frescas. Somado a isso tem-se as propriedades dos materiais urbanos que influenciam no desenvolvimento de ilhas de calor, interferindo na reflexão da radiação solar emitida e absorvida (U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008).

De acordo com Alvarez e Bragança (2018), embora no contexto mundial as ilhas de calor sejam uma preocupação fundamental, especialmente quando se trata de impactos resultantes das mudanças climáticas, é importante atentar-se ao nível do usuário, principalmente em regiões de clima quente e úmido, cujo aumento de temperatura pode significar a perda do uso dos ambientes externos por sua condição inóspita.

A envoltória do edifício (vedações verticais, aberturas e cobertura) tem papel de destaque em relação à interferência ao meio externo. A utilização de superfícies refletivas na pele da edificação, pode causar alterações significativas nas condições ambientais do entorno, provocando superaquecimento do local, ofuscamento e até riscos à saúde do pedestre (YANG; GROBE; STEPHEN, 2013). Mehaoued e Lartigue (2019) afirmam que as fachadas de vidro refletivos são usadas para reduzir a radiação solar no interior do edifício, mas em climas quentes, o calor originado da radiação solar tende a aumentar notavelmente a temperatura do ar ao redor da edificação e conseqüentemente, a carga para resfriamento objetivando o conforto do ambiente, torna-se ainda maior. Maioli e Barros (2019) apontam diferença de mais de 12°C de

temperatura superficial entre elementos urbanos provocada pela influência da reflexão de uma edificação com fachada de vidro refletivo.

Edificações com grandes áreas envidraçadas vêm se consolidando como um estilo internacional de arquitetura não residencial, adotado nos mais diversos países (ANDREIS; BESEN; WESTPHAL, 2014). Num país como o Brasil em que boa parte do território tem climas com elevadas temperaturas e uma grande incidência solar, o calor é uma questão que requer atenção de arquitetos e paisagistas, podendo ser caracterizado como um problema para um material como o vidro, que possui deficiências quanto às questões térmicas (OLIVEIRA, 2016). Aburas et al. (2021), confirmam que as janelas são um ponto fraco do isolamento térmico de um edifício, constituindo um maior consumo de energia para controlar a temperatura interna. Portanto, melhorar o desempenho das unidades envidraçadas atrai cada vez mais atenção na área de tecnologia de economia de energia em edifícios (LIU et al., 2018). No entanto, é perceptível que estes estudos preocupam-se, em sua maioria, com a entrada de calor e luminosidade na edificação e não com os danos aos usuários das ruas do entorno.

A cidade de Vitória-ES, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) encontra-se na Zona Bioclimática 08, a qual aponta a necessidade da adoção de estratégias de condicionamento térmico para auxiliar no conforto ambiental. Uma medida a ser tomada para gerar tal efeito, conforme a norma citada, é a de proporcionar ventilação cruzada juntamente com grandes aberturas sombreadas.

Contudo, a cultura de ambiente climatizado artificialmente vinculada à imagem de edifícios de escritórios com cortinas de vidro, vistos como símbolo de poder, impedem o adequado uso das aberturas e materiais que proporcionam uma maior ventilação interna e conforto térmico nos ambientes comerciais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). De acordo com Gonçalves (2015) a prática norte-americana na produção da arquitetura comercial, iniciada na década de 1960, influenciou escritórios brasileiros quanto ao método de projeto considerando o clima, criando uma ideia de que seria inviável o uso da ventilação natural em edifícios comerciais.

Por meio do estudo realizado por Maioli et al. (2016) foi possível constatar que após a virada do século XXI aproximadamente 73% das edificações construídas na cidade

de Vitória/ES continha o vidro refletivo em suas esquadrias. Dentre eles, nenhuma obra analisada dispunha de proteção solar externa.

Desta forma, a pergunta que esta pesquisa estabelece é: Qual a influência do uso da fachada de vidro refletivo no microclima urbano na cidade de Vitória/ES?

Ao considerar o aumento contínuo do uso de vidro refletivo nas fachadas das edificações comerciais na cidade de Vitória, e a taxa de radiação solar refletida pela superfície desse material, é possível inferir a hipótese de que o vidro refletivo influencia no aquecimento do microclima da região em que está inserido.

Dado que a materialidade e as características espaciais do ambiente construído influenciam o microclima urbano, estratégias relacionadas ao desenho urbano devem ser implementadas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e das ilhas de calor urbanas (VASSILIADES; SAVVIDES; BUONOMANO, 2022). Para Li et al. (2022) a pesquisa sobre microclimas urbanos na atualidade, concentra-se principalmente na simulação numérica, no impacto do consumo de energia do edifício e nas medidas de melhoria do microclima.

No âmbito da importância de ampliar as pesquisas sobre o ambiente atmosférico, a fim de entender melhor como o microclima urbano pode ser influenciado por agentes construídos e considerando o agravamento das modificações no clima e a exposição humana ao desconforto térmico, este estudo justifica-se ao analisar o desempenho do vidro refletivo no entorno urbano, junto às simulações computacionais.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo geral:

A pesquisa teve como objetivo principal analisar o efeito do uso de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais, no microclima urbano na cidade de Vitória/ES.

Objetivos específicos:

- Definir critérios para a elaboração dos modelos de análise;
- Analisar as principais variáveis que interferem nos índices de conforto térmico para o ambiente externo nos modelos no meio urbano;

- Verificar a usabilidade aceitável do vidro refletivo na edificação.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi organizada em cinco capítulos, em sequência a este capítulo introdutório:

No capítulo 2 foi apresentada a abordagem teórica, e os itens clima urbano, fachada de vidro e refletividade, simulações microclimáticas e o programa ENVI-met.

No capítulo 3 foram descritos os procedimentos metodológicos escolhidos para alcançar os objetivos: caracterização do objeto de estudo e as variáveis físicas e climáticas, medição microclimática, simulações computacionais e parâmetros de análise dos resultados.

No capítulo 4 os resultados das simulações foram apresentados, baseados nas escolhas das variáveis de análise escolhidas.

No capítulo 5 apresentou-se as considerações finais sobre a pesquisa, suas limitações, avaliação dos objetivos alcançados e sugestões para trabalhos futuros.

2 ABORDAGEM TEÓRICA

O desenvolvimento da fundamentação teórica foi elaborado a partir de revisões de bibliografias que abordam os conteúdos relacionados ao tema central desta pesquisa: clima urbano; fachada de vidro e refletividade; e simulações microclimáticas.

2.1 CLIMA URBANO

As primeiras pesquisas realizadas sobre clima urbano datam do século XIX, em Londres, quando Luke Howard percebeu o excesso de calor na cidade em comparação com o campo e atribuiu essa condição à maior absorção da radiação solar pelo conjunto de superfícies da cidade e à falta de umidade disponível para evaporação (GARTLAND, 2010).

No Brasil, em um estudo pioneiro na década de 70, Monteiro (2015, p.19) definiu o Sistema Clima Urbano (SCU): “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”, determinando-o como um sistema aberto que admite uma visão sistêmica e contando com três canais de percepção: conforto térmico, qualidade do ar e impacto meteórico. No primeiro canal, são abordados os componentes termodinâmicos do clima de maneira integrada e se desenvolve a partir da coparticipação natureza-homem. No segundo, são discutidos a condição do ar no ambiente urbano e os aspectos físico-químicos do SCU. No terceiro e último canal, são abordados fenômenos (tempestades, furacões e outros) que são capazes de perturbar e desorganizar a cidade, comprometendo sua integridade física e social.

Também no Brasil, Romero (2015) explorou a relação entre a geometria urbana e a radiação solar na temperatura do ar. No domínio do planejamento urbano, descreveu os elementos climáticos que são manipulados pela urbanização: o vento, as áreas verdes, o som, a água, os pavimentos nos espaços públicos e o mobiliário urbano. Destacou que as edificações compõem as principais rugosidades da cidade e que as condições do vento, dentre todos os elementos climáticos, são as mais alteradas pela urbanização.

Assis (2007) ressaltou que o processo de urbanização causa danos no ambiente natural e construído e que, principalmente em cidades tropicais, a mudança climática

local pode favorecer a ocorrência de estresse bioclimático, danificando os edifícios e afetando a saúde humana.

Segundo Romero (2013) os elementos climáticos: temperatura, umidade do ar, precipitações e movimento do ar representam os valores relativos de cada clima. Já os fatores climáticos são divididos quanto à sua atuação na escala do clima. Os fatores climáticos globais originam o macroclima, sendo eles: radiação solar, latitude, altitude, ventos, massas de água e terra, e os fatores locais definem o microclima: topografia, vegetação e superfície do solo (natural ou construído).

Para Corbella e Yannas (2003) o microclima formado dentro da cidade recebe influência das formas e densidade urbana, do albedo (a propriedade de reflexão da radiação solar dos materiais) das superfícies, das propriedades térmicas dos materiais, da geometria das ruas tipo cânions, da presença de água e das massas de vegetação. No livro *Urban Microclimate* de Erell, Pearlmutter e Williamson (2011) citado por Gusson (2020), o microclima urbano é considerado como uma questão arquitetônica, pois o desenho das cidades podem ter impactos nas cargas térmicas dos edifícios e no conforto térmico em espaços abertos.

De acordo com Li et al. (2022) desde o início do século XXI, as pesquisas relacionadas a microclima urbano vêm aumentando, os resultados da literatura têm atraído a atenção dos departamentos de planejamento urbano, gestão e meio ambiente, que são uma importante referência para a prática de gestão e planejamento das cidades. Segundo os autores, a simulação numérica, o impacto do consumo de energia dos edifícios e as medidas de melhoria do microclima são os principais tópicos de pesquisa sobre o microclima urbano.

Este trabalho contemplou o estudo da microescala urbana, abrangendo especificamente a temática de fachadas envidraçadas refletivas. Por isso, é pertinente a explicação de alguns dos fenômenos que ocorrem nessa escala como a ilha de calor urbana de superfície e a ilha de resfriamento urbano, além do entendimento sobre materiais de superfícies urbanas.

2.1.1 Ilha de calor urbana

A Ilha de Calor Urbana (ICU) é definida como o aumento da temperatura do ar nas áreas urbanas em comparação com as áreas rurais localizadas em seus arredores (OKE, 1973). De acordo com Gartland (2010) as ilhas de calor ocorrem em áreas urbanas porque materiais de construções retêm mais radiação solar do que materiais naturais em zonas rurais, existindo dois motivos para esse aquecimento. O primeiro é porque não há umidade disponível para dissipar o calor, pois a maior parte dos materiais de construção é impermeável e estanque. O segundo é que materiais escuros de edificações e pavimentos junto às configurações tipo cânion, absorvem e armazenam mais energia solar. Adicionado a isso contribuem para a formação da ilha de calor: o calor antropogênico, menores velocidades do vento e poluição do ar.

Gusson (2020) ao citar Oke et al. (2017), destacou que mais recentemente a ilha de calor urbana foi dividida em quatro subtipos: ilha de calor urbana do subsolo, ilha de calor urbana de superfície, ilha de calor do dossel urbano e ilha de calor da camada limite. Cada tipo equivale a uma escala e causas diferentes, sendo que a ilha de calor urbana de superfície é a única que atinge a microescala. Desta forma, torna-se complexo o estudo das causas e formas de controlar esse conjunto de fenômenos que são as ilhas de calor urbanas.

A medição e monitoramento das ilhas de calor urbanas são realizados por meio de cinco métodos básicos, sendo eles: estações fixas, transectos móveis, sensoriamento remoto, sensoriamento vertical e balanços de energia (GARTLAND, 2010).

Para esse estudo foi escolhida a técnica de sensoriamento remoto que, de acordo com Werneck (2018), pode ser empregada em metodologias aplicadas às pesquisas de clima urbano, principalmente para ilhas de calor urbana de superfície. Segundo a mesma autora, os sensores Ikonos, Modis, Aster e a série Landsat estão entre os mais utilizados em trabalhos científicos.

Para Coelho, Ramos e Bergamaschi (2015) as informações obtidas por meio das técnicas de sensoriamento remoto e de itens gratuitos do satélite Landsat-8 colaboram no reconhecimento, na espacialização e no entendimento da dinâmica climática operante de microclimas, além de possibilitar a identificação espacial e temporal da expansão urbana.

Todo sensor que observa a Terra mede a radiância, ou seja, a intensidade do fluxo radiante proveniente da sua superfície, que é usualmente denominada radiância aparente por incluir influência da atmosfera e de objetos vizinhos, sendo convertida em números digitais no próprio sensor, escalonados em diferentes amplitudes (SANTOS et al., 2014).

Para o processamento das imagens, observa-se o uso de produtos de um ou mais satélites associados às ferramentas computacionais, como o Sistema de Informação Geográfica (GIS), visto que os sensores termais orbitais realizam uma medida indireta da ilha de calor de superfície, o que exige uma correção das propriedades da superfície radiativa que influenciam a emissão e reflexão da radiação de comprimentos de ondas espectrais detectadas pelo sensor (VOOGT; OKE, 2003).

De acordo com Werneck (2018) a maior parte dos sensores orbitais não fazem imagens à noite, o que representa uma restrição para os estudos de ilhas de calor urbanas, já que estas são mais proeminentes neste horário.

No entanto, para Gartland (2010) foi de grande utilidade a medição dos efeitos de uma ilha de calor sobre um clima regional, porém não é uma evidência da efetividade das medidas de mitigação para reduzir os impactos da ilha de calor, tendo portanto a necessidade do uso de simulação.

2.1.2 Ilha de resfriamento urbano

O fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU) tem sido extensivamente estudado nas últimas décadas, e há menos relatos sobre o fenômeno da Ilha de Resfriamento Urbano (UCI – *Urban Cool Island*), ou seja, onde a temperatura do ar da área rural circundante é mais quente do que a da área urbana (YANG et al., 2017). De acordo com Gusson (2020), um dos motivos pode ser porque as ilhas de resfriamento diurno são mais fracas do que as ilhas de calor noturno e podem ainda ser camufladas pelo calor antropogênico liberado (por exemplo: sistemas de ar condicionados). Segundo a mesma autora, é complexo obter leituras de temperatura precisas durante o dia, pois a exposição à luz do sol entre diferentes locais pode produzir erro de medição.

Há muitos anos Oke (1982) observou que a existência de uma “ilha fria” no meio do dia em áreas mais verticalizadas dos centros urbanos, provavelmente ocorre, entre outros fatores, devido a associação dos efeitos de sombreamento do cânion e da maior admitância térmica dos materiais de superfície.

Para os autores Erell, Pearlmutter e Williamson (2011) citados por Gusson (2020) há três fatores que influenciam a intensidade da UCI:

- **Latitude geográfica:** as ilhas de resfriamento urbanas diurnas podem ter maior perspectiva de acontecer em locais de alta latitude do que em trópicos, visto que, a intercepção dos raios solares pelos edifícios depende da orientação, da relação altura/largura do cânion e da posição solar relativa. Até cânions rasos podem ser sombreados por edifícios vizinhos se a altitude solar for baixa.
- **Geometria e características das superfícies dos cânions:** a geometria urbana tem efeito nas trocas de radiação e no aprisionamento de energia. Os raios solares são absorvidos por uma área de superfície maior nos cânions, em comparação com os locais planos abertos. No entanto, em apenas alguns horários do dia é que as faces individuais nos cânions são expostas a radiação solar. O que resulta em redução da insolação por unidade de área de cada superfície do cânion, especialmente se o cânion for profundo em relação à sua largura.
- **Armazenamento de calor:** a massa térmica tem um papel dominante com o intervalo de tempo observado entre o pico da carga radiante, por volta de meio dia, e a intensidade máxima da ilha de resfriamento urbano que ocorre duas a três horas depois. Dependendo da inércia e da capacidade térmica dos materiais dos edifícios e também da circulação do ar, a energia absorvida pode ser reirradiada ou transferida por convecção para o meio urbano no período da noite, intensificando a ilha de calor noturna.

2.1.3 Materiais de superfícies urbanas

De acordo com Santamouris e Yun (2020) os materiais utilizados na envoltória dos edifícios ou no tecido urbano, determinam em grande medida o equilíbrio térmico das cidades. Os materiais absorventes exibem uma alta temperatura superficial e uma alta

liberação de calor sensível para a atmosfera, aumentando a temperatura ambiente urbana. Por outro lado, materiais de cores claras apresentando alta refletância da radiação solar são utilizados em cidades para compensar o superaquecimento urbano. O recente desenvolvimento de materiais refletores para telhados e pavimentos contribuiu muito para aumentar o albedo das cidades e diminuir o pico de temperatura ambiente urbana.

Erell et al. (2014) confirmam que o uso extensivo de materiais de alto albedo tem sido defendido como um meio de mitigar a ilha de calor urbana, especialmente em cidades de clima quente. As suposições implícitas desta estratégia são que, ao diminuir a temperatura do ar na camada de cobertura, as cidades irão desfrutar de cargas reduzidas de ar condicionado em edifícios e maior conforto térmico para pedestres em espaços urbanos ao ar livre. No entanto, embora o uso de materiais de alto albedo nas superfícies do desfiladeiro possa reduzir a temperatura do ar, a redução não é suficiente para compensar o aumento das cargas radiantes. Como resultado, o conforto térmico do pedestre pode ser comprometido.

É válido ainda complementar que, apesar da medição da temperatura do ar em áreas urbanas ser relativamente simples e poder ser sistematicamente implementada como uma ferramenta de avaliação do clima urbano, as evidências existentes deixam claro que a temperatura do ar não descreve completamente a intensidade do estresse térmico diurno nas ruas durante a estação quente (ALEKSANDROWICZ; PEARLMUTTER, 2023).

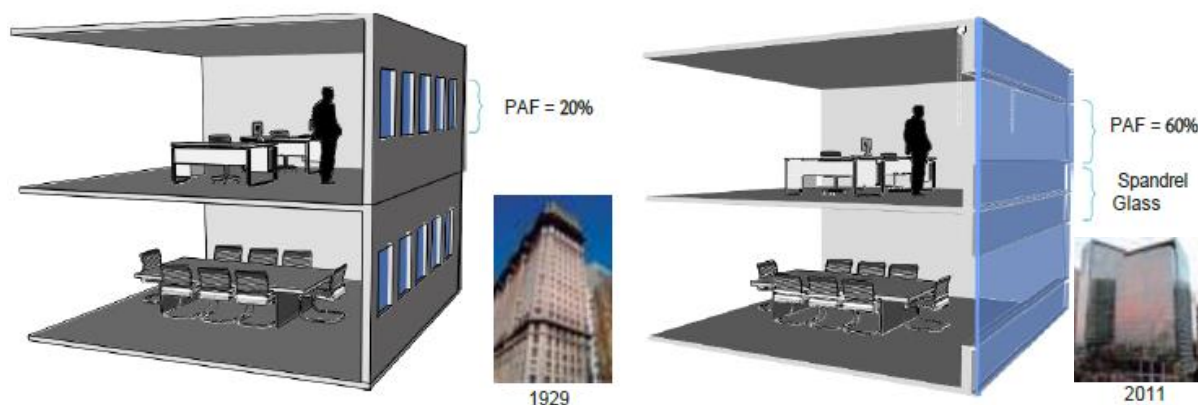
Segundo Johansson (2006), o interesse pelo microclima em torno de edifícios em áreas urbanas aumentou porque afeta, entre outras coisas, o conforto térmico externo e interno, o uso de energia para aquecimento e resfriamento e a dispersão da poluição do ar. Além disso, destacou que por conta da forma urbana e as propriedades dos materiais de superfície ter forte influência no microclima ao redor dos edifícios, o desenho urbano é uma área promissora para melhorar o conforto térmico dos ambientes externos.

2.2 FACHADA DE VIDRO E REFLETIVIDADE

Em inúmeros países, inclusive no Brasil, é crescente o uso de edificações com grandes áreas envidraçadas, que vêm se consolidando como um estilo internacional de arquitetura não residencial. No entanto, o desempenho térmico e energético destas edificações nas condições bioclimáticas brasileiras tem sido amplamente questionado (ANDREIS; BESEN; WESTPHAL, 2014). Além de ser um atrativo estético valorizado por investidores e projetistas, as principais justificativas para optar-se por fachadas envidraçadas, são: transparência e possibilidade de integração visual com o exterior, bem como admissão de luz natural no interior (SHAMERI et al., 2011). Para Jucá, Zanon e Oliveira (2022), o vidro ainda auxilia no conforto acústico do ambiente interno e garante a estanqueidade, interferindo também na segurança do usuário. Em Vitória/ES, o fechamento com o vidro tornou-se uma importante barreira para que o pó de minério originado de empresas que atuam na localidade, não penetrem no interior dos edifícios.

De acordo com Westphal (2016) há alguns anos os edifícios construídos no Brasil tinham baixo Percentual de Abertura de Fachada (PAF), o que fazia com que o ganho de calor por radiação solar por meio das janelas fosse baixo. O autor completa que, em consequência disto havia um aproveitamento limitado da luz natural, além da pouca integração visual entre ambiente interno e externo. Mais recentemente, com a evolução dos sistemas construtivos e disponibilidade de produtos de alto desempenho no mercado nacional, a execução de edifícios com revestimentos em pele de vidro se tornou possível (Figura 1).

Figura 1 - Evolução da área de abertura em fachadas nos edifícios comerciais brasileiros



Fonte: Westphal (2016).

Uma das soluções arquitetônicas encontradas para minimizar os ganhos de calor interno por meio da envoltória e sem o uso de elementos sombreadores foi a utilização de revestimentos refletivos. Contudo, essas edificações passaram a interferir no conforto térmico e visual ao refletirem um brilho excessivo para o ambiente externo ao edifício (SUK; SCHILER; KENSEK, 2017).

O vidro refletivo ou espelhado, como é popularmente conhecido, é na verdade o vidro de controle solar. Este vidro possui um tratamento superficial por meio de um revestimento metálico, imperceptível a olho nu, que dá um aspecto mais refletivo ou mais escurecido ao vidro. Os vidros de controle solar possibilitam a redução do ganho de calor da radiação solar enquanto permitem o acesso visual ao exterior, além de alcançarem índices elevados de transmissão luminosa. Por proporcionarem mais passagem de luz do que calor e desta forma, selecionarem parte da radiação solar incidente, são também chamados de “seletivos” (WESTPHAL, 2016).

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que trata das características e métodos de ensaio para garantia da qualidade dos vidros de controle solar é a NBR 16023 (Vidros revestidos para controle solar – Requisitos, classificação e métodos de ensaio). A norma também define as propriedades térmicas dos vidros de controle solar, importantes para analisar o desempenho térmico, principalmente em relação à radiação solar incidente (Quadro 1).

Quadro 1 - Propriedades térmicas do vidro segundo a NBR 16023

Transmissão ultravioleta (Tuv)	Fração do componente UV incidente da radiação solar transmitida através do vidro.
Absorção energética (Abs)	Fração da radiação solar incidente absorvida pelo vidro.
Transmissão de Energia (TE)	Fração de energia solar incidente transmitida diretamente pelo vidro.
Reflexão de Energia externa (REe)	Fração da radiação solar incidente refletida diretamente para o lado externo.
Reflexão de Energia interna (REi)	Fração da radiação solar incidente, absorvida pelo vidro e transmitida para o lado interno.
Coefficiente de Transmissão Térmica (ou coeficiente U)	Quantidade de calor que passa por uma unidade de tempo, em regime estacionário, através de uma superfície de vidro, para cada grau de diferença de temperatura entre o interior e o exterior.
Emissividade (ϵ)	Razão entre a radiação emitida por uma superfície e a radiação emitida por um corpo negro (material de referência produzido em laboratório que possui emissividade de 100%) à mesma temperatura. É a capacidade do vidro de emitir calor na forma de radiação infravermelha.
Fator Solar (FS)	Soma do calor da atmosfera por transmissão solar direta, mais a transmissão indireta dos corpos aquecidos pelo sol. Em outras palavras, o Fator Solar representa o total de calor da radiação solar que passa pelo vidro, ou seja, é a soma da radiação transmitida diretamente com a radiação absorvida pelo vidro e emitida para o ambiente interno.

Fonte: Westphal (2016).

É válido ressaltar que a refletividade do envelope do edifício afeta fortemente o consumo de energia dos edifícios e o fluxo de calor liberado dos mesmos para a atmosfera. Além disso, o efeito secundário da radiação solar refletida que contém maior quantidade de radiação infravermelha próxima no solo não pode ser ignorado em termos de ambiente externo e ilhas de calor urbanas (ICHINOSE; INOUE; NAGAHAMA, 2017).

Para Yang, Grobe e Stephen (2013) a utilização de superfícies refletivas na pele da edificação, pode causar alterações significativas nas condições ambientais do entorno, provocando superaquecimento do local, ofuscamento e até riscos à saúde do pedestre.

As medições reais efetuadas por Ichinose, Inoue e Nagahama (2017) em um ambiente radiante localizado nas ruas do centro de Tóquio indicaram que fachadas de edifícios altamente refletivas, têm efeitos adversos no ambiente térmico das ruas ao redor do edifício. Eles constataram, no período em que o sol incide diretamente nas fachadas, que devido a proteção térmica da fachada do edifício, a irradiância solar nos comprimentos de onda infravermelha próxima para o espaço externo aumenta em comparação a um vidro de alta transmissão.

Na Argélia, local de clima quente, Mehaoued e Lartigue (2019) modelaram pelo programa ENVI-met o microclima ao redor de um edifício com fachadas refletivas. Os autores constataram que, mesmo o uso de vidros refletivos sendo utilizados para diminuir a entrada de radiação solar na edificação, eles tendem a aumentar a temperatura do ar ao redor e, conseqüentemente, a carga de resfriamento do edifício.

Na cidade de Vitória/ES, que também possui temperaturas elevadas, Maioli e Barros (2019), descobriram por meio de instrumentos de medição, uma diferença de mais de 12°C de temperatura superficial entre elementos urbanos com e sem influência da reflexão de uma edificação com fachada de vidro refletivo.

Em São Paulo, Gusson, Simon e Duarte (2020) verificaram que a geometria e o comportamento térmico dos componentes do edifício e os acabamentos de superfície alteram o microclima local e, portanto, têm o potencial de mitigar o aquecimento urbano em microescala e melhorar condições de conforto térmico dos pedestres. Entre os materiais analisados, o vidro refletivo obteve o segundo lugar entre os

resultados mais elevados no horário de 12h para Temperatura Radiante Média (TRM) e Temperatura Equivalente Percebida (TEP).

2.3 SIMULAÇÕES MICROCLIMÁTICAS E O PROGRAMA ENVI-MET

Por meio de um modelo numérico é possível compreender uma representação da realidade de forma sintetizada e simplificada. Tanto para modelagem natural como antrópica, os modelos computacionais e numéricos são indispensáveis para o estudo do espaço (SCHMITZ, 2014).

Yang, Qian e Lau (2013) justificam a grande utilização das simulações numéricas, por ser uma técnica adequada para lidar com as complexidades e não linearidade do sistema climático urbano. Contudo, para Hernandez (2015) as ferramentas de simulação demonstram certa incerteza em relação a realidade, já que possuem a função da tradução do comportamento de um fenômeno, sendo o modelo criado, uma representação desse fenômeno a ser analisado. Por isso, os resultados oriundos das simulações devem ser checados, isto é, o modelo deve ser calibrado, a fim de garantir que as análises com base nos resultados sejam confiáveis.

No campo da climatologia são especialmente conhecidos os modelos meteorológicos de mesoescala ou larga escala (escala sinótica), por vezes, diretamente ligados ao clima global (LEAL, 2018). Mas, para simular os efeitos locais, são necessários esquemas de interações em microescala, especiais para as típicas características urbanas (BRUSE; FLEER, 1998).

Em pesquisas voltadas para análises em microescala, em que se busca identificar a interação entre clima local e a dimensão urbana, tem se destacado o uso do modelo numérico tridimensional ENVI-met (FRANCISCO 2012; SCHMITZ, 2014; DUARTE, 2015; WERNECK, 2018). Yang et al. (2019) afirmam que o programa é o mais utilizado no estudo dos efeitos da vegetação no microclima urbano. Kamel (2021), Jänicke, Milošević e Manavvi (2021) defendem que o ENVI-met é um dos maiores softwares usados para investigar e analisar o tecido urbano. Para Brozovsky et al. (2021) é uma ferramenta usada frequentemente para avaliar o conforto térmico em espaços ao ar livre.

O ENVI-met foi desenvolvido por Michael Bruse e equipe, do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz - Alemanha, em 1994, com o intuito de analisar a paisagem urbana microclimática a partir de uma modelagem tridimensional. É baseado nas leis da termodinâmica e dinâmica dos fluidos e promove simulações das interações entre o edifício isolado, superfícies e vegetação abrangendo:

- Fluxos de radiação de ondas curtas e longas considerando sombreamento, reflexões múltiplas e radiação de retorno de superfícies, edifícios e vegetação;
- Cálculo dinâmico das superfícies e temperaturas da parede para cada elemento de fachada e cobertura com até três camadas de material e sete pontos de cálculo na parede;
- Simulação de troca de água e calor dentro do sistema do solo – também em relação ao abastecimento de água das plantas;
- Dispersão de gases e partículas, considerando as partículas (incluindo sedimentação e deposição em folhas e superfícies), bem como gases inertes e reativos do ciclo de reação do ozônio NO-NO₂;
- Determinação da evapotranspiração e fluxos de calor sensível de e para a planta, incluindo simulação completa de todos os parâmetros físicos da planta (por exemplo, taxa fotossintética);
- Consideração da fachada e cobertura verde em relação a todos os fluxos de energia;
- Representação tridimensional de árvores usando modelos de esqueletos para simular cargas e deformações biomecânicas devido às forças do vento;
- Determinação de várias métricas biometeorológicas como Temperatura Radiante Média (TRM), Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice Climático Térmico Universal (UTCI).

Há várias versões do programa ENVI-met, a gratuita ENVI-met Lite, para estudantes ENVI-met Student, para a universidade ENVI-met Science, para o setor público ENVI-met City e para arquitetos e paisagistas ENVI-met Business. Dentre as características restringidas na versão gratuita estão, por exemplo, a dimensão da área a ser modelada e simulada, a redução do fornecimento de dados de saída para a realização das análises e a não possibilidade de utilização de processamento computacional paralelo (ENVI-met, 2022).

Desde a sua versão inicial, o ENVI-met tem sido utilizado por muitos pesquisadores nos mais diversificados estudos relacionados ao tema (YANG; QIAN; LAU, 2013). Basicamente, pode ser dividido em quatro campos de ação: 1. Cidades e saúde, 2. Sol e vento, 3. Edifícios e clima e 4. Árvores e vegetação. Portanto, é possível encontrar pesquisas nas quais sua aplicação é destinada a avaliação dos efeitos de diferentes conformações de edificados no microclima ou no conforto térmico urbano (FRANCISCO, 2012; GUSSON, 2014; SCHMITZ, 2014; WERNECK, 2018; LEAL, 2018), assim como aquelas voltados para os efeitos da vegetação no clima local (FRANCISCO, 2012; ASSIS; SIRQUEIRA; BAMBERG, 2013; SCHMITZ, 2014; NEVES, 2017; XAVIER, 2017; WERNECK, 2018). Além de muitos outros estudos, também observa-se sua aplicação na investigação de superfícies refletivas (MEHAOUED; LARTIGUE, 2019; FABBRI et al., 2020; GUSSON, 2020; SALVATI et al., 2022). Logo, o ENVI-met é usado mundialmente para análise ambiental e planejamento urbano - desde os trópicos até as regiões polares.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

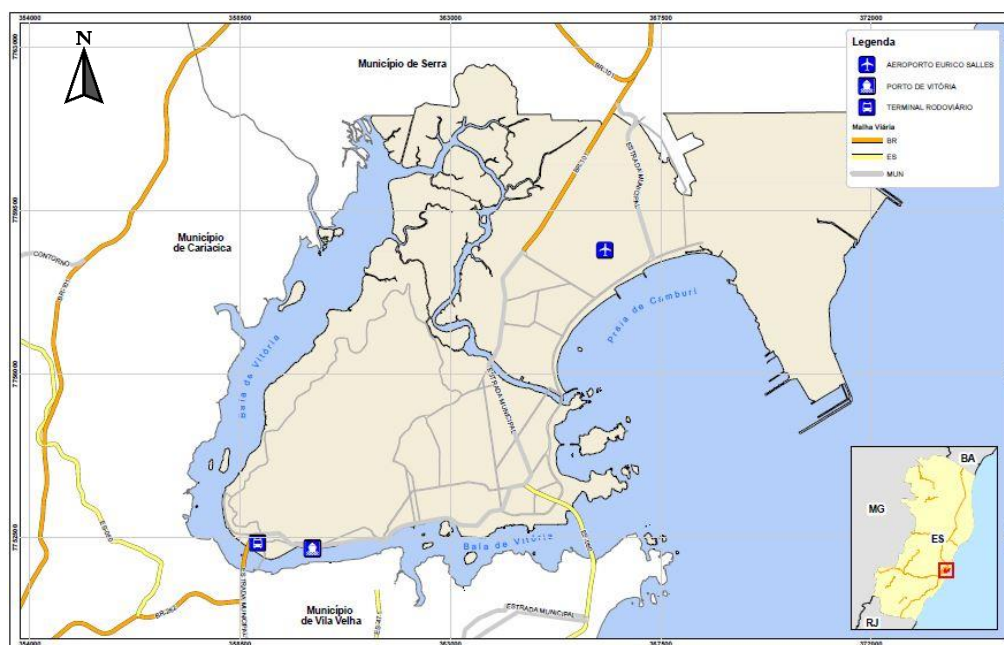
O procedimento metodológico consistiu nas seguintes etapas:

1. Caracterização do objeto de estudo e as variáveis físicas e climáticas;
2. Medições microclimáticas;
3. Simulações computacionais; e
4. Parâmetros de análise dos resultados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E AS VARIÁVEIS FÍSICAS E CLIMÁTICAS

Vitória está situada na região Sudeste do país, localiza-se a 20°10'09" de latitude Sul e 40°20'50" de longitude Oeste de Greenwich (Figura 2).

Figura 2 - Localização de Vitória/ES

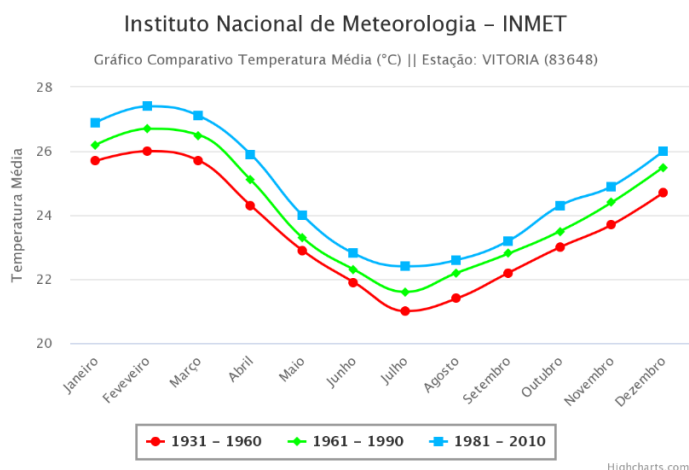


Fonte: Prefeitura Municipal de Vitória (2020).

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima de Vitória é classificado como Aw, isto é, clima tropical com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm (CLIMATE-DATA.ORG, s.d.; EMBRAPA, s.d.).

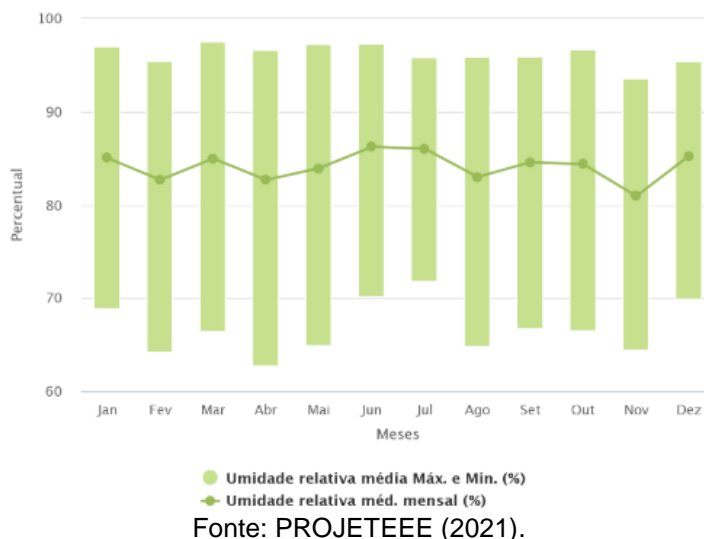
A temperatura média de Vitória vai de 26,7°C em fevereiro a 21,6°C em julho, tendo máximas de 31,6°C e mínimas de 18,8°C nos mesmos meses (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2021). O Gráfico 1 mostra um comparativo de temperatura média mensal do período de 1931 a 2010, em que é possível analisar o aumento dos valores das temperaturas ao passar dos anos.

Gráfico 1 - Comparativo de temperatura média – Estação Vitória



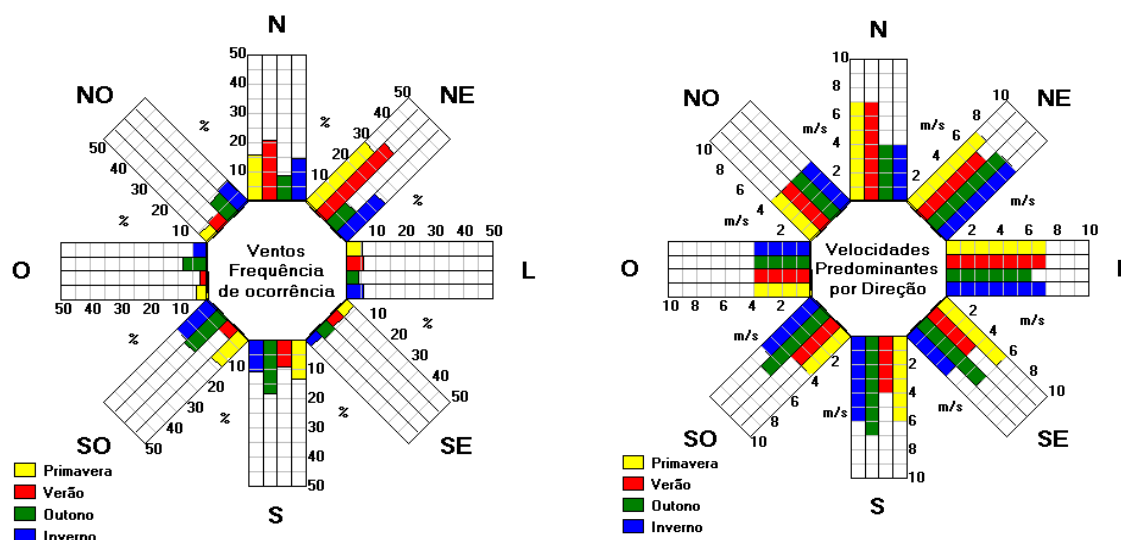
A umidade relativa, que é associada à temperatura para definir a sensação térmica, possui uma média superior a 80% em todos os meses do ano (Gráfico 2). Em locais com umidade alta há desconforto térmico com sensação de abafamento, dificuldade de evaporação do suor e redução da temperatura corporal, além disso, essas regiões possuem baixa amplitude térmica, fazendo com que o calor se mantenha durante as noites (PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES - PROJETEEE, 2021).

Gráfico 2 - Umidade relativa



Vitória está sob a influência, principalmente, dos ventos Nordeste e Norte, sendo a maior parte predominante nas estações do Verão e Primavera. A velocidade que predomina na direção Nordeste no verão é de 6m/s (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Ventos: Frequência de ocorrência e velocidades predominantes por direção



Fonte: Analysis Sol-Ar 6.2 (2022).

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013) Vitória localiza-se na Zona Bioclimática 8, em que as recomendações construtivas são para aberturas grandes e totalmente sombreadas, o uso de paredes e coberturas leves e refletoras, observando a transmitância e capacidade térmica dos materiais que compõem o sistema de vedação. A estratégia bioclimática recomendada é o uso de ventilação cruzada o ano todo, ressaltando ainda que apenas o condicionamento passivo não será suficiente durante as horas mais quentes.

Para estabelecer a área de estudo dentro da cidade de Vitória, foi necessário identificar as áreas com altos índices de temperaturas que poderiam ocasionar ilhas de calor de superfície, bem como a presença de edificações de uso comercial. Diante desses dois critérios foi construído o mapa de temperatura superficial da cidade. Os procedimentos adotados para a produção desse mapa foram os apresentados por Coelho e Correa (2013); Coelho, Ramos e Bergamaschi (2015); e Werneck (2018).

Para a obtenção do mapa, considerou-se o relatório apresentado no site *WeatherSpark.com*, que mostra as condições meteorológicas características da cidade de Vitória, com base em uma análise estatística de 1º de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016. Após, foram pesquisadas as imagens dos últimos 10 anos e selecionadas as imagens dos dias 31/08/2017 e 02/02/2016, com 3,12% e 9,09% de

índice de nebulosidade, respectivamente, ambas no horário central de 12:38h GMT – equivalente às 09:38h do horário de Brasília. As imagens do satélite Landsat-8 são disponibilizadas gratuitamente via internet, pelo Serviço Geológico Americano (USGS). Para a seleção destes dois dias para a análise, considerou-se o mês e o dia com menor índice de nebulosidade na cidade de Vitória, e o mês mais quente, com incidência de nuvens abaixo de 10%.

Por meio do programa ArcGIS 10.8, ocorreu o processamento das imagens (Figuras 3 e 4). Nos mapas de distribuição de temperatura de superfície observou-se que, em geral, as áreas urbanizadas da cidade de Vitória apresentaram temperaturas de superfície para o mês de agosto (Figura 3) variando de 29,1°C a 32°C e para o mês de fevereiro (Figura 4) de 32,1°C a 35°C. Registros maiores que 35°C foram encontrados principalmente ao extremo Norte de Vitória, onde está localizado o parque industrial da Vale e da Arcelor. Os corpos d'água juntamente com floresta, mangue e restinga apresentaram temperaturas mais amenas.

Figura 3 - Temperatura de superfície de Vitória originada da imagem do satélite Landsat-8 em 31/08/2017

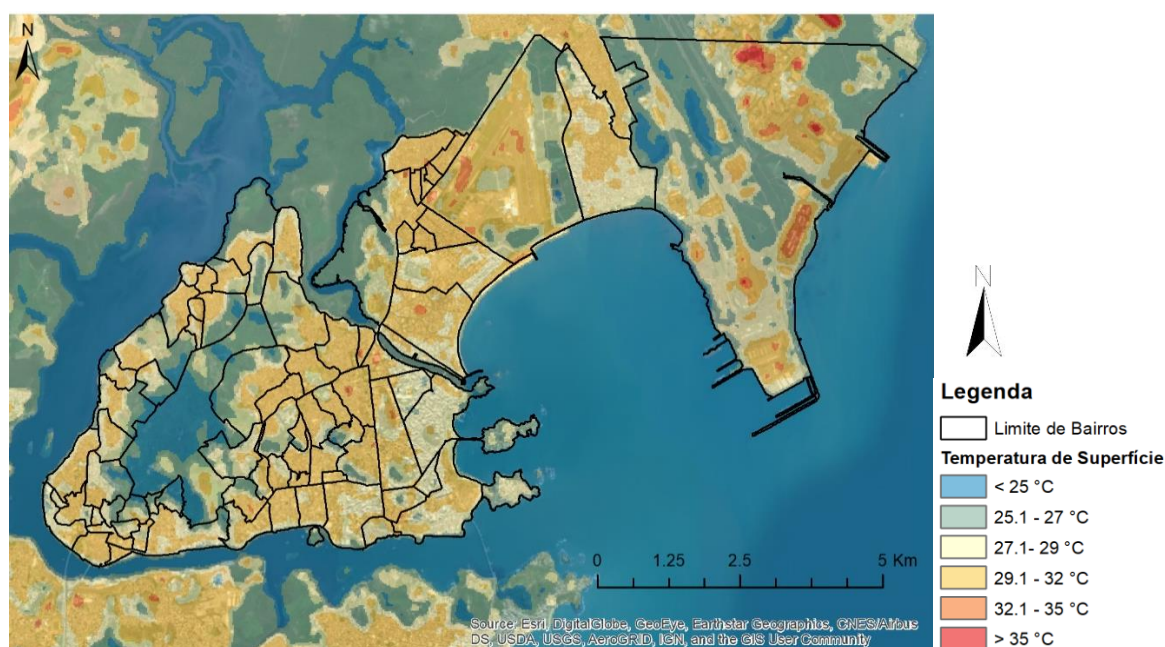
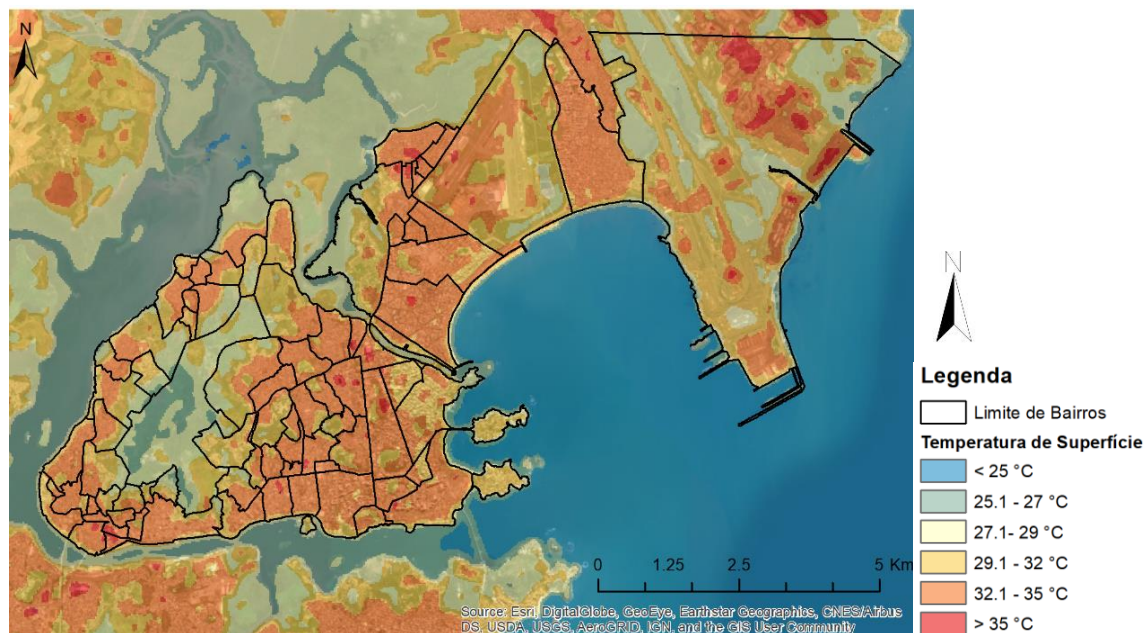


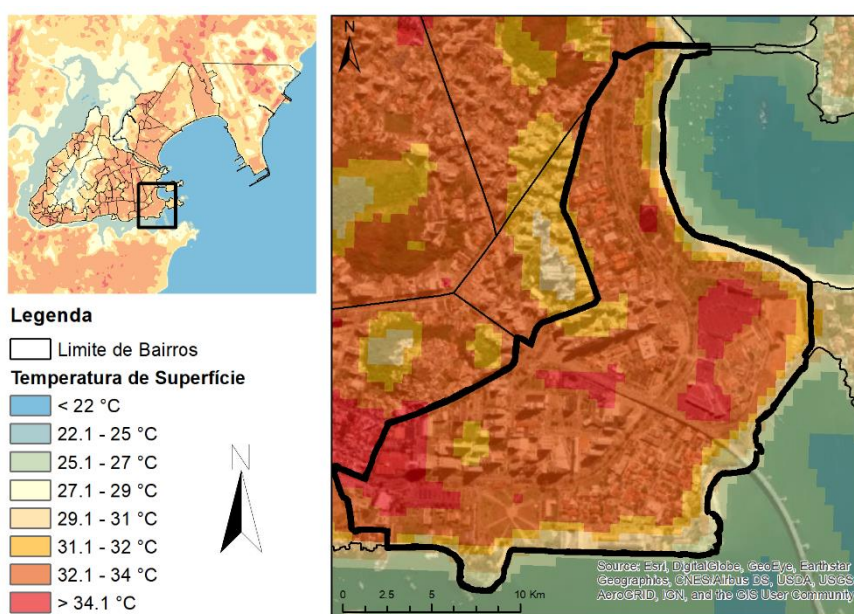
Figura 4 - Temperatura de superfície de Vitória originada da imagem do satélite Landsat-8 em 02/02/2016



Fonte: Autora (2021).

A variação de temperatura de superfície foi importante para conhecimento das condições da cidade de Vitória e norteou a escolha da área a ser estudada para o bairro Enseada do Suá (Figura 5), que é uma região comercial planejada e com potencial de crescimento e apresentou temperaturas elevadas, apesar de estar próximo a linha da costa recebendo o efeito direto da brisa marítima.

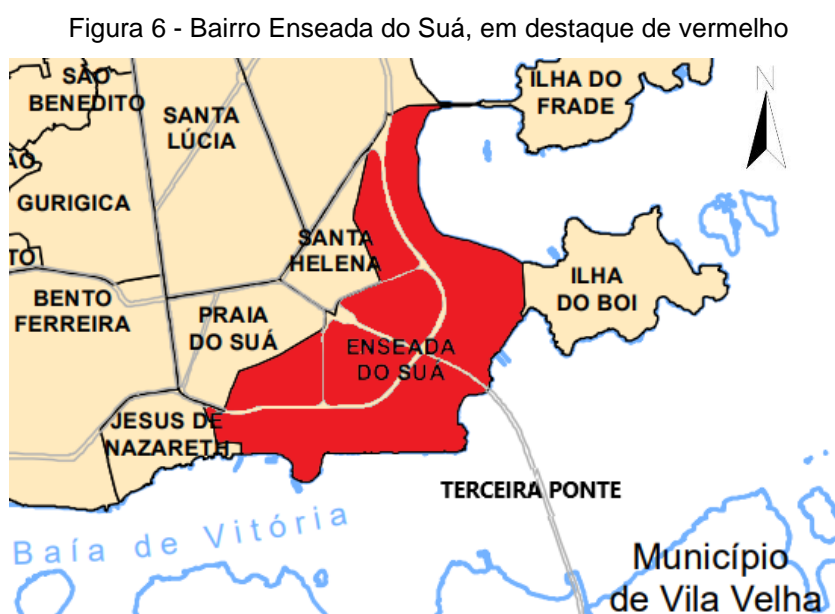
Figura 5 - Temperatura de superfície da Enseada do Suá (em destaque no retângulo preto) originada da ampliação da imagem de Vitória do satélite Landsat-8 em 02/02/2016



Fonte: Autora (2021).

O bairro da Enseada do Suá é uma região originada de um aterro, realizado na década de 1970, a partir da elaboração do Plano de Urbanização da Praia do Suá, desenvolvido pela Companhia de Melhoramentos e Desenvolvimento Urbano - COMDUSA, em que um dos objetivos era a possibilidade da criação de novas atividades comerciais de prestação de serviços, a fim de deslocar-se do caótico e congestionado Centro de Vitória (ESPÍNDULA; MENDONÇA, 2017).

Segundo a Prefeitura de Vitória (2016) a região da Enseada do Suá é a nova centralidade da capital e possui potencial de crescimento e, ainda de acordo com Espíndula e Mendonça (2017), a localização do bairro é privilegiada, com proximidade ao mar e com a ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça (“Terceira Ponte”) que liga o município de Vila Velha, fazendo parte de uma área de eixo de negócios e valorização imobiliária (Figura 6).



Destefani (2020) constatou, após análise das edificações mais recorrentes na região da Enseada do Suá, que devido à falta de limites para o gabarito em diversas quadras do bairro (Figura 7), definido no Plano Diretor Urbano (PDU), muitos edifícios comerciais altos foram construídos nas últimas décadas. Além disso, percebeu que existem diversos lotes vazios ou que são utilizados para a atividade de estacionamento o que reflete, como já afirmado acima, o potencial de crescimento do bairro com a futura destinação de recursos do setor imobiliário e investimentos em construções.

Figura 7 - Zoneamento de altura do PDU do bairro Enseada do Suá



Fonte: Plano Diretor Urbano de Vitória (2018).

De acordo com o 35º Censo Imobiliário publicado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo – Sinduscon, relativo ao primeiro semestre de 2020, um total de 94 unidades comerciais estavam em produção na cidade de Vitória, sendo que 91 delas localizavam-se na Enseada do Suá. Os censos realizados nos semestres seguintes, não destacam a produção dividida em bairros, mas sim em regiões, o que impossibilita a verificação da produção da área escolhida.

Destefani (2020) também evidencia o caráter contemporâneo das edificações da Enseada do Suá, com o uso de grandes janelas, e o emprego do vidro como material predominante na maioria das fachadas, confirmando a tendência ao estilo internacional da arquitetura. Entre as edificações comerciais analisadas (com mais de 10 pavimentos), 15 dos 17 edifícios apresentaram pele de vidro, e 9 delas são compostas de esquadrias de vidro reflexivo.

Esses dados reforçam a pesquisa de Maioli et al. (2016) que identificou nos edifícios construídos, após a mudança do século XX para o XXI na cidade de Vitória, que as aberturas são esquadrias compostas de vidro, no qual aproximadamente 73% das edificações foi utilizado o tipo de vidro reflexivo.

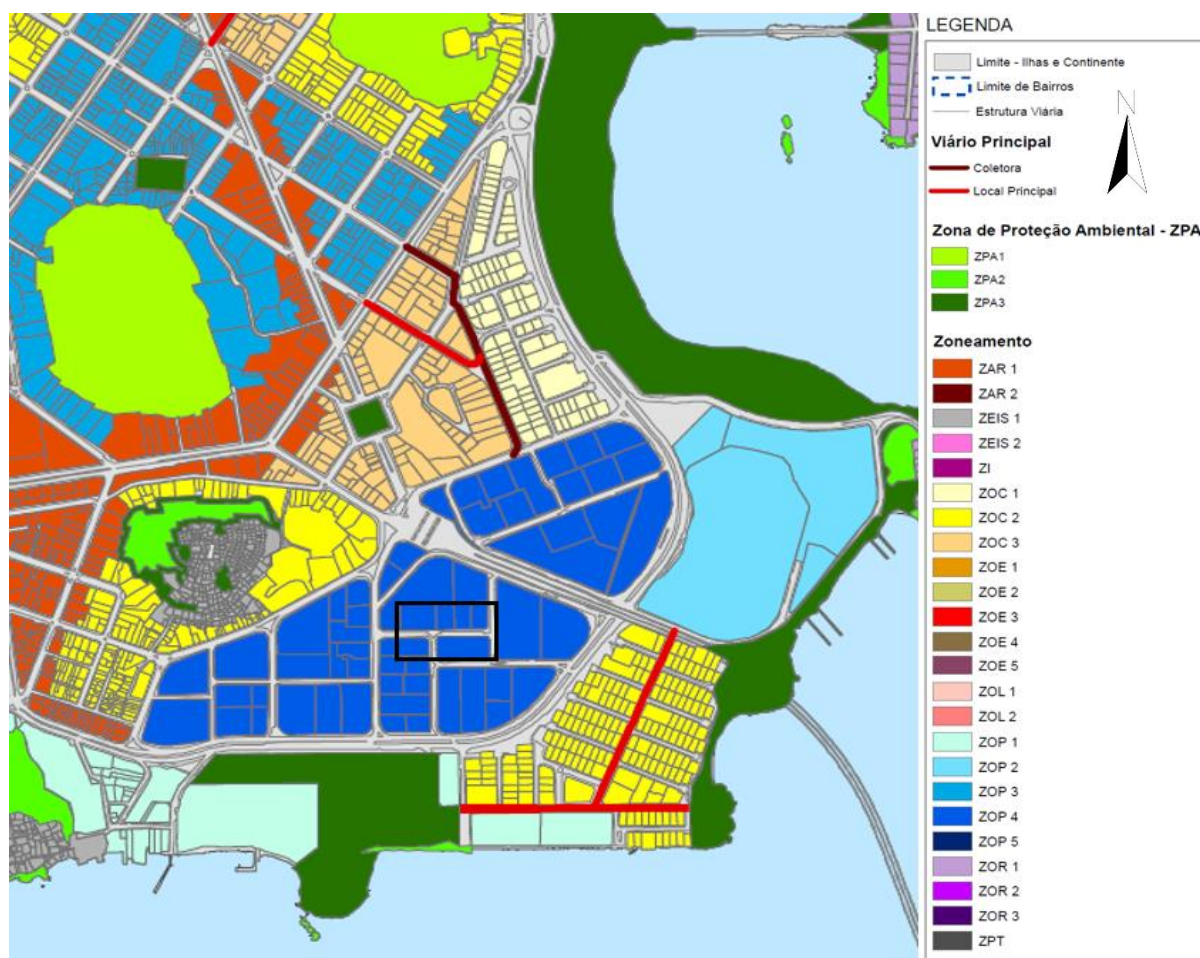
3.1.1 Delimitação do recorte urbano e definição dos cenários

O recorte da área para simulação seguiu a limitação da grade de modelagem do programa ENVI-met na versão gratuita, que é de 50 x 50 x 40 células (*grid*,

respectivamente nos eixos X, Y e Z). Para a definição do tamanho dos *grids*, foi considerada a área total do recorte urbano de 185 x 115m. Com a utilização da grade de 5 x 5 pode ser inserido o trecho a ser estudado, e com poucas deformações do original, sendo que tal módulo viabilizou a representação de calçadas, vias, afastamentos e gabaritos das edificações com nível satisfatório de especificidade e representatividade, além de ser aceitável para estudos em que a prioridade da simulação não é a vegetação (informação verbal)¹, totalizando uma área de 37 x 23 *grids* e com área de 21.275m².

Além disso, a região selecionada como cenário modelo (demarcada pelo retângulo preto na Figura 8) está dentro da área que não possui limitação de gabarito, devido à possibilidade de expansão, sobretudo para edificações comerciais. É uma região localizada na Zona de Ocupação Preferencial – ZOP 4, atendida por vias locais.

Figura 8 - Mapa de zoneamento urbanístico e área selecionada para estudo

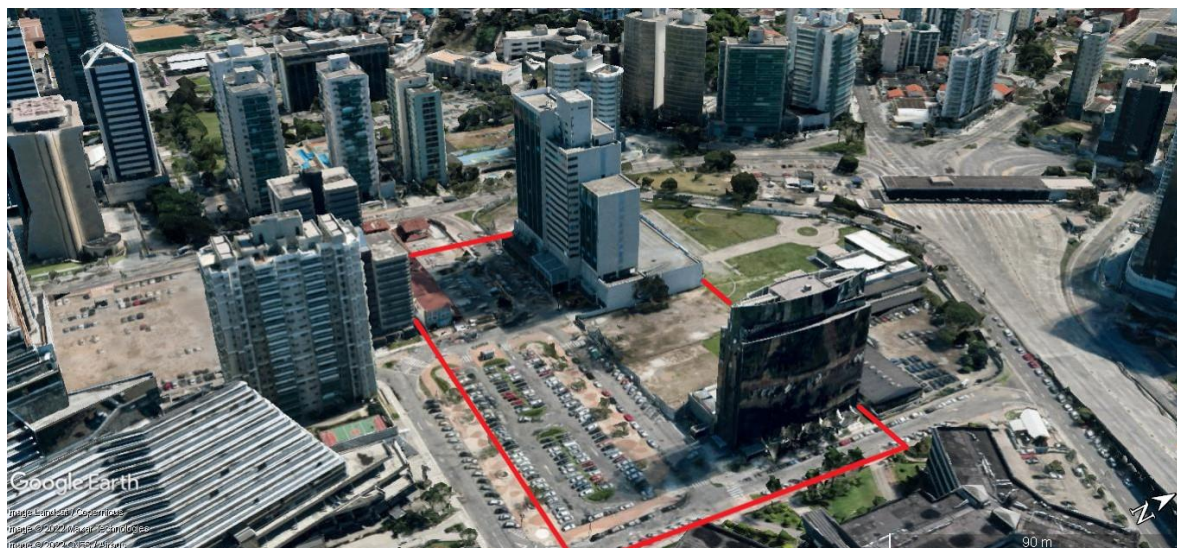


Fonte: Adaptado do Plano Diretor Urbano de Vitória (2018).

¹ Informação fornecida por Carolina S. Gusson e Paula Shinzato no curso básico do modelo ENVI-met V5, realizado de forma on-line, em julho de 2022.

Com as dimensões do recorte urbano limitadas pelo programa, procurou-se por um espaço dentro do bairro em que fossem presentes: edificações comerciais com uso de vidro refletivo na fachada, terrenos vazios com possibilidade da inserção de novos edifícios, espaço de circulação e de permanência para pedestres (Figura 9).

Figura 9 - Vista 3D do recorte urbano






Fonte: Adaptado do Google Earth (2022).

As edificações da área selecionada possuem altura máxima de 66 metros. Assim, considerando os tamanhos dos *grids* no eixo “z” de 4, o tamanho da área no editor de criação para a altura ficou em 33 *grids* (z).

A definição dos cenários a serem testados neste estudo teve como ponto de partida o objetivo previamente definido, que consistiu em analisar o efeito do uso de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais, no microclima urbano na cidade de Vitória/ES. Para definição dos cenários propostos, considerou-se as constantes transformações da paisagem urbana, estando os índices urbanísticos diretamente associados a estes processos. Foram definidos como foco de análise os índices relacionados ao adensamento e verticalização, diretamente ligados à caracterização da morfologia da área e a predominância do vidro refletivo nas fachadas das edificações. Assim sendo, foram propostos quatro cenários (cenário 02, 03, 04 e 05) com base no cenário 01 de referência:

Cenário 01: conformação urbana existente, 02 edificações comerciais com fachadas em vidro refletivo, 02 terrenos vazios, estacionamento/prça e 01 construção comercial de 03 pavimentos (Quadro 2).

Quadro 2 - Caracterização das edificações existentes no cenário

Edifícios existentes	
	
Enseada Trade Center 	<p>Orientação solar (fachada principal): Sul Nº total de pavimentos: 19 Nº total de pavimentos tipo: 17 Sistema estrutural: convencional em concreto Vedação fachada principal: pele de vidro com <i>structural glazing</i> com vidro laminado refletivo azul 8mm em 2 blocos, e alvenaria com pintura acrílica nas cores branco e cinza claro e janelas em fita no bloco central. Vedação fachadas laterais: Alvenaria com pintura acrílica nas cores branco e cinza claro.</p>
Greenwich Tower 	<p>Orientação solar (fachada principal): Leste Nº total de pavimentos: 16 Nº total de pavimentos tipo: 13 Sistema estrutural: convencional em concreto Vedação fachadas: Pele de vidro com <i>structural glazing</i> com vidro laminado controle solar azul 8,38mm e prata 10,38mm em três fachadas e alvenaria com revestimento cerâmico com pastilhas 5x5 cm com brilho nas fachadas laterais e de fundo na cor branca.</p>
Pelourinho 	<p>Orientação solar (fachada principal): Norte Nº total de pavimentos: 3 Sistema estrutural: convencional Cobertura: telha cerâmica Vedação fachadas: alvenaria com pintura acrílica em várias cores com esquadrias em madeira e vidro incolor.</p>

Fonte: Autora (2022).

O cenário 01 foi modelado para calibração do programa ENVI-met, sem comparativo com os outros cenários. Os cenários 02, 03, 04 e 05 tiveram seus resultados

comparados entre si, pois possuem a mesma quantidade de edificações, com diferenciação no quantitativo de vidro refletivo ou o tipo de vidro nas fachadas.

Os modelos dos edifícios que foram colocados nos terrenos dos cenários hipotéticos (02, 03, 04 e 05) inspiraram-se na estrutura da edificação encontrada por Destefani (2020), mas com adaptações para atendimento aos índices de controle urbanístico (Quadro 3). Foi definido a partir do levantamento em campo, observando os edifícios altos comerciais existentes na região, sendo uma estrutura de pelo menos 14 pavimentos tipo, mais 01 pavimento garagem e o térreo, totalizando aproximadamente 48m de altura.

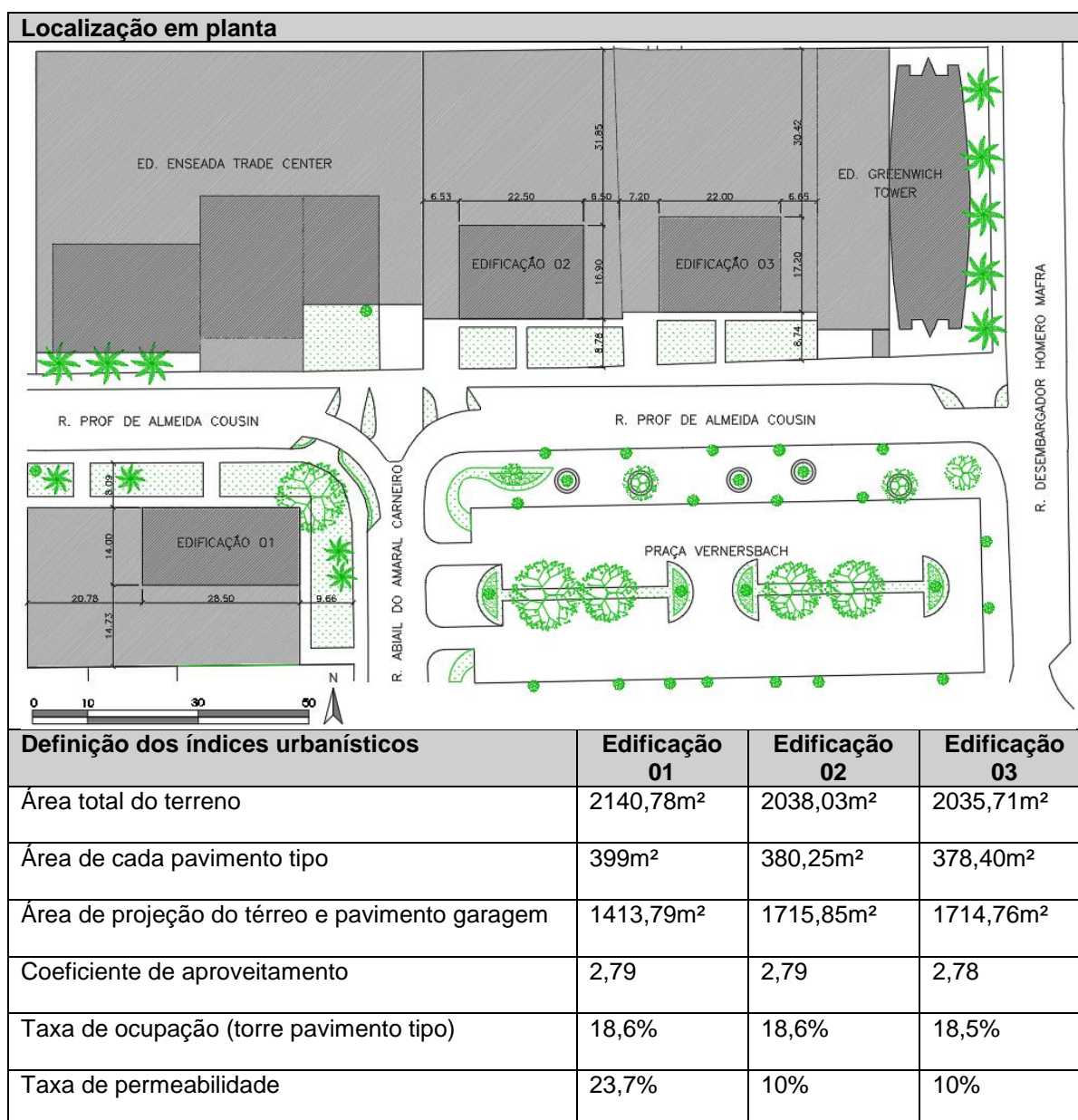
Quadro 3 - Índices de controle urbanístico - Zona de Ocupação Preferencial – ZOP 4

COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (CA)		TAXA DE OCUPAÇÃO MÁXIMA	TAXA DE PERMEABILIDADE MÍNIMA	AFASTAMENTOS MÍNIMOS	
MÍNIMO	USO NÃO RESIDENCIAL			FRENTE (m)	FUNDOS E LATERAIS (m)
0,2	2,8	30%*	10%	8	ISENTO ATÉ 8,40m**
<p>* O primeiro e segundo pavimentos não em subsolo, quando destinado ao uso comum em condomínios residenciais multifamiliares, aos usos não-residenciais em edificações com uso misto, em edificações de uso não-residencial e em hotéis e apart-hotéis, poderá ocupar toda a área remanescente do terreno após a aplicação do afastamento frontal, da taxa de permeabilidade e das normas de iluminação e ventilação dos compartimentos.</p>					
<p>** Afastamentos laterais e de fundos aplicados acima da altura indicada de 8,40m dependem da altura da edificação. Como está sendo utilizada a altura de 48m, o afastamento mínimo lateral é de 6,50m e de fundo 7,70m.</p>					

Fonte: Adaptado do Plano Diretor Urbano de Vitória (2018).

Em parte do terreno em que atualmente encontra-se a edificação comercial de 03 andares conhecida como Pelourinho, foi proposto um edifício (01) com 14m de profundidade e 28,5m de comprimento. No terreno ao lado do Enseada Trade Center, foi proposta uma edificação (02) de 22,50m de comprimento e 16,80m de profundidade. No terreno ao lado do Greenwich Tower foi proposto um prédio (03) de 22,00m de comprimento e 17,20m de profundidade (Quadro 4).

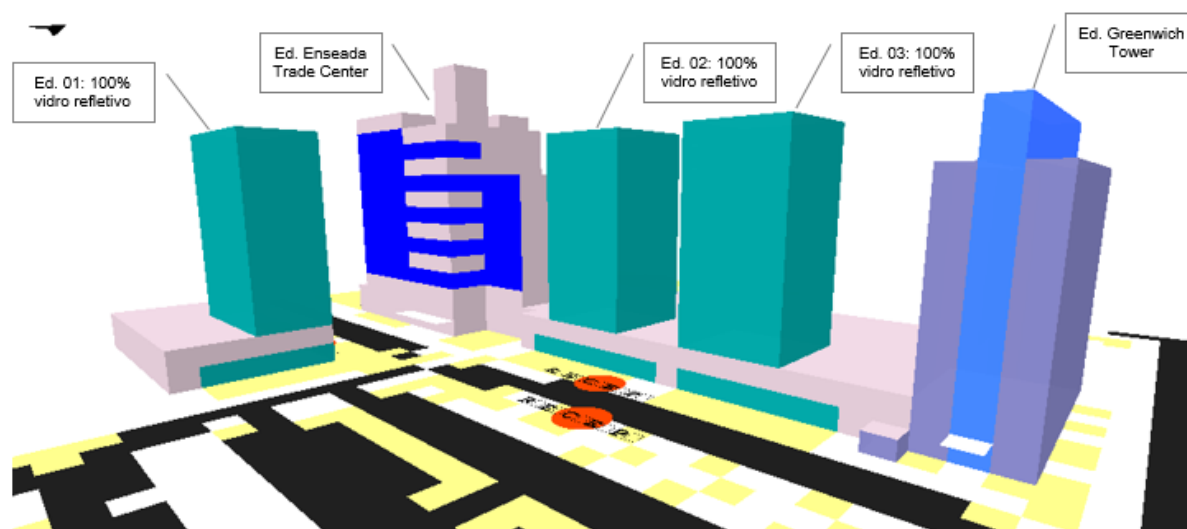
Quadro 4 - Características das edificações hipotéticas nos terrenos



Fonte: Autora (2022).

Cenário 02: conformação urbana hipotética, em que permaneceram as duas edificações comerciais com fachadas em vidro refletivo, estacionamento/prança, e acrescentaram-se aos lotes vazios, bem como no terreno ocupado pela construção comercial de 3 pavimentos, os edifícios 01, 02 e 03 com o predomínio de 100% de revestimento de vidro refletivo nas fachadas, excluindo o pavimento garagem e os acessos para o mesmo, que não costumam ser de vidro (Figura 10).

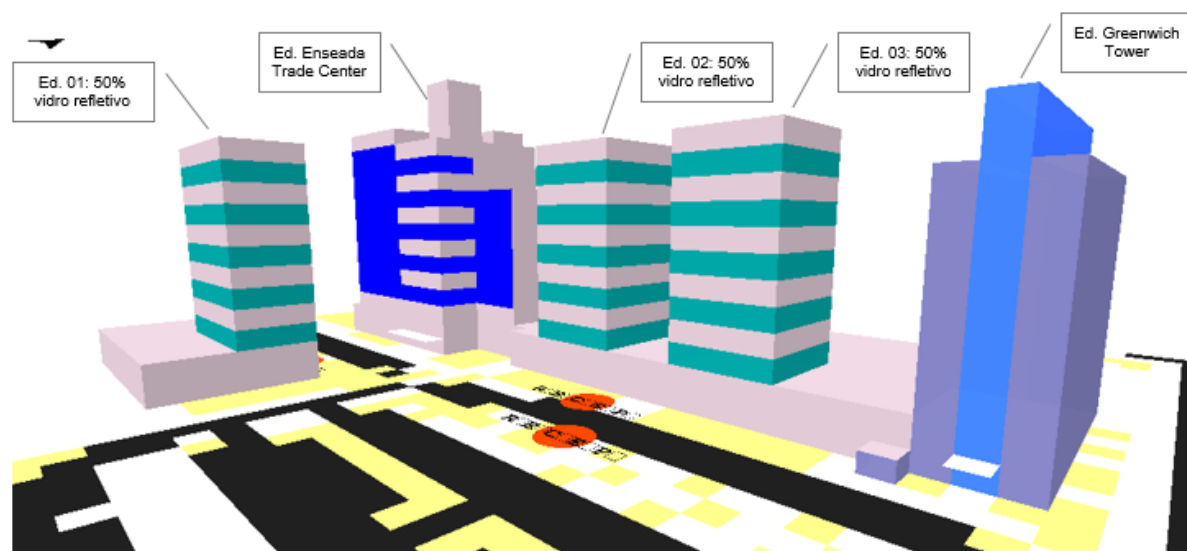
Figura 10 - Cenário 02



Fonte: Autora (2022).

Cenário 03: conformação urbana hipotética, idêntica ao cenário 02, porém com o predomínio de 50% de revestimento de vidro refletivo nas fachadas das torres das edificações 01, 02 e 03 propostas, excluindo o pavimento garagem (conforme explicado anteriormente) e o térreo, a fim de verificar a influência do vidro na altura do pedestre (Figura 11).

Figura 11 - Cenário 03

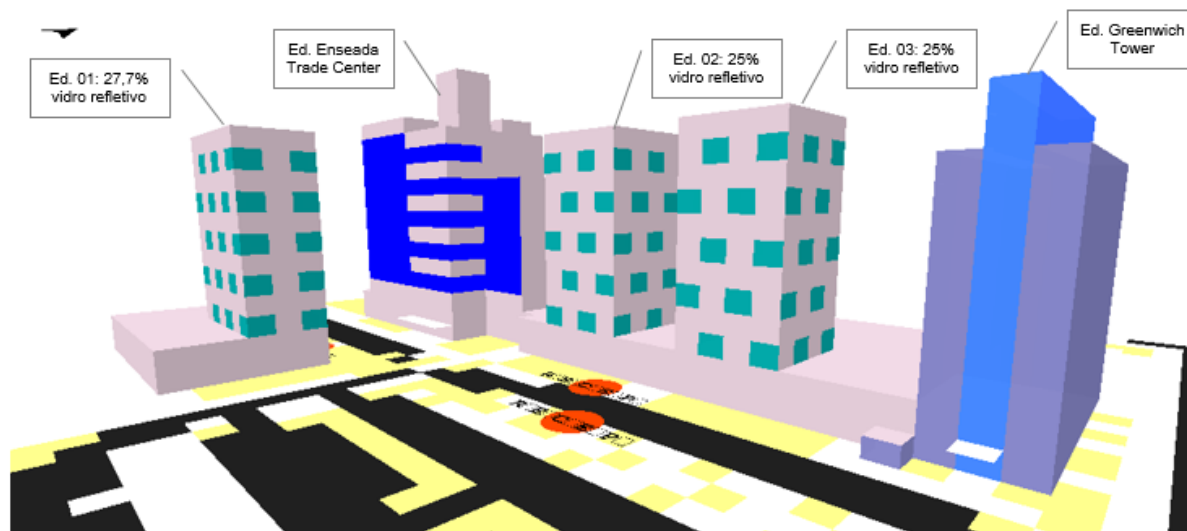


Fonte: Autora (2022).

Cenário 04: conformação urbana hipotética, idêntica ao cenário 02 e 03, porém com o predomínio de 27,7% de revestimento de vidro refletivo nas fachadas da torre do edifício 01 e 25% de predomínio dos vidros refletivos nas torres das edificações 02 e 03. Essa diferença de porcentagem ocorreu por conta da intercalação dos vidros nas torres, eles têm o tamanho fixado pelo *grid* definido, e o tamanho das empenas

influencia na quantidade possível de ser inserida. O pavimento garagem e o térreo pelos mesmos motivos já explicados anteriormente, não tiveram a inserção de vidros (Figura 12).

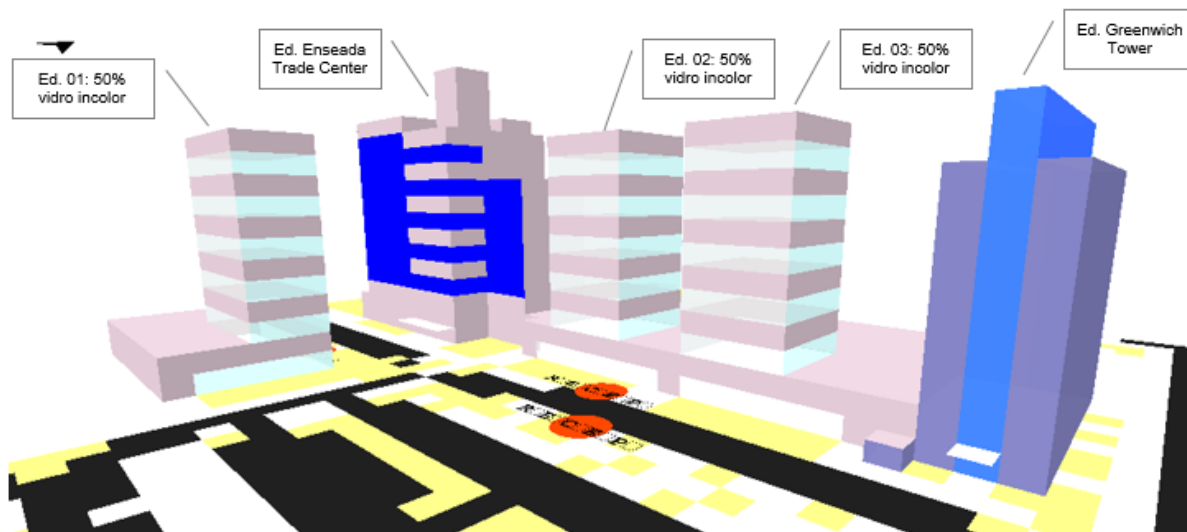
Figura 12 - Cenário 04



Fonte: Autora (2022).

Cenário 05: conformação urbana hipotética, idêntica aos cenários 02, 03 e 04, porém com o predomínio de 50% de revestimento de vidro incolor nas fachadas das torres dos edifícios 01, 02 e 03, além de quase 100% do térreo, excetuando-se os acessos ao pavimento garagem. A opção de simular o vidro incolor em oposição ao refletivo, foi pelo uso comum dele principalmente no térreo, e pela diferença do potencial de reflexão (Figura 13).

Figura 13 - Cenário 05



Fonte: Autora (2022).

3.2 MEDIÇÃO MICROCLIMÁTICA

Segundo Duarte (2015), apesar do programa ENVI-met ser utilizado para simulação em diversos climas e ter resultados satisfatórios, a calibração do modelo é fundamental para a identificação das particularidades climáticas do local e seu contexto urbano, visando alcançar resultados mais confiáveis. Desta forma, foram comparados os dados medidos em campo com os dados simulados, analisando assim, a margem de erro.

Nas medições microclimáticas em campo se destacam as que são feitas por meio de miniestações instaladas em pontos fixos e em transectos móveis. A última técnica citada foi escolhida em razão dos seguintes aspectos:

- Possibilidade de obter uma quantidade maior de pontos de monitoramento, com reduzido número de aparelhos. O que é importante para a caracterização do campo térmico, devido a variação climática ocasionada pela heterogeneidade do meio urbano;
- Facilidade e agilidade para instalação e permanência da miniestação meteorológica em um ponto fixo, durante o período de monitoramento;
- Necessidade de menos pessoas envolvidas (equipe de voluntários), dado o momento no qual foi realizada a pesquisa (pandemia de COVID-19); e
- Segurança dos equipamentos e pessoas envolvidas.

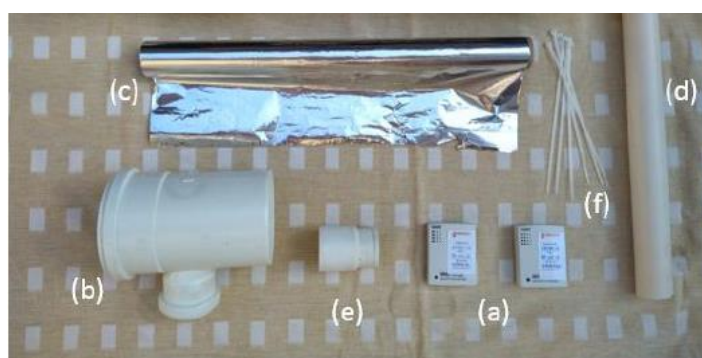
De acordo com Fialho (2009) há vantagens e desvantagens para coleta de dados com emprego de miniestações instaladas em pontos fixos e em transectos móveis, não existindo um método melhor que o outro. O procedimento de coleta deve ser compatível com o tipo de estudo e análise pretendida, além de que a decisão deve considerar a disponibilidade de tempo e os recursos disponíveis (materiais, financeiros e humanos).

Tendo em vista que, em sua maioria, os estudos de climatologia urbana voltados para a abordagem do campo termo-higrométrico adotam como referência a temperatura do ar (°C) e umidade do ar (%) (SANTOS, 2021), as mesmas foram escolhidas para serem monitoradas. Portanto, para a coleta dos dados foram utilizados dois equipamentos HOBO Data Logger, modelo U12-013 da marca Onset, disponibilizados

pelo Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) que medem as duas variáveis citadas.

Devido a necessidade de proteção dos equipamentos contra interferências externas que pudessem comprometer a qualidade dos dados aferidos, tais como chuva e radiação solar direta, foram utilizados abrigos de Policloreto de Vinila (PVC) produzidos por Santos (2021) e disponibilizados no LPP, já que apresentam boa performance e constituem uma alternativa financeiramente viável (Figura 14).

Figura 14 - Equipamentos adotados na pesquisa (a) e materiais utilizados para a produção dos abrigos (b), (c), (d), (e) e (f)



Fonte: Santos (2021).

Para a realização do transecto foi utilizado um carro por ser um transporte que oferece segurança e agilidade para a coleta dos dados (Figura 15). Desta forma, os pontos de amostragem foram definidos levando em consideração a viabilidade para parada e permanência do automóvel no local de medição (Figura 16). Por precaução foram determinados pontos de coleta além da área de estudo, para caso fosse necessários mais testes de calibragem com o modelo no ENVI-met. Ademais, houve um cuidado, seguindo recomendações de Werneck, Azevedo e Romero (2019) em permanecer por 2 minutos em cada ponto de monitoramento para estabilização do equipamento quanto às condições climáticas do local.

Figura 15 - Abrigos (em destaque no retângulo vermelho) fixados no carro



Fonte: Autora (2022).

Figura 16 - Localização da medição de campo em destaque amarelo



Fonte: Adaptado do Google Earth (2022).

O Quadro 5 apresenta a descrição dos pontos de amostragem, no que diz respeito a sua localização e características do entorno. Vale ressaltar, que os abrigos utilizados no transecto foram fixados ao carro no sentido transversal ao automóvel para evitar a interferência da movimentação de ar provocada com o deslocamento do veículo, tendo cuidado para a velocidade não ultrapassar os 50km/h. Também optou-se por utilizar dois equipamentos ao mesmo tempo, caso algum apresentasse falha. Os sensores foram posicionados a uma altura de 1,50m em relação à superfície, sendo adotado o asfalto como referência de nível 0.0m, conforme orientado por Fialho (2010), Mendonça (2003), Leal (2018) e Werneck (2018).

Quadro 5 - Caracterização dos pontos de medição

(continua)

PONTO 1		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Rua Prof. Almeida Cousin; - Em frente ao edifício comercial “Enseada Trade Center” que possui a fachada em vidro refletivo.







Quadro 5 – Caracterização dos pontos de medição

(continuação)

PONTO 2		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Praça Vernesbach; - Centralizado à praça envolvida por edificações.
PONTO 3		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Rua Prof. Almeida Cousin; - Na lateral da fachada do edifício comercial “Greenwich Tower” que possui fachada e guarita em vidro refletivo.
PONTO 4		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Rua Desembargador Homero Mafra; - De frente para a fachada do edifício comercial “Greenwich Tower” que possui a fachada em vidro refletivo;



Quadro 5 – Caracterização dos pontos de medição

(continuação)

PONTO 5		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Rua Abial do Amaral Carneiro; - Próximo ao novo edifício de uso misto “The Gallery Art Residence”, que faz parte de um novo conceito de prédios na Enseada e possui fachada em vidro refletivo diferente dos anteriores.
PONTO 6		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Rua Abial do Amaral Carneiro; - De frente para uma das torres do condomínio “Celebrity Residencial” que é um exemplo da tipologia de edificações residenciais da Enseada.
PONTO 7		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Rua Clovis Machado; - Próximo ao edifício comercial “Hub Vale” que possui fachada com vidro refletivo.

Quadro 5 – Caracterização dos pontos de medição

(conclusão)

PONTO 8		
Vista superior	Vista do entorno	Localização/ Motivo da escolha
		<ul style="list-style-type: none"> - Rua Taciano Abaurre; - Próximo ao condomínio “Corporate Office” que possui fachada com vidro refletivo.

Fonte: Autora (2022).

A medição de campo foi realizada durante o verão de 2022, em dias de fevereiro e março. Seguindo as recomendações encontradas na literatura científica, foram selecionados dias com condição de clima estável, ou seja, sem chuva e com céu limpo. Porém, considerando que o verão é úmido e Vitória possui um tempo instável, foi necessário a medição em vários dias, selecionando-se por fim o dia 23 de fevereiro, por possuir os dados mais completos para a calibração e também mais aproximados das estações meteorológicas próximas e pertencentes à órgãos oficiais (Apêndices I, II e III).

Antes de ir a campo foi necessário fazer a aferição dos sensores com o intuito de identificar possíveis erros ou oscilações no funcionamento dos equipamentos e níveis de bateria. Em fevereiro a conferência foi realizada com três aparelhos na noite anterior ao primeiro dia de medição (de 23h45 às 06h45) no dia 18/02/2022 e, após constatação do funcionamento correto e muito semelhante entre os equipamentos foram selecionados os dois que tinham melhor nível de bateria. Após o primeiro dia de medição, foi feita uma nova conferência dos equipamentos utilizados (com etiquetas azul e dourada). A aferição seguiu a técnica de Correa (2014) e Santos (2021): os medidores foram colocados sob uma bancada com 0,85m de altura em relação ao piso (Figura 17), a iluminação artificial do cômodo foi apagada e as portas e janelas fechadas, a fim de evitar qualquer interferência no procedimento de aferição. Anteriormente, os dispositivos foram configurados para a realização de leituras

automáticas a cada 1 minuto. O monitoramento da temperatura e umidade do ar teve início às 23h45 do dia 19/02/2022 e finalizou às 6h15 do dia 20/02/2022, totalizando uma amostra temporal de 451 minutos e 902 coletas.

Figura 17 - Aferição dos aparelhos para coleta de dados



Fonte: Autora (2022).

O desvio padrão para os dados de temperatura do aparelho com etiqueta azul e dourada foram de respectivamente: 0,16°C e 0,17°C. Já para os dados de umidade relativa o desvio padrão foi de 2,07% para o azul e de 2,36% para o dourado, estando todos esses valores dentro do limite estabelecido pelo fabricante: a faixa de aferição da temperatura do ar varia de -20°C a 70°C, possui resolução de 0.03°C e precisão de $\pm 0.35^\circ\text{C}$ para uma faixa de temperatura entre 0°C e 50°C. Enquanto a faixa de medição da umidade do ar varia de 5% a 95%, com resolução 0.05% e precisão de $\pm 2.5\%$ para uma faixa de umidade entre 10% e 90%.

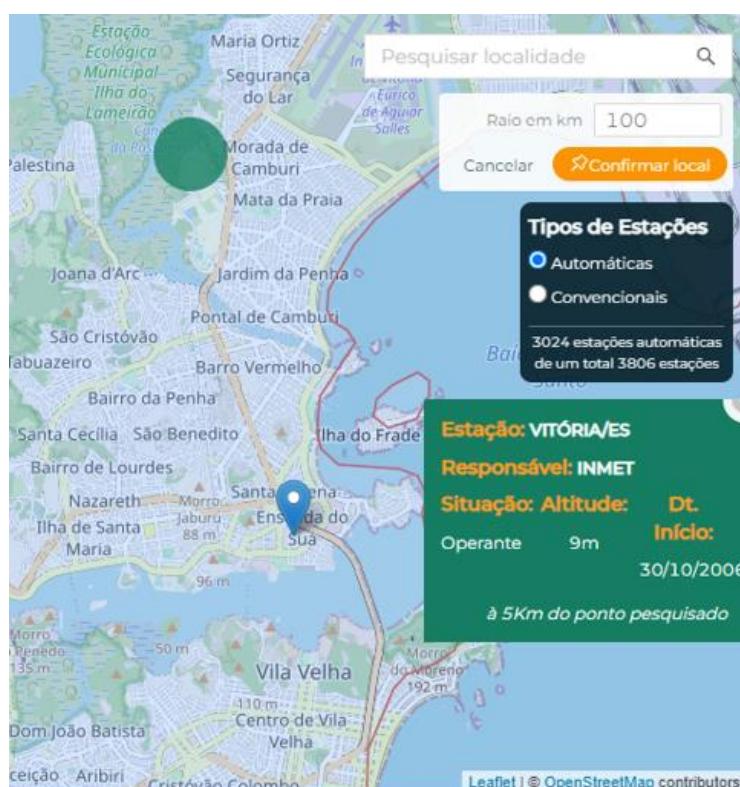
Os horários definidos para a coleta foram às 09h, 12h, 15h e 21h. A decisão foi tomada com base na proposta de Fialho (2009) e de Werneck (2018). De acordo com Werneck (2018) os horários de 09h, 12h, 15h e 18h são denominados horários sinóticos e cobrem parcialmente uma faixa de horários padronizados pela Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization - WMO*) para registro nas estações meteorológicas. Já o horário de 21h foi escolhido pois, para Fialho (2009) já transcorreram cerca de 3 horas do pôr-do-sol, o que possibilita analisar outra dinâmica urbana, de uma possível ilha de calor noturna. Além disso, 18h é um horário de trânsito intenso na área escolhida para medição e poderia causar defasagem na coleta.

Os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar ao longo do período analisado, por meio da técnica do transecto móvel apresentam defasagem de tempo entre si e em virtude disso, a aquisição de um ponto fixo de monitoramento foi

necessária. De acordo com Santos (2021), em geral, adota-se como padrão os dados aferidos por estações automáticas pertencentes a órgãos oficiais como o INMET.

A estação automática mais próxima da área de estudo (a cerca de 5km de distância) é a A612–Vitória do INMET, localizada no campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) (Figura 18). No website do INMET foi possível obter os dados horários de temperatura do ar instantânea e umidade do ar instantânea, utilizados no procedimento de correção da defasagem de tempo (Anexo A).

Figura 18 - Localização da estação automática A612–Vitória



Fonte: Adaptado do BNDMET (2022).

O método adotado para a correção da defasagem de tempo foi baseado na proposta de Oliveira, Fialho e Alocca (2018), em que os valores obtidos por meio do transecto móvel foram retificados a partir de um índice de correção, calculado por meio da fórmula representada na Equação 1.

$$T = t_{sc} \pm \left(t_d \times \frac{\Delta t}{60min} \right) \quad (1)$$

Onde:

T = temperatura corrigida (°C);

t_{sc} = temperatura sem correção(°C);

t_d = tempo decorrido (minutos);

$\frac{\Delta t}{60min}$ = variação por minuto aferida no ponto fixo;

Foi observada a variação da temperatura nos dados da estação automática, dentro do intervalo de 1h após o início do transecto móvel. Em seguida, foi calculada a variação de temperatura por minuto – constante utilizada na correção dos valores móveis. Nos momentos em que foi verificado um resfriamento atmosférico, acrescentou-se o valor da constante por minuto ao valor das medidas móveis. Uma vez verificado um aquecimento atmosférico, subtraiu-se o valor da constante por minuto do valor das medidas móveis. O mesmo procedimento foi aplicado aos dados de umidade do ar. Vale ressaltar que nenhum dos equipamentos apresentou erros durante a coleta, optando-se por fazer os cálculos com os valores registrados do sensor com etiqueta dourada. Na Tabela 1 e 2 pode ser visto o exemplo para correção da temperatura e umidade no horário de 09h, respectivamente.

Tabela 1 - Correção da defasagem da temperatura no horário de 9h

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO	VALOR CORRIGIDO
1	09:00	32,4	
2	09:06	33,5	33,4
3	09:11	33,6	33,5
4	09:15	33,7	33,7
5	09:22	33,2	33,0
6	09:26	33,6	33,6
7	09:31	34,2	34,1
8	09:37	34,3	34,2

Os valores de temperatura registrados às 09h e 10h na estação automática foram respectivamente, 30,7°C e 31,7°C, portanto um aumento de 1,0°C, utilizando desta forma o sinal de - na equação.

Fonte: Autora (2022).

Tabela 2 - Correção da defasagem da umidade no horário de 9h

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO	VALOR CORRIGIDO
1	09:00	53,5	
2	09:06	53,1	53,7
3	09:11	52,6	53,1
4	09:15	52,4	52,8
5	09:22	53,0	54,9
6	09:26	53,4	53,8
7	09:31	52,0	52,5
8	09:37	49,8	50,4

Os valores de umidade registrados às 09h e 10h na estação automática foram respectivamente, 57% e 51%, portanto uma diminuição de 6%, utilizando desta forma o sinal de + na equação.

Fonte: Autora (2022).

Observando os dados medidos em campo e na estação automática, percebe-se o aquecimento na região interior ao bairro, o que é esperado, dado que a estação A612 encontra-se numa área com mais vegetação, sem a influência das superfícies construtivas tal qual os aparelhos de medição tiveram. A menor temperatura registrada pelo sensor foi de 27,3°C no período de 21h, enquanto que na estação foi de 22,6°C às 06h. Já o menor percentual de umidade encontrado pelo aparelho de medição de campo foi de 49,8% no intervalo de 09h e na estação de 50% às 12h.

3.3 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

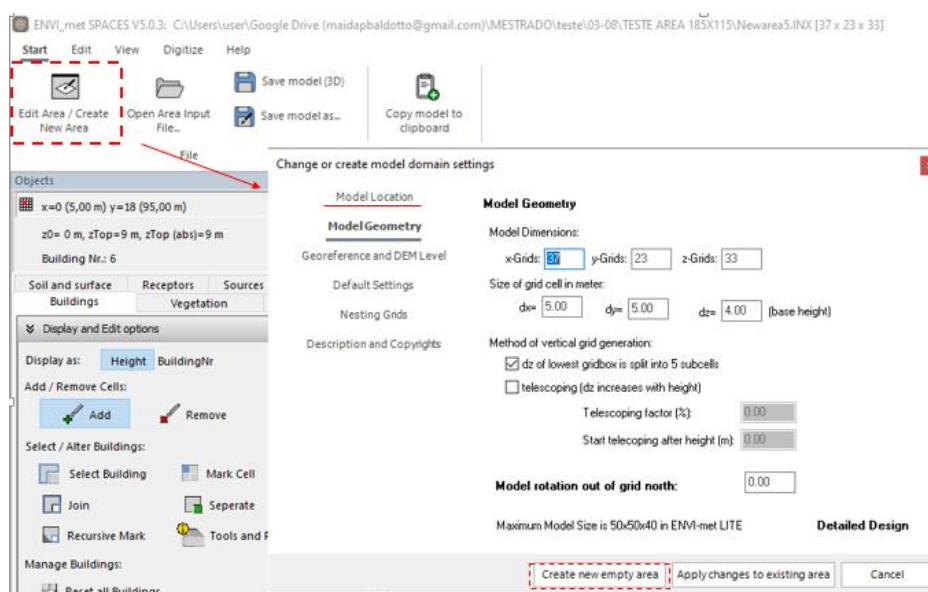
Nas simulações utilizou-se a versão *5.0.3 Summer 2022* do ENVI-met. Primeiramente, foi feita a modelagem e geração do arquivo em extensão *.INX* do cenário 01. Após, criou-se um arquivo de simulação no formato *.SIMX* com informações do dia escolhido para simular. Esse arquivo foi modificado até encontrar um que obteve resultados de temperatura e umidade do ar mais próximos da medição feita em campo na Enseada do Suá. A partir do arquivo de simulação escolhido foram simulados os cenários 02, 03, 04 e 05. Todo este processo está melhor detalhado nos tópicos a seguir.

3.3.1 Modelagem e configurações dos arquivos para simulações

Para que o programa simulasse as condições microclimáticas da área a ser estudada, no primeiro momento foi editada a biblioteca de materiais e plantas do ENVI-met por meio das ferramentas *Database Manager (DB Manager)* e *Albero*, a fim de criar os materiais e vegetação existentes da área levantada.

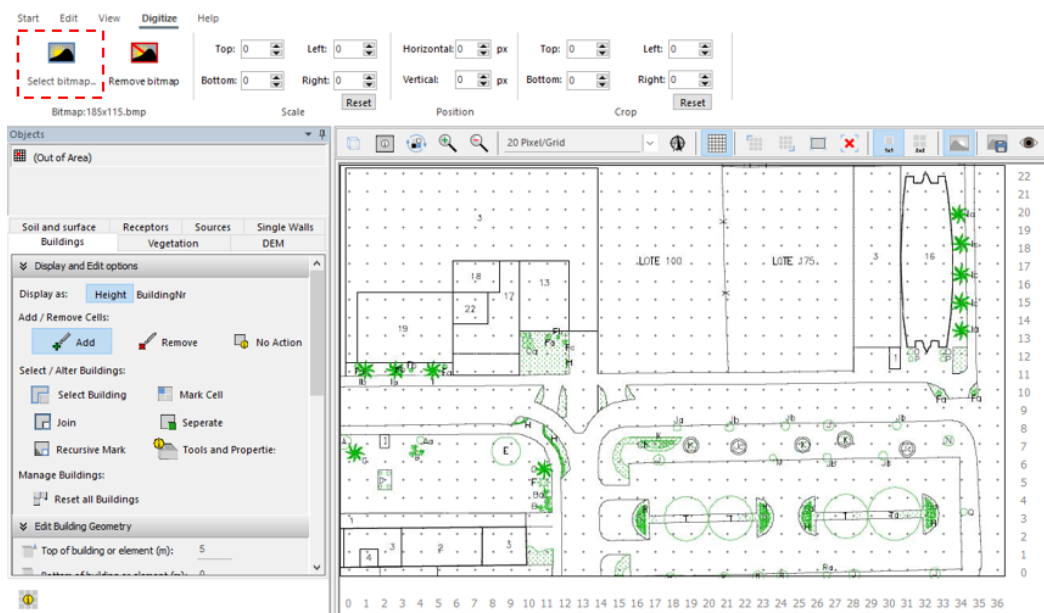
Após feito isso, no ícone *Spaces* em *Edit Area/Create New Area* foi inserida a cidade da pesquisa, o tamanho dos *Grids* (37x23x33) e o tamanho das células dos *Grids* em metros (5x5x4). A opção do *Telescoping* não foi selecionada, para que fosse utilizado o método de divisão da primeira célula do eixo z (4m) em 5 partes, dando prioridade à extração dos resultados compatível à altura do pedestre. No caso da área de estudo utilizada, em que as ruas foram paralelas aos *Grids*, o Norte não teve necessidade de ser rotacionado, mantendo o grau em 0°. Os demais itens não foram selecionados e a grade da área foi então criada (Figura 19).

Figura 19 - Tela de configuração de edição/criação da área no ENVI-met



Fonte: Autora (2022).

Estando as configurações do domínio definidas, na aba *Digitize* em *Select bitmap* foi selecionada a planta base previamente preparada no AutoCAD e convertida para extensão *bitmap*. A imagem foi carregada dentro do modelo, ocupando todo o domínio da grade, conforme pode ser observado na Figura 20. Sugere-se que essa planta possua a quantidade de pavimentos das edificações e definição da vegetação.

Figura 20 - Seleção da imagem da planta baixa base através da aba *Digitize*

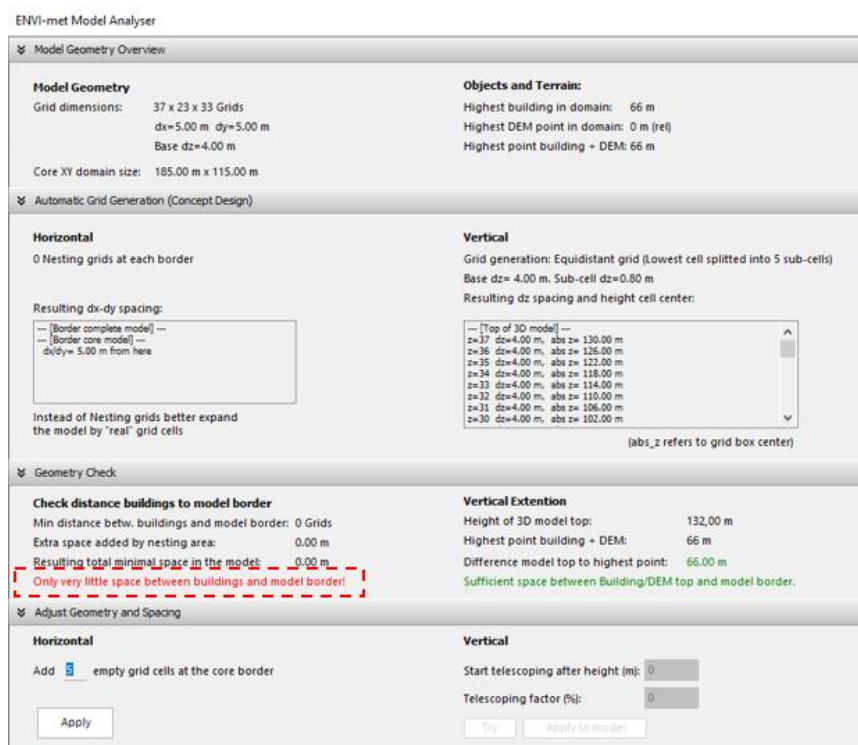
Fonte: Autora (2022).

Após inserida a planta base, recomenda-se iniciar pela edição primeiramente das camadas de edificações na aba *Buildings*, em segundo de vegetação na aba *Vegetation* (na ordem: árvores – *3D Plants*, arbustos e gramas – *Simple Plants*), em

terceiro de solo e superfícies de terreno na aba *Soil and Surface*, e por fim, inserir pontualmente os receptores na aba *Receptors*.

Assim que foram criadas as edificações da área, foi utilizado o ícone *Model Inspector* na aba *Edit*. O *Model Inspector* é uma ferramenta que apresenta uma análise sintetizada das características básicas da geometria do modelo, incluindo as dimensões da malha horizontal (primeira coluna) e vertical (segunda coluna). Ao utilizá-la, verificou-se se há uma distância mínima entre os edifícios e a borda do modelo e na altura de topo dos elementos modelados *versus* o topo do modelo 3D. No caso deste modelo, foi necessário acrescentar espaço de borda (Figura 21), optou-se em não utilizar o *Nesting Grids*, visto que essa função geralmente “aquece” o modelo (informação verbal)². Desta forma, foram acrescentadas células vazias por meio do ícone *Add empty cells at border* até chegar ao limite de *Grids* da versão Lite de 50x50.

Figura 21 - Aba do *Model Inspector* apresentando erro

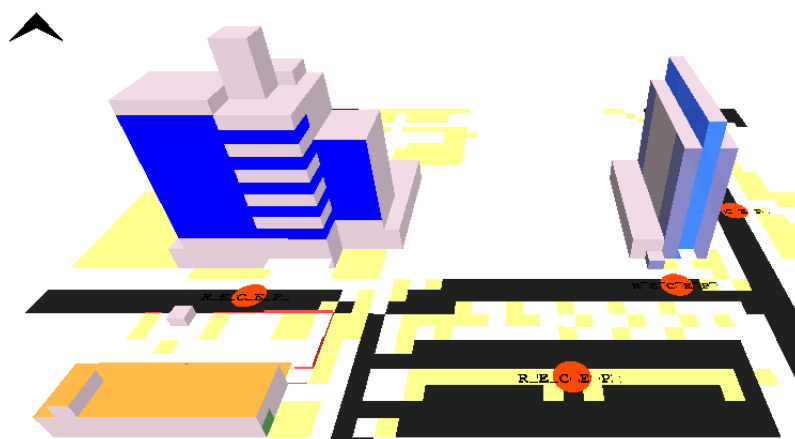


Fonte: Autora (2022).

Após acertos e continuidade de preenchimento da área, por último inseriu-se os receptores. Os mesmos foram colocados seguindo a localização dos pontos de coleta 1, 2, 3 e 4 do transecto móvel (Figura 22).

² GUSSON, C. S.; SHINZATO P., 2022.

Figura 22 - Visualização em 3D da área de estudo com localização dos receptores

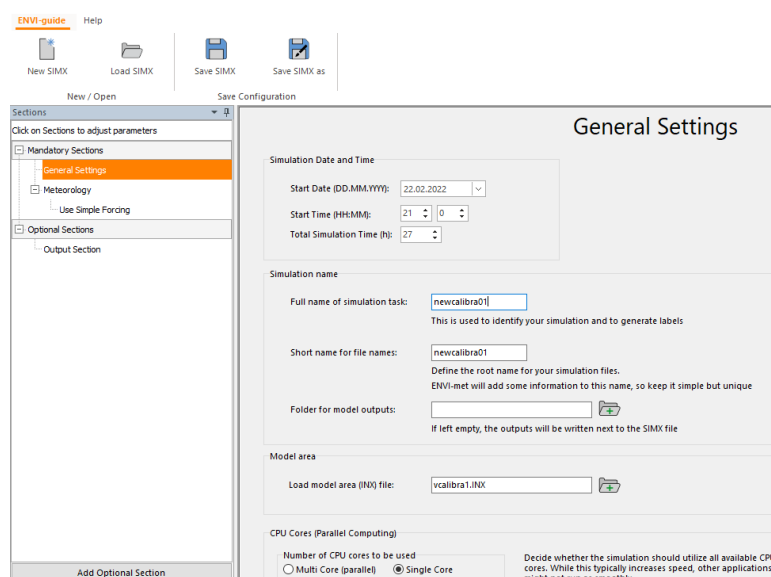


Fonte: Autora (2022).

Após a conclusão do modelo na ferramenta *Space* e salvo na extensão *.INX* segue-se para a ferramenta *ENVI-guide* em que foi feita a edição e criação do arquivo de simulação com extensão *.SIMX*.

Nessa parte em *General Settings* foi inserida a data, horário de início e duração da simulação. Também foi carregado o arquivo *.INX* do modelo (Figura 23). Vale ressaltar que é recomendado iniciar a simulação em um horário de condição atmosférica estável, em que a radiação solar direta não influencie, já que ela torna os cálculos mais complexos. Além disso, é aconselhável pela maior confiabilidade nos dados da simulação que seja programada para duração acima de 24h, no entanto, quanto maior o tempo definido mais horas o programa precisará para finalizar a simulação. Devido a isso foi escolhido o horário de 21h do dia anterior ao determinado para análise.

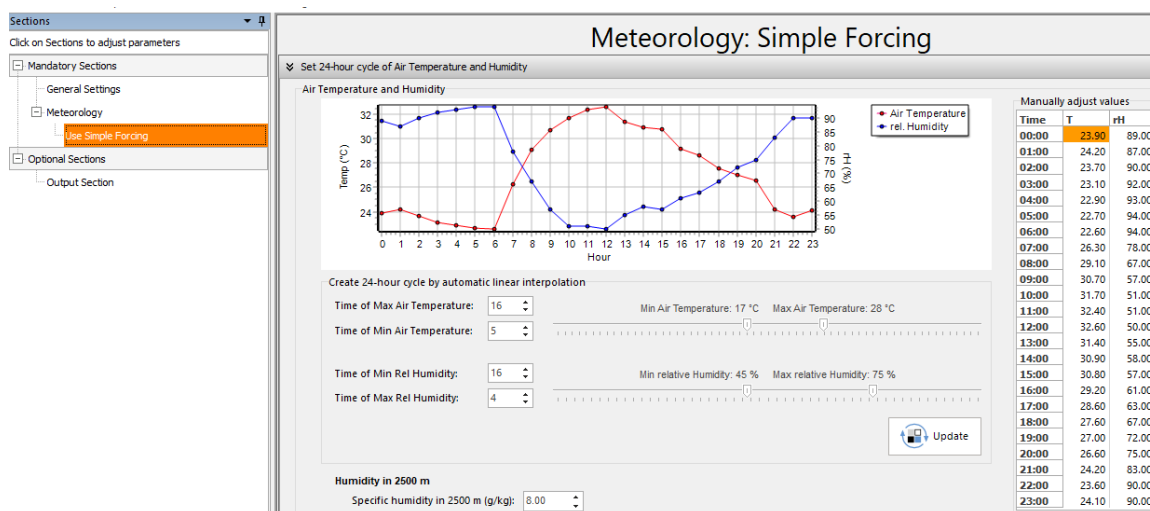
Figura 23 - Aba do *General Settings* com data, horário de início e duração da simulação



Fonte: Autora (2022).

Em *Meteorology* foi selecionada a opção *Simple Forcing*, sendo a mais indicada na versão gratuita, e que possui mais opções de inserção de dados da área e portanto, mais específica que a outra opção disponível *Use Other LBC*. Nesta aba foram inseridas as informações horárias de temperatura e umidade relativa (Figura 24) fornecidas pela estação automática A612–Vitória do INMET. A umidade específica³ a 2500m de altura teve que ser mantida no valor padrão do programa, pois a única encontrada no site da Universidade de Wyoming, por meio da estação convencional 83649 de Vitória, era no horário de 12Z (09h da manhã), e não no horário de 00Z (21h) sendo o mais aconselhado (informação verbal)⁴.

Figura 24 - Aba *Meteorology* com o *Simple Forcing* selecionado e as informações da estação automática inseridas hora a hora



Fonte: Autora (2022).

Ainda na configuração do *Simple Forcing* (Figura 25), foi colocada a velocidade do vento dada pela média dos valores da estação automática A612 do dia 23 de fevereiro. Para a direção do vento optou-se em seguir a orientação Nordeste predominante na cidade de Vitória. Foi utilizado o valor padrão para o coeficiente de rugosidade, de acordo com recomendações de outros autores. Os dados de cobertura de nuvens baixas, médias e altas (em oitavas) foram encontrados por meio dos dados METAR, que de acordo com Fôro (2022), é um informe codificado, associado às observações meteorológicas à superfície e é utilizado para fornecer informações sobre condições

³ Segundo Tito (2022), a umidade específica é a massa do vapor numa dada região em relação à massa total de ar daquela região. Expressa-se esse valor como a razão da massa de vapor pela massa total do ar, ou seja, em [g/kg]. Enquanto, a umidade relativa é a razão entre a quantidade de vapor no ar e a quantidade máxima de vapor que o ar submetido àquela temperatura comportaria. É um valor adimensional, expresso em porcentagem, significando que o ar já tem uma dada porcentagem de vapor em relação à quantidade máxima de vapor que o ar suportaria, levando-se em conta sua temperatura.

⁴ GUSSON, C. S.; SHINZATO P., 2022.

do tempo em um aeródromo específico. Essa codificação de uma observação meteorológica regular para a aviação, está disponível na plataforma do DCEA/REDEMET. Para acessar os dados do aeroporto de Vitória, a sigla é SBVT e para decodificar esses dados, deve-se usar o *software* MetarReader e assim obtém-se a cobertura de nuvens, além de outros dados como temperatura do ar, umidade, direção e velocidade do vento (Figura 26).

Figura 25 - Continuação do *Simple Forcing* com as informações de vento, rugosidade e nuvens

Wind and Radiation	
Windspeed	Low clouds
Constant windspeed at inflow border (m/s):	Cloud cover of low clouds (0-8):
1.65	4
Wind direction	Medium clouds
Constant wind direction at inflow (°):	Cloud cover of medium clouds (0-8):
45.00	0
Roughness Length	High clouds
Microscale roughness length of surface (m):	Cloud cover of high clouds (0-8):
0.010	0

Fonte: Autora (2022).

Figura 26 - *Software* MetarReader com informações meteorológicas do dia 23/02/2022

METAR

METAR SBVT 231500Z 02011KT 9999 SCT030 32/22 Q1014=

METAR SBVT 231500Z 02011KT 9999 SCT030 32/22 Q1014=

SBVT

O término de um código METAR é indicado pelo símbolo '='. Será decodificado até o primeiro símbolo '='!!!

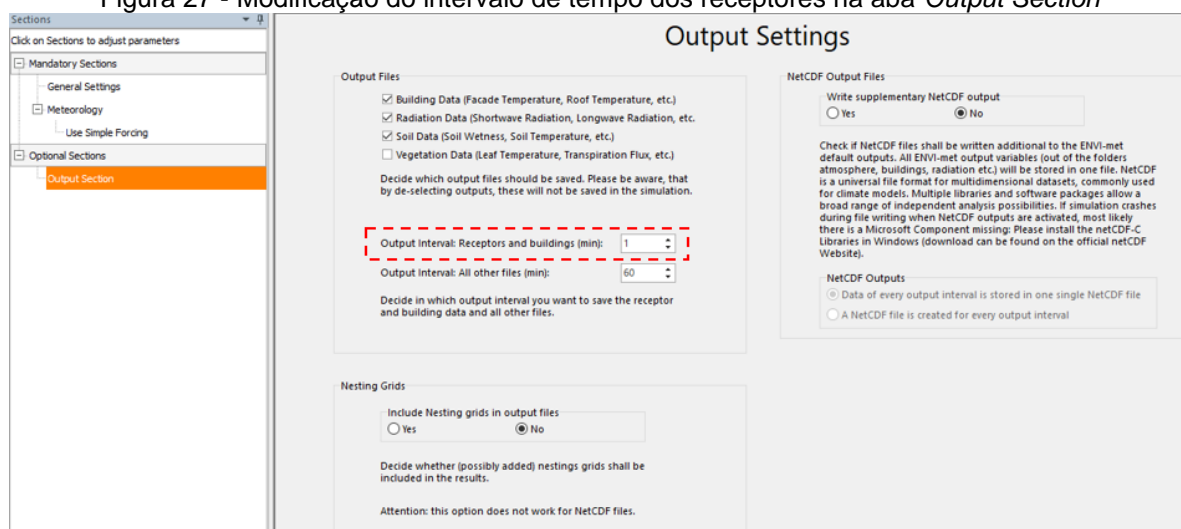
Localidade: SBVT
 VITORIA - GOIABERA - BRAZIL (ES)
 Latitude: 20°15'30"S - Longitude: 040°17'13"W.
 dia do mês: 23
 Horário: 15:00 UTC
 sexta-feira 23 setembro 2022 12:00 hora local.
 Vento: direção = 020 graus, velocidade: 11 nós (20 km/h) (6 m/s).
 Visibilidade horizontal mínima: 10 km ou mais.
 Nuvens: Parcialmente nublado (3-4 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).
 Temperatura: 32 graus Celsius (90 Fahrenheit). Ponto de orvalho: 22 graus Celsius (72 Fahrenheit). Umidade relativa 55,65 %. Índice de calor = 36 graus Celsius (97 Fahrenheit). Extrema cautela. Provável golpe de calor e/ou câimbras.
 QNH (pressão ao nível do mar): 1014 hPa (29,94 polegadas).

Decodifica Saída

Fonte: Autora (2022).

Há algumas seções opcionais após o preenchimento das abas obrigatórias até então citadas (*General Settings e Meteorology*). No caso das simulações de calibração, foi necessário na aba *Add Optional Sections* em *Output settings* modificar o tempo em que os receptores teriam os dados, alterando o intervalo para 1 min (Figura 27) a fim de compará-los com os dados medidos em campo.

Figura 27 - Modificação do intervalo de tempo dos receptores na aba *Output Section*



Fonte: Autora (2022).

Após o preenchimento de todas essas informações no *ENVI-guide*, o arquivo foi salvo em formato *.SIMX*. Em seguida, esse arquivo de simulação na extensão *.SIMX* foi carregado na ferramenta *ENVI-core*. Assim que o arquivo for aberto em *Open SIMX-File* sugere-se que seja feita uma checagem de erros por meio do ícone *Check Simulation* e, não havendo nenhuma incoerência, inicia-se a simulação com *Run Simulation*.

3.3.2 Simulações de calibragem

Foram feitas dezoito simulações para a calibragem do programa. A primeira simulação teve como arquivo criado na ferramenta *Space* e salvo na extensão *.INX*, os materiais dos edifícios e do solo do próprio *default* do ENVI-met: para as paredes foi utilizado o *concrete wall hollow block (C3)*, para as lajes de coberturas o *concrete slab hollow block (CS)*, para telhados com telhas cerâmicas (Pelourinho) o *roofing: terracota (R2)*, para o solo natural o *sandy soil (SD)*, asfalto o *asphalt road (ST)*, calçadas e base das construções o *concrete pavement gray (PG)*. Os vidros refletivos, que são os elementos de análise da pesquisa, foram criados no *Database* (Figura 28).

Figura 28 - Vidros usados nas simulações

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
Default Thickness	0.00800	Default Thickness	0.00838	Default Thickness	0.10380
Absorption	0.58000	Absorption	0.45000	Absorption	0.53000
Transmission	0.11000	Transmission	0.26000	Transmission	0.27000
Reflection	0.31000	Reflection	0.29000	Reflection	0.20000
Emissivity	0.90000	Emissivity	0.90000	Emissivity	0.90000
Specific Heat	750.00000	Specific Heat	750.00000	Specific Heat	750.00000
Thermal Conductivity	1.00000	Thermal Conductivity	1.00000	Thermal Conductivity	1.00000
Density	2500.00000	Density	2500.00000	Density	2500.00000
Extra ID	0	Extra ID	0	Extra ID	0

Fonte: Autora (2022).

O vidro especificado para a edificação “Enseada Trade Center” foi o vidro laminado refletivo Azul Intenso da linha Cool Lite da Cebrace com espessura de 8mm, por ser considerado o mais semelhante com o existente, pois não obteve-se acesso ao projeto e nem informações com a construtora. Para o edifício Greenwich Tower foram dois tipos de vidros laminados de controle solar discriminados pela empresa Glassec Viracon (fornecedora dos vidros instalados na edificação), um na tonalidade azul (GA119) e outro na tonalidade prata (GA016), com espessura de 8,38mm e 10,38mm, respectivamente. As informações inseridas no *ENVI-guide* foram resumidas no Quadro 6.

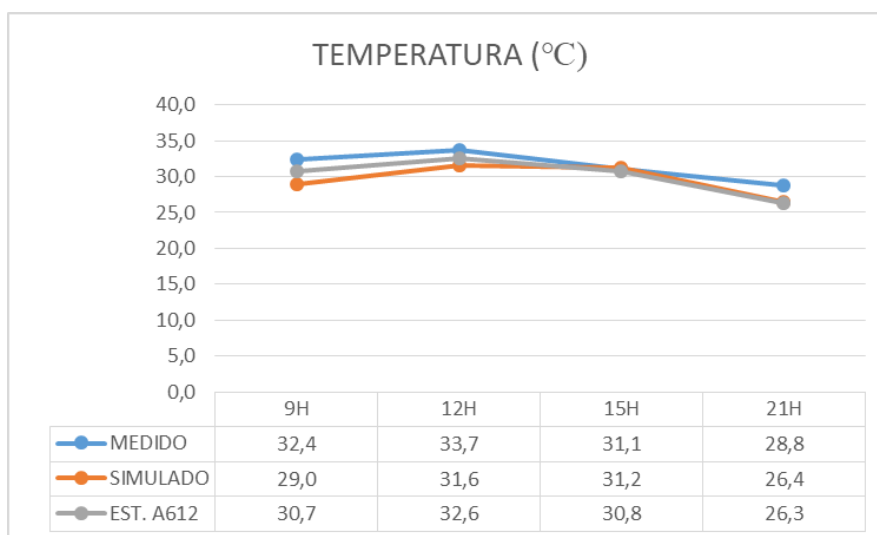
Quadro 6 - Resumo das informações inseridas na ferramenta *ENVI-guide*

Data de início (<i>Start Date</i>):	22/02/2022	Autora
Horário de início (<i>Start time</i>):	21:00	Autora (direcionamento c-adapt)
Horas totais da simulação (<i>Total Simulation Time</i>)	27h	Autora
<i>Simple forcing</i>	22-02 21:00h até 23:00 23-02 00:00 até 20:00	Estação automática A612–Vitória do INMET
Umidade específica em 2500m (g/kg) (<i>Specific humidity in 2500m</i>)	8.00	Padrão (direcionamento c-adapt)
Velocidade do vento constante na borda de entrada m/s (<i>Constant windspeed at inflow border m/s</i>)	1,65	Média do dia 23/02/22 - Estação automática A612–Vitória do INMET
Direção constante dos ventos na entrada (graus) (<i>Constant winds direction at inflow</i>)	45	Nordeste - predominante em Vitoria (Analysis Sol-Ar: verão)
Comprimento de rugosidade em microescala da superfície (m) (<i>Microscale roughness length of surface</i>)	0.01	Padrão (direcionamento c-adapt)
Nuvens baixas (<i>Low clouds</i>)	4	SBVT – decodificado do METAR
Nuvens médias (<i>Medium clouds</i>)	0	SBVT – decodificado do METAR
Nuvens altas (<i>High clouds</i>)	0	SBVT – decodificado do METAR
Seção opcional (<i>Optional section</i>)	Seção de saída (<i>Output options</i>) - Intervalo de saída: receptores e edifícios (min) (<i>output interval: receptors and buildings</i>) - 1	

Fonte: Autora (2022).

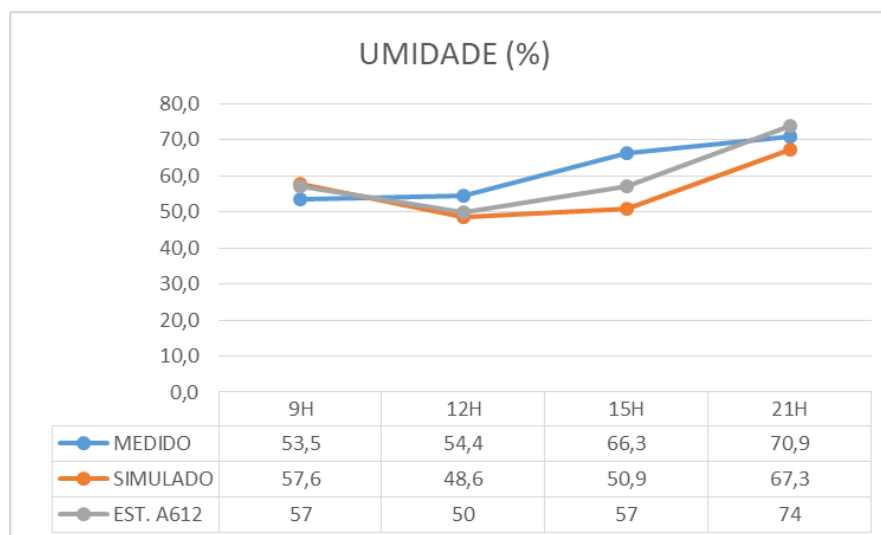
A simulação 01 teve resultados muito próximos dos dados de temperatura e umidade do ar da estação automática A612, mas um pouco mais distantes da medição de campo, nos horários em que foram possíveis comparar: 09h, 12h, 15h e 21h (Gráficos 4 e 5).

Gráfico 4 - Comparação de temperatura do ar entre os dados medidos, simulados e a estação meteorológica de referência



Fonte: Autora (2022).

Gráfico 5 - Comparação de umidade do ar entre os dados medidos, simulados e a estação meteorológica de referência

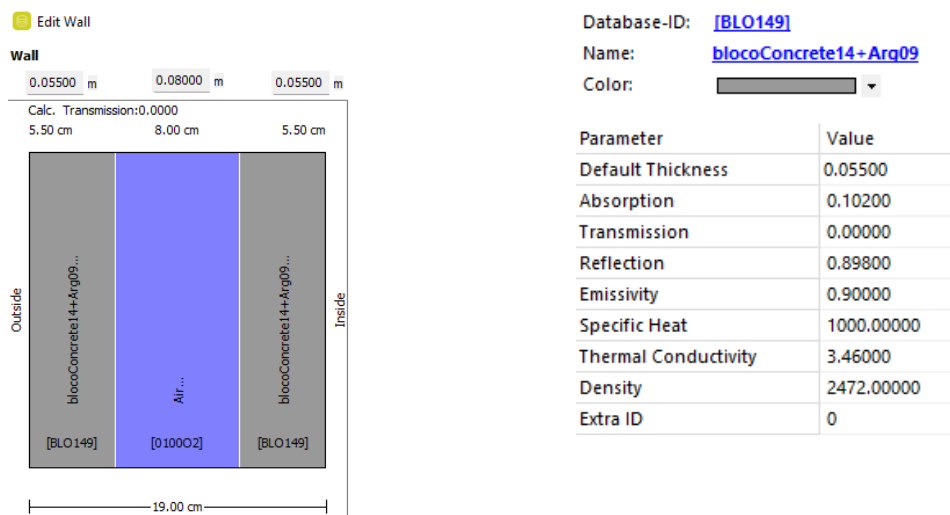


Fonte: Autora (2022).

A partir desses resultados, o intuito foi modificar primeiramente os componentes construtivos das edificações. A segunda simulação de calibragem utilizou o material das paredes, o bloco de concreto (Figura 29), de acordo com instruções de Gusson

(2020). No entanto, foram pequenas as alterações nos resultados e por isso, optou-se em prosseguir com o primeiro arquivo de modelagem utilizando o *default*.

Figura 29 - Bloco de concreto criado para a segunda simulação



Fonte: Autora (2022).

Na terceira simulação de calibragem testou-se a inserção da vegetação, foram criadas tipologias arbóreas que se aproximavam das existentes (Quadro 7). No entanto, o uso da vegetação já não era recomendado devido ao tamanho do *grid* ser maior que 3,5, pois a vegetação no ENVI-met é complexa e em *grids* maiores, a representação fica distorcida (informação verbal)⁵. Sendo os resultados, também com poucas diferenças da primeira simulação, optou-se em continuar a calibração sem a vegetação. Ambas as simulações tiveram um pequeno esfriamento da temperatura, sendo que para a calibração foi necessário o aquecimento da mesma, pois os valores medidos em campo, que estão sendo comparados com os valores obtidos nas simulações, foram mais elevados que o da estação A612.

Quadro 7 - Simple plants e 3D plants usadas como vegetação

(continua)

Código	Nome/espécie	Altura (m)	Diâmetro copa (m)
01MAID	Grama 10 cm aver. dense	0,10	-
01PLDM	Palm, large trunk, dense, medium	15,0	9,00
01PLBR	Palm, large trunk, dense, medium	10,0	7,00
01PMBR	Palm, medium trunk, dense, small	7,00	5,00
01PSBR	Palm, small trunk, dense, small	2,50	3,00
01PSDS	Palm, small trunk, dense, small	5,00	3,00
01CBBR	Cylindric, small trunk, sparse, small	0,90	1,00

⁵ GUSSON, C. S.; SHINZATO P., 2022.

Quadro 7 – Simple plants e 3D plants usadas como vegetação

(conclusão)

Código	Nome/espécie	Altura (m)	Diâmetro copa (m)
01CSBR	Cylindric, small trunk, dense, small	1,50	1,00
01A5BR	Conic, small trunk, sparse, small	0,50	1,00
00S2BR	Sophora Japonica	6,00	9,00
10430	Persian Walnut (young)	4,75	2,38x 2,77
10090	Common Robinia (young)	7,31	2,81 x 2,52
0033BR	Jacaranda mimosifolia	17,5	13,0
020100	Apple Tree (middle)	8,14	6,60x7,13

Fonte: Autora (2022).

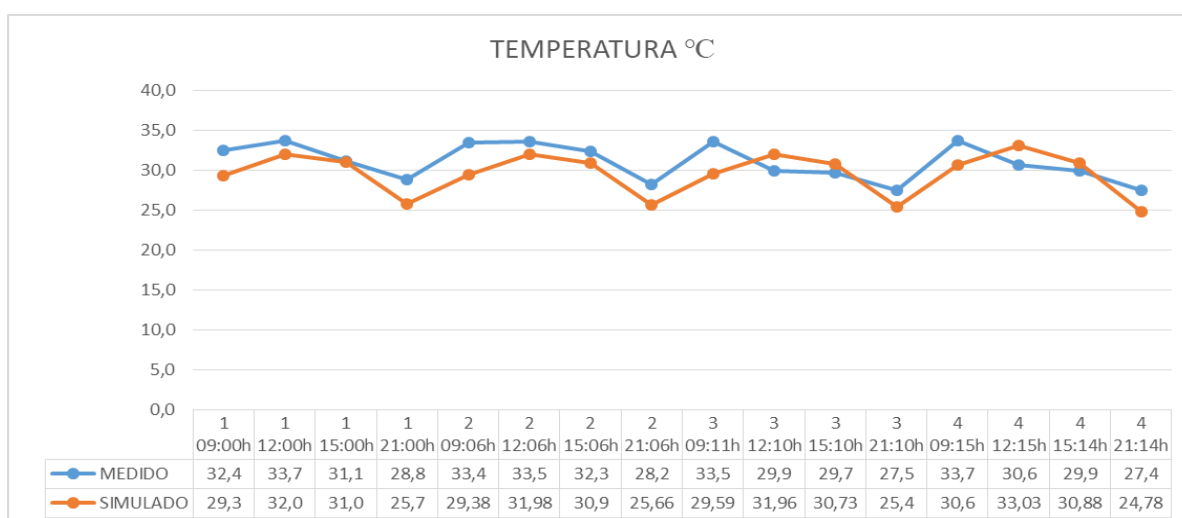
A partir da quarta simulação as modificações foram feitas somente nos arquivos de dados meteorológicos:

- Na **simulação 4**, modificou-se os dados da cobertura de nuvens baixas, diminuindo o valor de 4 para 3. Considerando que durante o período do dia em 23 de fevereiro o céu foi considerado parcialmente nublado com 3-4 oitavos de cobertura de nuvens baixas (Apêndice IV).
- Na **simulação 5** optou-se em modificar a velocidade do vento para 0,70m/s, foi usado o valor de predomínio do dia 23 de fevereiro encontrado na estação automática A612.
- Na **simulação 6** optou-se em modificar a velocidade do vento para 4,67m/s, foi usada a média do dia 23 de fevereiro da estação do aeroporto de Vitória (que fica a aproximadamente 7km da área de pesquisa na Enseada do Suá) e com o valor 3 para cobertura de nuvens baixas.
- A **simulação 7** foi idêntica à simulação 6, porém com a cobertura de nuvens baixas no valor de 4.
- Nas **simulações 8 e 9** foram modificadas as velocidades e direções do vento com os valores predominantes do dia 23 de fevereiro da estação do aeroporto de Vitória. Na primeira os valores de 3,83m/s e 10° e na segunda os valores de 7m/s e 50°. Ambas com o valor de 3 para cobertura de nuvens baixas.
- Na **simulação 10** retornou-se ao valor da velocidade do vento de 1,65m/s dado pela média do dia na estação automática A612 e direção de 45°, porém foi testado a cobertura de nuvens baixas no valor de 2, pois se considerada todas as horas, ou seja, de meia noite até às 23h do dia 23 de fevereiro, há um predomínio do céu pouco nublado (1-2 oitavos).

- A **simulação 11**, foi testada a velocidade do vento com o valor de 1m/s, seguindo as recomendações de Shinzato (2014), a fim de evitar problemas de instabilidade e erros de convergência de dados.
- Nas **simulações 12 e 13**, aplicaram-se as orientações de Xavier (2017). A primeira teve a intenção de restringir a influência do vento e por isso, utilizou-se o valor de 0,1m/s. Enquanto na segunda, foi utilizado o valor de 0,5m/s pois foi o valor que obteve resultados mais compatíveis com a medição da pesquisadora.
- Nas **simulações 14 e 15** retornou-se ao valor de 4,67m/s para a velocidade do vento e 45° para a direção, modificando-se os valores da cobertura de nuvens baixas para 2 e 1 respectivamente.
- As **simulações 16 e 17** também tiveram a repetição do valor da velocidade do vento de 7m/s e direção de 50°, alterando somente os valores de 2 e 1 respectivamente, para a cobertura de nuvens baixas.
- Na **simulação 18**, optou-se por alterar o valor da umidade específica em 2500m, adotando o valor de 10.31g/kg, obtido na altura de 2542m para o dia 23 de fevereiro às 9h (Anexo B).

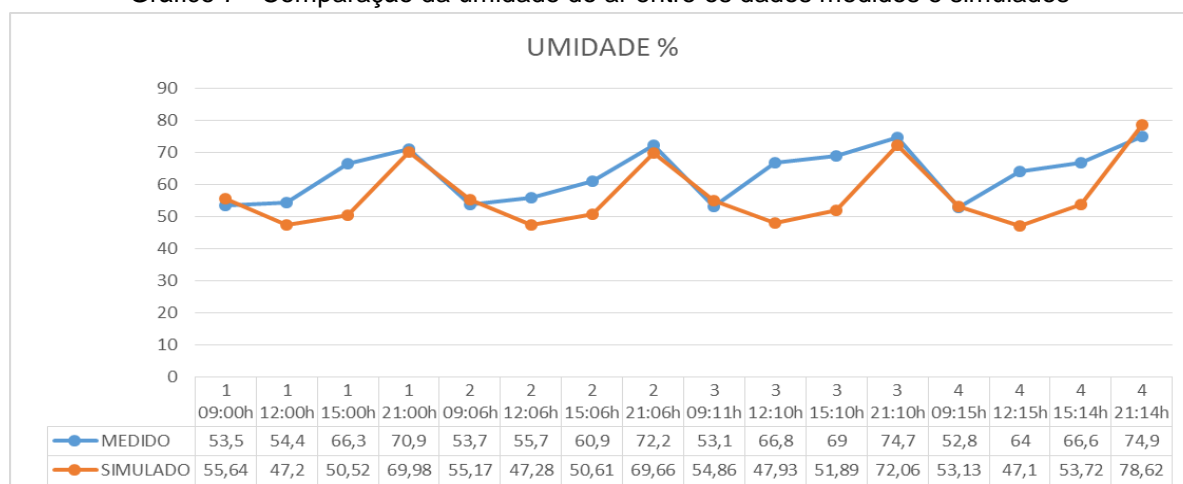
Por meio de todas essas simulações foi observado que o aumento do valor da velocidade do vento e a diminuição da cobertura de nuvens baixas, deixaram os valores de temperatura e umidade do ar mais próximos dos dados medidos em campo (Gráficos 6 e 7), o que levou a escolha do uso da simulação 17.

Gráfico 6 - Comparação da temperatura do ar entre os dados medidos e simulados



Fonte: Autora (2022).

Gráfico 7 - Comparação da umidade do ar entre os dados medidos e simulados



Fonte: Autora (2022).

Durante o período da manhã as temperaturas na simulação e na medição foram mais destoantes, chegando a maior diferença encontrada de 4°C no ponto 2 de medição às 09:06h. No período da tarde os valores encontrados foram mais aproximados.

Em relação a umidade, o período da tarde teve grande diferença na comparação. Foi identificada a maior diferença de 18,9% no ponto 3 de medição no horário de 12:10h. No período da manhã e da noite a diferença não chega a 4%.

Os valores que mais se aproximaram na comparação da umidade do ar no período da tarde, foi quando a velocidade do vento utilizada foi a mínima. Porém, no período da manhã e da noite as diferenças foram grandes, o que impossibilitou o uso dessa simulação.

O ideal seria que os dados horários utilizados no *Simple Forcing* fossem medidos em campo e não os de uma estação meteorológica (informação verbal)⁶. No entanto, não foi possível conforme explicado no item 3.2 Medição microclimática. É possível observar a diferença existente nos valores de temperatura e umidade do ar medidos e definidos na estação automática A612 nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Diferença entre a temperatura do ar medida e da estação automática A612

TEMPERATURA				
HORA	DATA	MEDIDA	ESTAÇÃO A612	DIFERENÇA
9h	23/02/2022	32,4	30,7	1,7
12h	23/02/2022	33,7	32,6	1,1
15h	23/02/2022	31,1	30,8	0,3
21h	23/02/2022	28,8	26,3	2,5

Fonte: Autora (2022).

⁶ GUSSON, C. S.; SHINZATO P., 2022.

Tabela 4 - Diferença entre a umidade do ar medida e da estação automática A612

UMIDADE				
HORA	DATA	MEDIDA	ESTAÇÃO A612	DIFERENÇA
9H	23/02/2022	53,5	57	-3,5
12h	23/02/2022	54,4	50	4,4
15h	23/02/2022	66,3	57	9,3
21h	23/02/2022	70,9	74	-3,1

Fonte: Autora (2022).

Para avaliar a associação entre os dados medidos e simulados das variáveis temperatura e umidade relativa, foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Pearson (r) assim como feito por Werneck (2018) e Leal (2018). O coeficiente de correlação de Pearson mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas e varia de -1 a 1. Quanto mais próximo dos extremos do intervalo, (-1 e +1) mais forte é a correlação. Quanto mais próximo do centro do intervalo, zero, mais fraca é a correlação linear. Há distinção quanto aos valores de r para determinar a correlação como forte, alguns autores consideram os valores entre 0,50 e 1 e outros de 0,70 até 1 (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009).

O valor de r para a comparação da temperatura e umidade do ar na simulação 17 foi de respectivamente 0,66 e 0,65. Desta forma, foi encontrada entre todas as simulações realizadas, uma associação satisfatória na relação das variáveis com os dados medidos e simulados, demonstrando que a calibração aproximou os valores desses dois processos, tornando os resultados da simulação mais próximos da representação da realidade climática de Vitória.

3.3.3 Simulações dos cenários propostos

As simulações dos cenários 02, 03, 04 e 05 foram feitas com o arquivo de simulação *.SIMX* escolhido no processo de calibração, sendo a única diferença a mudança do intervalo de saída: receptores e edifícios, que antes era de 1 minuto e passou a ser de 60 minutos, já que os dados foram comparados de hora em hora, a fim de reduzir inclusive o tempo de simulação, que chegou a 22 horas 19 minutos e 15 segundos na simulação de calibração, todas as informações foram resumidas no Quadro 8.

Quadro 8 - Resumo das informações inseridas na ferramenta *ENVI-guide* do arquivo *.SIMX* escolhido para as simulações dos cenários 02, 03, 04 e 05

Data de início (<i>Start Date</i>):	22/02/2022	Autora
Horário de início (<i>Start time</i>):	21:00	Autora (direcionamento c-adapt)
Horas totais da simulação (<i>Total Simulation Time</i>)	27h	Autora
<i>Simple forcing</i>	22-02 21:00h até 23:00 23-02 00:00 até 20:00	Estação automática A612–Vitória do INMET
Umidade específica em 2500m (g/kg) (<i>Specific humidity in 2500m</i>)	8.00	Padrão (direcionamento c-adapt)
Velocidade do vento constante na borda de entrada m/s (<i>Constant windspeed at inflow border m/s</i>)	7	Média da predominância do dia 23/02/22 - Estação SBVT aeroporto Vitoria
Direção constante dos ventos na entrada (graus) (<i>Constant winds direction at inflow</i>)	50	Direção predominante em Vitoria no dia 23/02/2022 - Estação SBVT aeroporto Vitoria
Comprimento de rugosidade em microescala da superfície (m) (<i>Microscale roughness length of surface</i>)	0.01	Padrão (direcionamento c-adapt)
Nuvens baixas (<i>Low clouds</i>)	1	SBVT – decodificado do METAR
Nuvens médias (<i>Medium clouds</i>)	0	SBVT – decodificado do METAR
Nuvens altas (<i>High clouds</i>)	0	SBVT – decodificado do METAR
Seção opcional (<i>Optional section</i>)	Seção de saída (<i>Output options</i>) - Intervalo de saída: receptores e edifícios (min) (<i>output interval: receptors and buildings</i>) - 60	

Fonte: Autora (2022).

Modificou-se também os arquivos *.INX* com a inserção das edificações e no caso de cada cenário o predomínio do vidro refletivo ou o vidro incolor nas fachadas desses edifícios propostos. Para os vidros refletivos dos prédios sugeridos foi escolhido o vidro laminado refletivo prata da família Cool Lite - linha K da Cebrace de 8,38mm de espessura, pelo alto valor de albedo. Para o vidro incolor foi definido o da linha Habitat Neutro Incolor de 8mm, por ser uma linha de alta demanda da empresa Viminis, que é referência em beneficiamento de vidros na região de Vitória/ES e pelo baixo valor de albedo. Os dois tipos de vidro foram criados no *Database* (Figura 30). Todos os demais materiais foram os mesmos já criados para a simulação de calibração.

Figura 30 - Vidros usados nas edificações sugeridas

Parameter	Value	Parameter	Value
Default Thickness	0.00838	Default Thickness	0.00800
Absorption	0.38000	Absorption	0.30000
Transmission	0.20000	Transmission	0.57000
Reflection	0.42000	Reflection	0.13000
Emissivity	0.90000	Emissivity	0.90000
Specific Heat	750.00000	Specific Heat	750.00000
Thermal Conductivity	1.00000	Thermal Conductivity	1.00000
Density	2500.00000	Density	2500.00000
Extra ID	0	Extra ID	0

Fonte: Autora (2022).

3.4 PARÂMETROS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pelo programa ENVI-met é possível analisar os dados gerados nas simulações de duas formas: uma em um arquivo de texto que contém os dados em formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) e outra em um arquivo com formato binário. Por meio de um programa visualizador de texto é possível acessar a primeira forma apresentada, na segunda, o arquivo binário, é acessado com o *plug-in* LEONARDO, que faz parte do pacote de ferramentas do ENVI-met e permite a elaboração de mapas e tabelas para análise dos resultados. O programa possibilita o ajuste da altura da escala vertical, a partir do nível do solo, que se deseja analisar para variáveis climáticas como: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura radiante média, entre outros.

Na etapa de calibração foram comparados os valores da temperatura e umidade do ar obtidos nos receptores do cenário 01 a uma altura de 1,20m com os da medição feita em campo a 1,50m. Na análise dos resultados das simulações dos cenários 02, 03, 04 e 05 comparou-se os valores da Temperatura do Ar (Tar), da Temperatura Radiante Média (TRM), da Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e do Índice Climático Térmico Universal (UTCI), a uma altura a nível do pedestre de 1,20m, definida por conta da divisão do tamanho do *grid*, que teve como altura definida em 4m.

A TRM pode ser estimada por meio de simulação no programa ENVI-met, medida em °C e é influenciada pelas propriedades térmicas e radiantes dos materiais no seu entorno bem como pelo sombreamento entre os edifícios (GUSSON, 2020). De acordo

com a ASHRAE, 2001 a TRM é definida como a “temperatura de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual a transferência de calor radiante no ambiente não uniforme real”. Pode ser a variável mais apropriada para caracterizar diferenças em meios urbanos de condições de conforto térmico em comparação com variáveis meteorológicas tradicionais, como a temperatura do ar, especialmente em ambiente urbano complexo (GUSSON, 2020).

De acordo com De Arruda e Masiero (2021), o PET e o UTCI são índices de conforto térmico indicados para o estudo de espaços abertos, sendo que as simulações computacionais por meio de softwares bioclimáticos como ENVI-met e RayMan são uma alternativa para a estimativa de tais índices, enquanto a medição em campo abrange o uso de equipamentos caros e um processo trabalhoso.

O PET foi introduzido por Höppe e Mayer em 1987 (HIRASHIMA, 2010), consiste em descobrir, por meio de modelo numérico, a temperatura do ar na qual em uma situação típica, o balanço térmico do corpo humano é mantido. A temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média, metabolismo de trabalho e vestimenta, são os dados considerados para a obtenção do índice (SILVA, 2014). Na Tabela 05 é possível verificar a proposta de uma calibração do índice PET para a cidade de Vitória/ES desenvolvida por Silva (2014), que foi considerada para a discussão dos resultados.

Tabela 5 - Intervalos de PET para Vitória

Sensação térmica	PET para Europa Matzarakis e Bayer (1996)	PET para Vitória
Muito frio	$\leq 4^{\circ}\text{C}$	—
Frio	$4^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 8^{\circ}\text{C}$	$18^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 20^{\circ}\text{C}$
Frio moderado	$8^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 13^{\circ}\text{C}$	—
Levemente frio	$13^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 18^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 22^{\circ}\text{C}$
Neutro	$18^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 23^{\circ}\text{C}$	$22^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 30^{\circ}\text{C}$
Levemente quente	$23^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 29^{\circ}\text{C}$	$30^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 34^{\circ}\text{C}$
Calor moderado	$29^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 35^{\circ}\text{C}$	—
Quente	$35^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 41^{\circ}\text{C}$	$34^{\circ}\text{C} < \text{PET} \leq 46^{\circ}\text{C}$
Muito quente	$> 41^{\circ}\text{C}$	$> 46^{\circ}\text{C}$

Fonte: Silva (2014).

O UTCI, inicialmente desenvolvido pela *International Society of Biometeorology* (ISB), resulta em uma temperatura equivalente a um ambiente de referência, sendo válido para todo o intervalo de trocas de calor entre corpo e o ambiente. É também classificado em categorias de estresse térmico, por faixas da temperatura resultante, variando de extremo estresse para o frio a extremo estresse para o calor (BRÖDE,

2022) (Tabela 6). É considerado como um dos índices mais abrangentes para o cálculo do estresse térmico em espaços externos, sendo válido para todos os climas, estações e escalas, da micro à macro (DUARTE, 2018).

Tabela 6 - Escala de Avaliação UTCI

Faixas de UTCI (°C)	Categoria de estresse
Acima de +46	Extremo estresse para o calor
+38 a +46	Muito forte estresse para o calor
+32 a +38	Forte estresse para o calor
+26 a +32	Moderado estresse para o calor
+9 a +26	Sem estresse térmico
+9 a 0	Pouco estresse para o frio
0 a -13	Moderado estresse para o frio
-13 a -27	Forte estresse para o frio
-27 a -40	Muito forte estresse para o frio
Abaixo de -40	Extremo estresse para o frio

Fonte: Adaptado de UTCI.org (2003).

Para obtenção dos índices, foram inseridos no RayMan os valores da temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s) e TRM (°C) obtidos em cada cenário por meio do ENVI-met, pois o RayMan, criado por Andreas Matzarakis é cedido de forma gratuita e a versão do ENVI-met Lite não fornece os resultados do PET e do UTCI. Manualmente, completou-se também, o banco de dados com informações de localização, latitude, longitude, altitude e fuso horário da cidade de Vitória, data e hora. Além disso, foram inseridas informações sobre o indivíduo: altura (1,75m), peso (75kg), idade (35 anos), sexo (masculino), vestimenta (0,9 clô) e atividade metabólica (80W) (Figura 31).

Figura 31 - Interface do Software RayMan

The screenshot shows the RayMan Pro software interface with the following sections and values:

- Date and time:** Date (day.month.year) 23.2.2022, Day of year 54, Local time (h:mm) 12:00. Button: Now and today.
- Geographic data:** Location: Áquator. Buttons: Add location, Remove location. Geogr. longitude (°E) -40°20', Geogr. latitude (°N) -20°19', Altitude (m) 4, Timezone (UTC + h) -3.0.
- Current data:** Air temperature Ta (°C) 31.5, Vapour pressure VP (hPa) 22.1, Rel. humidity RH (%) 48.0, Wind velocity v (m/s) 2.4, Cloud cover N (octas) 0.0, Surface temperature Ts (°C) [empty], Global radiation G (W/m²) [empty], Mean radiant temp. Tmrt (°C) 61.7. Buttons: Calculation: New, Add.
- Personal data:** Height (m) 1.75, Weight (kg) 75.0, Age (a) 35, Sex m.
- Clothing and activity:** Clothing (clo) 0.9, Activity (W) 80, Position standing. Auto Standard Clo for mPET.
- Thermal indices:** PMV, PET, SET*, UTCI, PT, mPET. Button: Close.

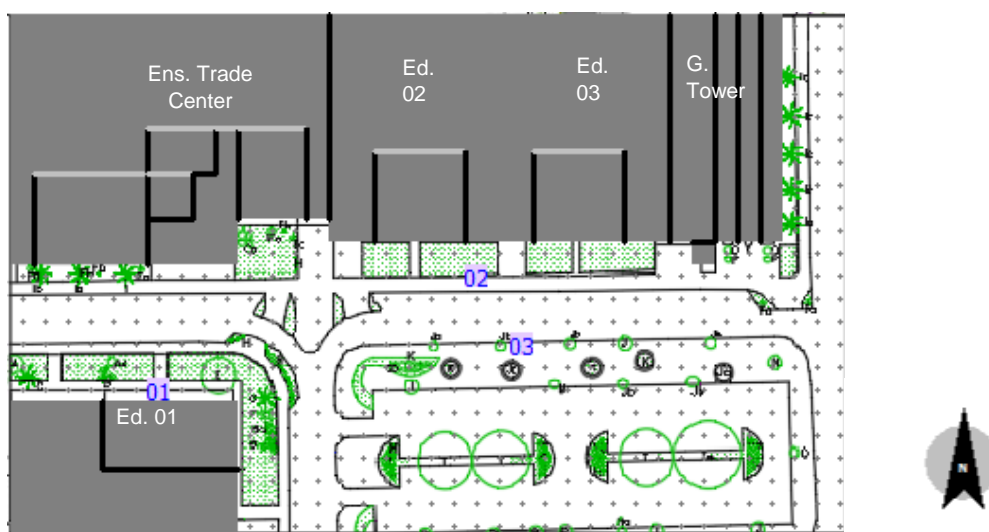
Fonte: Autora (2022).

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstraram que os fatores comparados entre os cenários 02, 03, 04 e 05: Temperatura do Ar (Tar), Temperatura Radiante Média (TRM), Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e Índice Climático Térmico Universal (UTCI) apresentaram uma tendência de aumento nos cenários com o uso de vidro refletivo, nos horários mais quentes do dia, mas as diferenças não foram significativas, destacando que em todos os cenários simulados os valores ficaram na faixa inferior a 1°C.

Os resultados foram apresentados da seguinte forma, Tar e TRM em mapas, e os índices de conforto térmico PET e UTCI foram determinados em três pontos: dois em calçadas próximas às edificações (pontos 01 e 02) e o ponto 03 na calçada da Praça Vernesbach (Figura 32), estes locais são de passagem e permanência dos pedestres, além da verificação da influência da proximidade com o material simulado.

Figura 32 - Pontos de avaliação dos índices de conforto térmico

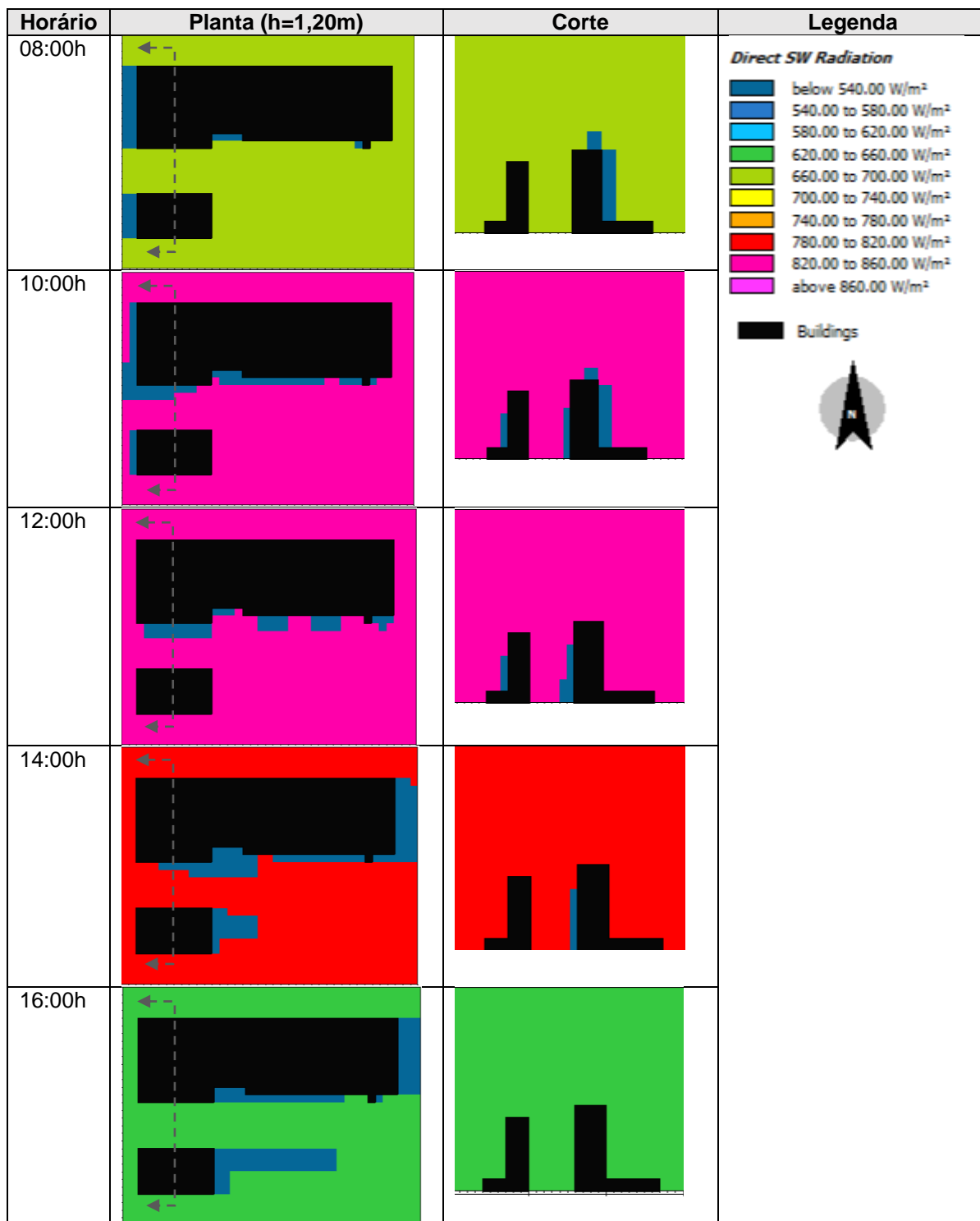


Fonte: Autora (2022).

Para melhor entendimento dos resultados, no Quadro 9 são apresentadas imagens do nível de radiação direta no modelo computacional e as sombras originadas pela geometria dos edifícios em cinco horários do dia. Às 08h têm-se a radiação entre 660W/m² e 700W/m², e a sombra (na cor azul) mantém-se ao lado esquerdo das edificações, o sol não atinge as fachadas voltadas para o Oeste. Nos horários de 10h e 12h a radiação chega a valores acima de 820W/m², as fachadas direcionadas para o Sul e Oeste às 10h ficam na sombra, e ao meio dia a maioria das fachadas voltadas para o Sul não recebem radiação direta. Às 14h a radiação está entre 780W/m² e

820W/m² e a sombra começa a direcionar-se para a direita, mantendo as fachadas orientadas ao Sul e ao Leste na sombra. Às 16h a radiação tem seu nível entre 620W/m² e 660W/m², e a sombra voltada totalmente para o lado direito das edificações, mantém as fachadas à Leste sem o recebimento da radiação solar.

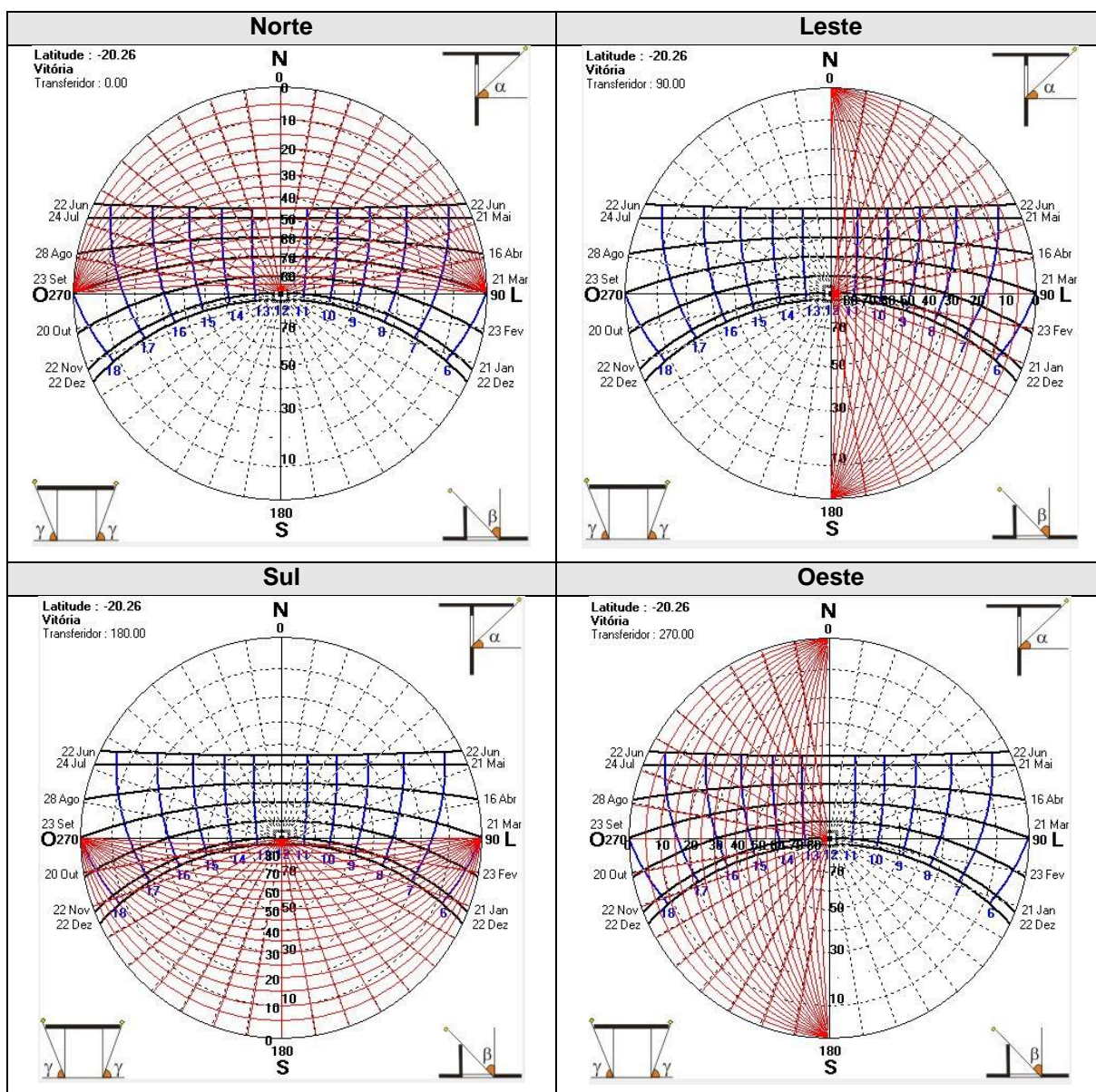
Quadro 9 - Distribuição da radiação direta (W/m²) em cinco horários do dia



Fonte: Autora (2022).

Ainda com a finalidade de maior compreensão dos resultados, no Quadro 10 são apresentadas imagens das cartas solares referentes às fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste, em que é possível verificar o tempo de insolação (mês e horário) para cada fachada das edificações. No dia 23 de fevereiro, em que ocorreu o estudo, verifica-se que as fachadas Norte receberam sol entre os horários de 08h às 16h. Nas fachadas orientadas à Leste a insolação ocorreu durante o período da manhã, até o meio dia. Enquanto na direção Sul, as fachadas receberam sol até às 08h e ficaram na sombra até às 16h, quando voltaram a receber insolação. E as fachadas direcionadas à Oeste receberam sol da tarde, a partir de 12h.

Quadro 10 - Cartas solares das fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste



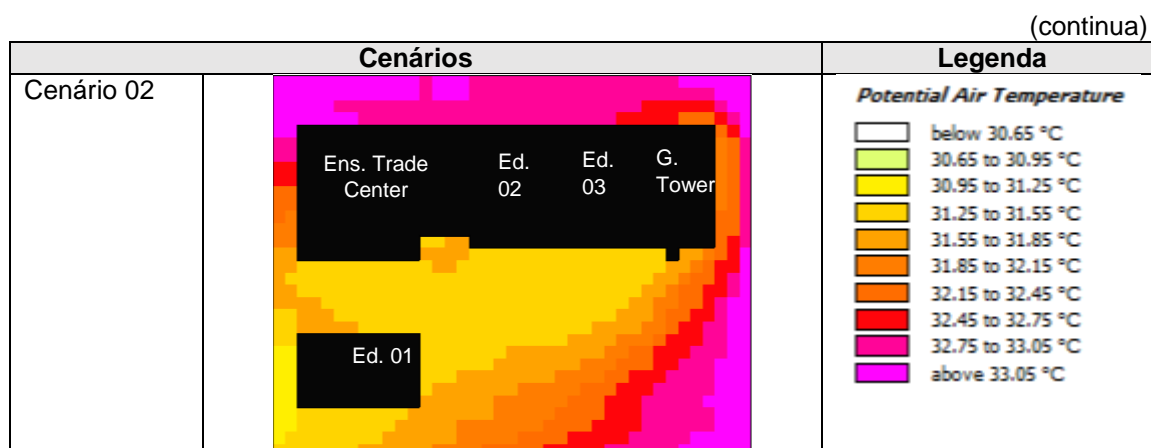
Fonte: Analysis Sol-Ar 6.2 (2022).

4.1 TEMPERATURA DO AR – TAR

Os resultados obtidos demonstraram que a Temperatura do Ar (Tar) não apresentou nenhuma alteração significativa nos cenários comparados (02, 03, 04 e 05), sendo os modelos 02, 03 e 04 os que possuem vidro refletivo e diferenciam-se entre si no quantitativo: o 02 tem maior uso deste tipo de vidro e o 04 possui menor quantidade. O cenário 05 não contém vidros refletivos, mas sim incolor.

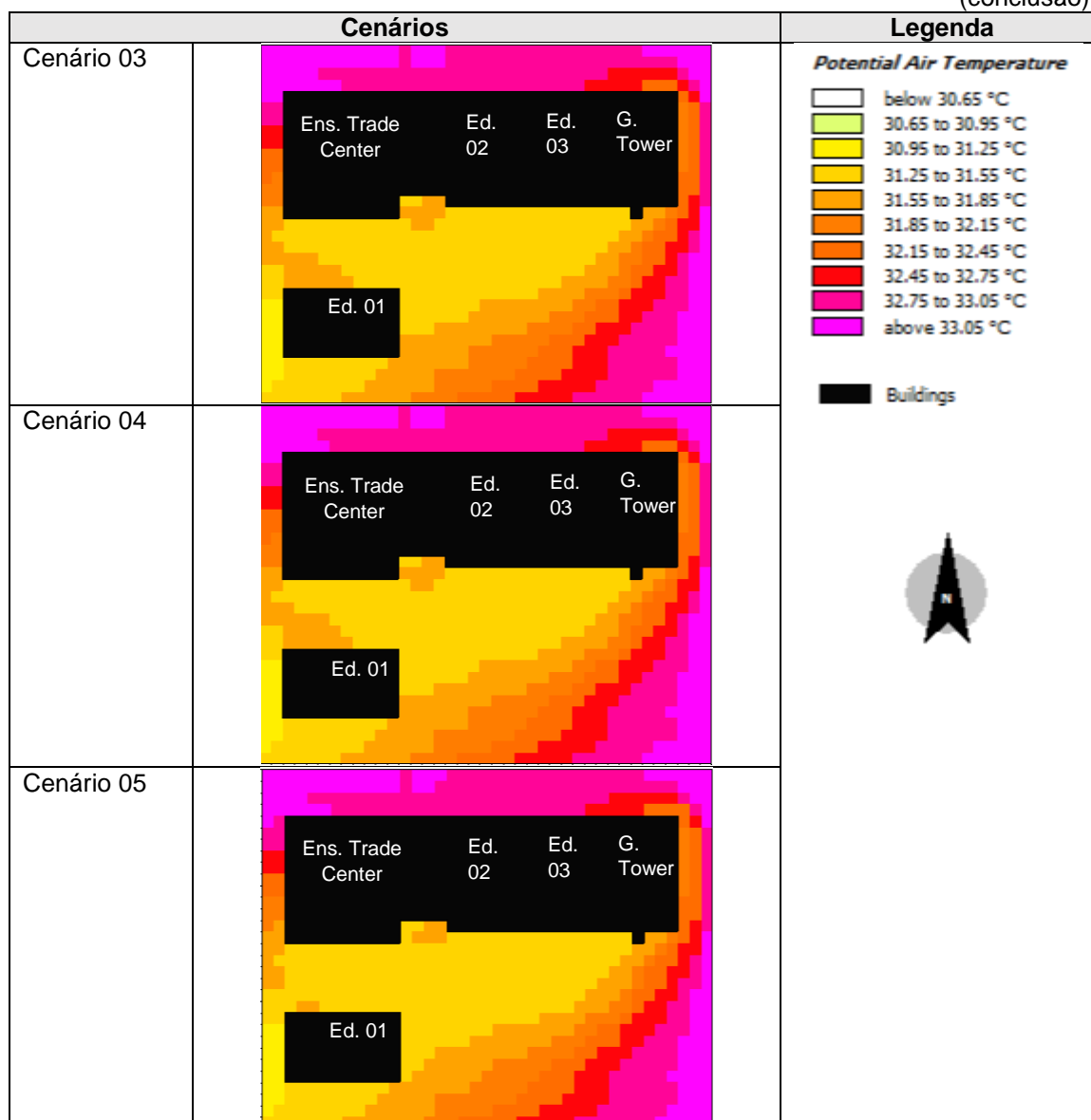
As diferenças para a Tar corresponderam em sua maioria a 0,01°C, chegando ao máximo de 0,03°C em alguns pontos e horários. Essa pequena variação já era esperada, pois muitos estudos mostram que a Tar é um parâmetro que dificilmente apresenta diferenças significativas, principalmente quando se altera somente os materiais de superfícies das fachadas. O maior valor de Tar encontrado foi de 33,33°C às 12h em todos os cenários e o menor valor de Tar foi de 22,72°C às 06h da manhã (Apêndice V). Para análise mais detalhada foi definido o horário de maior Tar, às 12h. É perceptível, no Quadro 11, que os cenários 02, 03 e 04 em que há o uso de vidro refletivo, a Tar se apresentou mais elevada próxima ao edifício 01 e ao lado do Enseada Trade Center, comparado ao cenário 05. O ponto 01 foi o que teve maior valor para a Tar, no horário de 12h o cenário 03 e 04 apresentaram a Tar de 31,53°C, o cenário 02 de 31,51°C e o cenário 05 de 31,50°C. Isso provavelmente ocorreu porque o ponto 01 está em frente a fachada direcionada à Norte da edificação 01, ou seja, recebe radiação solar direta no período entre 8h e 16h, enquanto os pontos 02 e 03 estão mais próximos às outras duas edificações em frente às fachadas direcionadas à Sul, que não recebem insolação na maior parte do dia.

Quadro 11 - Comparativo da temperatura do ar no horário de 12h (h=1,20m)



Quadro 11 – Comparativo da temperatura do ar no horário de 12h (h=1,20m)

(conclusão)



Fonte: Autora (2022).

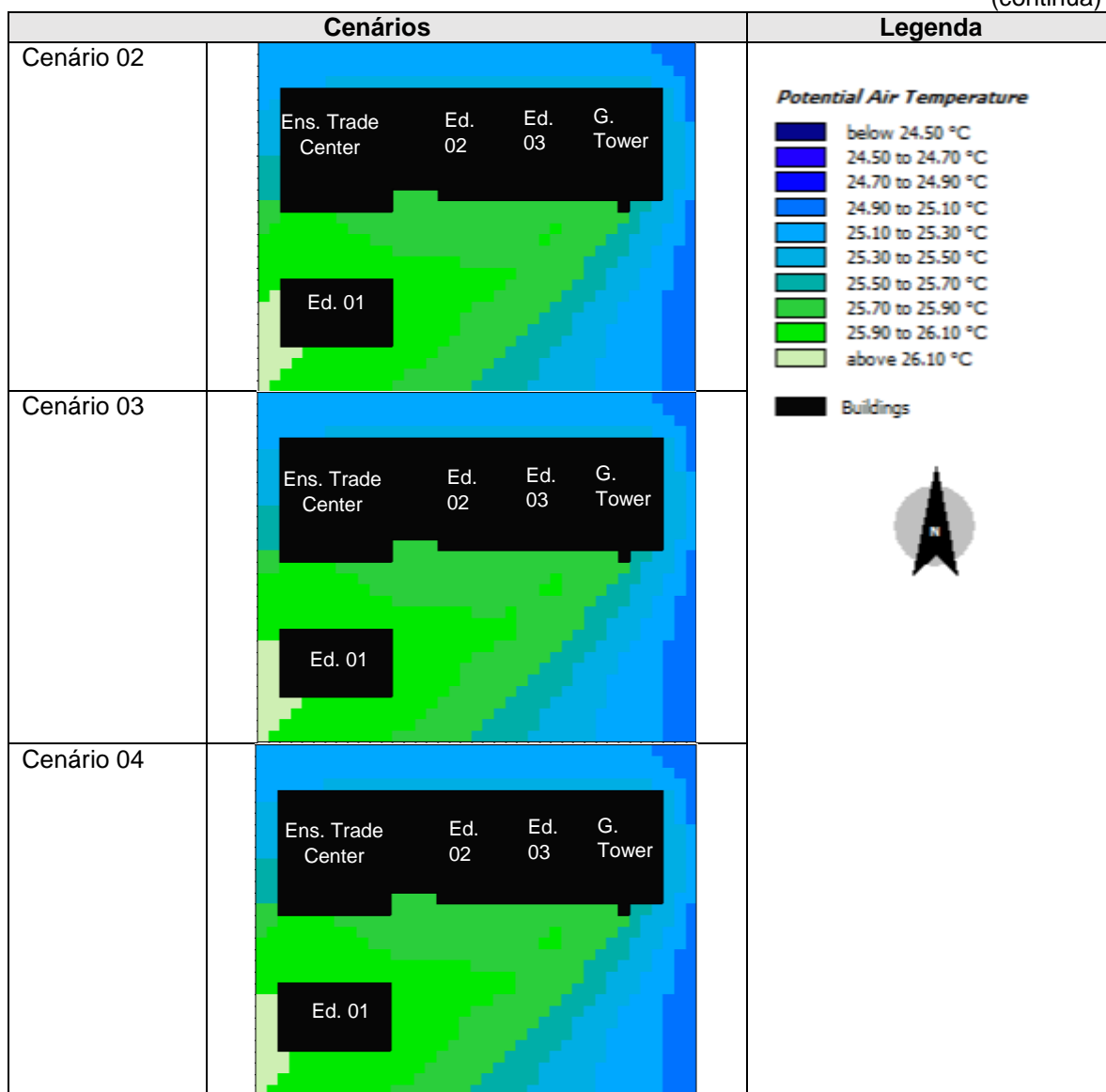
É perceptível nos cenários apresentados que as extremidades possuem temperaturas mais altas. Isso mostra a tendência do programa ENVI-met em aquecer as bordas do modelo mesmo alternando o material que está ao redor das edificações em asfalto, concreto e solo natural. O ideal é que o modelo seja maior (o que é limitado na versão gratuita) e composto com mais edificações, a fim de que o programa entenda a dinâmica da área.

Ao anoitecer, a partir das 19h, a tendência de Tar ser mais elevada foi para os cenários compostos com mais bloco de concreto, ou seja, o percentual de área envidraçada menor. Isso ocorre, de acordo com Gusson (2020), porque durante a noite, em que

prevalecem as trocas radiantes de ondas longas, o tipo de componente da fachada acaba interferindo mais no ambiente externo, do que na porção do dia em que há trocas de radiação de ondas curtas, sendo que os materiais que retêm mais calor, como o bloco de concreto, aqueceram mais o entorno do que as superfícies envidraçadas. No horário das 21h o maior valor apresentado de temperatura do ar foi de 26,17°C para os cenários 03, 04 e 05 e de 26,16°C para o cenário 02 (Quadro 12).

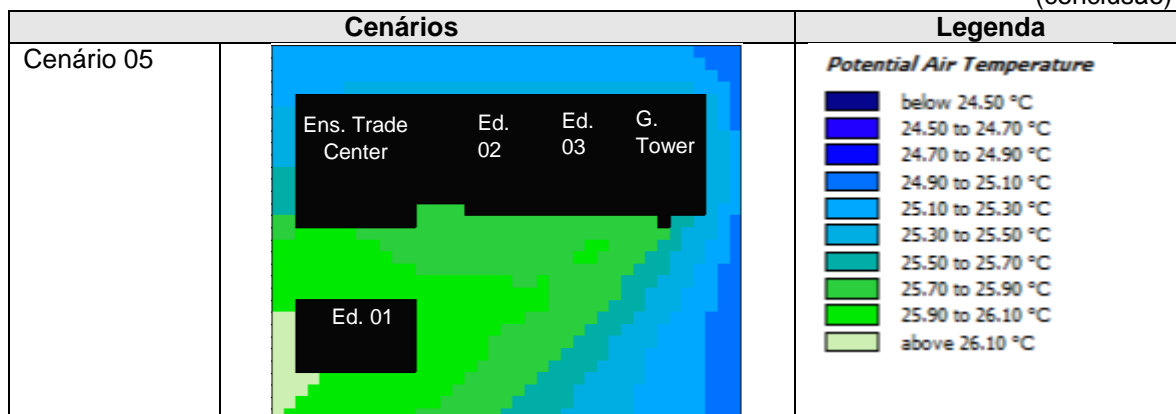
Quadro 12 - Comparativo da temperatura do ar no horário de 21h (h=1,20m)

(continua)



Quadro 12 – Comparativo da temperatura do ar no horário de 21h (h=1,120m)

(conclusão)



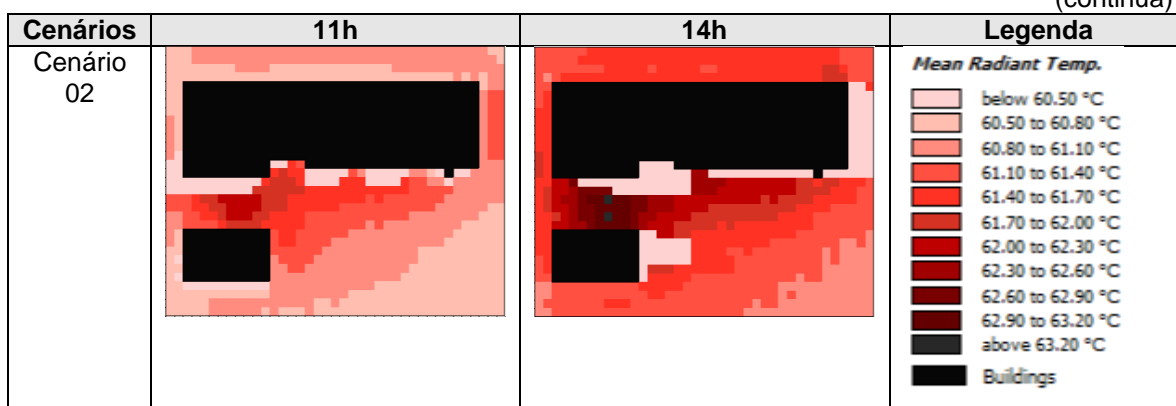
Fonte: Autora (2022).

4.2 TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA – TRM

A TRM foi a variável que teve maior diferença entre os cenários, chegando a uma diferença de 0,77°C no ponto 01. O valor mais alto encontrado foi no cenário 02 com 63,22°C às 14h, provavelmente em virtude do calor absorvido na parte da manhã e em decorrência à altitude solar, que as 12h é a 90° e portanto, os raios solares são verticais às edificações, enquanto às 14h nas fachadas que recebem insolação possui incidência solar com ângulo de 60°. As maiores disparidades foram notadas no horário de 11h (Quadro 13). Pode-se afirmar que nos horários mais quentes do dia (de 10h até às 15h), em que há o predomínio de ondas curtas de radiação, a TRM foi influenciada pelos revestimentos das superfícies verticais, sendo os cenários com predomínio de vidros refletivos, os que apresentaram maiores valores decorrentes dessa variável.

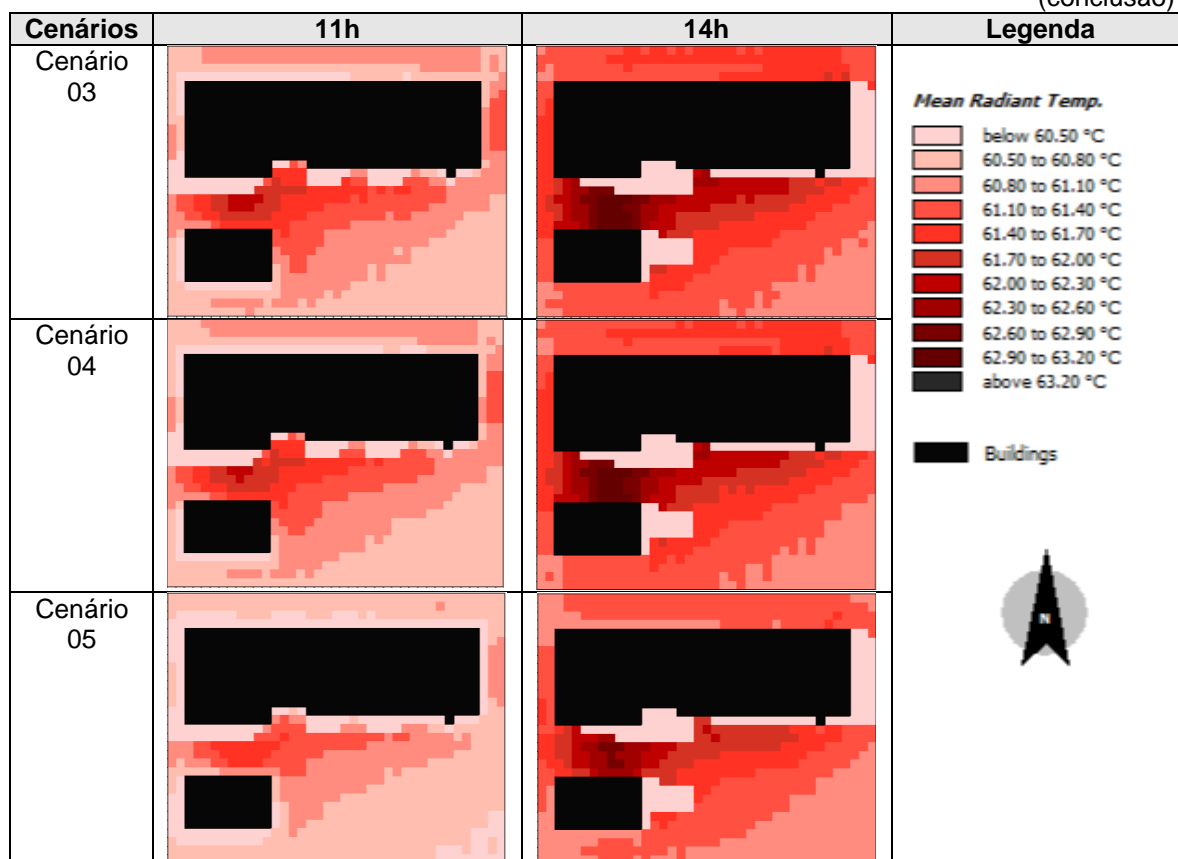
Quadro 13 - Comparação da temperatura radiante média no horário de 11h e 14h (h=1,20m)

(continua)



Quadro 13 – Comparação da temperatura radiante média no horário de 11h e 14h (h=1,20m)

(conclusão)



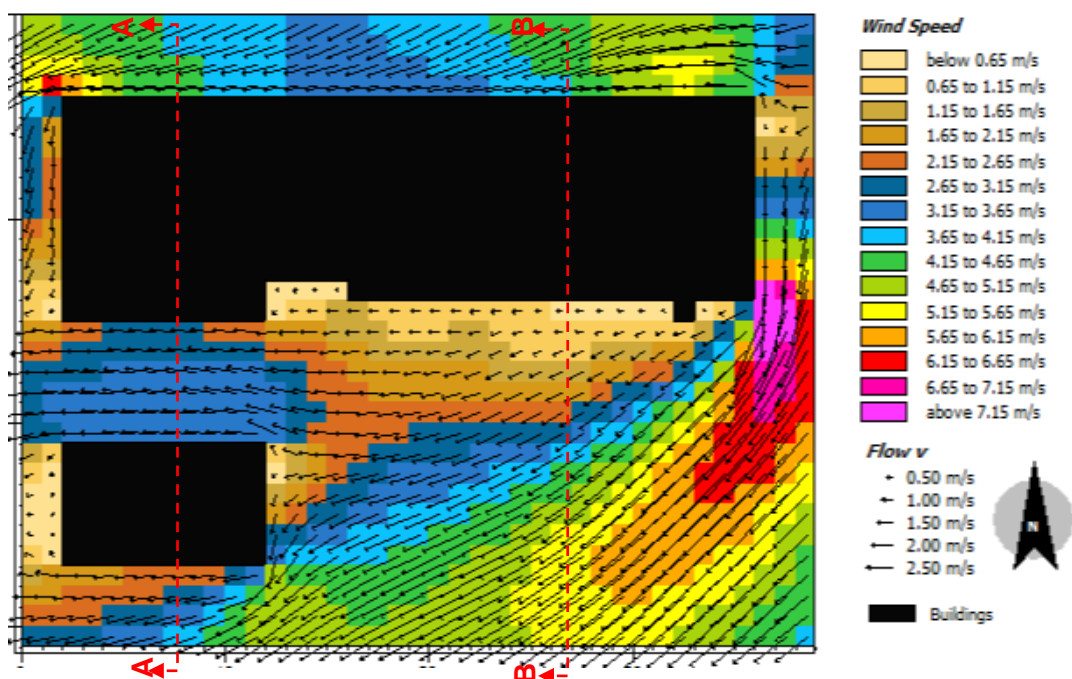
Fonte: Autora (2022).

4.3 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Além dos parâmetros já apresentados, a velocidade do vento e a umidade relativa compõem o cálculo para obtenção da Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) e do Índice Climático Térmico Universal (UTCI). Devido a isso, é válida a apresentação dessas variáveis.

A velocidade do vento inserida no programa foi de 7 m/s e na direção de 50°, na Figura 33 é possível observar o comportamento do vento no cenário 02 às 12h dia. Essa variável não apresentou alterações na comparação entre os cenários, assim optou-se em apresentar o período de 12h porque foi um dos horários definidos para análise do PET e UTCI, por ser o horário mais quente do dia.

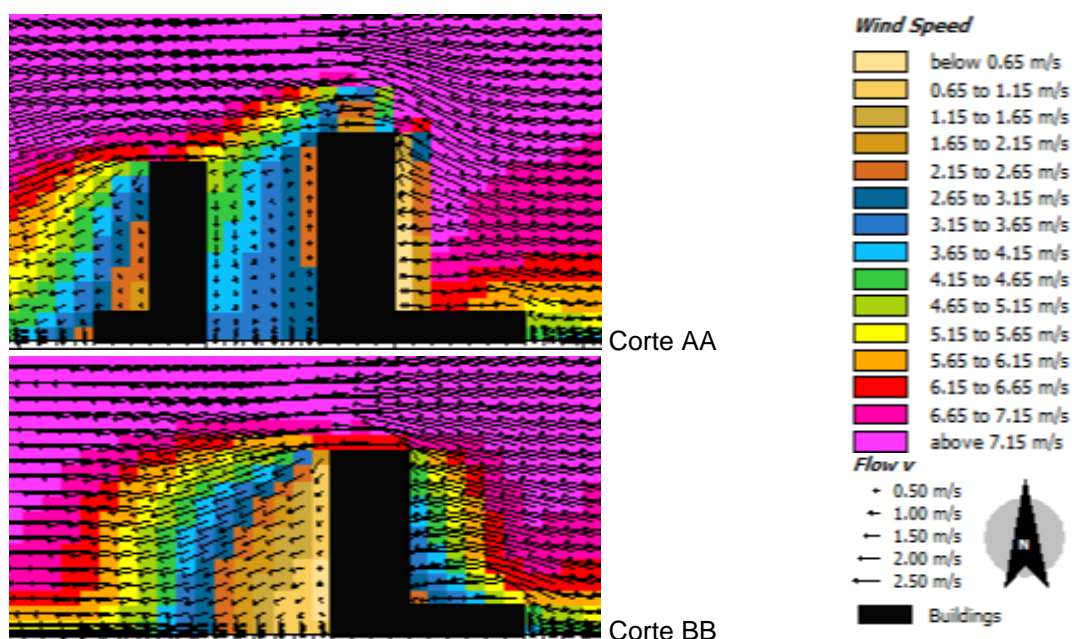
Figura 33 - Velocidade e direção do vento no cenário 02 às 12h em planta (h=1,20m)



Fonte: Autora (2022).

A Figura 34 apresenta o comportamento do vento na escala vertical, onde no corte AA é possível observar a velocidade e direcionamento da variável entre os edifícios e no corte BB entre o edifício e o vazio. A variação do vento é perceptível na sensação térmica, geralmente em velocidades mais baixas sente-se mais calor.

Figura 34 - Velocidade e direção do vento no cenário 02 às 12h em corte

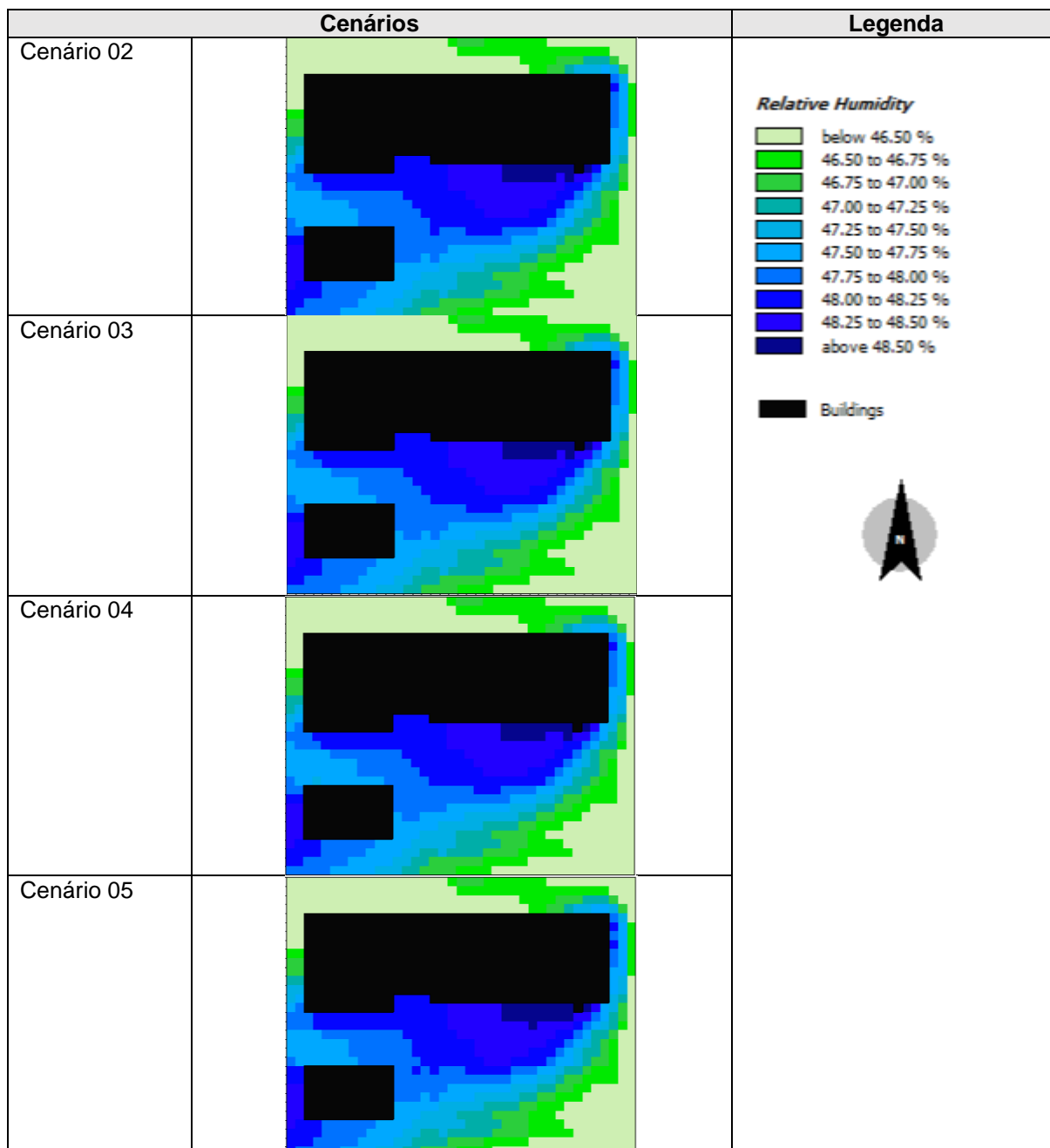


Fonte: Autora (2022).

A umidade relativa do ar apresentou variação entre os cenários de até 0,09% entre alguns pontos dos modelos simulados, no entanto, às 12h a maior diferença nos

valores máximos foi de 0,04% entre os cenários 04 (48,73%) e 05 (48,77%) (Quadro 14). Somente com a alteração dos materiais de superfícies nas edificações, não era esperado grandes modificações entre as umidades relativas dos cenários, conforme ocorreu. Além do mais, quanto maior a umidade, maior é a sensação de calor.

Quadro 14 - Comparativo da umidade relativa do ar no horário de 12h (h=1,20m)



Fonte: Autora (2022).

Para o cálculo dos três pontos definidos para a análise do PET e UTCI no programa RayMan, foram considerados os horários de 11h (por ser o período com maior diferença entre os cenários nos valores de TRM), às 12h (em que a Tar é a mais alta)

e às 14h (em que a TRM é mais alta). No entanto, optou-se por apresentar os resultados de 11h e 12h, porque em todos os pontos (01, 02 e 03) os valores de PET e UTCI foram mais alto às 12h, e algumas comparações tiveram maiores diferenças às 11h. Os resultados de 14h tiveram a mesma tendência quando comparados aos de 12h (Apêndice VI). Os valores apresentados nos Quadros 15, 16 e 17, foram arredondados pelo próprio RayMan.

No Quadro 15 foi observado que a única variável que apresentou os valores destoantes entre os cenários foi o da TRM e, apesar de ser maior no horário de 11h, os valores de PET e UTCI foram mais elevados às 12h, devido à diferença de 0,5°C a mais na temperatura do ar e de menos 1,6% de umidade relativa, visto que a velocidade do vento é a mesma. Nos dois horários os resultados do PET foram mais quentes nos cenários 02 e 03, e menos quentes no cenário 05, sendo a diferença entre eles de 0,3°C às 12h e 0,2°C às 11h. O UTCI teve seu resultado mais alto no cenário 02 e mais baixo no cenário 05 em ambos os horários, sendo a diferença entre eles de 0,2°C.

Quadro 15 - Dados de Tar, RH, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 01

Ponto 01		Tar (°C)	RH (%)	Vv (m/s)	TRM (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
11h	Cenário 02	31.0	49.3	3.4	61.8	39.9	35.4
	Cenário 03	31.0	49.3	3.4	61.7	39.9	35.3
	Cenário 04	31.0	49.3	3.4	61.6	39.8	35.3
	Cenário 05	31.0	49.3	3.4	61.1	39.6	35.2
12h	Cenário 02	31.5	47.7	3.4	61.6	40.4	35.8
	Cenário 03	31.5	47.7	3.4	61.5	40.4	35.7
	Cenário 04	31.5	47.7	3.4	61.4	40.3	35.7
	Cenário 05	31.5	47.7	3.4	60.9	40.1	35.6

Fonte: Autora (2022).

Em comparação ao ponto 01, no ponto 02, ocorreu o mesmo com os dados inseridos no RayMan para a Tar, umidade relativa e velocidade do vento nos respectivos horários inseridos (11h e 12h), eles foram iguais (Quadro 16). A TRM apresentou mudanças nos cenários 02 e 05, mas obteve os mesmos valores para os cenários 03 e 04. Portanto, diferentemente do ponto 01, não houve mudanças entre os cenários 02, 03 e 04 para os resultados do UTCI, foram de 38,4°C às 11h e 38,6°C às 12h, destoando apenas 0,1°C do cenário 05. No índice PET o resultado mais quente foi no

cenário 02, ao meio dia e menos quente no cenário 05 às 11h. Tanto no horário de 11h, como no horário de 12h a diferença do maior valor para o menor foi de 0,2°C.

Quadro 16 - Dados de Tar, RH, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 02

Ponto 02		Tar (°C)	RH (%)	Vv (m/s)	TRM (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
11h	Cenário 02	30.9	50.0	1.2	61.4	43.6	38.4
	Cenário 03	30.9	50.0	1.2	61.3	43.5	38.4
	Cenário 04	30.9	50.0	1.2	61.3	43.5	38.4
	Cenário 05	30.9	50.0	1.2	61.0	43.4	38.3
12h	Cenário 02	31.4	48.4	1.3	61.3	43.7	38.6
	Cenário 03	31.4	48.4	1.3	61.2	43.6	38.6
	Cenário 04	31.4	48.4	1.3	61.2	43.6	38.6
	Cenário 05	31.4	48.4	1.3	60.9	43.5	38.5

Fonte: Autora (2022).

No ponto 03, o horário de 11h possuiu o mesmo valor de Tar do ponto 02, diferença de menos 0,2% na umidade relativa e de mais 0.6m/s na velocidade do vento em todos os cenários (Quadro 17). A TRM teve os mesmos valores no cenário 05 e o UTCI no ponto 02 foi mais quente que no ponto 03, quase 1°C e no PET de 1,5°C. Ao meio dia, apesar da velocidade do vento e a TRM serem iguais ao horário de 11:00h no próprio ponto 03, com a Tar mais quente e a umidade relativa mais baixa, obteve-se um aumento dos índices de conforto térmico.

Quadro 17 - Dados de Tar, RH, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para o ponto 03

Ponto 3		Tar (°C)	RH (%)	Vv (m/s)	TRM (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
11h	Cenário 02	30.9	49.8	1.8	61.3	42.1	37.4
	Cenário 03	30.9	49.8	1.8	61.2	42.0	37.4
	Cenário 04	30.9	49.8	1.8	61.2	42.0	37.4
	Cenário 05	30.9	49.8	1.8	61.0	41.9	37.4
12h	Cenário 02	31.4	48.4	1.8	61.3	42.5	37.8
	Cenário 03	31.4	48.4	1.8	61.2	42.5	37.8
	Cenário 04	31.4	48.4	1.8	61.2	42.5	37.8
	Cenário 05	31.4	48.4	1.8	61.0	42.4	37.7

Fonte: Autora (2022).

Diante dos valores obtidos nas simulações, apesar das diferenças dos resultados entre os cenários 02, 03, 04 e 05 terem sido muito pequenas, e todos os valores de PET para a cidade de Vitória terem dado dentro da faixa de quente ($34 < PET \leq 46$), e do UTCI na categoria de forte estresse para o calor (+32 a +38) para os pontos 01 e 03, e muito forte estresse para o calor (+38 a +46) para o ponto 02, como apresentado

no capítulo da metodologia, foi perceptível as interações das variáveis que compõem os índices de conforto térmico, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura radiante média.

Quando se compara a velocidade do vento entre os pontos 01, 02 e 03, observou-se que o menor valor de 1.2m/s é encontrado no ponto 02 às 11h, seguido por 1.3m/s às 12h no mesmo ponto. Em seguida, no ponto 03 têm-se a velocidade de 1.8m/s e o maior valor de 3.4m/s no ponto 01. No horário de 12h os cenários 02, 03 e 04 possuem a mesma Tar, umidade relativa do ar e TRM nos pontos 02 e 03, diferenciando-se apenas em 0.5m/s a mais na velocidade do ar no ponto 03, fazendo com que o UTCI seja mais elevado 0,8°C no ponto 02 e o PET tenha a mais 1,2°C no cenário 02 e 1,1°C nos cenários 03 e 04 também no ponto 02.

Em relação a umidade relativa do ar, ficou mais complexa a percepção da sua influência, pois quando se modifica, outros parâmetros como a Tar e a TRM também se alteram. No geral, mesmo que os pontos 01 e 03 possuam a Tar e TRM iguais ou mais elevadas que o ponto 02, é no ponto 02 que os valores de PET e UTCI foram mais altos, em que a velocidade do vento é mais baixa.

Além do mais percebeu-se que o material de superfície da fachada possui influência nos pontos mais próximos à ela (01 e 02) e com construções adjacentes, pois o ponto 03 foi o que apresentou menor diferença entre o UTCI 0,1°C ao meio dia e nenhuma diferença às 11:00h. No ponto 02 foi de 0,1°C em ambos os horários. No ponto 01 que está entre edificações a diferença foi de 0,2°C para o UTCI. Quanto ao PET a diferença foi de 0,3°C em ambos os horários no ponto 01, 0,2°C também nos dois horários comparados no ponto 02 e de 0,2°C às 11:00 e 0,1°C ao meio dia para o ponto 03.

Outro ponto observado, foi que a diferença entre os cenários 02, 03 e 04 apontam que os vidros refletivos estando em níveis altos, acima do pedestre, também interferem na temperatura dos fatores analisados. Pois alguns valores dos parâmetros comparados nos cenários 03 e 04, em que o vidro refletivo não está na altura do transeunte, foram iguais aos do cenário 02, em que há vidro refletivo no térreo.

Com isso, infere-se que não há uma diferença significativa para o ambiente externo quanto as diferenças de áreas envidraçadas com vidro refletivo no local estudado. Também observa-se que há uma tendência de diminuição da Tar, TRM, PET e UTCI nos horários mais quentes do dia nos cenários com vidro incolor. E pode-se afirmar

que as fachadas envidraçadas sombreadas (direcionadas principalmente à Sul), colaboraram para menores valores e até mascaramento dos parâmetros analisados.

Nos estudos de Fabbri et al. (2020), os resultados apontaram que existe uma correlação entre a refletância da fachada do edifício e a tendência da temperatura do ar, mas que variaram em uma faixa inferior a 1°C nos modelos comparados com variações de cor e refletância nas fachadas simuladas no microclima externo, em espaços abertos.

Diferentemente do que ocorreu nos modelos analisados por Gusson (2020), que estudou o impacto da densidade construída e dos materiais de superfície no microclima da cidade de São Paulo. As diferenças da temperatura do ar entre os cenários analisados também foram abaixo de 1°C, no entanto, os resultados da TRM e do TEP (Temperatura Equivalente Percebida) sendo parâmetros mais significativos para a sensação térmica humana, tiveram grandes distinções, chegando a 8,1°C e 4,3°C, respectivamente, em horários mais quentes do dia. Inclusive, o vidro refletivo ficou em 2º lugar entre os materiais simulados nessa pesquisa que mais influenciam no conforto térmico.

Nos estudos feitos em campo e realizados com instrumentos de medição, Ichinose, Inoue e Nagahama (2017) em Tóquio e Maioli e Barros (2019) em Vitória/ES, constataram o aquecimento do local (no primeiro caso) e o aumento de temperatura superficial entre elementos urbanos (no segundo caso) devido a influência do vidro refletivo. O desconforto térmico também foi verificado por Yang, Grobe e Stephen (2013) e Mehaoued e Lartigue (2019) ao modelarem o microclima ao redor de um edifício com fachadas refletivas.

Salvati et al. (2022), afirmam que a refletividade da fachada tem maior potencial para aumentar o albedo urbano em cânions profundos e que a redução dessa refletividade tem um impacto positivo no conforto térmico exterior. No entanto, consideram que estudos sobre o impacto de geometrias urbanas do mundo real e distribuição realista de materiais no albedo urbano são muito limitados, e que a maior parte do estado da arte sobre albedo urbano é baseada em estudos usando modelos conceituais de áreas urbanas, onde a geometria urbana é simplificada para padrões regulares de cânions urbanos ou edifícios cúbicos e a distribuição espacial de refletâncias de fachadas e estradas é assumida como ser homogêneo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho permitiu analisar o efeito do uso de vidro refletivo em fachadas de edificações comerciais, no microclima urbano na cidade de Vitória/ES por meio de simulações computacionais com o programa ENVI-met.

Entre os objetivos específicos, foram definidos os critérios para a elaboração dos modelos de análise, sendo eles a criação de cenários hipotéticos em uma área do bairro da Enseada do Suá, com edificações propostas nos cenários 02, 03 e 04 contendo 100%, 50%, 27,7% ou 25% de um tipo de vidro refletivo e o cenário 05 formado pelas mesmas edificações, porém com 50% de vidro incolor.

Foram observados nesses modelos simulados os parâmetros que interferem nos índices de conforto térmico para o ambiente externo, a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a umidade relativa, além de índices de conforto como o PET e o UTCI.

No entanto, ao verificar a usabilidade aceitável do vidro refletivo na edificação, ou seja, se um uso menor deste elemento na fachada ou a substituição por um vidro incolor, que possui menor capacidade de reflexão dos raios solares, percebeu-se que as diferenças para o pedestre foram muito pequenas, quase inexistentes no microclima estudado. Concluindo-se que há uma interferência do vidro refletivo no meio urbano, porém é mínima.

A região do bairro Enseada do Suá escolhida para este estudo, contemplou o estudo de edifícios voltados para uma área externa contendo uma praça, e também com duas edificações de lados opostos de uma rua (frente a frente), que no caso, mostrou-se insuficiente para resultar em diferenças mais significativas nas variáveis e índices analisados. No estudo de Gusson (2020), com um cenário mais denso de prédios, foi obtido resultados mais expressivos, quando comparado os diferentes materiais de fachadas. E de acordo com Salvati et al. (2022) é em cânions mais profundos que a refletividade da fachada tem maior potencial para aumentar o albedo urbano.

As diferenças dos resultados foram pequenas, sendo que, percebeu-se uma maior diferença entre os cenários no ponto 01, que está na calçada próximo a uma edificação revestida com o vidro refletivo escolhido e em frente a um edifício existente também com revestimento de vidro refletivo. As maiores diferenças são 0,03°C para

temperatura do ar, 0,77°C para a TRM, 0,3°C para o PET e 0,2°C para o UTCI. Para o ponto 02 que está na calçada próximo a edificações com vidro refletivo e a uma praça, os maiores resultados destoantes foram de 0,01°C para temperatura do ar, 0,44°C para TRM, 0,2°C para o PET e 0,1°C para o UTCI. No ponto 03 que está localizado na praça e mais distante das edificações, as diferenças foram de 0,01°C para a temperatura do ar, 0,29°C para a TRM, 0,2°C para o PET e 0,1°C para o UTCI.

Ainda é válido destacar que o ponto 01 está próximo a fachada Norte da edificação 01, que recebe insolação de 8h até às 16h, enquanto o ponto 02 está mais próximo das fachadas direcionadas à Sul (edificações 02 e 03), que permanecem na sombra entre 08h e 16h. O ponto 03 está perto do ponto 02, porém um pouco mais longe das edificações. O que mostra que o sombreamento nas fachadas traz benefícios para o conforto térmico e que a orientação da fachada é um importante fator para a escolha do revestimento.

Como limitações da pesquisa, tem-se a dimensão da área controlada pela versão gratuita do ENVI-met em 50x50x40 células, sem essa restrição, o espaço analisado poderia ter sido maior, com mais edificações e com tamanho dos *grids* menores, que possibilitaria maior detalhamento da região escolhida, inclusive com a presença de vegetação. Além disso, a área mais densamente construída permite que o programa entenda melhor o efeito da ilha de calor urbana e utilize-o no cálculo.

Quanto à calibração do programa, percebeu-se que os valores de umidade do ar foram subestimados pelo ENVI-met e as diferenças do cenário medido e simulado não foram parecidos. Como sugestão para a melhoria, tem-se a medição em campo das principais variáveis que devem ser inseridas no *Simple Forcing*, como temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento em um período de pelo menos 24h. Visto que os dados das estações meteorológicas não são iguais aos medidos *in loco*. Com a medição realizada por meio de transecto móvel, é mais complexa essa medição hora a hora, e possivelmente perde-se a aferição de dados mais frios do dia que geralmente ocorrem durante a noite ou madrugada. Portanto, é essencial que seja utilizada a técnica de medição com miniestação meteorológica instalada em ponto fixo, visto que esse método favorece o registro temporal da ilha de calor. Importante também é que o local escolhido para a medição seja centralizado à área de estudo, pois assim é possível evitar a influência da borda que ocorre no programa.

Uma outra restrição observada ao utilizar a versão *Lite*, é que dados que seriam importantes observar nos edifícios, só são liberados nas versões pagas do ENVI-met, como por exemplo, a possibilidade de ter medições da radiação solar de hora em hora percebendo se uma parede recebe radiação direta ou se está na sombra, a temperatura da superfície externa de uma edificação, a temperatura do material colocado na face interna da parede, a radiação de ondas longas emitida pela fachada, a radiação de ondas curtas recebida na fachada, a radiação direta de ondas curtas absorvidas pela fachada, a quantidade de radiação de ondas longas e de ondas curtas refletidas que atingem a fachada, podendo ser qualquer componente, bem como paredes verdes. Sugere-se, inclusive, em outros estudos que essas análises possam ser feitas comparando diferentes revestimentos de fachadas, a fim de que se possa analisar a influência dos mesmos, no ambiente externo e interno às edificações, comparando à exemplo, o material que possui melhor desempenho em ambos os espaços.

Aconselha-se também que o estudo sobre fachadas com vidros refletivos seja feito em maior quantidade de quadras e compostas com mais edificações, a fim de verificar se o quantitativo das áreas envidraçadas teria diferenças significativas nestes ambientes. Além disso, avaliar se há influência em edificações opostas frontalmente quando utilizam vidro refletivo ou outro material de superfície na fachada.

Em continuidade a questão do adensamento urbano, edificações de gabaritos altos têm sido construídas, pois em muitos bairros não há restrições de altura máxima, como ocorre em parte da Enseada do Suá. A tendência é que com o passar dos anos o gabarito e o coeficiente de aproveitamento das construções aumentem. Isso permite uma maior influência da área construída das fachadas no espaço externo com a utilização de revestimentos que provoquem desconforto aos usuários das ruas do entorno, se não houver limitações em planos diretores urbanos.

Em síntese, visto que o planejamento urbano sensível ao clima precisa ser preditivo para levar em conta as diferentes formas e climas urbanos, temos os modelos numéricos como ferramentas essenciais para análise do clima urbano por meio de engenheiros, arquitetos, planejadores urbanos e formuladores de políticas (ERELL, 2008). As simulações permitem que os profissionais do ambiente construído comparem diferentes alternativas de desenho urbano em condições meteorológicas

variadas, podendo assim fornecer medidas de planejamento urbano adequadas (JÄNICKE; MILOŠEVIĆ; MANAVVI, 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABURAS, M.; EBENDORFF-HEIDEPRIEM, H.; LEI, L.; LI, M.; ZHAO, J.; WILLIAMSON, T.; WU, Y.; SOEBARTO, V. Smart windows—Transmittance tuned thermochromic coatings for dynamic control of building performance. **Energy and Buildings**, v. 235, p. 110717, 2021.
- ALEKSANDROWICZ, O.; PEARLMUTTER, D. The significance of shade provision in reducing street-level summer heat stress in a hot Mediterranean climate. **Landscape and Urban Planning**, v. 229, p. 104588, 2023.
- ALVAREZ, C. E. de; BRAGANÇA, L. Medidas para o Enfrentamento dos Impactos das Mudanças Climáticas no Ambiente Construído. In: Sustentabilidade urbana – 14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires. V 1, p.3-12. **Anais [...]**. 2018. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/59308>. Acesso em: 18 fev 2021.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE fundamentals book**. Atlanta: SI Edition, 2001.
- ANDREIS, C.; BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Desempenho energético de fachadas envidraçadas em climas brasileiros. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15. 2014, Maceió. **Anais [...]**. [S.L.]: Marketing Aumentado, 2014. p. 926-935. Disponível em: <https://docplayer.com.br/15800566-Desempenho-energetico-de-fachadas-envidracadas-em-climas-brasileiros.html>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **RUA**. Revista de Arquitetura e Urbanismo, v. 9, p. 20-25, 2007.
- ASSIS, E. S.; SIRQUEIRA, C. A.; BAMBERG, A. M. Influência da vegetação no microclima em ambiente simulado controlado. In: XII Encontro Nacional de Conforto No Ambiente Construído e VIII Encontro Latino Americano de Conforto No Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais**. Brasília: Encac e Elacac, 2013. p. 1 - 10.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16023:2020**: Vidros revestidos para controle solar – Requisitos, classificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- BRÖDE, Peter. **UTCI Universal Thermal Climate Index**. Disponível em: <http://www.utci.org/>. Acesso em: 19 set. 22.
- BROZOVSKY, J.; CORIO, S.; GAITANI, N.; GUSTAVSEN, A. Evaluation of sustainable strategies and design solutions at high-latitude urban settlements to enhance outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, v. 244, p. 111037, 2021.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v.13, n. 3-4, p.373-384, out. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1364-8152\(98\)00042-5](http://dx.doi.org/10.1016/s1364-8152(98)00042-5).

CEDAR LAKE VENTURES. **Climate and Average Weather Year Round in Vitória**. Disponível em: <https://weatherspark.com/y/30846/Average-Weather-in-Vit%C3%B3ria-Brazil-Year-Round>. Acesso em: 23 mar. 2021.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Vitória**, s.d. Disponível em: <https://pt.climatedata.org/america-do-sul/brasil/espírito-santo/vitoria-2181/>. Acessado em: Junho 2021.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**. V. 7, p.31-45, 2013 .

COELHO, A. L. N.; RAMOS, A. L. D.; BERGAMASCHI, R. B. Aplicação dos Produtos Landsat-8/TIRS/OLI e Aster/GDEM na Avaliação do Comportamento Termal de Superfície, Usos e Topografia. In: XVII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. V. 1. p. 1323-1330. **Anais [...]**. 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0241.pdf>. Acesso em: 18 jul 2021.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 288p.

CORREA, W. de S. C. **Campo térmico e higrométrico da Regional Praia do Canto no município de Vitória (ES)**. 165 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

DE ARRUDA, A. M.; MASIERO, É. Análise de índices de conforto térmico através dos softwares Rayman e ENVI-met em áreas industriais. **Simpósio Nacional De Gestão E Engenharia Urbana**, v. 3, p. 124-137, 2021.

DESTEFANI, L. B. G. **A pele dos edifícios comerciais: análise de desempenho térmico dos sistemas de fachada e materiais de revestimento**. 2020. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

DUARTE, D. H. S. **Conforto Térmico em Espaços Abertos**. São Paulo: Fauusp/Labaut, 2018. Color. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4448892/mod_resource/content/0/AUT0225%20aula%206b%20Conforto%20T%C3%A9rmico%202018.pdf. Acesso em: 18 set. 2022.

_____. O clima urbano e o ambiente construído. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 6. p. 155-179.

EMBRAPA. **Clima**, s.d. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acessado em: Junho 2021.

ENVI_MET, 2022. Disponível em: <https://www.envi-met.com/> . Acesso em: jan. 2022.

ERELL, E. The application of urban climate research in the design of cities. **Advances in Building Energy Research**, v. 2, n. 1, p. 95-121, 2008.

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; BONEH, D.; KUTIEL, P. B. Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. **Urban climate**, v. 10, p. 367-386, 2014.

ESPINDULA, L.; MENDONÇA, E. M. S. A paisagem e o Plano de Urbanização da Praia do Suá, Vitória – ES. Dossiê Brasil-África do Sul| **Paranoá** n. 18. Set 2017.

FABBRI, K.; GASPARI, J.; BARTOLETTI, S.; ANTONINI, E. Effect of facade reflectance on outdoor microclimate: an italian case study. **Sustainable Cities And Society**, [S.L.], v. 54, p. 101984, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2019.101984>.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2009, 248f.

_____. Unidades climáticas urbanas: o caso da Ilha do Governador-RJ. In: **Revista de C Humanas**, v. 10. P. 26-46, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/RCH/article/view/3493>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

FIGUEIREDO FILHO, D. Britto; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Pernambuco, v. 18, n. 1, p. 115-146, jan. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article/viewFile/3852/3156>. Acesso em: 22 ago. 2022.

FÔRO, I. **Cobertura de nuvens**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <ivaniel.maia@incaper.es.gov.br>. em: 30 set. 2022.

FRANCISCO, R. C. A. **Clima urbano**: um estudo aplicado a belo horizonte, MG. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 256 p.

GONÇALVES, J. C. S. INTRODUÇÃO. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 15-23.

GUSSON, C. S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano**: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

_____. **O impacto da verticalização no microclima urbano e no conforto térmico na escala do pedestre**: o papel da geometria e da envoltória dos edifícios. 2020. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

GUSSON, C. S. SHINZATO, P. C-adapt. **Curso básico do modelo ENVI-met V5**. São Paulo, 2022.

GUSSON, C. S.; SIMON, H.; DUARTE, D. H. S. Impact of Built Density and Surface Materials on Urban Microclimate for Sao Paulo, Brazil: Simulation of Different

Scenarios Using ENVI-met Full Forcing Tool. In: **Planning Post Carbon Cities: 35th PLEA Conference on Passive and Low Energy Architecture, A Coruña, 1st-3rd September 2020: Proceedings**. Universidade da Coruña, 2020. p. 818-823.

HERNANDEZ, A. Fundamentos da simulação energética de edificações. In: Gonçalves, J.; Bode, K. (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 10, p. 285-295.

HIRASHIMA, S. Q. da S. **Calibração do índice de conforto térmico: Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG**. 2010. 225 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Arquitetura, Mestrado em ambiente construído e patrimônio sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD8QMHSZ/1/hirashima_sq_s_ufmg_2010.pdf. Acesso em: 01 nov. 2021.

ICHINOSE, M.; INOUE, T.; NAGAHAMA, T. Effect of retro-reflecting transparent window on anthropogenic urban heat balance. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 157, p.157-165, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.051>.

INSTITUTO INTERNACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 05 jun. 2021.

_____. **Tabela de dados das estações**. 2016. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>. Acesso em 05 jan. 2022.

JÄNICKE, B.; MILOŠEVIĆ, D.; MANAVVI, S. Review of user-friendly models to improve the urban micro-climate. **Atmosphere**, v. 12, n. 10, p. 1291, 2021.

JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. **Building and environment**, v. 41, n. 10, p. 1326-1338, 2006.

JUCÁ, T. R. P.; ZANONI, V. A. G.; OLIVEIRA, J. C. A. de. Estado de conservação de fachada-cortina modernista: estudos estatísticos dos fatores que afetam o padrão de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 313-333, 2022.

KAMEL, T. M. A new comprehensive workflow for modelling outdoor thermal comfort in Egypt. **Solar Energy**, v. 225, p. 162-172, 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, 2014. 366 p.

LEAL, L. R. **Análise do adensamento urbano no comportamento microclimático de Vitória (ES): aplicações no Modelo ENVI-met**. 2018. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

LI, J.; MAO, Y.; OUYANG, J.; ZHENG, S. A Review of Urban Microclimate Research Based on CiteSpace and VOSviewer Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 8, p. 4741, 2022.

LIU, C.; WU, Y.; ZHU, Y.; Li, D.; MA, L. Experimental investigation of optical and thermal performance of a PCM-glazed unit for building applications. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 794-800, 2018.

MAIOLI, R. N.; BARROS, M. C. de S. L. S. B. O impacto das fachadas envidraçadas reflexivas na cidade: desenvolvimento de metodologia de medição para análise do conforto térmico urbano. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - , 15., 2019, João Pessoa. **Anais ...** João Pessoa: 2019. p.1369-1378.

MAIOLI, R. N.; BARROS, M.C. de S.L.S.B.; BARROS, J.D.P.; MOÇA, I.F.F.; CONINCK, I.M.; PAGEL, E.C. A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória-ES e sua relação com o conforto ambiental. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção, 16., 2016, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: 2016. p.1220-1233.

MEHAOUED, K.; LARTIGUE, B. Influence of a reflective glass façade on surrounding microclimate and building cooling load: Case of an office building in Algiers. **Sustainable Cities And Society**, [s.l.], v. 46, p.101443, abr. 2019. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101443>.

MENDONÇA, F. Estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (org.) **Clima urbano**. 2ª edição, São Paulo: Contexto, 2015. 191p.

NEVES, M. D. A. **A influência das superfícies vegetadas no conforto térmico: simulações no centro de Vitória-ES**. 2017. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment (1967)**, v. 7, n. 8, p. 769-779, 1973.

_____. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly journal of the royal meteorological society**, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

OLIVEIRA, E. Debate: vidros para fachadas. **Au**, São Paulo, v. 266, maio 2016. Disponível em: <http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/266/debate-vidros-para-fachadas-370745-1.aspx>. Acesso em: 19 ago. 2019

OLIVEIRA, W. D.; ALOCCA, R. de A.; FIALHO, E. S. Análise de transects móveis noturnos: contribuições ao estudo da ilha de calor em áreas litorâneas. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, Juiz de Fora, 2018. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/329378101_ANALISE_DE_TRANSECTS_MOVEIS_NOTURNOS_CONTRIBUICOES_AO_ESTUDO_DA_ILHA_DE_CALOR_E_M_AREAS_LITORANEAS>. Acesso em: 20 fev. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA (PMV). **Lei N° 9.271/2018**: Plano Diretor Urbano do Município de Vitória. 2018. Disponível em: <http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/Arquivos/2018/L9271.PDF>. Acesso em: 30 mar 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA (PMV). **Vitória em Dados**. Disponível em: <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/geograficos.asp>. Acesso em: 30 mar 2021.

PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES – PROJETEEE. **Dados bioclimáticos**. 2016. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/>.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora Unb, 2013. 128p.

_____. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. 4ª reimpressão. Brasília: Editora Unb, 2015. 226p.

SALVATI, A.; KOLOKOTRONI, M.; KOTOPOULEAS, A.; WATKINS, R. ; GIRIDHARAN, R. NIKOLOPOULOU, M. Impact of reflective materials on urban canyon albedo, outdoor and indoor microclimates. **Building and Environment**, v. 207, p. 108459, 2022.

SANTAMOURIS, M.; YUN, G. Y. Recent development and research priorities on cool and super cool materials to mitigate urban heat island. **Renewable Energy**, v. 161, p. 792-807, 2020.

SANTOS, A. R.; EUGENIO, F. C.; SOARES, V. C.; MOREIRA, M. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BARROS, K. O. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 Passo a Passo: Processamento de Imagens Orbitais – Volume 1**. Alegre: CAUFES, 2014.

SANTOS, J. S. A. **Elaboração de mapeamento climático para a identificação de microclimas e suporte ao planejamento urbano**. 2021. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021.

SCHMITZ, L. K. **Reestruturação Urbana e Conforto Térmico em Curitiba/PR: diagnóstico, modelagem e cenários**. 2014. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SCIENCE, Department Of Atmospheric. **University of Wyoming**. Disponível em: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Acesso em: 19 ago. 2021.

SHAMERI, M. A.; ALGHOUL, M. A.; SOPIAN, K.; ZAIN, M. F. M.; ELAYEB, O. K. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1468–1475, abr. 2011.

SHINZATO, P. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. 2014. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SILVA, F. T. da. **Conforto térmico do transeunte: a porosidade urbana como condicionante da ventilação**. 2014. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO - SINDUSCON/ES. **Censo Imobiliário**. Disponível em: <http://www.sinduscon-es.com.br/v2/cgi-bin/conteudo.asp?menu2=55>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SUK, J. Y.; SCHILER, M.; KENSEK K. Reflectivity and specularity of building envelopes: how materiality in architecture affects human visual comfort. **Architecture Science Review**, Londres, v. 60, p. 256-265, 06 jun. 2017.

TITO, J. **Umidade Específica e Umidade Relativa**. Disponível em: http://www.dca.iag.usp.br/material/ricamarg/ACA0115/2018/UmidadeEspecificae-UmidadeRelativa_JanetTito_20180511.pdf. Acesso em: 25 dez. 2022.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Urban Heat Island Basics. In: **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**. 2008. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>. Acesso em: 19 set. 2019

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>. Acesso em: 18 ago. 22.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano. Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov>. Acesso em 22 agosto 2021.

VASSILIADES, C.; SAVVIDES, A.; BUONOMANO, A. Building integration of active solar energy systems for façades renovation in the urban fabric: effects on the thermal comfort in outdoor public spaces in Naples and Thessaloniki. **Renewable Energy**, v. 190, p. 30-47, 2022.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 370–384, 2003.

WERNECK, D. R. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbana: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília - DF**. 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

WERNECK, D.; AZEVEDO, E.; ROMERO, M. A. B. Estudo do aquecimento urbano com métodos de transecto móvel e sensoriamento remoto. In: **XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, João Pessoa, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337567172_ESTUDO_DO_AQUECIMENTO_URBANO_COM_METODOS_DE_TRANSECTO_MOVEL_E_SENSORIAMENTO_REMOTO. Acesso em: 20 jan. 2022.

WESTPHAL, F. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. 1. ed. São Paulo: Abividro, 2016.183 p.

XAVIER, T. C. **A influência da arborização no microclima urbano: um estudo aplicado à cidade de Vitória, ES**. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: http://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/dissertacao_-_tatiana_c_xavier.pdf. Acesso em: 03 abr. 2020.

YANG, F.; QIAN, F.; LAU, S. S. Y. Urban form and density as indicators for summertime outdoor ventilation potential: A case study on high-rise housing in Shanghai. **Building And Environment**, [s.l.], v. 70, p.122-137, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.019>

YANG, X.; GROBE, L.; STEPHEN, W. Simulation of reflected daylight from building envelopes. In: **13th conference of international building performance simulation association**. 2013. p. 1-8.

YANG, X.; LI, Y.; LUO, Z.; CHAN, P. W. The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 2, p. 890-904, 2017.

YANG, Y.; GATTO, E.; GAO, Z.; BUCCOLIERI, R.; MORAKINYO, T. E.; LAN, H. The "plant evaluation model" for the assessment of the impact of vegetation on outdoor microclimate in the urban environment. **Building and environment**, v. 159, p. 106151, 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE I – Correção da defasagem da temperatura (°) e umidade (%) do ar do dia 23/02/2022

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	12:00	33,7		54,4	
2	12:06	33,4	33,5	56,2	55,7
3	12:10	29,8	29,9	67,2	66,8
4	12:15	30,5	30,6	64,4	64,0
5	12:21	31,8	32,0	61,4	60,9
6	12:24	32,2	32,3	59,5	59,2
7	12:29	32,8	32,9	58,4	57,9
8	12:34	32,8	32,9	58,5	58,1

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	15:00	31,1		66,3	
2	15:06	32,0	32,2	61,3	60,9
3	15:10	29,6	29,7	69,2	69,0
4	15:14	29,8	29,9	66,9	66,6
5	15:19	31,4	31,5	63,6	63,3
6	15:24	32,0	32,1	61,6	61,3
7	15:31	30,9	31,1	64,1	63,7
8	15:37	30,8	31,0	63,8	63,4

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	21:00	28,8		70,9	
2	21:06	28,1	28,2	72,6	72,2
3	21:10	27,5	27,5	75,0	74,7
4	21:14	27,3	27,4	75,2	74,9
5	21:20	27,2	27,2	75,7	75,3
6	21:23	27,2	27,2	75,9	75,7
7	21:29	27,4	27,4	75,2	74,8
8	21:33	27,5	27,5	75,1	74,8

Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE II – Correção da defasagem da temperatura (°) e umidade (%) do ar do dia 20/02/2022

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	9:00	29,7		69,4	
2	9:05	29,5	29,5	68,9	69,5
3	9:08	29,4	29,4	66,1	66,4
4	9:12	29,2	29,2	67,3	67,8
5	9:17	28,6	28,6	68,4	69,0
6	9:19	28,8	28,7	68,2	68,4
7	9:24	28,6	28,6	69,0	69,6
8	9:29	29,0	29,0	67,9	68,5

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	12:00	31,1		59,6	
2	12:07	32,1	32,1	57,7	57,7
3	12:10	31,2	31,2	60,0	60,0
4	12:14	31,2	31,2	59,4	59,4
5	12:19	30,3	30,3	61,1	61,1
6	12:22	30,8	30,8	59,4	59,4
7	12:27	31,2	31,2	59,0	59,0
8	12:31	31,7	31,7	58,8	58,8

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	15:17	31,1		62,9	
2	15:19	31,4	31,4	62,3	62,0
3	15:23	31,6	31,7	62,6	62,1
4	15:26	31,0	31,1	64,0	63,7
5	15:31	30,7	30,8	65,6	65,0
6	15:34	31,1	31,2	64,8	64,4
7	15:38	31,0	31,1	64,9	64,5
8	15:43	30,9	31,1	66,3	65,8

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	21:00	27,9		75,6	
2	21:05	27,6	27,6	76,7	76,4
3	21:08	27,3	27,4	78,5	78,3
4	21:12	27,2	27,3	78,5	78,3
5	21:17	27,1	27,1	79,6	79,3
6	21:20	27,1	27,1	79,8	79,6
7	21:24	27,2	27,2	79,5	79,2
8	21:28	27,3	27,4	79,2	78,9

Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE III – Correção da defasagem da temperatura (°) e umidade (%) do ar do dia 18/03/2022

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	09:00	32,3		54,7	
2	09:03	32,9	32,8	54,7	55,0
3	09:07	33,2	33,1	53,4	53,8
4	09:11	33,1	33,0	52,9	53,3
5	09:16	32,9	32,7	53,5	53,9
6	09:19	32,8	32,7	53,8	54,1
7	09:24	32,7	32,6	54,0	54,4
8	09:29	31,8	31,6	54,7	55,2

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	12:00	30,3		59,5	
2	12:04	30,7	30,8	58,5	58,5
3	12:07	29,8	29,8	62,6	62,5
4	12:12	30,4	30,5	61,9	61,8
5	12:17	31,6	31,6	59,4	59,3
6	12:20	32,4	32,4	57,3	57,2
7	12:26	32,4	32,5	55,4	55,3
8	12:30	32,5	32,5	55,3	55,2

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	15:00	34,3		58,1	
2	15:03	33,8	33,8	57,1	56,9
3	15:07	29,5	29,5	70,3	70,0
4	15:11	30,2	30,2	66,6	66,3
5	15:16	30,5	30,5	66,4	66,1
6	15:19	32,5	32,6	61,7	61,5
7	15:24	34,2	34,3	57,1	56,8
8	15:29	32,5	32,6	58,5	58,2

PONTO	HORÁRIO	VALOR REGISTRADO TEMP. (°)	VALOR CORRIGIDO TEMP. (°)	VALOR REGISTRADO UMID. (%)	VALOR CORRIGIDO UMID. (%)
1	21:00	28,4		72,9	
2	21:03	28,1	28,1	75,4	75,3
3	21:07	27,9	27,9	75,1	74,9
4	21:11	27,8	27,8	75,3	75,2
5	21:16	27,8	27,8	75,7	75,6
6	21:19	27,8	27,8	75,7	75,6
7	21:24	27,8	27,8	76,1	76,0
8	21:29	27,8	27,8	76,4	76,2

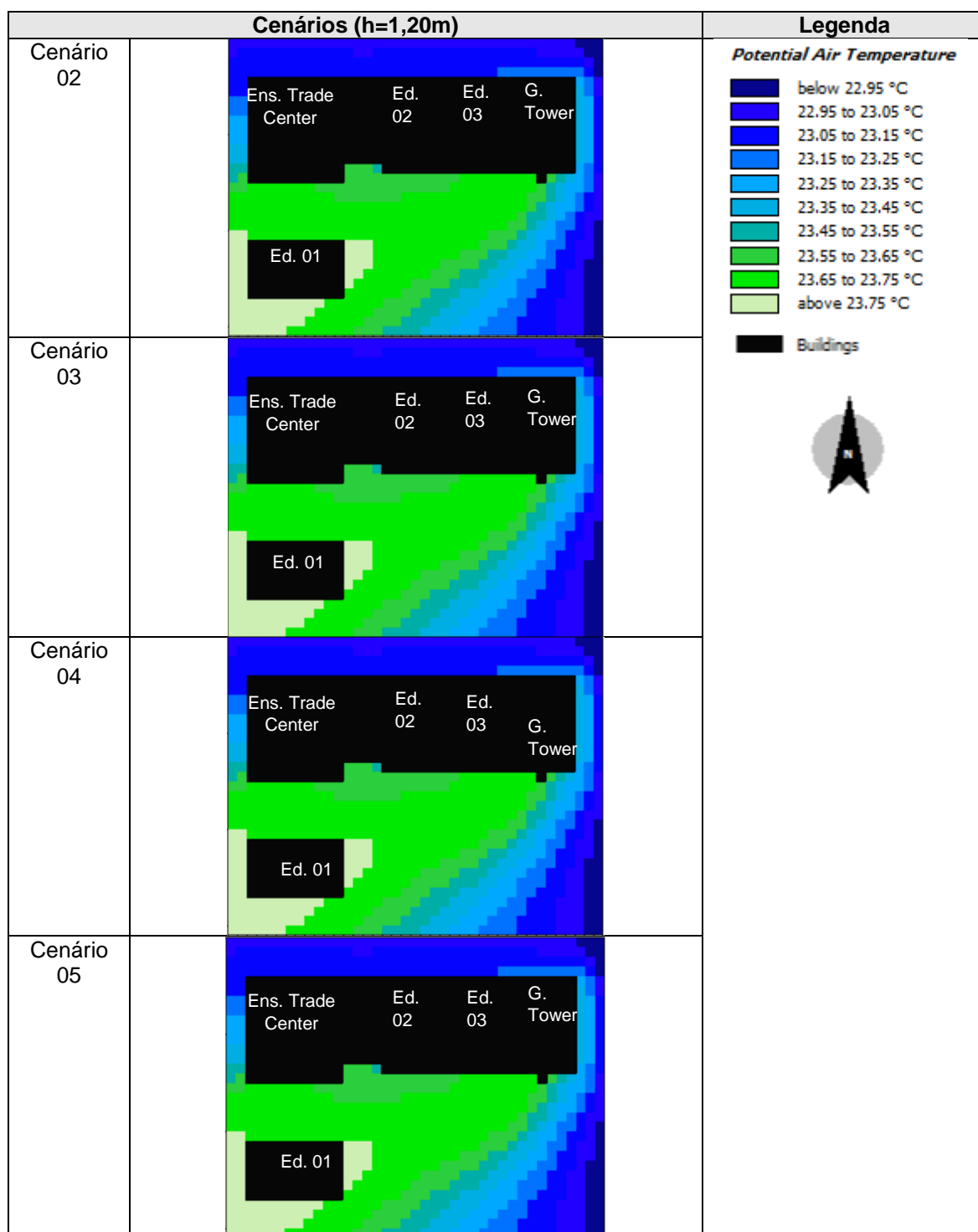
Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE IV – Dados METAR obtidos por meio do *Software* MetarReader com informações meteorológicas do dia 23/02/2022

Localidade: SBVT VITORIA - GOIABERA - BRAZIL (ES) Latitude: 20°15'30"S - Longitude: 040°17'13"W - Dia 23/02/2022.						
Hora (UTC)	HORA LOCAL	NUVENS	TEMP. (°C)	UMI. RELATIVA (%)	DIR. VENTO (°)	VEL. VENTO (m/s)
03:00	00:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).	26	78,68	20	3
04:00	01:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 2500 pés acima do Aeródromo (762 metros).	26	78,68	20	3
05:00	02:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 2500 pés acima do Aeródromo (762 metros).	25	83,48	10	2
06:00	03:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 2500 pés acima do Aeródromo (762 metros).	25	88,7	320	2
07:00	04:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 2500 pés acima do Aeródromo (762 metros).	25	88,7	10	3
08:00	05:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 2500 pés acima do Aeródromo (762 metros).	25	88,7	10	3
09:00	06:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).	24	94,16	340	1
10:00	07:00	Nenhuma nuvem abaixo dos 5.000 pés ou abaixo da MSA (ótimo), ausência de CB e/ou de fenômenos meteorológicos significativos sobre o Aeródromo ou nas suas vizinhanças.	26	83,6	330	2
11:00	08:00	Nenhuma nuvem abaixo dos 5.000 pés ou abaixo da MSA (ótimo), ausência de CB e/ou de fenômenos meteorológicos significativos sobre o Aeródromo ou nas suas vizinhanças.	28	74,36	340	2
12:00	09:00	Parcialmente nublado (3-4 oitavos), a 2000 pés acima do Aeródromo (610 metros).	30	62,35	10	4
13:00	10:00	Parcialmente nublado (3-4 oitavos), a 2500 pés acima do Aeródromo (762 metros).	30	62,35	10	5
14:00	11:00	Parcialmente nublado (3-4 oitavos), a 2500 pés acima do Aeródromo (762 metros).	31	62,58	10	6
15:00	12:00	Parcialmente nublado (3-4 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).	32	55,65	20	6
16:00	13:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).	30	66,25	50	7
17:00	14:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).	31	62,58	60	7
18:00	15:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).	30	66,25	50	8
19:00	16:00	Nenhuma nuvem abaixo dos 5.000 pés ou abaixo da MSA (ótimo), ausência de CB e/ou de fenômenos meteorológicos significativos sobre o Aeródromo ou nas suas vizinhanças.	30	66,25	50	8
20:00	17:00	metros).	29	66,04	50	7
21:00	18:00	Parcialmente nublado (3-4 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).	28	69,98	50	6
22:00	19:00	metros).	27	78,82	50	6
23:00	20:00	Pouco nublado (1-2 oitavos), a 3000 pés acima do Aeródromo (914 metros).				
		Muito nublado (5-7 oitavos), a 10000 pés acima do Aeródromo (3048 metros).				
		Nenhuma nuvem abaixo dos 5.000 pés ou abaixo da MSA (ótimo), ausência de CB e/ou de fenômenos meteorológicos significativos sobre o Aeródromo ou nas suas vizinhanças.	27	78,82	40	6
00:00	21:00	Nenhuma nuvem abaixo dos 5.000 pés ou abaixo da MSA (ótimo), ausência de CB e/ou de fenômenos meteorológicos significativos sobre o Aeródromo ou nas suas vizinhanças.	26	78,68	30	6
01:00	22:00	Nenhuma nuvem abaixo dos 5.000 pés ou abaixo da MSA (ótimo), ausência de CB e/ou de fenômenos meteorológicos significativos sobre o Aeródromo ou nas suas vizinhanças.	26	83,6	20	5
02:00	23:00	Nenhuma nuvem abaixo dos 5.000 pés ou abaixo da MSA (ótimo), ausência de CB e/ou de fenômenos meteorológicos significativos sobre o Aeródromo ou nas suas vizinhanças.	26	83,6	20	4

Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE V - Comparativo da temperatura do ar no horário de 06h (h=1,20m)



Fonte: Autora(2022).

APÊNDICE VI - Dados de Tar, RH, Vv e TRM inseridos no RayMan e resultados do PET e UTCI para os pontos 01, 02 e 03

14H		Tar (°C)	RH (%)	Vv (m/s)	TRM (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
PONTO 01	Cenário 02	30.9	50.7	3.4	63.2	40.4	35.7
	Cenário 03	30.9	50.7	3.4	63.0	40.3	35.6
	Cenário 04	30.9	50.7	3.4	63.0	40.3	35.6
	Cenário 05	30.9	50.7	3.4	62.5	40.1	35.5
PONTO 02	Cenário 02	30.8	51.7	1.3	62.3	43.7	38.5
	Cenário 03	30.8	51.7	1.3	62.2	43.6	38.5
	Cenário 04	30.8	51.7	1.3	62.2	43.6	38.5
	Cenário 05	30.8	51.7	1.3	61.9	43.4	38.4
PONTO 03	Cenário 02	30.7	51.5	1.9	61.9	41.9	37.3
	Cenário 03	30.7	51.5	1.9	61.8	41.9	37.3
	Cenário 04	30.7	51.5	1.9	61.8	41.9	37.3
	Cenário 05	30.7	51.5	1.9	61.6	41.8	37.2

Fonte: Autora (2022).

ANEXO B - Umidade a 2500m de altura encontrada no site da Universidade de Wyoming, por meio da estação convencional 83649 de Vitória, horário de 12Z (09h)

83649 Vitoria Observations at 12Z 23 Feb 2022

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1014.0	4	28.8	21.8	66	16.51	330	5	300.8	349.5	303.7
1000.0	126	27.0	20.0	66	14.95	355	7	300.1	344.1	302.8
933.0	734	21.0	18.9	88	14.96	13	12	300.0	344.0	302.7
925.0	809	20.6	17.6	83	13.88	15	13	300.4	341.3	302.9
921.0	846	20.3	17.4	83	13.79	15	13	300.5	341.1	302.9
896.0	1084	18.6	16.3	86	13.19	15	15	301.1	340.1	303.4
880.0	1239	17.5	15.6	89	12.81	25	13	301.4	339.4	303.8
876.0	1279	17.2	15.4	89	12.72	22	13	301.5	339.2	303.8
867.0	1367	17.8	11.8	68	10.12	16	12	303.1	333.4	304.9
850.0	1537	16.6	14.2	86	12.12	5	11	303.5	339.8	305.7
849.0	1547	16.5	14.2	86	12.12	0	10	303.6	339.8	305.8
830.0	1740	15.4	13.8	90	12.09	21	4	304.3	340.6	306.5
822.0	1822	15.1	13.3	89	11.82	30	2	304.8	340.4	307.0
781.0	2256	13.4	10.7	84	10.45	336	2	307.5	339.4	309.4
773.0	2343	13.2	6.2	63	7.75	325	2	308.2	332.1	309.6
755.0	2542	11.8	10.0	89	10.31	300	3	308.8	340.4	310.7
700.0	3174	9.4	5.1	75	7.93	220	3	312.9	337.8	314.4
641.0	3899	5.4	0.7	72	6.33	190	10	316.3	336.6	317.5

Fonte: Adaptado do site da Universidade de Wyoming (2021).