

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

BRENDA ALVES SILVA

**ESTRATÉGIAS DE MELHORIA DO AMBIENTE TÉRMICO
DIURNO EM SITUAÇÃO DE VERÃO DE UMA FRAÇÃO URBANA
DA CIDADE DE VITÓRIA, ES**

**VITÓRIA
2017**

BRENDA ALVES SILVA

**ESTRATÉGIAS DE MELHORIA DO AMBIENTE TÉRMICO
DIURNO EM SITUAÇÃO DE VERÃO DE UMA FRAÇÃO URBANA
DA CIDADE DE VITÓRIA, ES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Geografia do Centro
de Ciências Humanas e Naturais da
Universidade Federal do Espírito Santo,
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Geografia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cristina Engel de
Alvarez

VITÓRIA

2017

BRENDA ALVES SILVA

**ESTRATÉGIAS DE MELHORIA DO AMBIENTE TÉRMICO
DIURNO EM SITUAÇÃO DE VERÃO DE UMA FRAÇÃO URBANA
DA CIDADE DE VITÓRIA, ES**

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de Bacharelado em Geografia.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. Cristina Engel de Alvarez
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientadora)

Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho
Universidade Federal do Espírito Santo
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Edson Fialho
Universidade Federal de Viçosa
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas vitórias alcançadas durante toda essa trajetória. Glorifico ao Senhor pelas bênçãos sobre minha vida e por me permitir conhecer pessoas importantes e que fizeram a diferença na conclusão desse projeto.

A minha família, em especial minha mãe e meus irmãos por sempre me incentivarem nos momentos difíceis durante o curso. Obrigada por terem paciência!

A Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e ao Programa de Iniciação Científica, por proporcionarem oportunidades.

A Professora e orientadora Dr^a Cristina Engel por acreditar que esse projeto iria concretizar, mesmo diante das incertezas. Obrigada Cris!!

Ao Laboratório de Planejamento e Projetos – LPP, pelas bolsas de estudo, a qual me permitiram realizar esta pesquisa.

Aos professores vinculados ao LPP– Dr^a Edna Nico e Dr^a Márcia Bissoli pelas palavras de incentivo e encorajamento.

A equipe do LPP, em especial aqueles que me ajudaram nas medições e à equipe do ano de 2012, por me acolherem no início. Agradeço a cada pessoa!!

À mestre Tatiana Xavier e mestranda Laiz Leal primeiramente pela amizade e a enorme paciência durante as fases de aprendizagem do programa ENVI-MET.

Aos amigos da graduação e aqueles que estiveram comigo durante todo curso em especial, Renata Leão, Ana Paula Magnago, Janete Oliveira, Geisielly Ferreira, Wanessa Pacheco e Marina Mota.

Aos Professores vinculados ao programa de graduação de Geografia – UFES. Obrigada por me proporcionarem ensinamentos valiosos para minha vida profissional.

Aos professores da banca, Dr Edson Fialho e Dr André Nascentes Coelho por aceitarem o convite e participarem dessa banca.

Dedico à minha mãe, Irena Alves e aos meus irmãos, Beatriz e Brunno. Obrigada por acreditarem nesse sonho!

RESUMO

A urbanização e o crescimento urbano desordenado, sem o devido planejamento, têm sido fatores de alterações no clima local, sendo um dos principais aspectos de interferência mencionados em diversas pesquisas, a diminuição da vegetação nas grandes cidades. Essa diminuição da arborização tem intensificado a formação do fenômeno “ilhas de calor” nos centros urbanos, ocasionando ampliação no desconforto térmico. Assim, é indiscutível que a vegetação exerce um papel importante para o conforto térmico urbano, sendo um elemento fundamental para a atenuação da temperatura e melhoria no conforto térmico dos transeuntes. O objetivo principal desta pesquisa foi avaliar e mensurar as alterações no microclima através da inserção da vegetação na malha urbana visando a melhoria do conforto térmico do transeunte. O principal instrumento utilizado na pesquisa foram simulações realizadas através do *software* ENVI-MET V.4.2 e medições microclimáticas para a calibração do programa, sendo aferidos os dados de temperatura e umidade na própria área de estudo. O recorte territorial corresponde a um fragmento do bairro Goiabeiras, em Vitória - ES. Para a preparação do banco de dados para a simulação do ambiente de estudo foram utilizados dados microclimáticos do período sazonal de verão, do ano de 2017, e pesquisa de campo para as configurações necessárias para a simulação. As informações obtidas nas simulações comprovaram a influência da vegetação na melhoria das condições ambientais de conforto térmico urbano, reiterando sua grande importância na mitigação de núcleos de calor nos centros urbanos.

Palavras chave: Urbanização, ilhas de calor, clima urbano, vegetação, conforto térmico, ENVI-MET.

ABSTRACT

Urbanization and uncontrolled urban growth, without due planning, have been factors of changes in local climate, once reduction of vegetation in large cities is one of the main aspects of interference mentioned in several researches. This vegetation reduction has intensified the formation of the phenomenon known as "heat islands" in urban centers, causing increase of thermal discomfort. Then, it is undeniable that vegetation plays an important role in urban thermal comfort, as a very important element for mitigation of temperature and improvement in pedestrians' thermal comfort. The main target of this research was evaluating and measuring changes in the microclimate through the insertion of vegetation in urban area, aiming to improve pedestrians' thermal comfort. The main instrument used in the research were simulations carried out by the ENVI-MET software V.4.2 and microclimatic measurements for software calibration, having the data of temperature and humidity been measured in the very study area. The territorial cut corresponds to a fragment of Goiabeiras neighborhood, in Vitória, in the Brazilian State of Espírito Santo. For the preparation of the database for the simulation of the study environment it was used microclimatic data of 2017 summer time, as well as field research for the settings required for the simulation. The results obtained in the simulations have confirmed the influence of vegetation in the improvement of the environmental conditions of urban thermal comfort, showing once again its great importance in the mitigation of heat cores in urban centers.

Keywords: Urbanization, heat islands, urban climate, vegetation, thermal comfort, ENVI-MET.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dados da População da região Sudeste	13
Figura 2: Vistas de Vitória, nos períodos anteriores e posteriores à criação dos aterros ...	14
Figura 3: Esquema das Escalas Climáticas nas Áreas Urbanas	19
Figura 4: Influência da vegetação no microclima.	22
Figura 5: Exemplo de mapeamento gerado através do Plugin Leonardo	26
Figura 6: Licenças e custos equivalentes do programa.	27
Figura 7: Parâmetros de estudo do ENVI-MET	28
Figura 8: Fluxograma dos procedimentos	29
Figura 9: Mapa do Município de Vitória - ES	29
Figura 10: Gráficos comparativos de temperatura (Máxima, mínima e média)	30
Figura 11: Mapa da área de estudo.....	33
Figura 12: Mosaico de fotos da área de estudo	34
Figura 13: Construção da base gráfica	35
Figura 14: Mapa de localização dos pontos de medições	37
Figura 15: Detalhes do abrigo e aparelho.....	38
Figura 16: Localização do ponto 1 - Área da praça	39
Figura 17: Localização do ponto 2 - Área próxima da avenida	39
Figura 18: Configuração inicial do modelo Goiabeiras no ENVI-MET	40
Figura 19: Layer “Edifícios” no modelo Goiabeiras no ENVI-MET	41
Figura 20: Modelo Goiabeiras no ENVI-MET em visualização 3D.....	42

Figura 21: Dados microclimáticos de entrada no Project Wizard do ENVI-MET	42
Figura 22: Dados de simulação ENVI-MET	43
Figura 23: Dados meteorológicos básicos de entrada	44
Figura 24: Configuração e editor dos dados de entrada para o simple forcing da área de estudo.....	45
Figura 25: Dados meteorológicos utilizados na simulação para ajuste da radiação solar..	46
Figura 26: Tela de simulação do ENVI-MET	47
Figura 27: Receptores inseridos na tela de modelagem do programa.....	48
Figura 28: Zoom no Layer da modelagem da área de estudo no ENVI-MET	54
Figura 29: Mosaico de fotos das árvores existente na área de estudo.....	54
Figura 30: Simulação 1 - Situação real	56
Figura 31: Simulação 2 - Acréscimo de árvores	57
Figura 32: Mapas de temperatura – 9h realizado através do <i>plug-in</i> Leonardo	60
Figura 33: Mapas de temperatura – 15h realizado através do <i>plug-in</i> Leonardo	61
Figura 34: Mapas de temperatura – 21h realizado através do <i>plug-in</i> Leonardo	62
Figura 35: Mapa de Umidade – 9h realizado através do <i>plug-in</i> Leonardo	63
Figura 36: Mapa de Umidade – 15h realizado através do <i>plug-in</i> Leonardo	64
Figura 37: Mapa de Umidade – 21h realizado através do <i>plug-in</i> Leonardo	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dados de Temperatura do Ponto 1	50
Gráfico 2: Dados de Umidade do Ponto 1	50

Gráfico 3: Dados de Temperatura do Ponto 2	50
Gráfico 4: Dados de Umidade do Ponto 2.....	51
Gráfico 5: Índice de correlação linear - Temperatura	51
Gráfico 6: Índice de correlação linear - Umidade	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Taxa de urbanização na região Sudeste.....	13
Tabela 2: Evolução da População.....	15
Tabela 3: Dados iniciais inseridos para a área de calibração	49
Tabela 4: Dados iniciais inseridos para simulação principal.....	53
Tabela 5: Variáveis climáticas obtidos na simulação - Área real.....	58
Tabela 6: Variáveis climáticas obtidos na simulação - Inserção da vegetação	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características que contribuem para a formação das Ilhas de Calor	17
Quadro 2: Escala do Clima	18
Quadro 3: Configuração do Clima	20
Quadro 4: Cenários para a simulação principal	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. A URBANIZAÇÃO E O ADENSAMENTO POPULACIONAL	12
2.2. AS ABORDAGENS SOBRE O CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO ..	16
2.3. ESCALA DO CLIMA	18
2.4. ELEMENTOS DO CLIMA	20
2.5. INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO URBANO	21
2.6. O PROGRAMA ENVI-MET.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1. DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.2. LEVANTAMENTOS DOS DADOS	34
3.3. MEDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS	36
3.4. MODELAGEM DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
3.5. SIMULAÇÃO DE AJUSTE – CALIBRAÇÃO	47
4. SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO URBANO	52
4.1. CENÁRIOS PARA A SIMULAÇÃO	55
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	58
5.1. ANÁLISE DOS CENÁRIOS	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

A crescente urbanização sem o planejamento adequado, o crescimento populacional e o consequente adensamento urbano são fatores que têm influenciado o clima local das cidades. No Brasil, conforme o censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016) houve um crescimento da população nas áreas urbanas de 84,1%, sendo a Região Sudeste a liderar no *ranking* de crescimento populacional em relação às demais regiões.

A falta de planejamento adequado nas cidades, entre outras consequências, tem limitado as áreas verdes nos centros urbanos. Essa diminuição da arborização, de acordo com o observado em pesquisas de Gartland (2010), Labaki e outros (2011), Barros e outros (2016), auxilia na formação de fenômenos climáticos como o de “*Ilhas de Calor*”, promovendo alterações no microclima local, e eventualmente ocasionando desconforto térmico aos transeuntes. Gartland (2010) destaca que esse fenômeno acontece principalmente devido aos materiais utilizados na área urbana, pois estes acabam absorvendo e retraindo mais calor do sol que os materiais encontrados nas áreas rurais, que em sua maioria são naturais e absorventes.

A vegetação urbana tem sido um condicionante atuante na mitigação desse fenômeno microclimático, e de acordo com Dacanal e outros (2010), Silva e outros (2015) e Labaki e outros (2011), contribui para a melhoria do conforto térmico, principalmente em regiões de clima tropical, pois propicia uma atenuação da temperatura do ar e aumento na umidade relativa.

Segundo Romero (2000), a vegetação absorve uma quantidade maior de radiação solar e irradia uma quantidade menor de calor do que uma superfície construída, pois as folhas absorvem energia para utilizar no seu processo metabólico. Em síntese e de acordo com Gartland (2010) as árvores, ao produzirem sombra protegem as superfícies da radiação solar direta, consequentemente deixando-as mais frescas além de diminuir o calor que estas poderiam armazenar. Em seu processo de evapotranspiração, as árvores também absorvem a energia solar e a transformam em água, o que mantém o ar sob as mesmas com temperatura mais amena.

Por sua vez, as transformações nas áreas urbanas, principalmente relacionadas com a diminuição da vegetação, tem alterado o microclima. Diante do exposto, o objetivo principal desta pesquisa foi avaliar e mensurar as alterações no microclima através da inserção da vegetação na malha urbana num trecho urbano da cidade de Vitória, ES, situado no bairro Goiabeiras, visando a melhoria do conforto térmico do transeunte, adotando-se como principal procedimento metodológico o uso de simulações computacionais.

Espera-se que os resultados obtidos auxiliem como argumento na discussão das políticas públicas relacionadas ao planejamento do espaço urbano e do consequente papel da arborização no contexto do conforto urbano e mitigação de núcleos de calor.

Os objetivos específicos são:

1. Realizar revisão bibliográfica sobre os principais aspectos de influência na pesquisa, tais como arborização urbana, conforto térmico urbano, métodos de avaliação para o conforto térmico urbano, clima urbano, entre outros;
2. Levantar dados e documentações relacionadas ao recorte territorial previamente estabelecido visando o posterior desenvolvimento das simulações higrótérmicas;
3. Estabelecer a correlação entre os dados simulados e o embasamento conceitual da pesquisa;
4. Propor estratégia de intervenção urbana a partir dos possíveis resultados a serem obtidos com o incremento da vegetação urbana.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Embora a revisão bibliográfica tenha sido realizada considerando vários enfoques tangenciais ao problema estabelecido, foram considerados como aspectos fundamentais para a compreensão dos procedimentos e dos resultados obtidos os seguintes temas: urbanização; clima urbano e conforto térmico; as escalas do clima; e a relação da vegetação com o conforto térmico urbano.

2.1. A URBANIZAÇÃO E O ADENSAMENTO POPULACIONAL

O processo de urbanização, principalmente no Brasil, ocorreu de maneira rápida, entretanto tardio quando comparado a alguns outros países. Algumas cidades brasileiras transformaram-se rapidamente em grandes centros urbanos e passaram por transformações na sua própria paisagem, sem, contudo, estarem preparadas estruturalmente para esse crescimento. Esse fenômeno se verifica em grande parte das concentrações urbanas do território nacional, ocasionando inúmeras consequências decorrentes, principalmente, do adensamento associado à falta do planejamento (NASCIMENTO, 2010; MASHIKI, 2012).

Porém vale destacar que a urbanização não é geradora unicamente de malefícios, sendo um indiscutível polo de atração no que se relaciona ao acesso à informação, saúde, educação, lazer, oportunidades, entre outros aspectos relacionados à qualidade de vida. No entanto, a problemática está voltada em como construir e adensar as cidades de acordo com as necessidades humanas, de forma equilibrada, considerando que a ausência de planejamento tem gerado graves consequências no meio urbano (DUARTE, 2000).

Segundo o IBGE, houve um aumento no Brasil na taxa de urbanização¹, sendo que na região sudeste esse aumento foi de 92,95%, conforme Tabela 1.

¹ Percentagem da população da área urbana em relação à população total. Fonte: IBGE, 2010

Tabela 1: Taxa de urbanização na região Sudeste

Período	Taxa de urbanização
1940	39,42
1950	47,55
1960	57
1970	72,68
1980	82,81
1991	88,02
2000	90,52
2007	92,03
2010	92,95

Fonte: adaptado a partir do IBGE, 2010.

De acordo com o IBGE (2010), houve um grande crescimento populacional nas cidades da região sudeste, sendo que em Belo Horizonte o total populacional em 2010 era de 2,375,151 habitantes, no Rio de Janeiro de 15.989.929 habitantes e em São Paulo de 41.262.199 habitantes (Figura 1).

Figura 1: Dados da População da região Sudeste

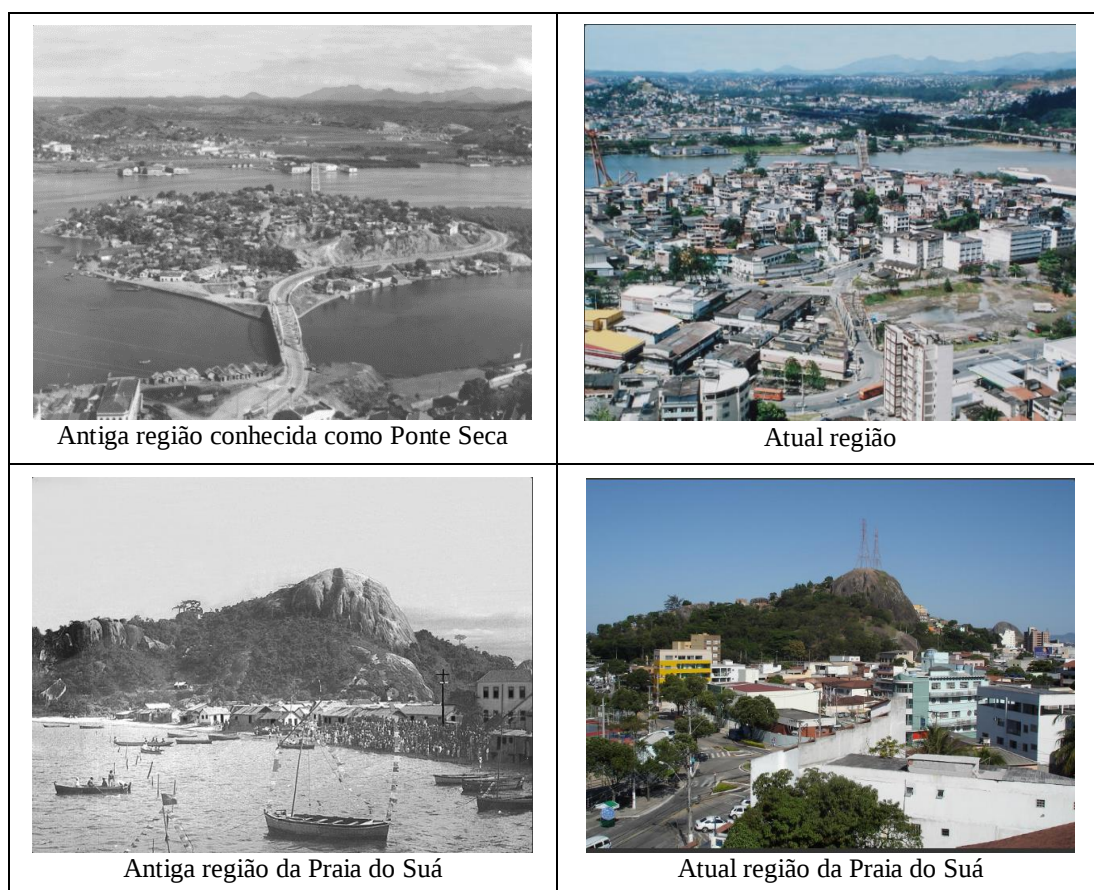
Belo Horizonte	
POPULAÇÃO	
População estimada [2017]	2.523.794 pessoas
População no último censo [2010]	2.375.151 pessoas
Densidade demográfica [2010]	7.167 hab/km ²
Rio de Janeiro	
POPULAÇÃO	
População estimada [2017]	16.718.956 pessoas
População no último censo [2010]	15.989.929 pessoas
Densidade demográfica [2010]	365,23 hab/km ²

São Paulo

POPULAÇÃO	
População estimada [2017]	45.094.866 pessoas
População no último censo [2010]	41.262.199 pessoas
Densidade demográfica [2010]	166,23 hab/km ²

Em relação ao município de Vitória, a população foi de 327.801 habitantes no último censo do IBGE e, segundo dados da Prefeitura Municipal de Vitória, a maior parte da população que mora na ilha vive em áreas de aterros, ou seja, de expansão urbana (Figura 2).

Figura 2: Vistas de Vitória, nos períodos anteriores e posteriores à criação dos aterros



Fonte: Prefeitura de Vitória. Acesso em 20 outubro de 2017.

O município passou por transformações em sua paisagem, sendo a área aterrada entre as décadas de 1830 e 1990 a modificação mais relevante e que possibilitou o aumento

populacional daquela região (PREFEITURA DE VITÓRIA, acesso em 20 de novembro de 2017), a região teve um crescimento populacional entre os anos de 1991-2010 (Tabela 2).

Os ambientes aterrados no município de Vitória abrange uma área total de 15,74 km² com 50% desses na ilha e os outros 50% no continente. Em relação aos bairros com maior área aterrada se destaca o Parque Industrial Porto de Tubarão, seguido do Aeroporto e o bairro Enseada do Suá respectivamente (COELHO, 2017).

As alterações urbanas sem o devido planejamento geram consequências, em muitos casos, de grandes proporções, sendo necessário o desenvolvimento de políticas eficazes de combate e controle do desordenamento territorial. Nesse sentido, a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), em seu capítulo sobre política urbana, atribuiu ao município as funções de controle, de planejamento, de gestão e de desenvolvimento urbano.

Tabela 2: Evolução da População

Evolução Populacional			
Ano	Vitória	Espírito Santo	Brasil
1991	258.777	2.600.618	146.825.475
1996	264.946	2.790.206	156.032.944
2000	292.304	3.097.232	169.799.170
2007	314.042	3.351.669	183.987.291
2010	327.801	3.514.952	190.755.799

Fonte: Modificada a partir de IJSN (2017)

Os problemas, principalmente os relacionados com avanço da urbanização e ao adensamento urbano das cidades, resultam em impactos no clima urbano. Esses avanços também geram degradação ambiental nas cidades, como por exemplo, o aumento da ocupação de encostas, topos de morro, margens de rio e na consequente diminuição das áreas verdes permeáveis.

Os impactos gerados pela urbanização sem o planejamento adequado resultam no surgimento ou ampliação de fenômeno climáticos indesejáveis, onde sua intensidade depende das condições do microclima e das condições do entorno. Esse fenômeno está relacionado com um aumento da temperatura do ar e a diminuição da umidade, onde:

[...] o clima terá uma característica singular, pois nesta escala as interferências feitas pelo homem como impermeabilização, verticalização e emissão de poluentes possibilitará o desenvolvimento de um clima específico: o clima urbano, que refletirá, sobretudo na intensidade das precipitações, em níveis de umidade do ar e no desenvolvimento de núcleos de calor (JESUS; COELHO, 2015, p.4643).

2.2. AS ABORDAGENS SOBRE O CLIMA URBANO E CONFORTO TÉRMICO

Nos primeiros estudos que surgiram sobre o clima urbano, vale destacar o processo de industrialização que ocorreu na Europa, cenário da primeira Revolução Industrial que ocorreu nos séculos XVIII e XIX, onde a preocupação com a qualidade do ar, devido à utilização do carvão mineral nas indústrias, era notório entre os pesquisadores (SARAIVA, 2014).

A literatura científica sobre o clima urbano, recentemente surgida no século XIX, se mostrou preocupada com as alterações climáticas nas cidades. No Brasil, os estudos sobre a climatologia urbana têm sido desenvolvidos nos últimos vinte anos, com influência de Carlos Augusto Figueiredo Monteiro, elaborando um modelo teórico para estudos comportamentais climáticos das cidades, chamado Sistema Clima Urbano – S.C.U (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

Em 2009, Fialho (2009) alertou sobre a escassez de pesquisas relacionadas ao clima urbano nas cidades brasileiras, porém, passados quase duas décadas, percebe-se que houve um incremento nas publicações, com perceptível aumento de interesse nesse aspecto enquanto tema relevante de investigação.

As alterações climáticas nos centros urbanos ocasionados por fatores antrópicos afetam diretamente o conforto térmico dos transeuntes. Nos estudos acerca do clima urbano, a temática do conforto térmico tem sido bastante discutido e, de acordo com Monteiro (2003), o conforto térmico está relacionado com componentes termodinâmicos, sendo as sensações expressas através do calor, ventilação e umidade.

A ação antrópica no meio urbano sem o devido planejamento tem acarretado problemas ambientais de várias dimensões. A intensa atividade promovida pela urbanização tem substituído áreas naturais nos centros urbanos e a falta de planejamento urbano adequado

diminuído os espaços verdes, interferindo nas condições do clima local.

Segundo Lombardo (2009), o processo de urbanização interfere na mudança da natureza da superfície do solo e nas propriedades atmosféricas. As configurações urbanas absorvem a radiação e a falta de elementos de atenuação da temperatura tem causado desconforto urbano e intensificado o surgimento de fenômenos climáticos que interferem no conforto térmico, sendo que:

Neste ambiente socialmente construído, o balanço de energia precedente sofre profundas mudanças, sendo que os elementos climáticos mais observados tem sido a temperatura e a umidade relativa do ar (ilha de calor, ilha de frescor, conforto, desconforto térmico, etc.), os ventos (diretamente ligados à dispersão da poluição, e nas cidades tropicais, a precipitação (inundações). As atividades sócio-econômicas urbanas, de maneira geral, são fatores da formação do clima urbano, sendo que a intensidade do adensamento humano e urbano e a localização geográfica da cidade desempenham forte influência em tal formação (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003, p. 93).

As variações climáticas nas áreas urbanas relacionadas ao conforto térmico resultam na formação do fenômeno de “*Ilhas de Calor*”, ocasionado pelas modificações das superfícies pelos revestimentos de concreto e asfalto (FROTA E SCHIFFER, 2003).

Segundo Romero (2000), a capacidade de absorção do calor no solo construído é maior do que no solo natural, consequentemente alterando o balanço de temperatura nas áreas urbanas e contribuindo para esse fenômeno.

Gartland (2010, p. 26) ressalta que as principais características da formação de ilhas de calor influencia nos efeitos sobre o balanço de energia nas áreas urbanas. O Quadro 1 apresenta as características que contribuem para a formação desse fenômeno.

Quadro 1: Característica que contribuem para a formação das Ilhas de Calor

CARACTERÍSTICA QUE CONTRIBUEM PARA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR	EFEITOS SOBRE O BALANÇO DE ENERGIA
Falta de vegetação	Reduz evaporação
Utilização difundida de superfície impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumento o armazenamento de calor

Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam calor	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta o calor antropogênico

Fonte: Gartland (2010, p.26).

Segundo Lombardo (1985), o fenômeno resulta da relação entre as ações antrópicas sobre o meio urbano e o meio físico, sendo geradas pelas modificações na drenagem do solo, pelo revestimento da superfície de concreto e asfalto (FROTA; SCHIFFER, 2003).

2.3. ESCALA DO CLIMA

A classificação da escala climática permite uma maior compressão do clima urbano. Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o clima pode ser estudado em suas dimensões, com destaque na abordagem geográfica da climatologia das escalas espaciais, tais como a macroescala, a mesoescala e a microescala, de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2: Escala do Clima

ORDEM DE GRANDEZA	SUBDIVISÕES	ESCALA HORIZONTAL	ESCALA VERTICAL	TEMPORALIDADE DAS VARIÁVEIS MAIS REPRESENTATIVAS	EXEMPLIFICAÇÃO ESPACIAL
Macroclima	Clima zonal	>2.000 km	3 a 12 km	Algumas semanas e vários decênios	O globo, um hemisfério, um oceano, continente, mares, etc.
	Clima Regional				
Mesoclima	Clima Regional	2.000 km a 10 km	12 km a 100m	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade, etc.
	Clima local				
	Topoclima				
Microclima		10 km a alguns metros	Abaixo de 10m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, edificação/casa, etc.

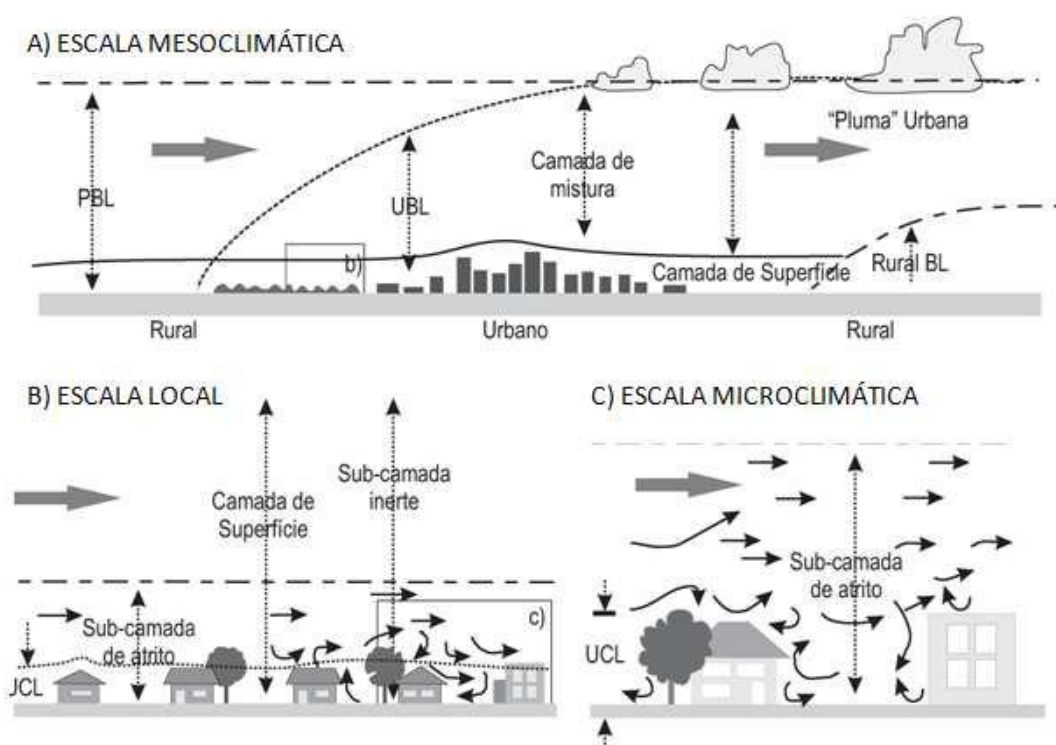
Fonte: Adaptado de Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 23).

Conforme afirmam Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o microclima é considerado a

menor unidade na escala climática, quando se refere ao microclima relacionamos com áreas de extensão espacial pequena, como o clima de uma determinada rua, sala de aula entre outros de menor escala com extensão de alguns centímetros a algumas dezenas de m². O macroclima, diferentemente do microclima, é considerado a maior unidade climática, com sua extensão espacial maior, sendo seu clima relacionado com o clima de oceanos, continentes entre outros. O mesoclima é considerado a unidade intermediária, e sua extensão é relacionada com clima de montanhas, cidades, regiões naturais entre outras dessa unidade.

Oke (2004) utiliza a avaliação do clima nas áreas urbanas nas escalas mesoclimática, local e microclimática, que podem ser definidos de acordo com Figura 3. A escala mesoclimática recebe influência das massas térmicas, na escala local sob efeito das paisagens, como a topografia e configurações urbanas; e na escala microclimática na qual se insere esse estudo, sofre influência do entorno e pode ocorrer a variação da temperatura em muitos graus e em pequenas distâncias. O autor propõe a divisão da PBL (*Planetary Boundary Layer*), ou seja, a camada para estudos do clima urbano, em dois níveis: a UCL (*Urban Canopy Layer*) no nível das coberturas; e a UBL (*Urban Boundary Layer*), a camada limite urbana.

Figura 3: Esquema das Escalas Climáticas nas Áreas Urbanas

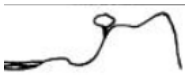
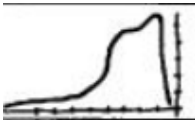
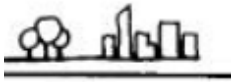


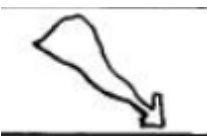
Fonte: Oke (2004)

2.4. ELEMENTOS DO CLIMA

De acordo com Romero (2000), existem fatores e elementos climáticos que alteram o clima local, sendo estes responsáveis pelas alterações climáticas nas áreas urbanas. São fatores climáticos locais, tais como a topografia, vegetação, superfície do solo, que interagem com os elementos climáticos como temperatura, umidade do ar, precipitação e movimento do ar (Quadro 3). A radiação solar que atinge a superfície terrestre afeta diretamente o clima local, sendo que “a relação entre taxas de aquecimento e esfriamento da superfície da terra é o fator determinante da temperatura do ar” (ROMERO, 2000, p. 37).

Quadro 3: Configuração do Clima

Fatores Climáticos Globais		Fatores Climáticos Locais	
 Radiação Solar Quantidade/Qualidade/ Inclinação do eixo terrestre/ equilíbrio térmico terrestre		 Topografia Declividade/Orientação Exposição/Elevação	
 Latitude		 Vegetação	
 Altitude		 Superfície do solo Natural ou construído/ Reflexão/ Permeabilidade/ Temperatura/Rugosidade	
 Ventos			
 Massas de água e terra			
Elementos Climáticos			
 Radiação Solar Valores médios/ variações/ valores extremos/ diferenças térmicas entre o dia e a noite			

	Umidade do ar Absoluta/ Relativa/ Pressão de valor
	Precipitações Chuva/ Neve (todo tipo de água que se precipita da atmosfera)
	Movimento do ar Velocidade/ Direção/ Mudanças diárias e estacionais

Fonte: Adaptado de Romero (2000, p. 20).

2.5. INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO URBANO

A inserção da arborização urbana em praças e jardins se inicia na Europa no século XVII, logo após o período de desenvolvimento urbano no século XV. Foram registradas nas cidades importantes da Europa – como Amsterdã na Holanda, e Berlim na Alemanha – áreas de passeio com vegetação (SEGAWA, 1996, apud SCHUCH, 2006). No Brasil, na metade do século XVII, se registravam núcleos urbanos com a presença da arborização (LOBODA; DE ANGELIS, 2005).

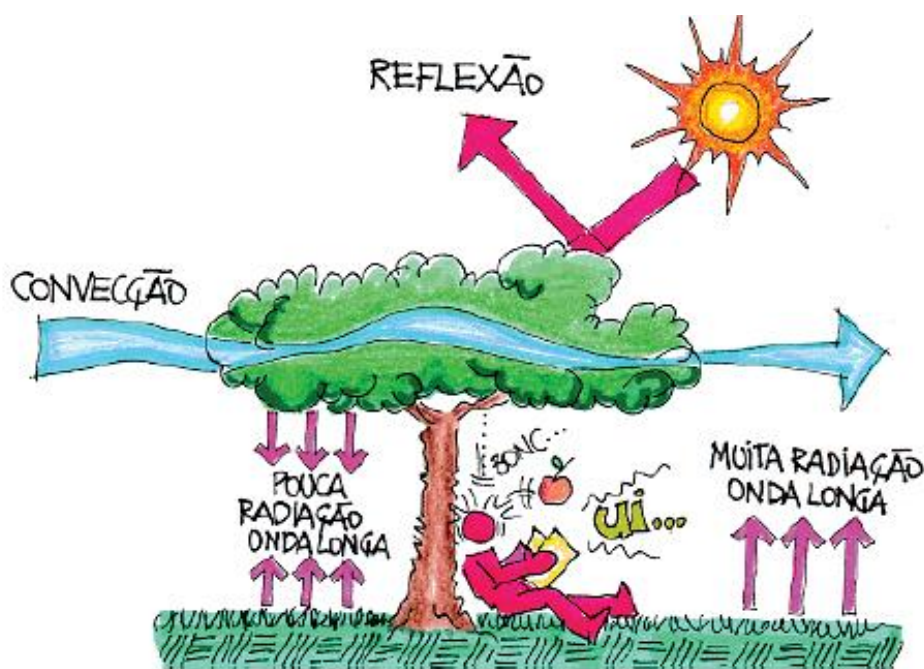
A expansão demográfica em muitos países devido ao crescimento das atividades e desenvolvimento das tecnologias propiciou um forte processo de crescimento urbano. Mendonça (2003) ressalta que o processo de desenvolvimento de muitos países aconteceu de maneira rápida e desorganizada, deixando os espaços verdes em um plano inferior ou inexistente, o que ocasionou a degradação ambiental devido à falta dessas áreas, associado à grandes fluxos de veículos, à alta concentração de edificações e à população concentrada em áreas reduzidas.

Pesquisas acerca da influência da vegetação para o conforto térmico urbano tem apontado a vegetação como um importante fator de atenuação dos impactos negativos no microclima, sendo ainda a responsável pela redução da temperatura e elevação da umidade relativa do ar (SILVA et al., 2015).

Segundo Lima Neto (2011), a presença de vegetação nas cidades é essencial na estrutura e dinâmica da paisagem urbana, sendo que a vegetação é um elemento regulador de temperatura, proporcionando sensações térmicas agradáveis no ambiente urbano e pode se tornar componente de grande importância na diminuição das “ilhas de calor” nos centros urbanos. A formação de “ilhas de calor” nos centros urbanos está relacionada com o aumento da temperatura, queda da umidade relativa do ar, variações na velocidade do vento e variabilidades das precipitações pluviométricas (MINAKI; AMORIM, 2012).

Lamberts (2014) aponta que nas áreas arborizadas, a vegetação existente funciona como interceptor da radiação solar, reduzindo a temperatura da superfície do solo, onde os indivíduos arbóreos absorvem parte da radiação (Figura 4).

Figura 4: Influência da vegetação no microclima.



Fonte: Adaptado de Olgyay (1973), apud Lamberts, 2014, p. 112.

De acordo com Mascaró (2004), a vegetação exerce influência sob a temperatura no controle da radiação solar, do vento e da umidade, contribuindo para a interceptação da radiação solar e, portanto, tendo a função de modificar características dos ventos, reduzindo a precipitação sobre a superfície e, conseqüentemente, alterando a concentração e umidade no entorno.

A vegetação em relação à radiação atua como um filtro das radiações absorvidas pelo solo e pelas superfícies construídas, refrescando os ambientes próximos, uma vez que

as folhagens das árvores atuam como anteparos protetores das superfícies que se localizam imediatamente abaixo e nas proximidades (ROMERO, 2000, p. 97).

De acordo com Gonçalves e Santos (2010), o sombreamento produzido pela vegetação atua impedindo que a radiação solar atinja diretamente a superfície. A vegetação propicia resfriamento passivo em uma edificação por meio do sombreamento e da evapotranspiração. O sombreamento atenua a radiação solar incidente e, conseqüentemente, o aquecimento das superfícies, reduzindo a temperatura superficial destas, portanto, a emissão de radiação de onda longa para o meio. Através da evapotranspiração, ocorre o resfriamento das folhas e do ar adjacente, devido à retirada de calor latente (LABAKI, et al., 2011).

Segundo Pivetta e Silva Filho (2002), além de auxiliarem na diminuição da temperatura, absorvendo os raios solares e refrescando o ambiente pela grande quantidade de água transpirada pelas folhas, a vegetação urbana desempenha outras funções nas cidades, sob vários aspectos:

- ✓ Melhoria na qualidade do ar;
- ✓ Proporciona bem-estar psicológico ao homem;
- ✓ Proporciona sombra para os pedestres e veículos;
- ✓ Protege e direcionam o vento;
- ✓ Quando densa, amortece o som, amenizando a poluição sonora;
- ✓ Reduz o impacto da água de chuva e seu escoamento superficial;
- ✓ Auxilia na preservação da fauna silvestre.

2.6. O PROGRAMA ENVI-MET

Em pesquisas relacionadas com o clima urbano têm sido adotadas técnicas de sensoriamento remoto para detectar as características térmicas das superfícies, tais como Coelho (2013), Silva et al. (2016), Correa (2014), entre outras, além de pesquisas sobre o

clima urbano como de Assis (2001), Brandão (1996), e Fialho (2009). Entretanto, foi utilizado o ENVI-MET para essa pesquisa primeiramente pela disponibilidade da versão gratuita e, principalmente, pelos resultados obtidos em diversas pesquisas consultadas ao longo do processo de revisão bibliográfica. Outro fato que justificou a utilização desse *software* foi por ser o único modelo conhecido de clima numérico apto para analisar as interações entre desenvolvimento urbano, arquitetura e arquitetura paisagística, bem como a qualidade do microclima e do ar até a escala de (um) metro, onde é possível investigar as interações entre condições climatológicas locais (ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017).

O *software* ENVI-MET² foi desenvolvido em 1898 por Michel Bruse e sua equipe do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz na Alemanha, sendo escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa a versão 4.2 Summer, em função de sua disponibilidade gratuita.

O *software* é um modelo holístico tridimensional não hidrostático para a simulação de interações superfície-planta-ar, usado para simular ambientes urbanos e avaliar os efeitos na área. Foi projetado para o desenvolvendo de pesquisa em microescala com uma resolução horizontal e um período de tempo de 24 a 48 horas com um passo de tempo de 1 a 5 segundos, sendo que essa resolução permite analisar interações em pequena escala entre edifícios, superfícies e plantas (ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017).

O ENVI-MET é utilizado em diversas pesquisas relacionadas com o conforto térmico, sendo utilizado em trabalhos semelhantes, como por exemplo, nas pesquisas de Shinzato (2009), Nogueira (2011), Francisco (2012), Xavier (2017) e Gusson (2014). O *software* pode ser utilizado para o planejamento urbano, onde possibilita a criação de diferentes cenários no tecido urbano por meio de interações entre superfície-vegetação-atmosfera objetivando avaliar previamente as consequências da relação entre o desenho urbano e o microclima em escala reduzida.

Desde a sua criação, o programa passa por atualizações a cada ano para melhoria de seu funcionamento em diversos parâmetros. Recentemente foi lançando a versão 4.3, sendo as melhorias verificadas bem significativas em relação às versões anteriores, desde a

² Este programa é gratuito e está disponível em: < <http://www.envi-met.com/>>. Acesso em: março. 2017

modelagem 3D até as alterações de materiais dos edifícios na própria área, avanços no cálculo de temperatura da fachada e no balanço de energia dos fechamentos verticais e na utilização do da ferramenta *forcing*.

Para realização das análises, o *software* disponibiliza três aplicativos:

a) *Área Input File Editor*: esse aplicativo permite a criação do modelo a ser estudado, onde detalha-se o ambiente virtual, como por exemplo, posição e altura dos edifícios e vegetação, distribuição dos materiais de superfície e tipos de solo, posição de pontos específicos para análise (receptores) e link para os bancos de dados.

b) *Configuration File Editor*: utilizado para a inserção dos dados de entrada para a simulação da área definida, tais como: dia e horário de início da simulação, quantas horas serão simuladas, qual o intervalo de tempo que o *software* deve salvar os dados, velocidade do vento, direção do vento, rugosidade da superfície, temperatura inicial da atmosfera, umidade específica a 2500m de altura e umidade relativa.

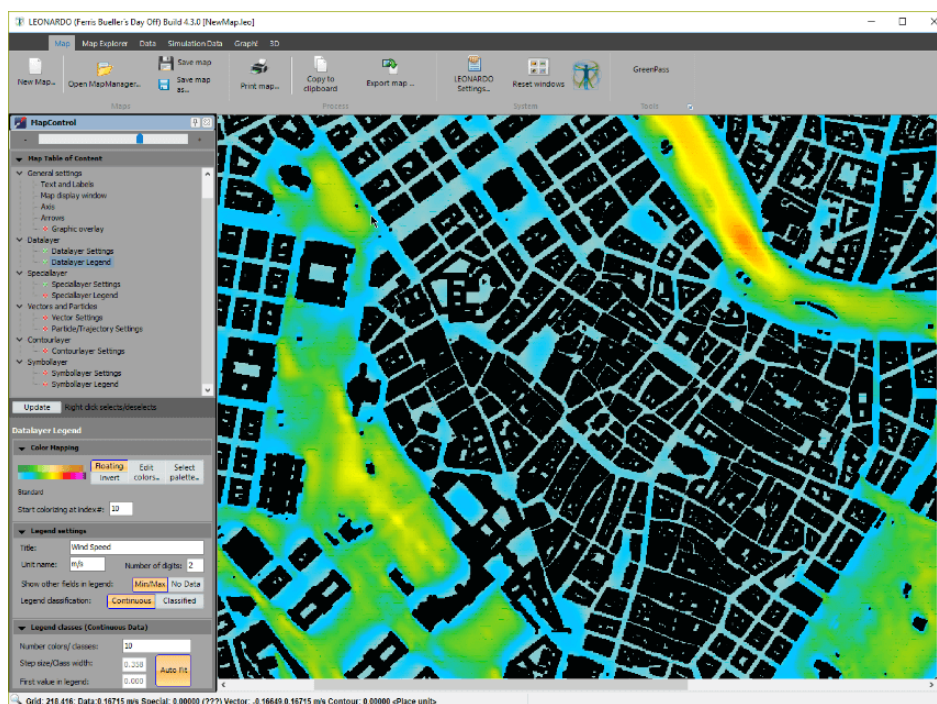
c) *ENVI-MET interface*: o *software*, permite a edição das configurações selecionadas das variáveis desejadas para se obter os dados de saída, assim ativando a simulação. O arquivo de configuração do *software* ENVI-MET, necessita das seguintes informações iniciais:

- Dia de início da simulação, em formato DD.MM.AAAA;
- Horário de início da simulação, em formato HH:MM:SS;
- Período total de simulação, em horas;
- Frequência de registro de dados do estado do modelo, em minutos;
- Velocidade do vento a 10m de altura, em m/s;
- Direção do vento, em graus em relação ao Norte;
- Rugosidade da superfície no ponto de referência;
- Temperatura inicial da atmosfera, em K;
- Umidade específica a 2500m, em g H₂O/kg ar;

- Umidade relativa do ar a 2m de altura, em %.

O ENVI-MET também possui um *plugin* chamado Leonardo para a visualização dos dados e produção de mapas a partir da simulação realizada. Os mapas gerados são de acordo com a variável em análise em cada pesquisa (Figura 5) e podem ser extraídos em alturas específicas, de acordo com a metodologia e os objetivos previamente definidos.

Figura 5: Exemplo de mapeamento gerado através do Plugin Leonardo



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

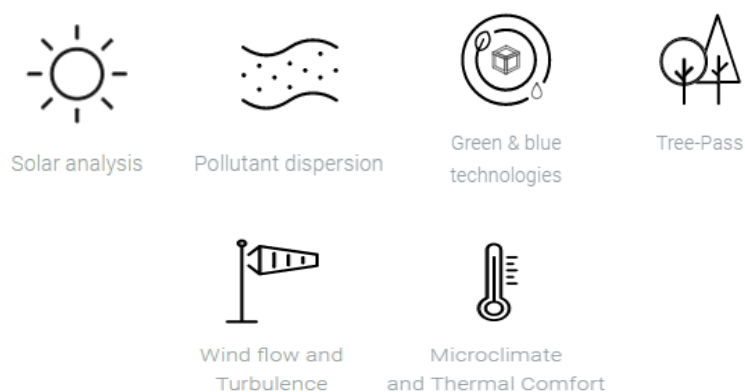
Para a utilização do programa são disponibilizados pacotes para aquisição do mesmo, sendo classificados como para estudantes, pesquisadores e empresas. Entretanto é disponibilizada uma versão gratuita do programa para testes (Figura 6). As licenças ENVI_MET são válidas por um ano.

Figura 6: Licenças e custos equivalentes do programa.

Student For students Single-user license No commercial use  	290 Euro/Year* The ENVI_MET STUDENT licence allows students to use the full-size simulation model with all features for study and research purposes. Except Parallel Computing. More Info CONTACT
Science For universities and research institutions Multi-user license No commercial use  	990 Euro/Year* The ENVI_MET SCIENCE licence offers universities and research institutions the advanced full-size model with all features for research and education purposes. More Info CONTACT
Business For Architects, Landscape Architects, Urban Planners and other professional users Multi-user license Commercial use  	2900 Euro/Year* The ENVI_MET BUSINESS licence offers all features of ENVI_MET for any regular application, including commercial usage. More Info BUY

Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

Com o *software* as pesquisas podem ser realizadas a partir de diversas abordagens (Figura 7). A ferramenta de análise solar fornece condições para calcular a distribuição de radiação direta, difusa e refletida dentro do ambiente externo, permitindo também a simulação de fluxos de ar, troca de calor e vapor em áreas urbanas. Na camada de dispersão de poluentes permite identificar a liberação, dispersão e deposição de poluentes, levando em consideração a sedimentação e deposição em superfícies e vegetação. Em relação aos ventos, é possível analisar as áreas com altas velocidades do ar, rajadas de ventos e áreas turbulentas. Na camada de análise do microclima e conforto, o programa avalia as condições térmicas do ambiente físico e da vegetação com os dados da própria área inseridos. O *software* permite, ainda, a análise da vegetação inserida na área (índice de massa foliar), sendo também analisado o potencial de risco causado pelos ventos dependendo da geometria da árvore, além de usados para ampliar a avaliação de risco para árvores para outros aspectos relevantes como infestação de pragas, estresse térmico e estresse hídrico (ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017).

Figura 7: Parâmetros de estudo do ENVI-MET

Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

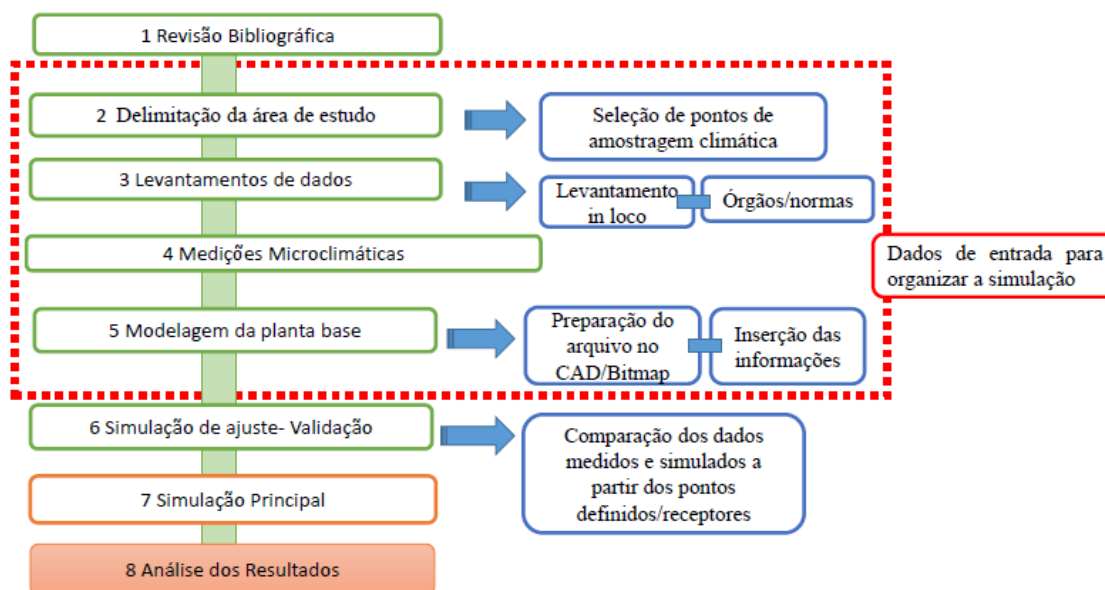
Mesmo sendo um programa criado na Alemanha, o *software* pode ser utilizado em pesquisas em outros locais, pois para a utilização do ENVI-MET é necessária a inserção de informações da área estudada para a simulação. As etapas no programa são fundamentais para que as informações da área inserida no modelo correspondam aos resultados satisfatórios da pesquisa. O ENVI-MET utiliza as informações climáticas da área em estudo para a inserção dos dados de entrada, sendo também adotada a modelagem da área correspondendo à realidade do local.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo, são apresentados a metodologia e os procedimentos adotados visando analisar a influência da vegetação no microclima urbano sobre o comportamento das variáveis de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), por meio do monitoramento meteorológico e da simulação numérica em modelo computacional microclimático, usando como área de estudo uma fração urbana da cidade de Vitória, ES.

Para a pesquisa foram realizados levantamentos representativos das condições climáticas, na área de estudo selecionada na cidade. Com os dados medidos em campo, foram feitas simulações computacionais no modelo ENVI-MET 4.2 para a área de estudo, com a calibração da curva entre dados medidos e simulados. Posteriormente foram simulados os diferentes cenários paramétricos propostos para identificar a atenuação da temperatura e consequentemente o cenário ideal para o conforto térmico.

Os procedimentos metodológicos adotados nessa pesquisa consistiram nas etapas esquematicamente representadas na Figura 8.

Figura 8: Fluxograma dos procedimentos

Fonte: Autora, 2017

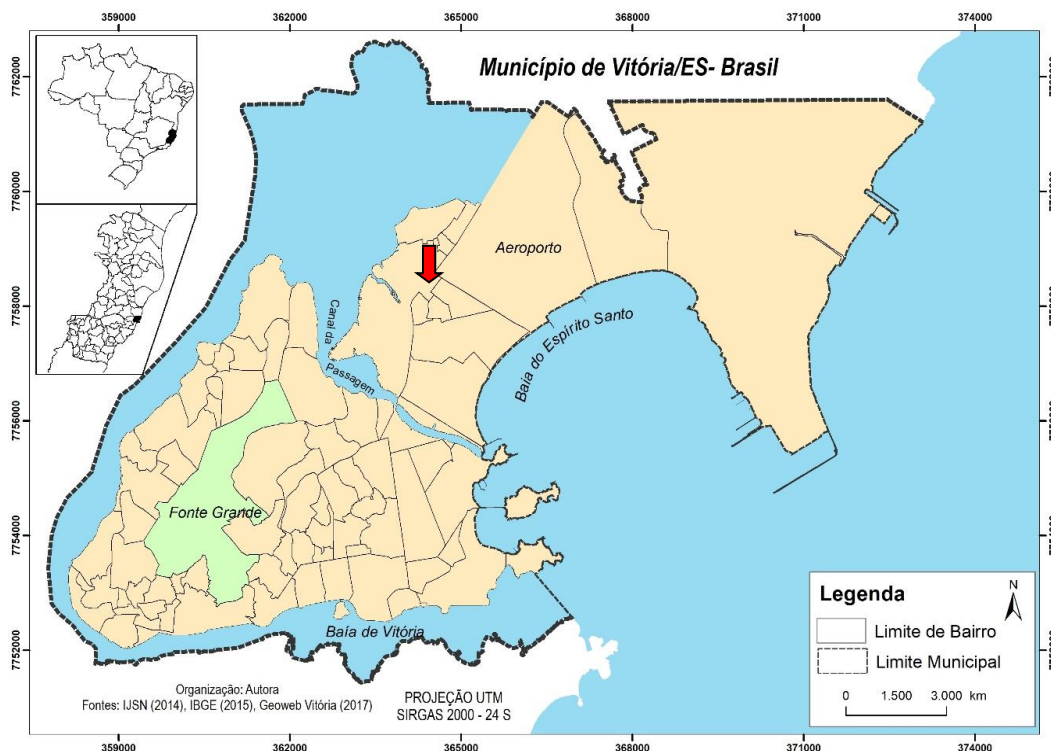
A revisão bibliográfica permeou todo o processo da pesquisa, balizando teoricamente no que diz respeito ao clima urbano, conforto térmico, influência da vegetação em relação às variáveis climáticas estudadas, medições microclimáticas, métodos de avaliação e demais questões intrínsecas ao assunto. Nessa etapa também foram realizados os levantamentos documentais, tais como mapas, plantas, imagens aéreas, entre outros e também foram estudados manuais e tutoriais do programa na versão ENVI-MET 3.1 (BRUSE,2013) e da versão do ENVI-MET 4.2.0 (BRUSE,2014), ambas desenvolvidas pelo prof. Michael Bruse e equipe.

3.1. DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Vitória (Figura 9), localizado no litoral do Sudeste possui cerca de 327.801 habitantes distribuídos em uma área de 97,4 Km², cuja densidade demografia é de 3.338,3 hab/km² de acordo com o Censo do Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE,2010). A cidade limita-se a norte com o município de Serra, ao sul com Vila Velha, a oeste com Cariacica e a leste com o Oceano Atlântico.

A cidade se transformou a partir do século XX em função das mudanças econômicas no Estado, onde se estendeu por grande parte da ilha e avançou definitivamente, em direção ao continente (PRFEITURA DE VITÓRIA, acesso em 20 de novembro e 2017).

Figura 9: Mapa do Município de Vitória - ES



Fonte: IJSN (2014), GEOBASES (2008) modificado pela autora (2017).

De acordo com a escala climática de Köppen, o município pode ser classificado como clima tropical úmido (Aw), com temperaturas quentes e úmidas, apresentando uma transição para o Am, com chuvas abundantes no verão, sem seca no inverno. A cidade sofre influência da maritimidade, com diferenças térmicas nas estações de verão e inverno (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre os anos de 1931-1960 e 1961-1990 a cidade de Vitória foi caracterizada pelo aumento da temperatura do ar no período sazonal de verão de acordo com a Figura 10. Para essa análise comparativa, foi utilizado a estação meteorológica do Aeroporto de Vitória com dados obtidos do INMET.

Figura 10: Gráficos comparativos de temperatura (Máxima, mínima e média)

Gráfico Comparativo Temperatura Máxima (°C)

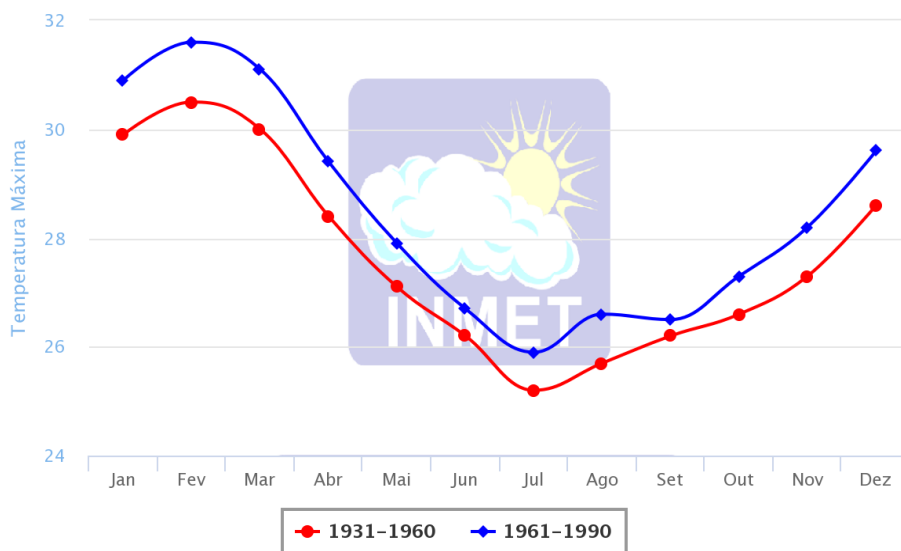
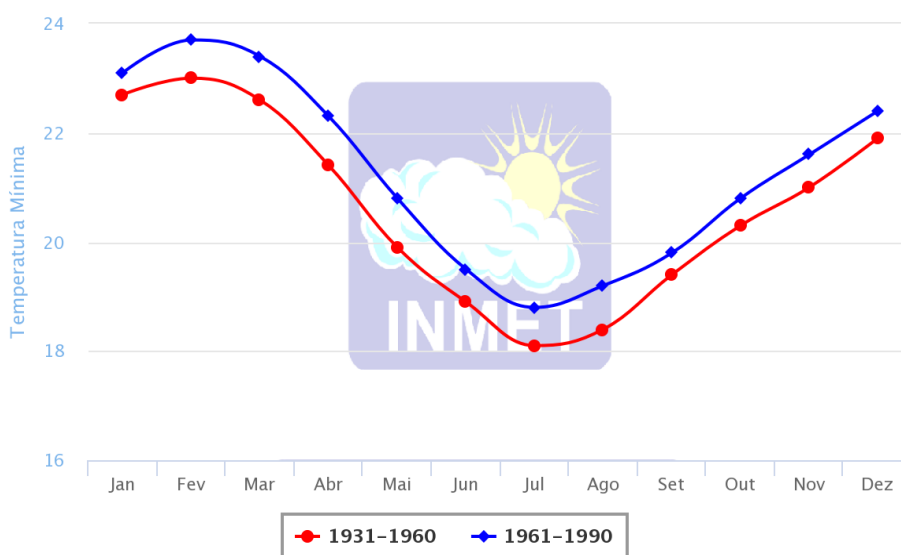
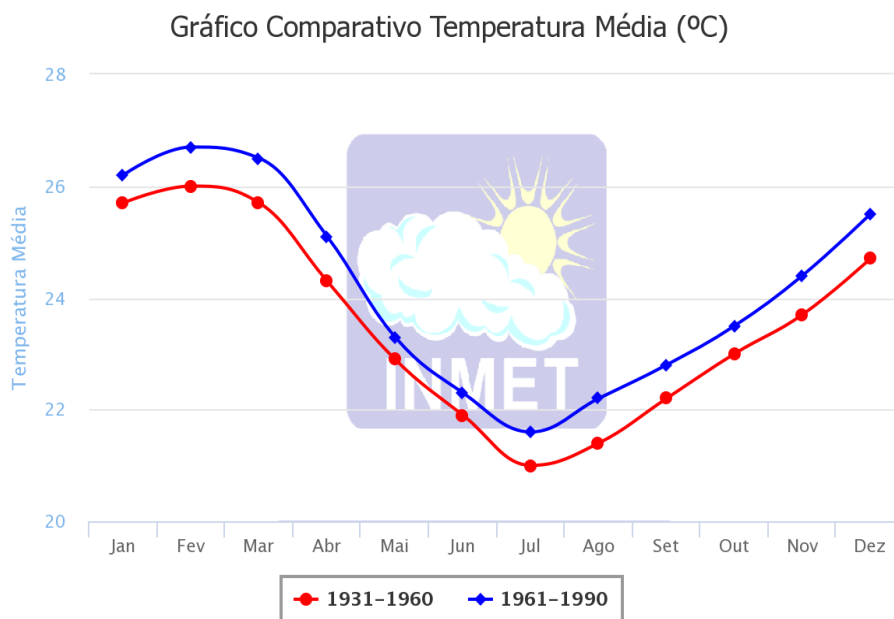


Gráfico Comparativo Temperatura Mínima (°C)





Fonte: INMET, 2017

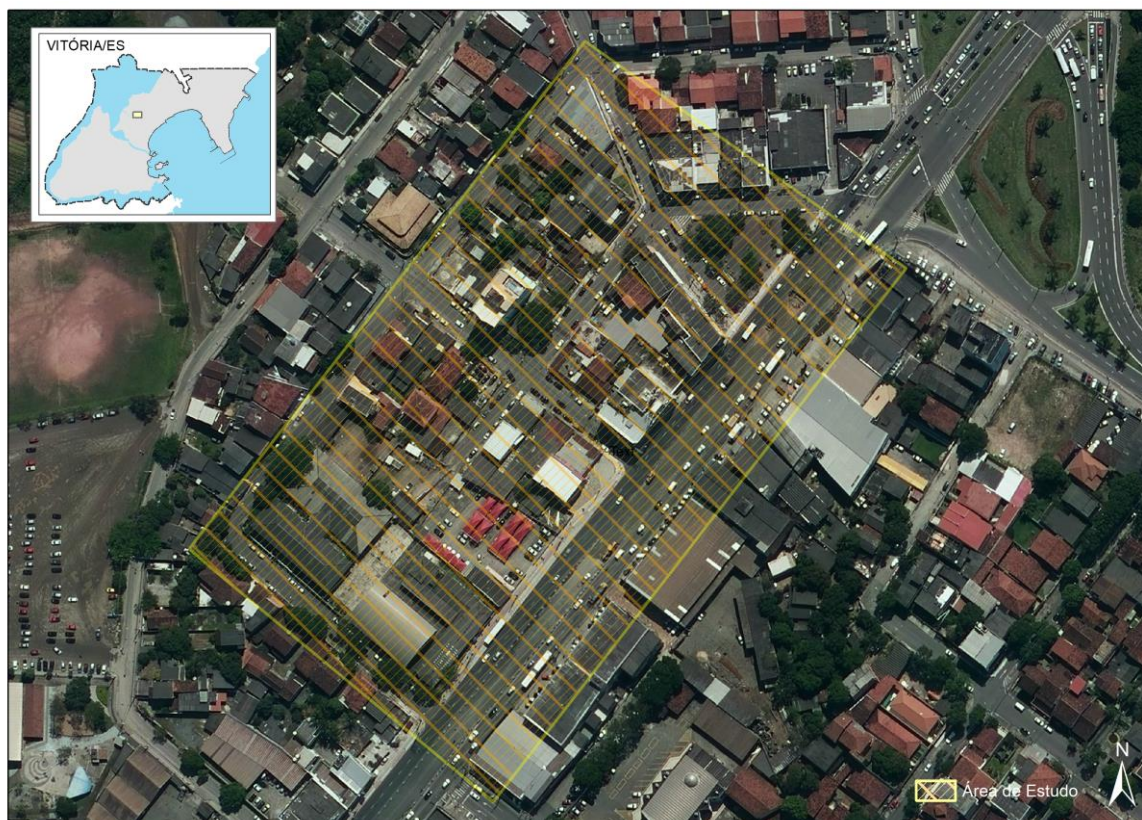
De acordo com Silva (2014)³, o município é caracterizado por atingir temperaturas elevadas no período sazonal de verão e temperaturas amenas no inverno, sendo que para o período de 2000 a 2013, a cidade obteve temperatura média de 24,7°C, apresentando temperatura mínima média de 21,8°C; temperatura máxima média de 29,1°C e umidade média de 77%.

Em relação aos ventos no período de 2000 a 2011, os ventos predominantes no município foram do quadrante nordeste, apresentando velocidade média que variava entre as classes 2,1-3,6 ms⁻¹ e 3,6-5,7 ms⁻¹ (MATTIUZZI e MARCHIORO, 2012).

Considerando o objetivo da pesquisa, o recorte territorial foi estabelecido a partir dos seguintes critérios: ser uma área urbana; área com pouca concentração de vegetação em espaços livres ou nas vias; área com grande fluxo de transeuntes; área com potencial para implementação de melhorias. A escolha da área de estudo foi identificada, por meio de mapas e visita *in loco*, sendo um trecho urbano da cidade de Vitória, ES, situado no bairro Goiabeiras (Figura 11).

³ Resumo das médias dos dados climáticos do período 2000 a 2013.

Figura 11: Mapa da área de estudo



Fonte: IJSN (2014), GEOBASES (2008) modificado pela autora (2017)

O bairro Goiabeiras é uma das três regiões administrativas que ficam perto do continente do município, localizada a norte da Baía de Vitória. A ocupação foi marcada com um crescimento urbano desordenado a partir da década de 1960. O bairro faz parte da região administrativa 6, possuindo uma área de 9.320 Km², e com uma população de 20,316 habitantes em 2010 (PREFEITURA DE VITÓRIA, acesso em 20 de novembro e 2017).

A região está próxima ao campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e o aeroporto Eurico de Aguiar Salles, ambos localizados a Oeste, possuindo também uma das avenidas com grande fluxo de veículos (Avenida Fernando Ferrari) e próximo a grandes equipamentos urbanos. (PREFEITURA DE VITÓRIA, acesso em 15 abril de 2017). A área de estudo é densamente urbanizada e possui quantidade restrita de vegetação, com maior parte dos edifícios de uso comercial (Figura 12).

Figura 12: Mosaico de fotos da área de estudo

Fonte: Autora, 2017

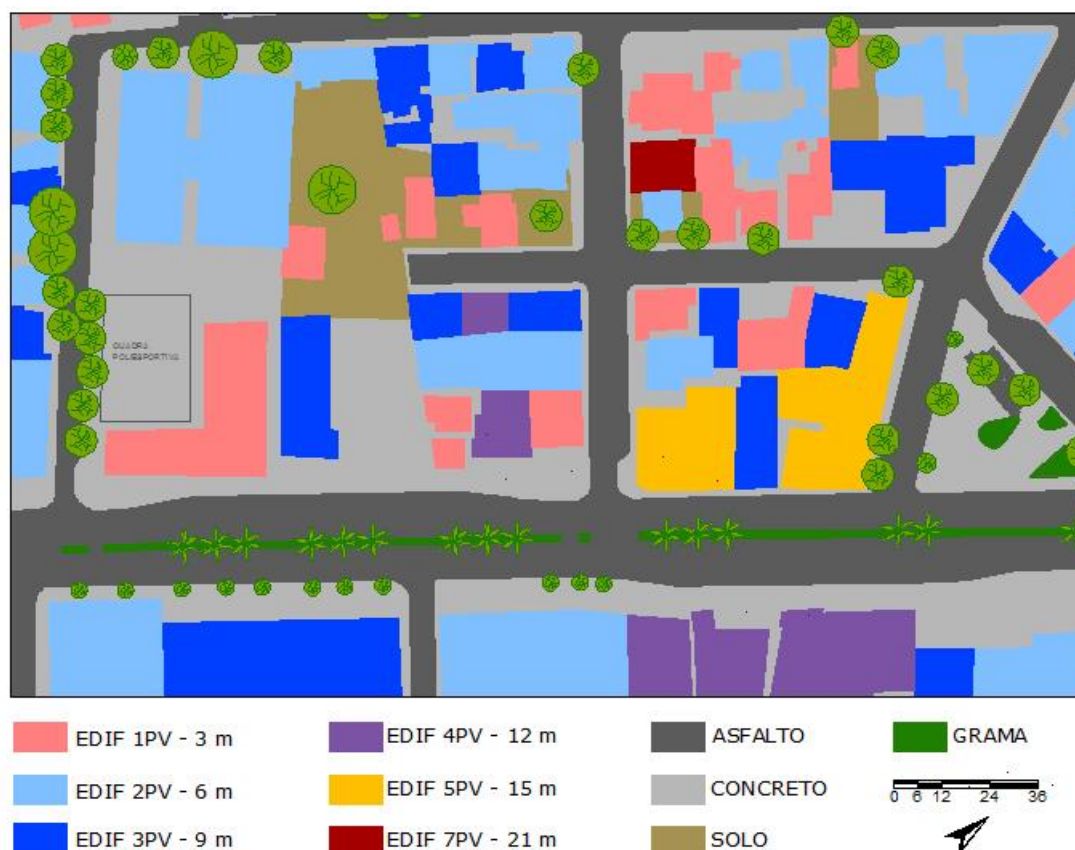
3.2. LEVANTAMENTOS DOS DADOS

Nesta etapa da pesquisa foram realizados levantamentos *in loco* na área de estudo para a configuração dos dados de entrada do *software* de modelagem da planta base, sendo necessários levantamentos de dados físicos e espaciais da área de estudo, tais como o tipo de solo, número de pavimentos das edificações e sua distribuição pela área, altura de edifícios e vegetações no local, entre outros. Foram também utilizados mapas e plantas da cidade, como pesquisas em sites oficiais, em normas específicas e no Google Earth para

auxiliar nos levantamentos.

Para facilitar a leitura das informações e auxiliar na inserção dos dados no arquivo do ENVI-MET, foi construída uma base gráfica da área através do software AUTOCAD (Figura 13). A preparação do arquivo foi necessária para facilitar a etapa de modelagem da planta base no programa.

Figura 13: Construção da base gráfica



Fonte: Elaborada a partir da base gráfica disponibilizada no site Geoweb, modificada pela autora, 2017

Nessa etapa também foi necessário o levantamento de informações em estações meteorológicas de dados climáticos para facilitar a posterior modelagem, onde são inseridas as informações específicas da própria área de estudo. Para a simulação de ajuste e para a simulação principal foram utilizados dados climáticos da estação Vitória⁴, localizada

⁴ INMET: estação VITÓRIA – A612, localizada no campus da UFES em Goiabeiras, Vitória, apresenta as seguintes coordenadas geográficas: LAT -20°31'56"; LONG -40°31'72"; ALT 9m.

no campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), da estação meteorológica do Aeroporto de Vitória⁵ (SBVT) e dados do site da Universidade de Wyoming⁶.

Da estação meteorológica Aeroporto de Vitória, apenas foram utilizados os dados de altura das nuvens na oitava camada e nebulosidade. Os dados de umidade específica a 2500m foram obtidos no site da Universidade de Wyoming, de acordo com Francisco (2012).

Os dados levantados foram utilizados na etapa de preparação do banco de dados para a modelagem da planta base e, posteriormente, para simulação, sendo utilizados dados meteorológicos da estação da UFES Vitória - do período do dia 28 de agosto iniciando às 21h até às 21h do dia 29 de agosto de 2017 para as simulações de ajuste e dados do período do dia 05 de agosto iniciando às 21h até às 21h do dia 06 de agosto de 2017 para as simulações principais.

Os dados climáticos foram tabulados para facilitar a compilação visando alimentar o *software*. Os dados de entrada levantados foram: temperatura (°C), umidade relativa (%), direção do vento, velocidade do vento (m/s), altura da nuvem na oitava camada, nebulosidade e umidade específica a 2500m.

3.3. MEDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS

Foram realizadas medições microclimáticas na área de estudo e para essa fase, contou-se com o apoio da equipe do Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP), e dos equipamentos existente no laboratório.

As medições ocorreram no período sazonal de Inverno de 2017 no período de 8h as 17h, no dia 29 de agosto, sendo selecionados dois pontos para a realização das medições microclimáticas simultâneas das variáveis temperatura do ar e umidade relativa (Figura 14).

⁵ CPTEC: estação WMO 83648, localizada no aeroporto Eurico Sales em Goiabeiras, Vitória, apresenta as seguintes coordenadas geográficas: LAT -20°27'; LONG -40°28'; ALT 4m.

⁶ Aeroporto Campo de Marte pelo site da Universidade de Wyoming EUA. Disponível em: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Acesso em março de 2017.

Figura 14: Mapa de localização dos pontos de medições



Fonte: IJSN (2014), GEOBASES (2008) modificado pela autora (2017).

As variáveis climáticas foram registradas durante todo o período por meio de equipamentos fixos em abrigos dispostos em cada ponto da área de amostragem. Os equipamentos utilizados foram dois Data Loggers, modelo ONSET HOBO (Temp/RH/ 2 extchannels), posicionados a 1,5m do solo. Para cada ponto foi utilizado uma miniestação composta de um Data Logger, um tripé e um abrigo meteorológico confeccionado com pratos de poliestireno expandido visando proteger da radiação solar direta e indireta os aparelhos (Figura 15).

Figura 15: Detalhes do abrigo e aparelho

Fonte: Modificado pela autora (2017).

Os pontos de medições possuem características distintas mas com grande fluxos de transeuntes, sendo que a escolha dessas áreas foi intencional para se ter uma análise comportamental do modelo ENVI-MET a partir de configurações urbanas diferenciadas,

O ponto 1 (LAT 20°15' 57.15" S e LONG 40° 17' 51.76" O), localizado na da área da praça (Figura 16), está às margens da Avenida Fernando Ferrari, com grande fluxo de veículos durante o dia. A praça possui pouca vegetação concentrada, e apesar disso, é bastante frequentada por transeuntes principalmente em função da existência de bancas de jornais e revistas.

Figura 16: Localização do ponto 1 - Área da praça

Fonte: Google Earth, modificado pela autora (2017).

O ponto 2 (LAT 20° 16' 1.42" S e LONG 40° 17' 53.62" O), localizado também às margens da avenida (Figura 17), possui grande fluxo de transeuntes, por estar próximo a equipamentos urbanos (bancos e lojas). Nesse ponto a vegetação é limitada, sendo uma área com grande exposição solar. A vegetação de maior porte nessa área é encontrada no canteiro central da avenida, sendo a arborização composta por palmeiras.

Figura 17: Localização do ponto 2 - Área próxima da avenida

Fonte: Google Earth modificado pela autora (2017).

Para análise dos resultados, os dados foram sistematizados (tabulados), sendo confeccionados gráficos dos valores registrados em cada ponto, visando facilitar a comparação e análise das informações obtidas nas medições microclimáticas.

As medições foram feitas para que, posteriormente, seus dados fossem comparados com os dados obtidos na mesma situação urbana, com o modelo ENVI-MET, para poder ser realizada a calibração nos dados de entrada.

A etapa de calibração se torna relevante, sendo que o período sazonal escolhido não interfere na simulação principal pois a calibração é essencial para o ajuste do programa na área de estudo.

3.4. MODELAGEM DA ÁREA DE ESTUDO

Para se iniciar a simulação o primeiro passo foi determinar a base para a inserção da área de estudo. Foi preciso acessar o submenu *Spaces* e editar os dados do Basic Setings, New área > Change or create model domain (Figura 18).

Figura 18: Configuração inicial do modelo Goiabeiras no ENVI-MET

Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

Sendo um modelo tridimensional, é preciso, na opção *Grid size and structure in main área*, determinar a dimensão de grade, que é uma base auxiliar para a inserção da área, em três eixos. Em função da área total delimitada para o estudo possuir aproximadamente 43 m², configurando um retângulo de cerca de 267 x 177m, foi definida uma malha de 3m x 3m,

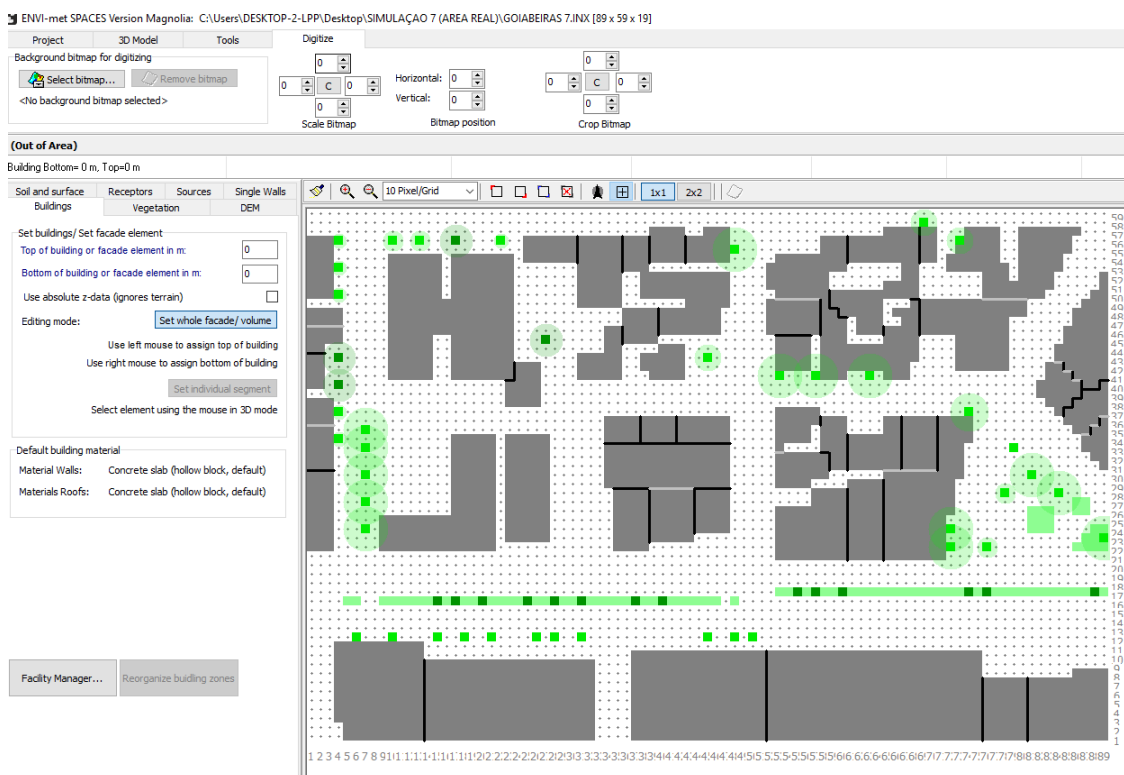
gerando uma tabulação de 89 x 59 grids. A altura dos grids ficou como 19, tendo em vista que esse valor deve abarcar no mínimo o dobro da altura do maior edifício existente no local.

Na aba *Location on Earth*, um ponto importante é a necessidade de cadastrar a cidade no programa, inserindo informações de posição geográfica da mesma, apesar de já existirem algumas cidades cadastradas.

Após a primeira configuração se iniciou o desenho da área a ser simulada no ENVI-MET > Space (Figura 19). Foi utilizada a imagem gráfica CAD para facilitar essa etapa de modelagem da área, destacando-se que a melhor maneira para inserir o desenho do terreno é transformar a figura em formato bitmap e, a partir dela, traçar os pontos da grade.

A modelagem do arquivo utiliza as informações levantadas *in loco*, na área de estudo. Essa modelagem da área ajuda nas etapas seguintes onde o arquivo é gerado com o formato de extensão *INX* criado na ferramenta *Space*. Outra forma de visualização do programa é a ferramenta 3D, extraída da ferramenta de visualização do modelo, sendo capaz de gerar mapas das variáveis em análise em alturas diferentes (Figura 20).

Figura 19: Layer “Edifícios” no modelo Goiabeiras no ENVI-MET



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

Figura 20: Modelo Goiabeiras no ENVI-MET em visualização 3D



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

Esta primeira etapa é onde se insere o arquivo de extensão .INX criado anteriormente, e o arquivo é carregado na plataforma *Select area input file* de acordo com a Figura 21.

Figura 21: Dados microclimáticos de entrada no Project Wizard do ENVI-MET



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

Na segunda janela, deve ser colocado o nome do arquivo e o local onde serão salvos os dados de saída. Na terceira janela, mostrada na Figura 22, é colocado o dia, mês e ano de início da simulação, o horário de início, a quantidade de horas de simulação e os minutos de intervalo entre os dados de saída.

Figura 22: Dados de simulação ENVI-MET

Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

Na quarta janela são colocados os dados meteorológicos básicos de entrada (Figura 23), e os valores obtidos da estação meteorológica no dia do estudo. Os dados de entrada foram: temperatura (°C), umidade relativa (%), direção do vento, rugosidade da área, velocidade do vento (m/s) e umidade específica a 2500 m do nível do ar.

Figura 23: Dados meteorológicos básicos de entrada

NewSimulation.SIM - ENVIwizard

- Welcome
- Area Input file
- Names and folders
- Time and Date, Output
- Meteorology: Basic settings**
- Meteorology: Simple forcing
- Meteorology: Further settings
- Model timing
- Soils and Plants
- Pollutant dispersion
- Experts Settings
- Finish and save

Meteorology: Basic settings

Define the basic meteorological framework for your simulation

Initial meteorological conditions

Wind uvw

Wind speed measured in 10 m height (m/s):

Wind direction (deg): (0= from North...180= from South...)

Roughness length at measurement site:

Temperature T

Initial temperature of atmosphere (°C): (Calculated when forcing is used)

Humidity q

Specific humidity at model top (2500 m, g/kg):

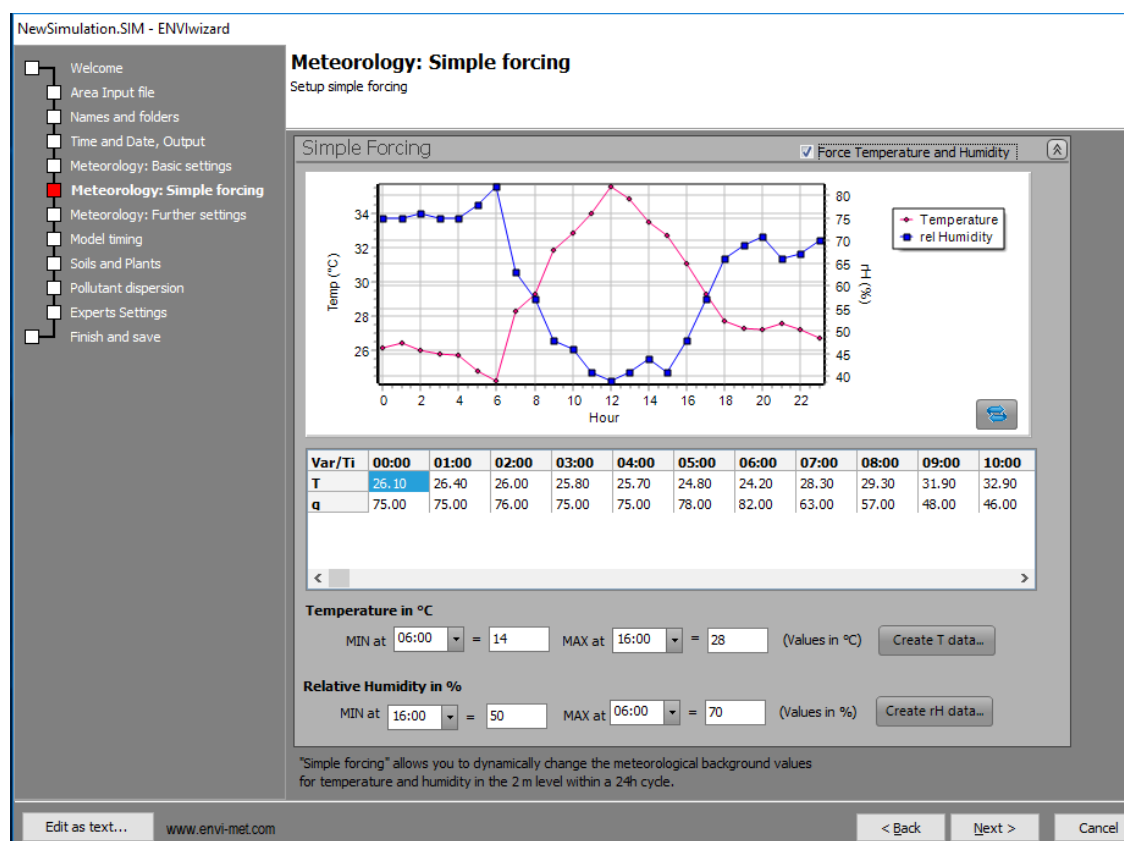
Relative humidity in 2m (%): (Ignored when forcing is used)

Edit as text... www.envi-met.com < Back Next >

Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

A quinta janela é para a colocação dos dados de entrada da ferramenta *simple forcing*, que é uma nova ferramenta da versão do ENVI-MET 4.2.0, sendo possível definir a variação diurna das condições da camada atmosférica. A ferramenta *forcing* permite uma calibração mais precisa entre os dados medidos e simulados (HUTTNER; BRUSE, 2009). Em ambas as simulações, ajuste e principal, foi utilizado o *simple forcing* como ferramenta de simulação para se obter um resultado mais próximo entre os dados medidos e simulados (Figura 24). Para cada uma das simulações utilizou-se valores de temperatura do ar e umidade relativa referentes ao período sazonal de estudo em um período de tempo de 24 horas.

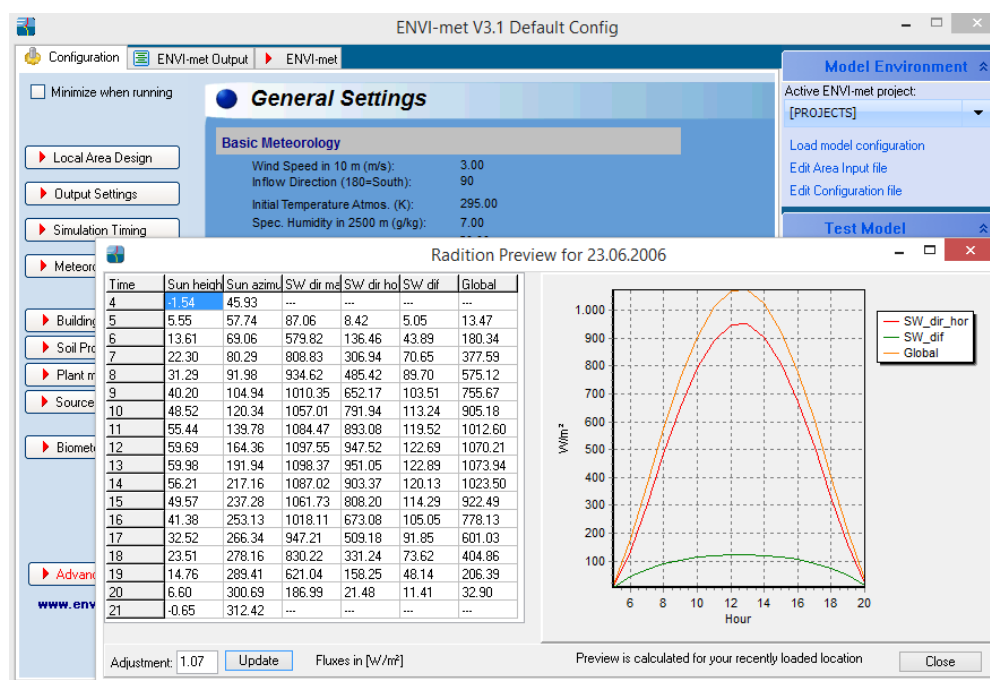
Figura 24: Configuração e editor dos dados de entrada para o simple forcing da área de estudo



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

A sexta janela foi utilizada na simulação para ajuste da radiação solar no modelo (Figura 25). O ajuste da radiação solar (dados de insolação) foi feito com base nos valores obtidos no período de estudo. Foi necessário recorrer à versão 3.1 do modelo ENVI-MET, na ferramenta *radiation preview*, pois ainda não está disponível ferramenta similar na versão 4.2 do modelo.

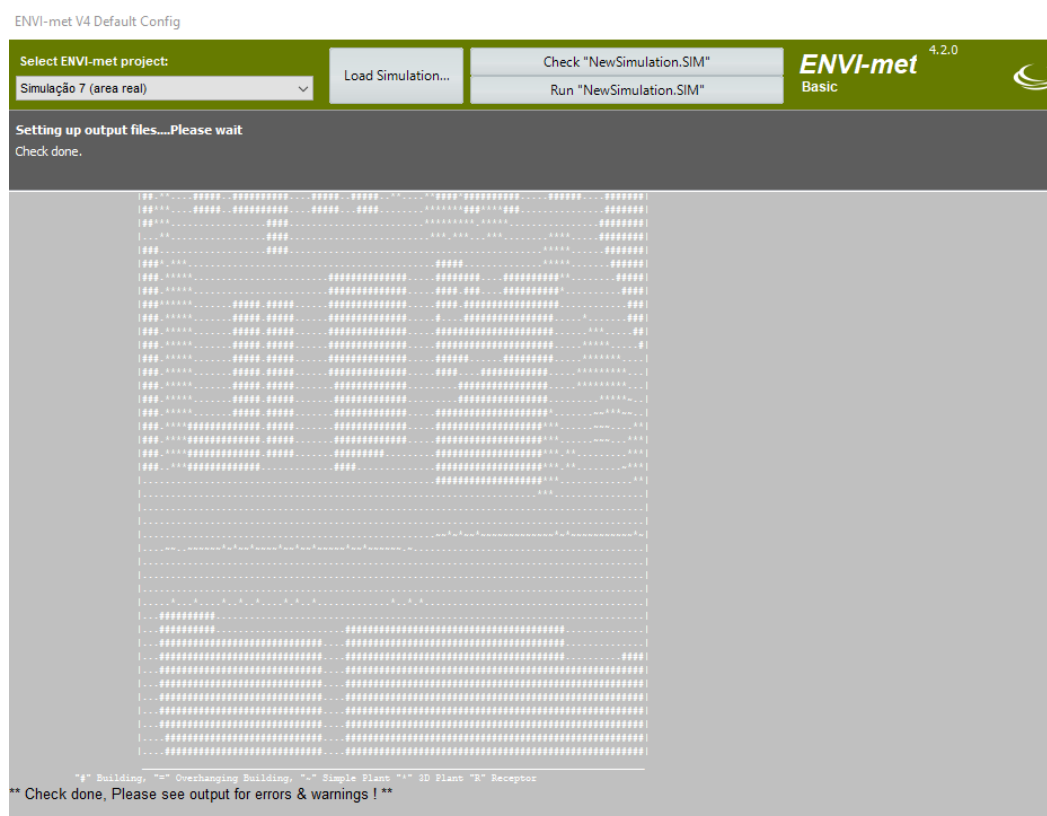
Figura 25: Dados meteorológicos utilizados na simulação para ajuste da radiação solar



Fonte: ENVI-MET versão 3.1, acesso em 20 de outubro de 2017.

O ajuste de radiação solar para as simulações do estudo teve como ferramenta a utilização do programa *Radiasol* e posteriormente o ENVI-MET na versão 3.1. As demais variáveis da janela e demais configurações meteorológicas foram mantidas como padrão.

Após as etapas anteriores, inicia-se a simulação no ENVI-MET, selecionando o arquivo modelado, a ser carregado no *Load Simulation*. Em seguida, é acionado o *Check Simulation* para identificar possíveis erros no próprio arquivo, sendo posteriormente iniciada a simulação em *Run Simulation* (Figura 26).

Figura 26: Tela de simulação do ENVI-MET

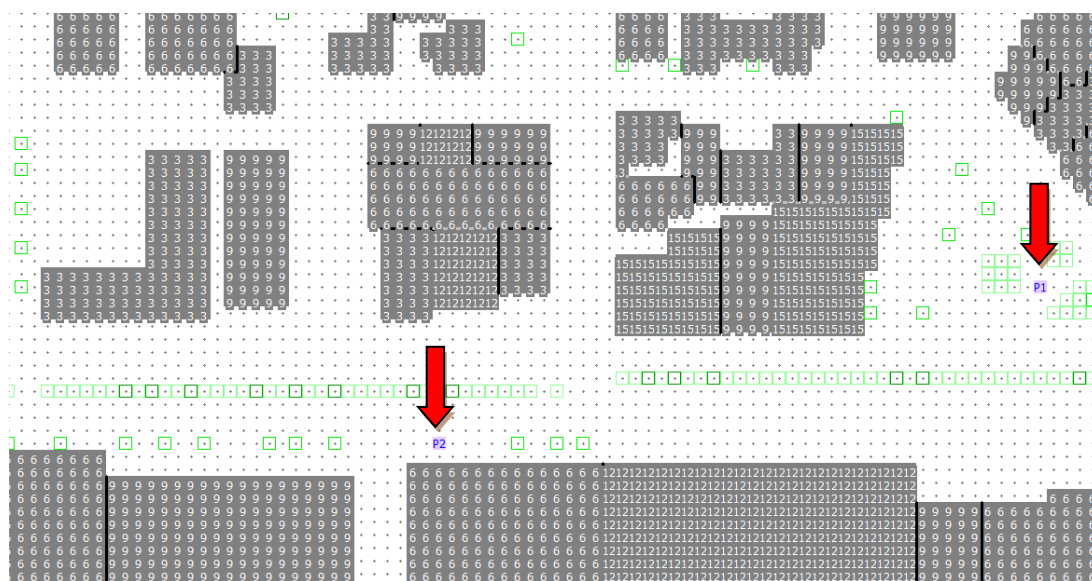
Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

3.5. SIMULAÇÃO DE AJUSTE – CALIBRAÇÃO

Para as simulações computacionais com o *software* ENVI-MET gerarem dados mais compatíveis com a situação climática de Vitória (ES) é necessário fazer uma simulação de ajuste. Essa calibração consiste em avaliar alguns fatores climáticos visando aproximar os resultados gerados pela simulação com os resultados de medições climáticas feitas com os equipamentos na área de estudo.

Foram inseridos dois receptores conforme os pontos utilizados nas medições microclimáticas, a fim de se obter informações específicas desses locais para possibilitar a comparação entre os valores medidos e os simulados (Figura 27).

Figura 27: Receptores inseridos na tela de modelagem do programa



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

As medições foram feitas no período de 8h às 17h, para se considerar as influências noturnas e diurnas na área de estudo. No entanto, para as simulações ampliou-se o horário para obtenção de dados iniciando às 21h do dia anterior e se estendendo ao longo de todo o dia, considerando a recomendação de Francisco (2012).

Os dados de entrada na calibração foram obtidos através da estação meteorológica da estação da UFES, localizada próxima da área de estudo. Os dados de entrada de Umidade específica foram obtidos pelo site da Universidade de Wyoming, e os dados de *clouds* (nebulosidade), foram adquiridos pelo CEPTEC- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (Tabela 3).

Em relação aos dados de entrada para a simulação de ajuste, são adotadas as variáveis de temperatura e umidade relativa do período de estudo, sendo apenas a velocidade do vento e a direção do vento inseridos os valores médios do período.

Para a simulação de calibração foi utilizado a ferramenta *simple forcing*, onde os dados inseridos de temperatura e umidade foram a cada hora do dia da análise. Após a inserção dos dados no arquivo de simulação através dos receptores inseridos no programa, foi possível iniciar os ajustes de calibração, sendo tal medida necessária para adequação às características do clima local.

Tabela 3: Dados iniciais inseridos para a área de calibração

Dados de Entrada – arquivo .cf	
Data do início da simulação	28.08.2017
Horário do início da simulação	21:00:00
Tempo total da simulação (horas)	25
Registro dos dados (min)	60
Velocidade do vento a 10m (m/s)	1.60
Direção do vento	350
Comprimento de rugosidade	0.01
Temperatura do ar (C°)	17.5
Umidade específica a 2500m	0.21
Umidade relativa a 2m [%]	70
Clouds	baixa- 3
Solar ajuste	1.07
Tamanho da Malha utilizada	89x 59y 19z

Fonte: Autora, 2017

Segundo os estudos de Shinzato (2009), Francisco (2012), Maciel (2014) e Xavier (2017), o método de calibração que obteve resposta positiva foi a alteração do valor de velocidade do vento, entretanto, nessa pesquisa as alterações dos valores de velocidade do vento não se comportaram de uma forma positiva. Foram alteradas outras variáveis climáticas (nebulosidade e radiação solar) para a melhoria na calibração dessa área de estudo, porém os resultados não se mostraram satisfatórios.

Nessa simulação de ajuste foram analisados os dados de temperatura e umidade das medições em cada ponto em relação aos dados gerados no próprio programa. Os dados climáticos foram analisados a cada 15 minutos das variáveis aferidas.

Após várias simulações na tentativa de ajuste do programa, a simulação que mais se aproximou da realidade foi a simulação inicial, sem alterações nos dados de entrada, conforme os Gráficos 1 e 2 a seguir apresentados.

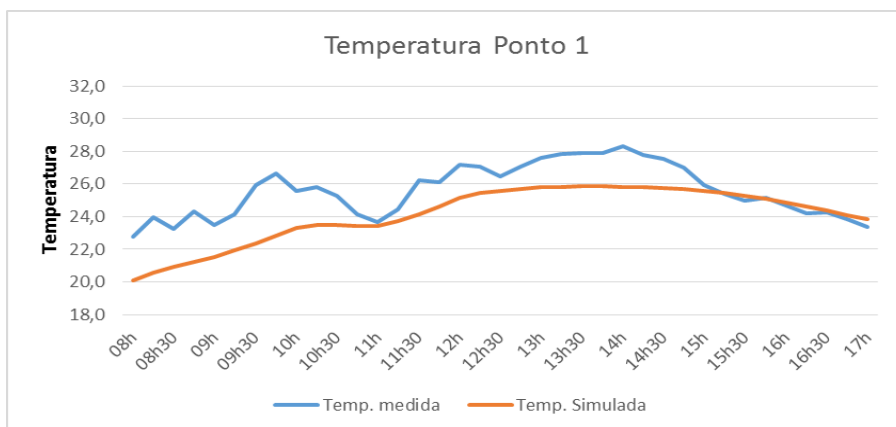
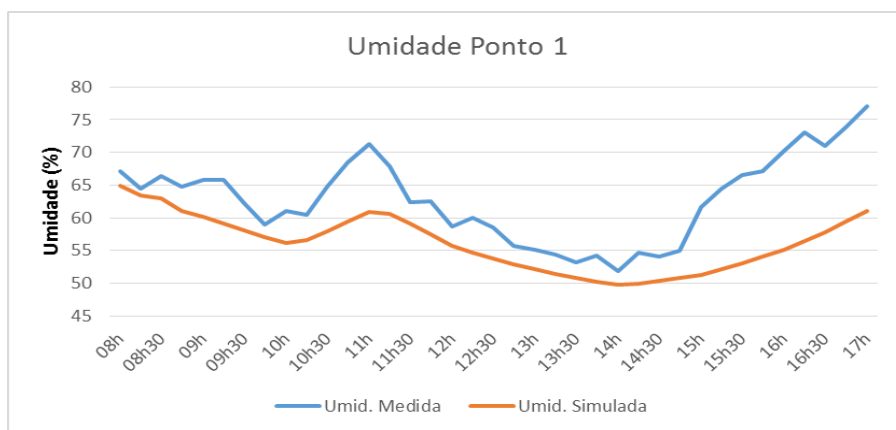
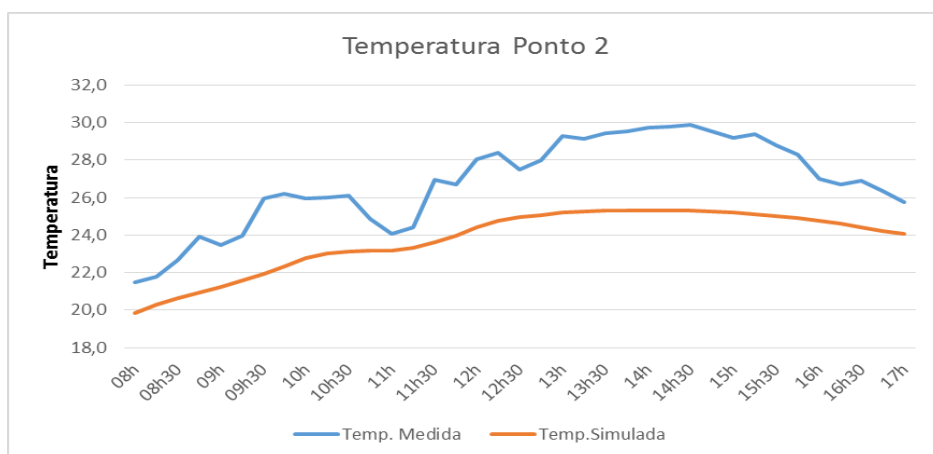
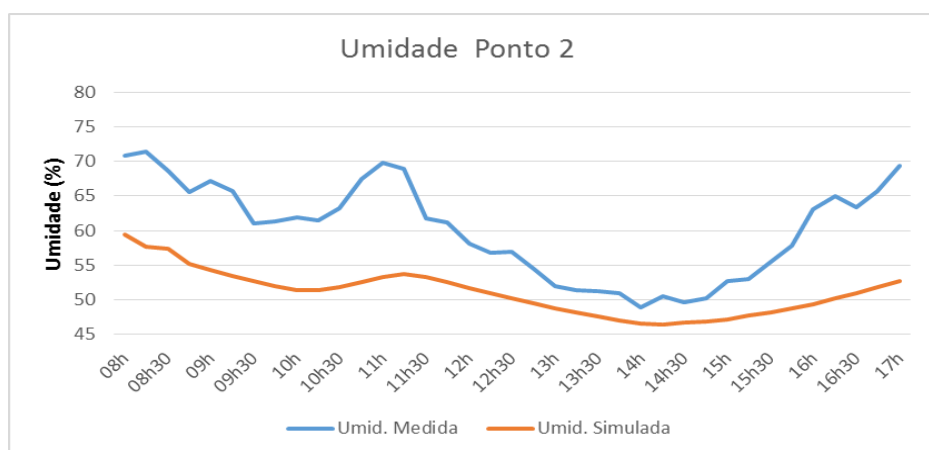
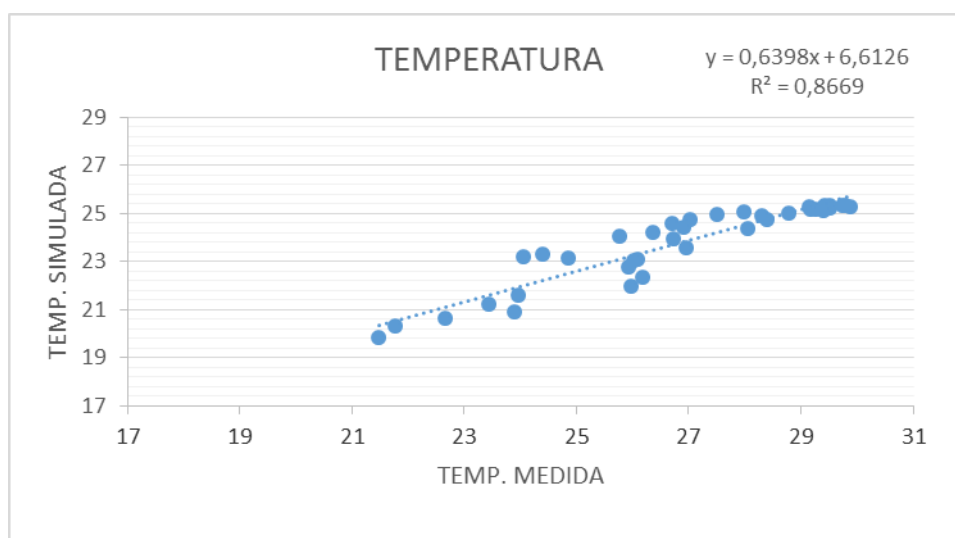
Gráfico 1: Dados de Temperatura do Ponto 1**Fonte:** Autora,2017**Gráfico 2: Dados de Umidade do Ponto 1****Fonte:** Autora,2017**Gráfico 3: Dados de Temperatura do Ponto 2****Fonte:** Autora, 2017

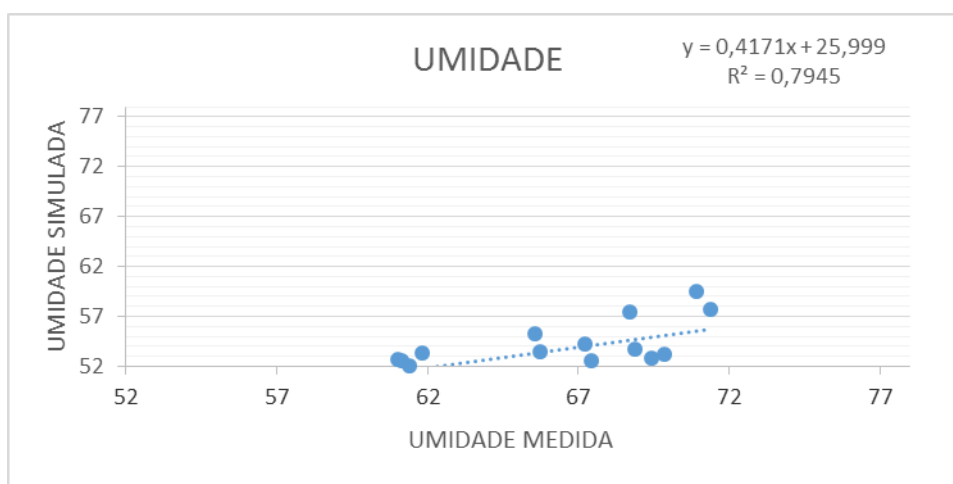
Gráfico 4: Dados de Umidade do Ponto 2

Fonte: Autora, 2017

Outro fator que justifica os resultados satisfatórios da simulação de ajuste sem a alteração das variáveis climáticas foi o índice de correlação linear (R). Os dados obtidos nesse índice mostraram que o programa está se comportando da mesma forma em relação às medições e de acordo com os Gráficos 3 e 4, os índices obtidos foram de $R = 0,8$ e $R = 0,7$, sendo que quanto mais próximo à correlação de $R = 1$, mais os valores são confiáveis.

Gráfico 5: Índice de correlação linear - Temperatura

Fonte: Autora, 2017

Gráfico 6: Índice de correlação linear - Umidade

Fonte: Autora, 2017

Após a finalização das simulações de calibração foi possível realizar a simulação principal na área de estudo, visando diagnosticar a situação da área e, posteriormente, apresentar estratégias de melhoria para o conforto térmico urbano.

4. SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO URBANO

Para as simulações visando a avaliação de desempenho da área de estudo foi escolhido o período sazonal de verão. A escolha desse período se deu pelo registro temperaturas elevadas nessa estação, sendo definido o dia 06 de março de 2017 para as simulações principais.

De acordo com os dados meteorológicos da estação da UFES, para essa data o município registrou temperatura de 31,9 C° no horário de 9h e umidade de 48% nesse mesmo horário. No horário de 15h as temperaturas chegaram a 32,7 C° e umidade de 41% e às 21horas a temperatura foi de 27,6 C° e umidade de 66%.

Para a simulação foram inseridos os dados iniciais de entrada de acordo com a Tabela 4. Os dados de entrada foram obtidos através da estação meteorológica da UFES, localizada próxima da área de estudo. Os dados de entrada de Umidade específica foram obtidos pelo site da Universidade de Wyoming, e os dados de *clouds* (nebulosidade), foram adquiridos no site do CEPTEC.

Os dados climáticos inseridos não sofreram modificações, pois a calibração anterior mostrou resultados satisfatórios para esse estudo sem necessidade de modificação dos mesmos.

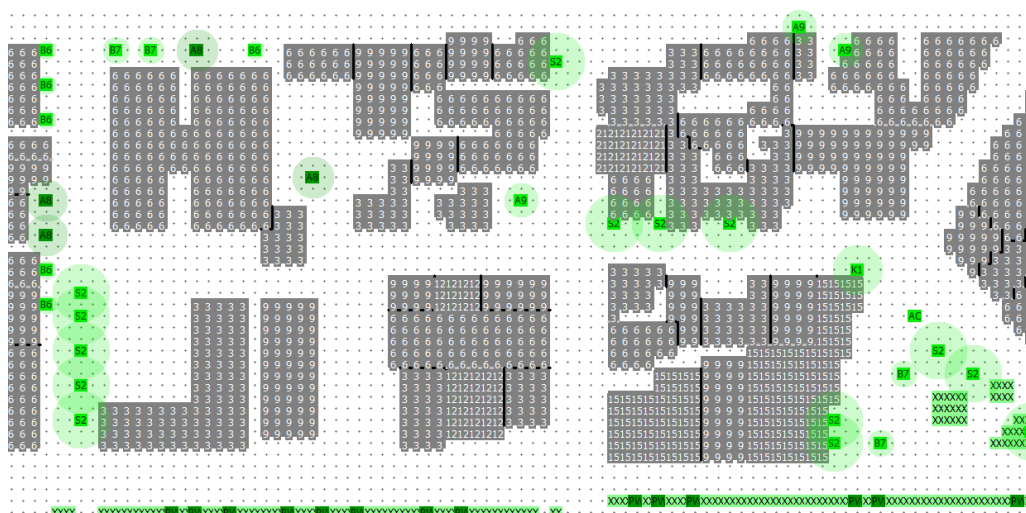
Tabela 4: Dados iniciais inseridos para simulação principal

Dados de Entrada – arquivo .cf	
Data do início da simulação	05.03.2017
Horário do início da simulação	21:00:00
Tempo total da simulação (horas)	25
Registro dos dados (min)	60
Velocidade do vento a 10m (m/s)	2.5
Direção do vento	4
Comprimento de rugosidade	0.01
Temperatura do ar (C°)	27.4
Umidade específica a 2500m	4.87
Umidade relativa a 2m [%]	67
Sola ajuste	1.5
Clouds	baixa 3 – media 1
Tamanho da Malha utilizada	89x 59y 19z

Fonte: Autora, 2017

Para a simulação principal foi escolhida a mesma área de estudo inicial, sendo a mesma modelada com os levantamentos obtidos nas atividades de campo. A área possui pouca vegetação concentrada, principalmente na praça e nas vias, sendo que as árvores possuem altura de 3 a 15 metros com poucas copas densas, e os edifícios são de 3 a 7 pavimentos (Figura 28).

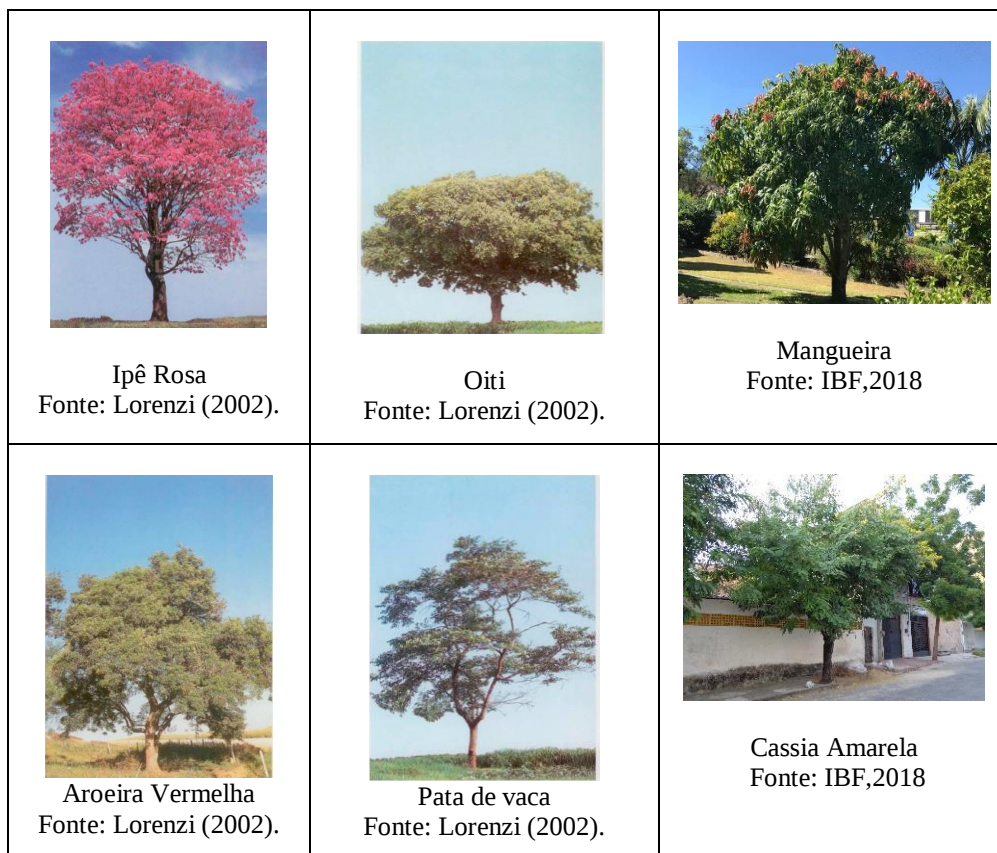
Figura 28: Zoom no Layer da modelagem da área de estudo no ENVI-MET



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de outubro de 2017.

As espécies arbóreas identificadas na área são de Palmeira Jerivá (canteiro central), Oiti, Angico Cangalha, Tamarindo, Flor da Rainha, Aroeira Vermelha, Mangueira, Algodão da Praia, Cássia Amarela, Pata de Vaca, Flamboyant, Ipê Rosa e Jamelão (LORENZI, 2002).

Figura 29: Mosaico de fotos das árvores existente na área de estudo



 Palmeira Jerivá Fonte: IBF,2018	 Algodão Praia Fonte: IBF,2018	 Flor Da Rainha Fonte: IBF,2018
 Angico Cangalha Fonte: IBF,2018	 Flamboyant Fonte: IBF,2018	 Tamarindo  Jamelão Fonte: IBF,2018

Fonte: Adaptada pela autora.

O programa ENVI-MET possui um banco de dados de vegetação, assim, a escolha do tipo de árvore para a modelagem no arquivo se deu pelas características física de altura (h) e copa dos indivíduos arbóreos, de acordo com a percepção e levantamentos em campo.

4.1. CENÁRIOS PARA A SIMULAÇÃO

Para se verificar a influência que a vegetação possui no meio urbano se optou por simulações em cenários que justifiquem essa interferência das variáveis analisadas de temperatura e umidade de acordo com o Quadro 4.

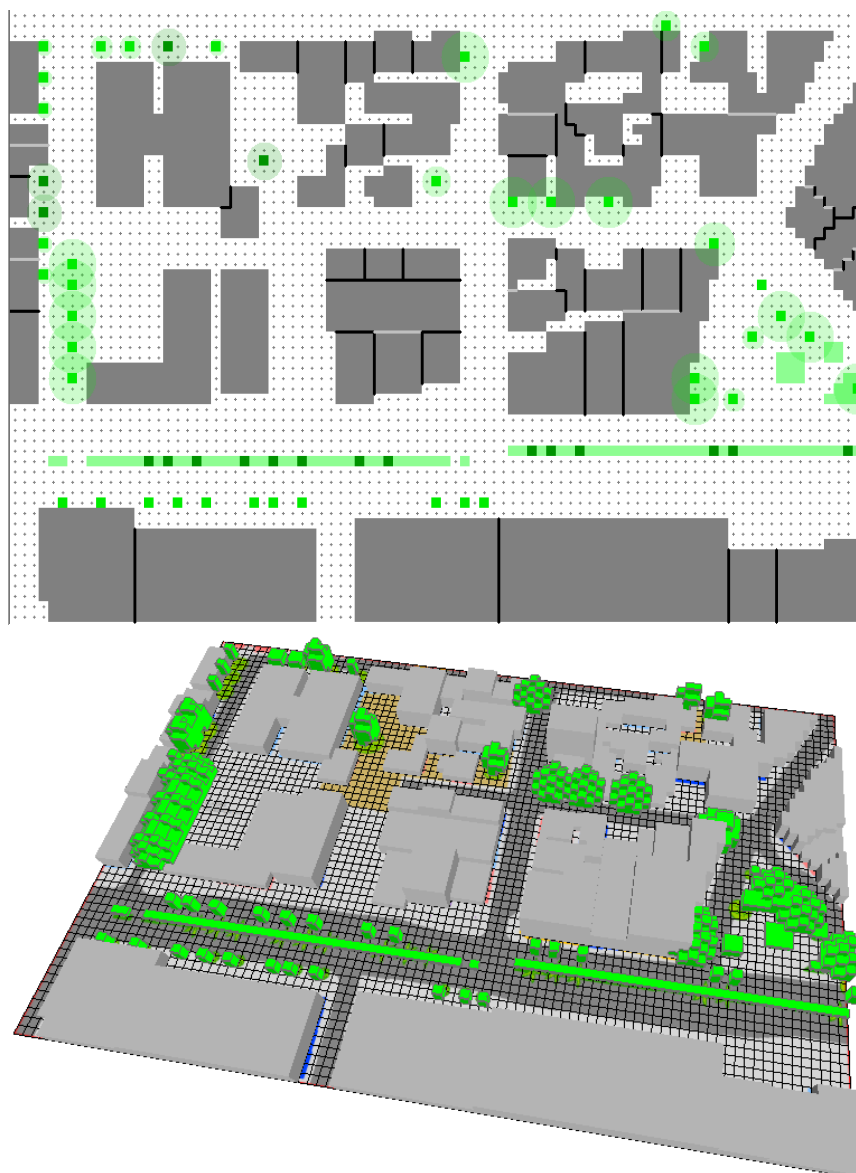
Quadro 4: Cenários para a simulação principal

CENÁRIOS	ALTERAÇÃO
Simulação 1	Área Real
Simulação 2	Acréscimo de árvores: Na praça, ruas, lotes e canteiro central da avenida.

Fonte: Autora, 2017

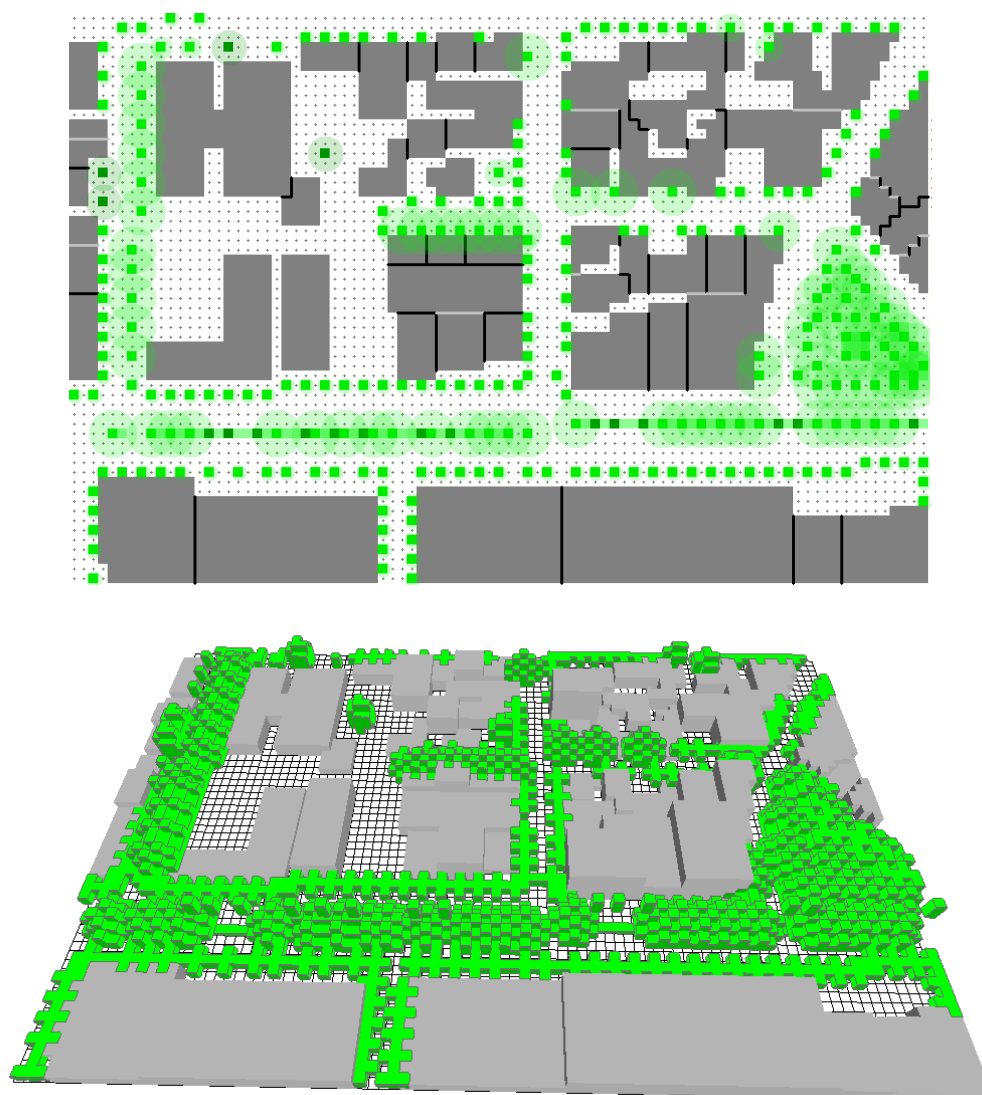
As imagens referentes às simulações (Figuras 30 e 31) podem ser observadas seguir:

Figura 30: Simulação 1 - Situação real



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

Figura 31: Simulação 2 - Acréscimo de árvores



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

A simulação 1 representa a área real de estudo, mantendo as características físicas do local, enquanto para a simulação 2 foram realizados acréscimos de árvores na área da praça (copa densa e com $h=10$ m), nas ruas, próximo as calçadas (árvores com $h=7$) e no canteiro central (copa densa e com $h=10$ m), sendo inseridas no modelo o total de 205 árvores.

A modelagem da área de estudo com a inserção da vegetação se baseou nos levantamentos *in loco*, levando em consideração a altura da arborização nas vias e praça, além da distância dos indivíduos arbóreos na própria área. As copas das árvores foram estimadas considerando a forma e tamanho adequados para cada fração urbana, sendo que árvores com copa muito grande, embora mais eficientes para o bloqueio da radiação solar direta,

interferem na passagem de veículos e pedestres, assim como na fiação da rede elétrica, sofrendo prejuízos até mesmo para seu crescimento (PIVETTA e SILVA FILHO, 2002).

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados do impacto de cada cenário de simulação. Inicialmente, foram exploradas as diferenças entre o comportamento de cada simulação para o período de verão, sendo os resultados expostos por meio de mapas cromáticos produzidos com o *plug-in* Leonardo.

5.1. ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Os resultados da simulação 1, correspondendo à situação real de estudo, registraram temperaturas elevadas. De acordo com a Tabela 5, foram obtidos valores elevados de temperatura, principalmente no horário de 15h, quando a radiação solar teve maior incidência na superfície, sendo então registrada a temperatura de 36,44 °C. No horário de 9h, quando ocorre o aquecimento da superfície, o valor da temperatura foi de 30,48 °C.

A umidade relativa nesses horários se comporta de diferentes formas, sendo que no horário de 9h alcançou 51,61%, fato que pode ser explicado pelo início do aquecimento da superfície, reduzindo a intensidade dos núcleos de calor. No horário de 15h, a umidade estava mais baixa, provavelmente em função da maior concentração de radiação na superfície.

Os resultados do horário de 21h evidenciam o resfriamento da superfície, considerando que foi registrada a temperatura de 28,84 °C com o aumento da umidade relativa para 60,62%.

Tabela 5: Variáveis climáticas obtidos na simulação - Área real

Horário	Temperatura		Umidade	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
9h00	29,60 °C	30,48 °C	46,51%	51,61%
15h00	33,51 °C	36,44 °C	32,22%	37,26%
21h00	27,84 °C	28,84 °C	50,50%	60,62%

Fonte: Autora, 2017

Os resultados da simulação 2, com a proposta de inserção da vegetação na área de estudo, mostrou sua influência no meio urbano. Foram registradas, conforme demonstrado na Tabela 6, a diminuição da temperatura do ar nos três horários assim como o aumento da umidade relativa.

No horário de 9h, como ocorre o início de aquecimento da superfície, a temperatura registrada foi de 30,40 °C, sendo a vegetação inserida no local responsável pela diminuição da radiação direta na superfície, consequentemente influenciando no horário de 15h e 21h, onde ocorreu essa redução.

Em relação à umidade relativa, houve uma elevação nos valores nos três horários, mediante a influência que a vegetação proporcionou na atenuação da temperatura.

Tabela 6: Variáveis climáticas obtidos na simulação - Inserção da vegetação

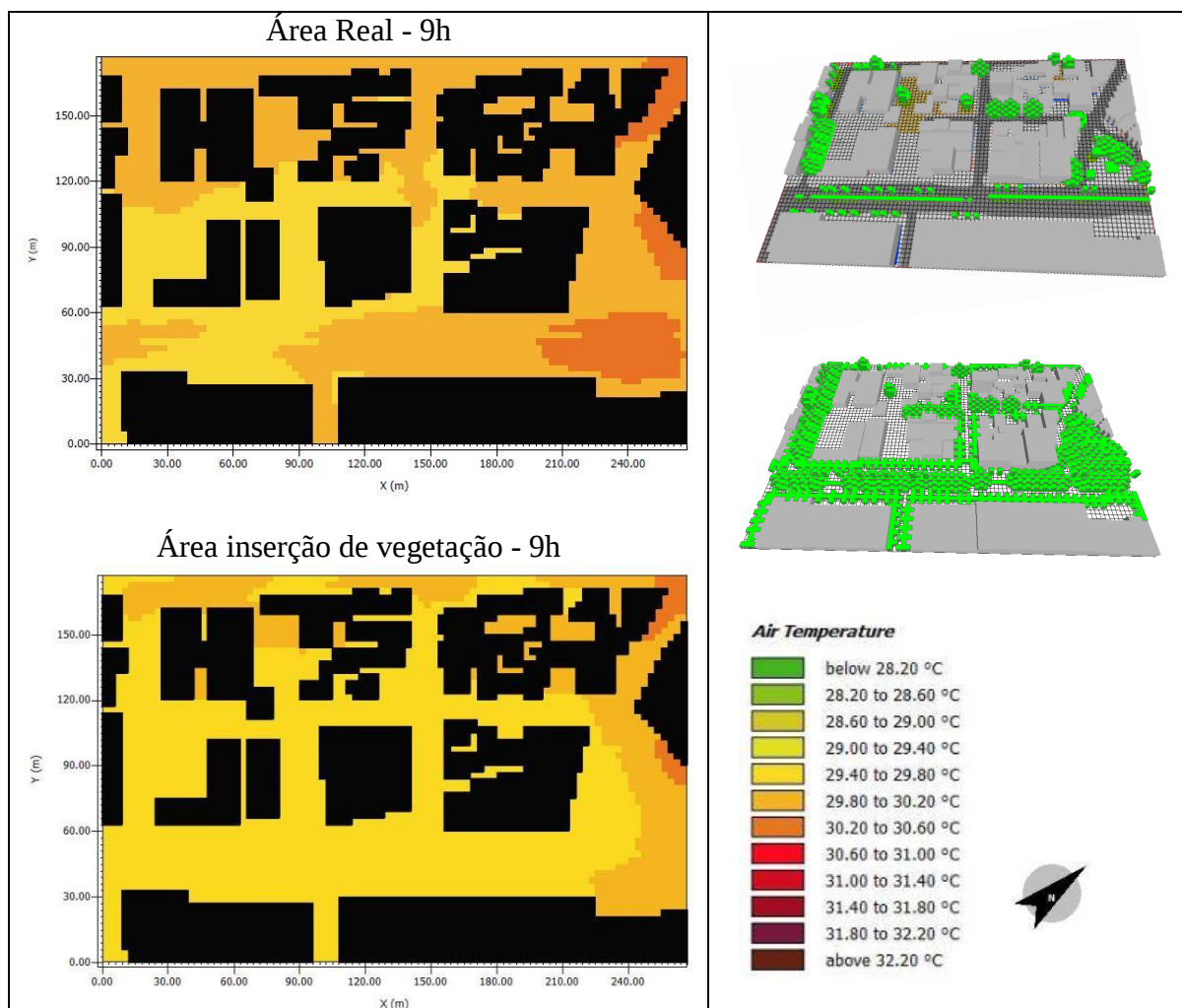
Horário	Temperatura		Umidade	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
9h00	29,27 °C	30,40 °C	47,34%	52,08%
15h00	33,26 °C	36,26 °C	32,57%	38,85%
21h00	27,84 °C	28,77 °C	50,68%	60,94%

Fonte: Autora, 2017

As Figuras 31, 32 e 33 mostram os mapas de temperatura para os horários de 9h, 15h e 21h na área, elaborado a partir do *plug-in* Leonardo. Às 9h os mapas térmicos apresentaram alterações na temperatura do ar, registrando uma diminuição na temperatura de 0,08°C para o período descrito em comparação ao cenário real. As 15h, os mapas demonstraram uma diminuição de temperatura de 0,18°C e às 21h, a diminuição foi de 0,07°C.

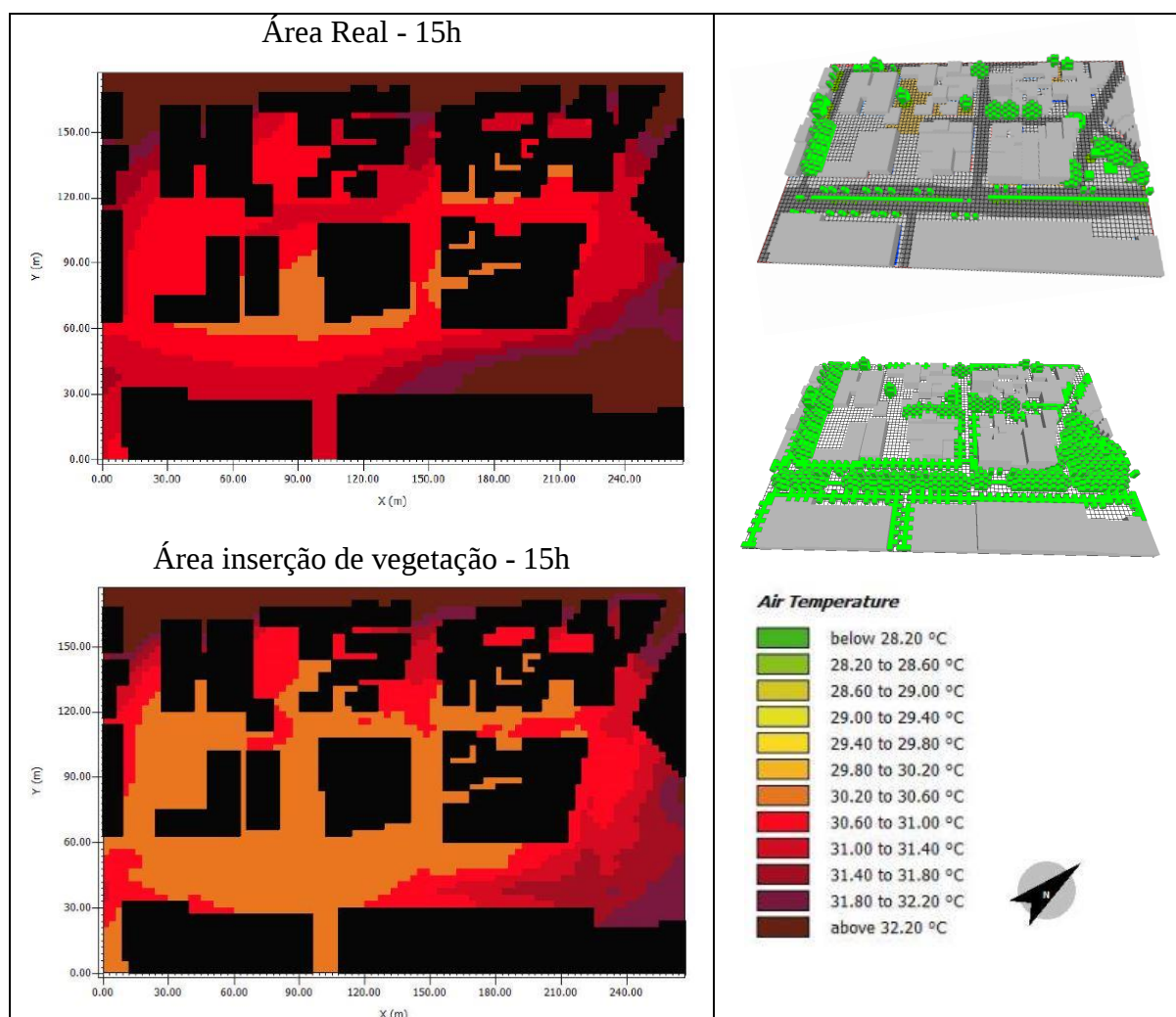
No horário de 9h, quando se inicia o aquecimento da superfície, a inserção da vegetação proporcionou a diminuição da absorção da temperatura no entorno. A vegetação na área de estudo, no horário de 15h proporcionou uma maior abrangência de áreas com temperaturas mais baixas, como pode ser observado na figura 33, consequentemente ocorrendo a diminuição das áreas com núcleos de calor, sendo a vegetação no canteiro central, praça e vias responsável por esses indicativos. Às 21h ocorreu a diminuição da abrangência do calor concentrado e absorvido na superfície.

Figura 32: Mapas de temperatura – 9h realizado através do *plug-in* Leonardo



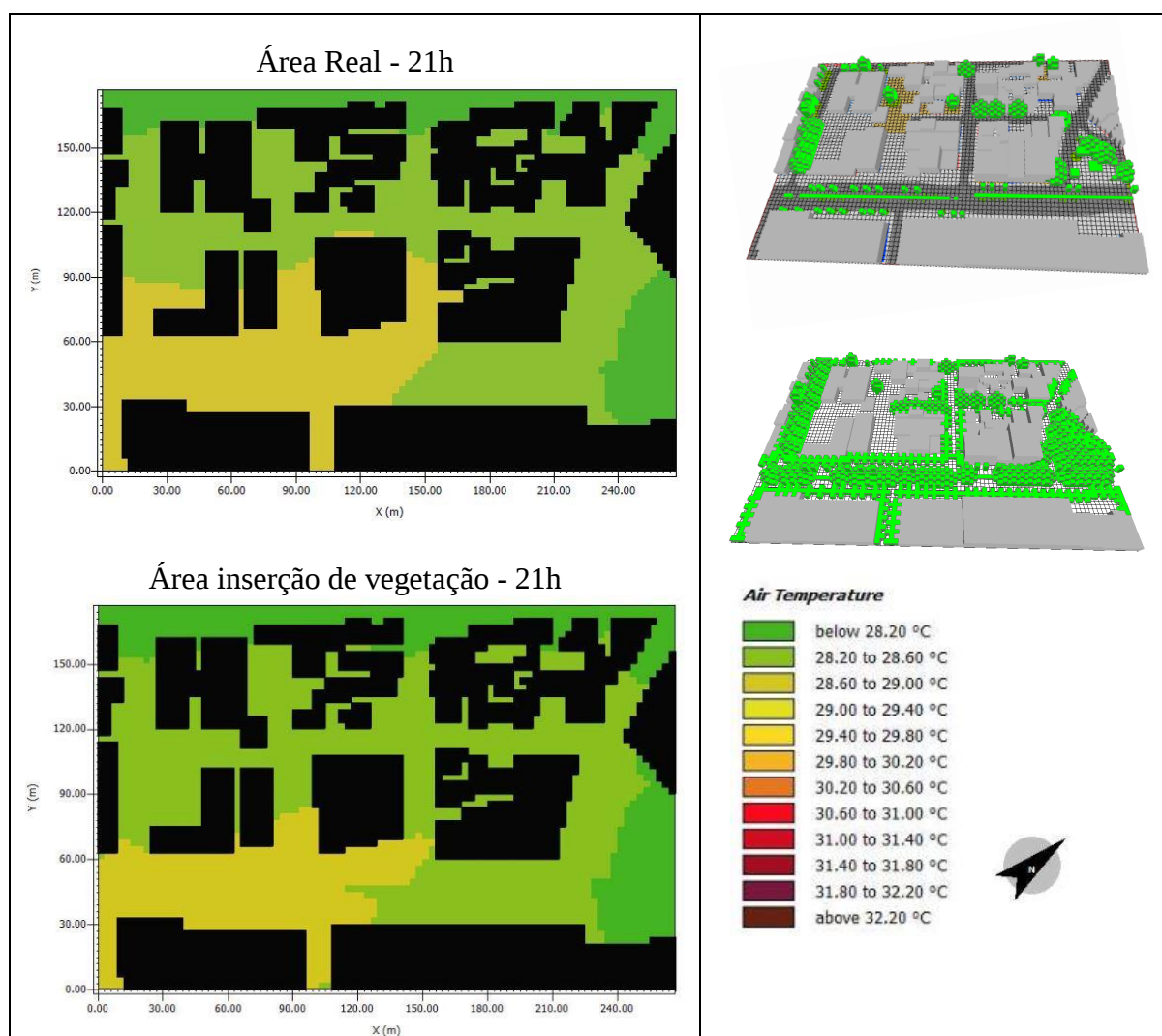
Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

Figura 33: Mapas de temperatura – 15h realizado através do *plug-in* Leonardo



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

Figura 34: Mapas de temperatura – 21h realizado através do *plug-in* Leonardo

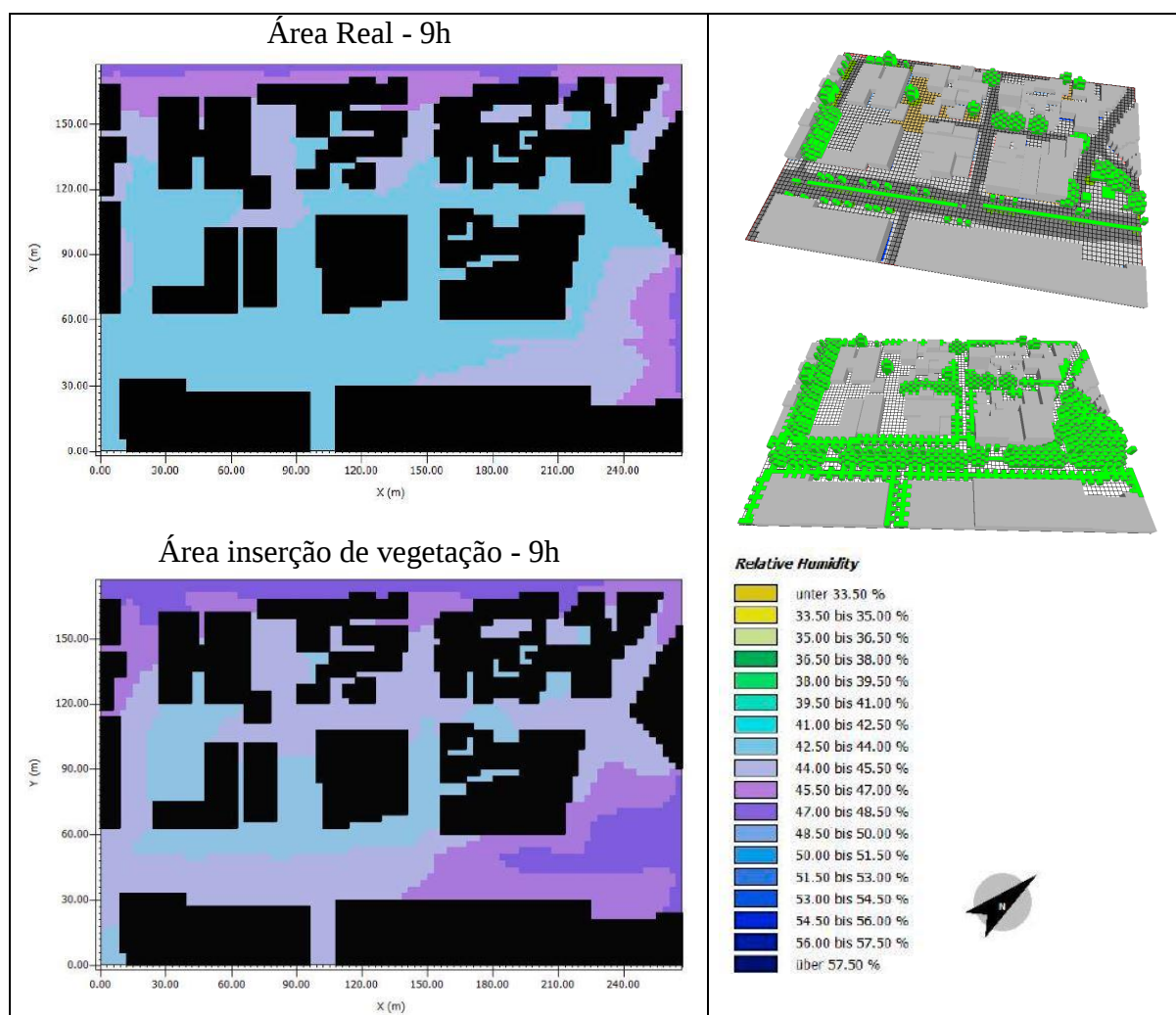


Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

As figuras 34, 35 e 36 mostram os mapas térmicos de umidade relativa para os horários de 9h, 15h e 21h. Observa-se que para o período foi registrado o aumento da abrangência da umidade nas áreas onde foram inseridas a vegetação.

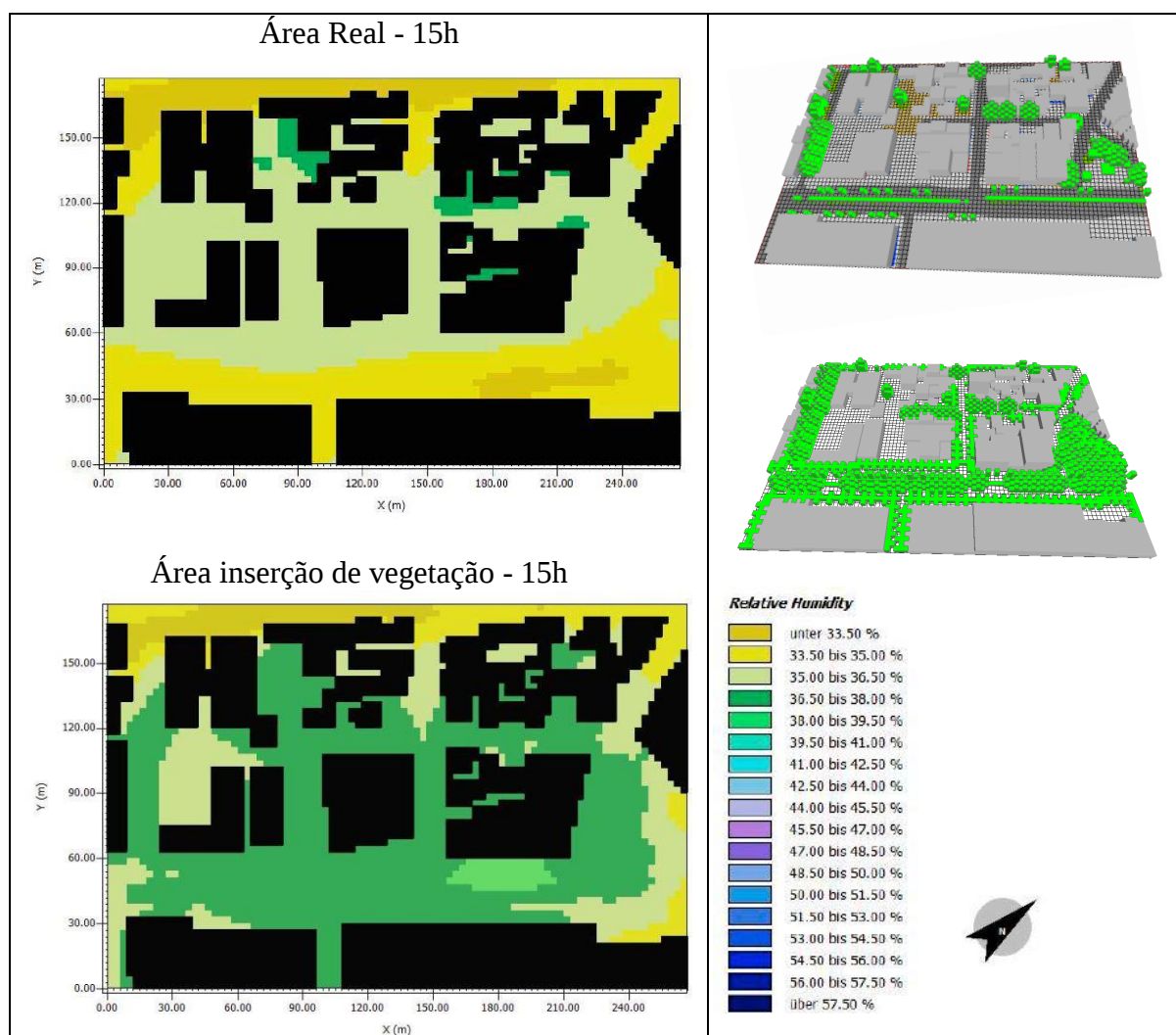
O aumento da umidade relativa na área se justifica pela influência da vegetação, que é responsável pela umidificação do ar através do processo de evapotranspiração (transpiração estomática e cuticular) dos indivíduos arbóreos presentes na área de estudo.

Figura 35: Mapa de Umidade – 9h realizado através do *plug-in* Leonardo



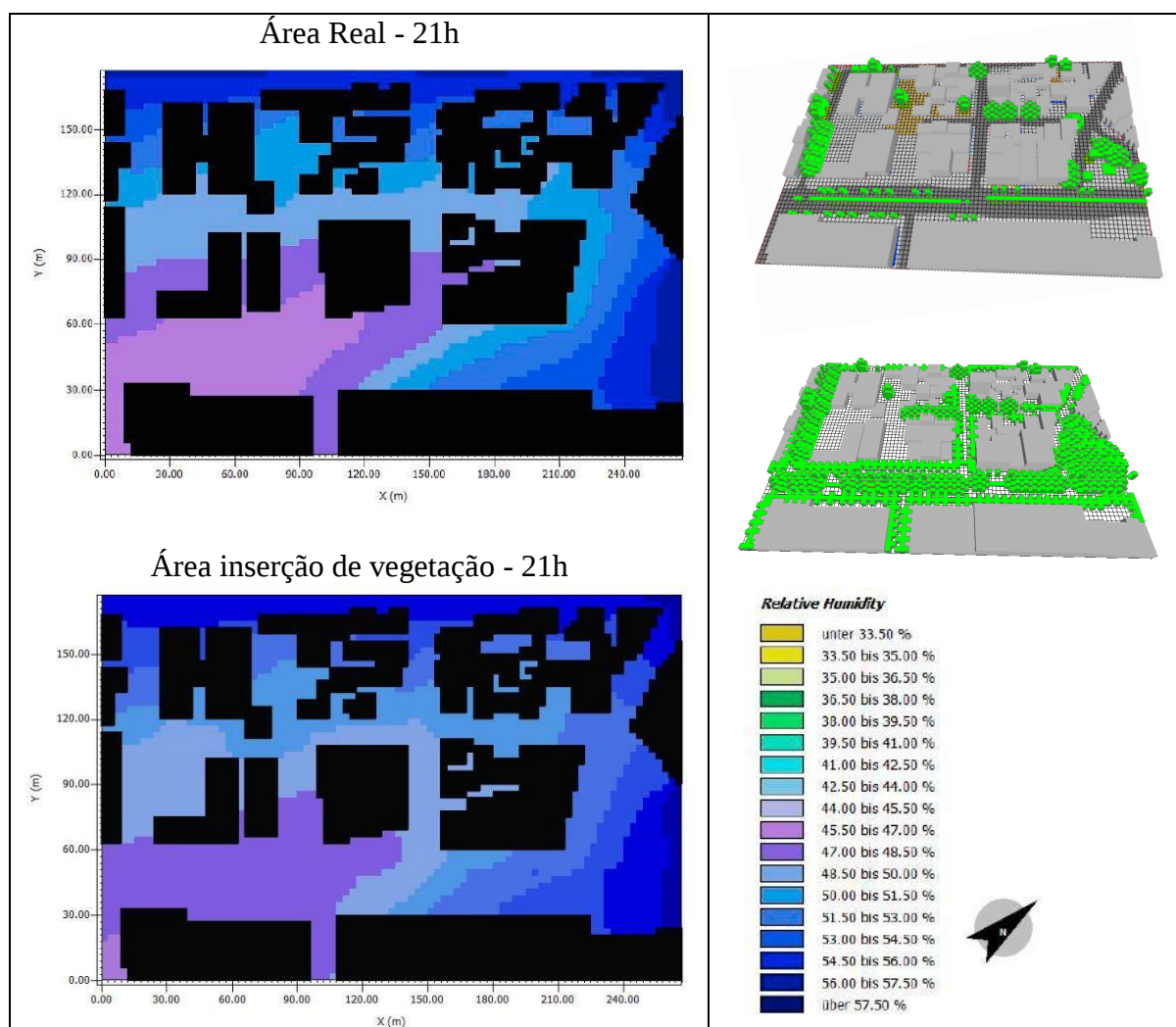
Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

Figura 36: Mapa de Umidade – 15h realizado através do *plug-in* Leonardo



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

Figura 37: Mapa de Umidade – 21h realizado através do *plug-in* Leonardo



Fonte: ENVI-MET, acesso em 20 de novembro de 2017.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados mostram que a vegetação é um condicionante importante para a atenuação da temperatura nas áreas urbanas, possibilitando a diminuição dos núcleos de calor. Esse aspecto é perceptível quando se observa que nos pontos mais próximos à vegetação, é notória a redução da temperatura. No caso da área de estudo, na simulação 2 com acréscimo da vegetação, ocorreu uma comprovada redução da temperatura naquele local.

Em áreas onde há a maior concentração de vegetação, também se registraram os maiores valores de umidade e esse efeito se estende para as áreas adjacentes. No entanto ressalta-se que esse efeito perde a força à medida que se distancia da área de vegetação. Ou seja, a influência que a vegetação ocasiona na ampliação da umidade é restrita ao seu entorno

imediatos, induzindo a concluir que deve-se investir na distribuição da vegetação ao longo das vias ao invés de em áreas concentradas, se o objetivo for a melhoria do conforto para os transeuntes.

Quanto à variável temperatura, a vegetação concentrada tem grande influência no seu entorno, reduzindo a temperatura em relação aos outros pontos, sendo, portanto, um dos elementos responsáveis pela mitigação de núcleos de calor nos centros urbanos e o aumento da abrangência de núcleos de frescor.

Os resultados alcançados indicaram que a presença de vegetação no meio urbano contribui para a criação de um ambiente climático mais ameno e a inserção da vegetação na área urbana é uma importante estratégia para melhoria do entorno.

O modelo ENVI-MET 4.2.0 Summer apresentou resultados confiáveis para estudos microclimáticos na cidade de Vitória, principalmente pelo surgimento da ferramenta *simple forcing*, que ficou mais complexa, porém muito mais precisa. O modelo também apresentou resultados próximos e iguais entre dados medidos e simulados para a temperatura do ar na área de estudo.

As simulações paramétricas para os três horários mostraram que, dentre os cenários simulados, o cenário 2 – com a inserção da vegetação – apresentou uma diferença de cerca de 0,18°C para menos na temperatura do ar, a 1,5m do chão no horário de 15h, em relação ao cenário simulado do cenário real, onde ocorreu núcleos de frescor na área de estudo.

Considerando a comprovação da influência da vegetação na atenuação do desconforto urbano para a situação específica da cidade de Vitória, sugere-se a ampliação dos estudos considerando os materiais construtivos, visto também serem elementos de grande interferência na formação de ilhas de calor e alterações microclimáticas.

Outra necessidade de estudo é no aprofundamento das variáveis climáticas de velocidade e direção do vento, que influenciam na dissipação do calor na área de estudo, sendo necessário o uso de equipamentos confiáveis nas medições em campo visando a maior confiabilidade no processo de calibração do *software*.

O modelo ENVI-MET 4.2.0 demonstrou ser uma importante ferramenta para o planejamento urbano, podendo ser utilizado não somente por pesquisadores, mas, também,

por gestores responsáveis pelo planejamento das cidades. Sugere-se, para esses casos, a não utilização da versão gratuita, visto a consequente necessidade de limitação da área para a simulação, bem como a limitação do modelo referente ao ajuste da curva de temperatura em relação ao clima tropical (GUSSON, 2014).

Vale ressaltar que a análise da pesquisa foi feita para as condições climáticas de Vitória e com as características da região, sendo uma fração do bairro de Goiabeiras, o que não significa que os resultados encontrados serão os mesmos para outras localidades e a inserção da vegetação na área se comportar da mesma forma.

Em síntese, diante dos resultados obtidos, sugere-se que nas áreas urbanas da Região Metropolitana de Vitória, sejam considerados espaços destinados a inserção da arborização, e também a utilização de canteiros centrais arborizados. Observa-se, também, que é desejável o adensamento da arborização nas áreas de praças e parques, auxiliando na produção de um microclima mais agradável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, W.L. **Análise do campo térmico e hídrico em Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências da UFMG, Belo Horizonte, 2001.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

BRANDÃO, A. M. de P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. São Paulo, 1996. 362p. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1996.

BRASIL (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Diário Oficial da União.

BRUSE, M. **ENVI- Met 4.0 Manual**. 2014. Disponível em: < <http://envi-met.com> > Acesso em 15 março 2017.

BRUSE, M. **Envi-Met 3.1: Online Manual**. Disponível em: <Http://Www.Envi-Met.Com/>. Acesso em: 15 ago. 2017.

BRUSE, M.; FLEER, H. **Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model**. Environmental Modeling & Software, v.13, p. 373-384, 1998.

CEPTEC. **Centro De Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Dados Históricos. Disponível em: <<Http://Www.Ceptec.Inpe.Br>>. Acesso em: 20 março 2017.

COELHO, A.L.N. **Distribuição das Classes de Temperatura de Superfície a Partir da Faixa do Infravermelho Termal do Sensor TM/Landsat-5 no Município de Vitória (ES)**. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais... Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Sensoriamento Remoto, 2013, p.826-833.

COELHO, A. L. N. **Geotecnologias Aplicadas na Distribuição Espacial dos Aterros da Cidade de Vitória / ES**. Caderno de Geografia, v. 27, p. 760-775, 2017.

CORREA, W. de S. **Campo térmico e higrométrico da regional praia do Canto no município de Vitória (ES)**, 2014. Dissertação de Mestrado em Geografia- Universidade Federal Espírito Santo, Vitória, 2014.

DACANAL, C.; LABAKI, L.C.; SILVA, T. M. L. **Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 115-132, abr./jun. 2010.

DUARTE, D. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental.** 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ENVI_MET SOFTWARE. Disponível em: < <http://www.envi-met.com/> > Acesso em: 20 outubro 2017.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira.** 259f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Ciência, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 2009.

FRANCISCO, R. C. A. **Clima Urbano: Um Estudo Aplicado A Belo Horizonte, MG.** 2012. 122 F. Dissertação (Mestrado Em Arquitetura E Urbanismo) – Escola De Arquitetura Da Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** 4ª. ed. São Paulo: Nobel. 2003

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** Tradução: Sílvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

GONÇALVES, T. M.; SANTOS, R. dos (Org). **Cidade e meio ambiente: estudos interdisciplinares.** Criciúma, SC: Ed. UNESC, 2010.

GOOGLE. **Software Google Earth 7.** Estados Unidos, 2013. Disponível Em: < <Http://Www.Google.Pt/Earth/>>. Acesso em: 10 out. 2017

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES).** Disponível em <<http://www.geobases.es.gov.br/portal/>>. Acesso em 20 de maio 2017.

GUSSON, C. dos S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no balanço de energia de áreas urbanas.** São Paulo, 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

HUTTNER, S.; BRUSE, M. **Numerical modelling of the urban climate – A preview on ENVI-met 4.0.** In: The seventh International Conference on Urban Climate (ICUC- 7), 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan. 2009. Proceedings disponível em:

<http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/382880-2-090514010851-002.pdf>. Acesso em 20 agosto de 2017.

IBF FLORESTAS. **Instituto Brasileiro de Florestas**. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia: **Dados Históricos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosclimaticos>>. Acesso em 27 Nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **IBGE, @cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15.fev.2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2016

JESUS, R. J. DE; COELHO, A. L. N. **Análise do Campo Térmico do Município de Vitória Através de Produtos Landsat-8/TIRS/OLI**. In: XVII SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa, PB. Anais do 17 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, PB, 25 - 29 de abril de 2015. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP: INPE, 2015. v. 1. p. 4643-4650.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated**. *Meteorol Zeitschrift* 15 (3): 259-26, 2006

LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. dos; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; ABREU, L. V. de. **Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos**. Fórum Patrimônio, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2ª Ed. ProLivros, São Paulo, 2014

LIMA NETO, E. M. **Aplicação do sistema de informações geográficas para o inventário da arborização de ruas de Curitiba, PR**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. **Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções**. *Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 1 n. 1, p. 125-139, jan/jun. 2005.

LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

LOMBARDO, M. A. **Análise das Mudanças Climáticas nas Metrópoles: O Exemplo de São Paulo e Lisboa**. In: ORTIGOZA, S. A. G.; CORTEZ, A.T. C. (organizadoras). Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano– São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa (SP): Instituto Plantarum, 2002. 1 v.

MASCARÓ, L. R. de. **Ambiência urbana -Urban environment**. Porto Alegre: Editora +4, 2004.

MASHIKI, M. Y. **Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e Influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

MATTIUZZI, H. V.; MARCHIORO, E. **O comportamento dos ventos em Vitoria (ES): a gestão e interpretação dos dados climáticos**. Revista GeoNorte, V. 2, 2012, p. 983-993.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p.139, 2007.

MINAKI C.; AMORIM, M. C. DE C. T. 2012. **Características das ilhas de calor em Araçatuba/SP: Análise de episódios**. Revista Geonorte, ISSN: 2237-1419, Edição Especial 2, V.2, N.5, p. 279 – 294.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria E Clima Urbano**. In: MONTEIRO, C. A. De F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. P. 9-67.

NASCIMENTO, D. T. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, 2010.

NOGUEIRA, A. M. P. **Configuração urbana e microclimas: estudo em loteamento horizontal de Maceió – Alagoas**. 2011. 184 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.

OKE, T. R. **Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organization, Geneva, 2004.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. da. **Arborização urbana**. Jaboticabal: Unesp, 2002. 69 p

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITORIA. **Vitória em dados**. Disponível em: <<http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/home.asp>>. Acesso em 12 de agosto de 2017.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. CopyMarket.com, 2000.

SARAIVA, A. L. B. da C. **O clima urbano de Mossoró (RN): o subsistema termodinâmico**. Dissertação (mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SCHUCH, M. I. S. Arborização urbana: uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, área de concentração Tecnologia da Geoinformação. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. p.102

SHINZATO, P. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. 2009. 173 f. Dissertação (Mestrado e Arquitetura e Urbanismo: Tecnologia da Arquitetura) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2009.

SILVA F. T. da. **Conforto Térmico do Transeunte: A porosidade urbana como condicionante da ventilação**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU – da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014.

SILVA, B. A.; XAVIER, T. C. ; ALVAREZ, C. E.. **A vegetação urbana como condicionante de mitigação de ilhas de calor**. In: SBE16 Brazil & Portugal, 2016, Vitória. SBE Series 16 - Sustainable Urban Communities Toward a Nearly Zero Impact Built Environment, 2016, Vitória-ES. Vitória: Fundação Espiritosantense de Tecnologia. Vitória- ES, 2016. v. 2. p. 1269-1278.

SILVA, B. A.; XAVIER, T. C.; ALVAREZ, C. E. **O impacto da distribuição de vegetação no microclima de ambientes urbanos**. In: Euro-ELECS 2015 -Latin American and European conference on sustainable buildings and communities, 2015, Guimarães. Euro-ELECS 2015 -Latin American and European conference on sustainable buildings and communities. Lisbon: Printed by Multicomp, 2015. v. 1. p. 247-256.

UNIVERSITY OF WYOMING. **Dados De Umidade Específica**. Disponível em: <[Http://Weather.Uwyo.Edu/Uppeair](http://Weather.Uwyo.Edu/Uppeair)>. Acesso em: 04 Ago. 2017.

XAVIER, T. C. **A influência da arborização no microclima urbano: um estudo aplicado à cidade de Vitória, ES**. 2017. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-

Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU – da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2017.