

ESTUDOS CLIMÁTICOS EM VALES URBANOS: ANÁLISE EM CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO NO VALE DO REGINALDO EM MACEIÓ-AL

Maiara da Silva cruz



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO**

Maiara da Silva Cruz

**ESTUDOS CLIMÁTICOS EM VALES URBANOS:
ANÁLISE EM CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO NO VALE DO REGINALDO
EM MACEIÓ-AL**

Maceió-AL
2018

MAIARA DA SILVA CRUZ

**ESTUDOS CLIMÁTICOS EM VALES URBANOS:
ANÁLISE EM CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO NO VALE DO REGINALDO
EM MACEIÓ-AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Coorientadora: Profa. Dra. Gianna Melo Barbirato

Maceió-AL

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Janaina Xisto de Barros Lima

C955e Cruz, Maiara da Silva.
Estudos climáticos em vales urbanos : análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió – AL/ Maiara da Silva Cruz. – 2017.
116 f.: il.

Orientador: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.
Coorientadora: Gianna Melo Barbirato.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2017.

Bibliografia: f. 106-112.
Apêndices: f. 113-116.

1. Climatologia urbana. 2. Vale do Reginaldo – Maceió (AL) – Ocupação do solo. 3. Vales urbanos. I. Título.

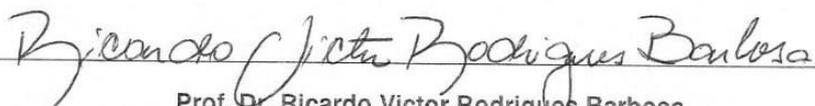
CDU: 711.4:551.584.4 (813.5)

Folha de Aprovação

MAIARA DA SILVA CRUZ

ESTUDOS CLIMÁTICOS EM VALES URBANOS: ANÁLISE EM CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO DO SOLO NO VALE DO REGINALDO EM MACEIÓ-AL

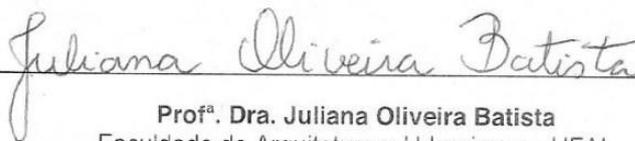
Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/UFAL, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, e **aprovado** em 10/10/2017.



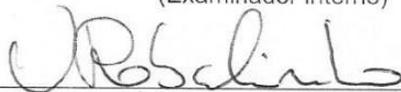
Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL
(Orientador)



Profª. Dra. Gianna Melo Barbirato
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Coorientadora)



Profª. Dra. Juliana Oliveira Batista
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Examinador interno)



Profª. Dra. Verônica Robalinho Cavalcanti
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL
(Examinador interno)



Profª. Dr. Caio Frederico e Silva
Universidade de Brasília – UnB
(Examinador externo)

À Deus, por me dar forças todos os dias nessa caminhada;

Aos meus primeiros mestres na vida: meus pais Vanda e José Carlos.

Ao meu orientador e amigo Ricardo Victor, por me orientar e apoiar neste trabalho com dedicação de mestre;

À minha coorientadora Gianna Barbirato, pelos seus ensinamentos que me acompanham desde a graduação;

À professora Débora Cavalcanti e a superintendente da Seinfra Angela Paim por me auxiliarem na ida até a Comunidade do Vale do Reginaldo, apresentando-me o Sr. “Durval”;

Ao Líder comunitário do Vale do Reginaldo: Sr. Edvaldo Francisco, ou simplesmente “Durval” como é popularmente conhecido na região. Agradeço a este grande homem pela sua prestatividade em guiar a mim e meu orientador no Vale do Reginaldo;

À comunidade do Vale do Reginaldo;

Às minhas companheiras de laboratório: Camila Souza, Miquelina Cavalcante e Mayna Tenório, pelas conversas, ensinamentos e boa companhia;

Aos meus grandes companheiros que ganhei no mestrado: Luciana Gavazza, Mariana Delfino, Sergio Santos e Patrícia Cunha;

Ao Wellington Souza, que me ajudou nas simulações no campus Arapiraca

Aos Professores Verônica Robalinho, Jú Batista e Caio Frederico, pelas grandes contribuições a este trabalho;

À FAPEAL, pela concessão da bolsa de mestrado;

Aos membros do DEHA – Programa de Pós-graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, em especial à Luciane Prado (Ane) da secretaria do DEHA;

Aos membros do GATU – Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana, pelos ensinamentos sempre trocados e apoio;

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O ritmo acelerado de densificação urbana é um fato que se destaca na dinâmica das maiores cidades brasileiras, cuja ocupação do solo avança sobre o território, incluindo áreas de risco geológico, como as encostas. Em Maceió, o número de aglomerados subnormais tem aumentado significativamente, especialmente sobre áreas impróprias à ocupação urbana, como as encostas e os fundos de vale. Nesse contexto, o objeto de estudo da presente pesquisa – o Vale do Reginaldo – é um exemplo típico dessa problemática, uma vez que a área vem sendo progressivamente ocupada por assentamentos precários, em decorrência de questões de ordem econômica, política e social. Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo analisar a influência da ocupação do solo nas áreas de vale no comportamento térmico, em escala de abordagem micro e topoclimáticas, tomando o Vale do Reginaldo como estudo de caso. Os procedimentos metodológicos adotados incluíram pesquisa experimental e simulações computacionais. Na etapa de pesquisa experimental foi realizada campanha de monitoramento de variáveis climáticas (temperatura do ar) em seis pontos amostrais por meio de registro contínuo, em intervalos horários, com auxílio de *dataloggers* do tipo HOBO®, ao longo de oito dias consecutivos no período de verão. A etapa de simulação computacional envolveu a validação do modelo computacional no *software* Envi-Met 4, considerando o cenário de ocupação atual do recorte em estudo e um cenário hipotético, com inserção de edificações, supressão da vegetação e inclusão de vias revestidas por pavimentação asfáltica nas proximidades do riacho. Os resultados obtidos mostraram a área a intravale como a que compreende os maiores valores de temperatura do ar (com valores próximos a pouco mais de 30°C) e as altas edificações das áreas lindeiras como fator que contribui para o aumento do cânion urbano encontrado no vale, gerando assim zonas que concentram temperaturas mais elevadas na região.

Palavras-chave: Clima urbano, vale urbano, simulação computacional.

ABSTRACT

The accelerated urban growth is a fact that stands out in the dynamics of the largest Brazilian cities, whose land use advances on the territory, including areas of geological risk, such as hill slopes. In Maceió, the number of improper constructions has increased significantly, especially in areas that are not suitable for urban occupation, such as valleys and hill slopes. In this context, the study area of the present research - Vale do Reginaldo - is a typical example of this problem, since the area has been progressively occupied by precarious settlements, due to economic, political and social issues. Thus, the research aims to analyze the land use influence in urban valley areas in the resultant climate, in a micro and topoclimatic approach scales, taking the Reginaldo Urban Valley as a study area. The methodology used in this work included experimental research and computational simulations. In the experimental research stage, a campaign were carried out to record climatic datas (air temperature) at six sampling points by means of continuous recording, at hourly intervals, with the aid of HOBO® type dataloggers over eight consecutive days in the summer period. The computational simulation stage involved the validation of the computational model with Envi-Met 4 software, considering the scenario of current occupation of the study clipping and a hypothetical scenario, with insertion of buildings, suppression of vegetation and inclusion of asphalt roads near the creek. The results obtained that the intravale area showed the highest air temperature values (values close to 30°C) and the high buildings of the surrounding areas as a factor that contributes to the increase of the urban canyon found in the valley, thus generating areas that concentrate higher temperatures in the region.

Keywords: Urban Climate, Urban Valley, Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais nas áreas urbanas	9
Figura 2 - Efeitos do relevo na incidência dos ventos predominantes a partir de diferentes conformações de relevo	11
Figura 3 - Visualização 3D do ENVI-met	15
Figura 4 - Mapa de relevo, malha viária e vetores de crescimento da região de Maceió	19
Figura 5 - Localização do complexo Vale do Reginaldo entre as principais vias de Maceió.....	21
Figura 6 - Modelo numérico do terreno da Bacia do Riacho Reginaldo	22
Figura 7 - Localização geográfica do Complexo Vale do Reginaldo e divisões em relação a topografia local	24
Figura 8 - Imagens da área de estudo mostrando características de ocupação e revestimento do solo: (a) área de encosta com densidade construída e área de borda com edificações de diferentes alturas; (B) entorno de um dos pontos de monitoramento de dados mostrando a ocupação e revestimento de solo, e pouca vegetação e; (c) localização das imagens (a) e (b) na imagem aérea	25
Figura 9 - Localização de Maceió e objeto de estudo em território nacional	26
Figura 10 - Riacho Reginaldo, popularmente conhecido como riacho Salgadinho, onde deságua dejetos domésticos depositado ao longo do curso do riacho no mar.....	29
Figura 11 - Gráfico de clima para a cidade de Maceió	30
Figura 12 - Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Maceió.....	32

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 13 - Variação horária da radiação nos meses mais quentes (a), nos meses mais frios (b) e variação mensal da radiação solar em superfície horizontal [Ho] e radiação solar global [Hg].....	33
Figura 14 - Espacialização dos assentamentos informais na cidade de Maceió	35
Figura 15 - Mapa de Maceió com destaque para a delimitação da bacia do Riacho Reginaldo e localização do recorte em estudo no Vale do Reginaldo (em vermelho)	36
Figura 16 - Localização e vista aérea da região mais ocupada no vale do Reginaldo, respectivamente	38
Figura 17 - Imagem mostrando ocupação do solo que ocorre prioritariamente na bacia hidrográfica na região do Baixo Reginaldo.....	38
Figura 18 - Projeto para implantação do veículo leve sobre trilhos no Vale do Reginaldo	42
Figura 19 - Obras de reurbanização no vale do Reginaldo (a) e (b) e abaixo localização das obras de urbanização no Vale do Reginaldo (c)	46
Figura 20 - Mapa de zoneamento da cidade de Maceió, destacando a região de estudo no vale do Reginaldo.....	48
Figura 21 - Fenômeno erosivo do solo causado pela ocupação irregular da encosta e supressão vegetal na área de estudo (Baixo Reginaldo)	49
Figura 22 - Fenômeno erosivo do solo causado pela ocupação irregular da encosta e supressão vegetal na área de estudo (Baixo Reginaldo)	50
Figura 23 - Diagrama auxiliar na construção da metodologia	51
Figura 24 - Localização dos pontos de medições e corte de perfil esquemático na área de estudo.....	53

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

- Figura 25** - Perfil topográfico esquemático no sentido Sudoeste SO-Nordeste NE do Vale do Reginaldo, mostrando a localização dos pontos de medições no Vale do Reginaldo54
- Figura 26** - Imagem aérea de localização (a) e foto do Ponto 1 (b).....54
- Figura 27** - Imagem aérea de localização (a) e foto do Ponto 2, respectivamente...55
- Figura 28** - Imagem aérea de localização e foto do Ponto 3, respectivamente.....56
- Figura 29** - Imagem aérea de localização e foto do Ponto 4, respectivamente56
- Figura 30** - Imagem aérea de localização e foto do Ponto 5, respectivamente57
- Figura 31**- Imagem aérea de localização e foto do Ponto 6, respectivamente58
- Figura 32** - Equipamentos para as medições das variáveis em campo: (a) registradores automáticos de temperatura e umidade relativa do ar, e (b) escudo protetor da radiação solar.62
- Figura 33** - Campo de teste dos sensores Hobo junto a estação meteorológica INMET, localizado na Universidade Federal de Alagoas, com destaque para planta esquemática de localização dos Hobos no campo de teste.....63
- Figura 34** - Gráfico de temperatura do ar, comparando dados entre os sensores Hobo e dados do INMET para o período de teste64
- Figura 35** - Sequencia de gráficos de dispersão mostrando a correlação entre os dados de temperatura do ar obtida in loco com os dados do INMET64
- Figura 36** - Gráfico do comportamento da temperatura do ar em Maceió segundo dados do INMET, entre os dias de campanha da pesquisa (03/02 a 10/02), com indicação da média das máximas e da média das mínimas para o mês de fevereiro, de acordo com as Normais Climatológicas de Maceió (1961-1990)66
- Figura 37**- Gráfico do comportamento da radiação solar global em Maceió segundo dados do INMET, entre os dias de campanha da pesquisa (03/02 à 10/02)67

Figura 38 - Tamanho da área de modelagem utilizado nas simulações computacionais em plano cartesiano	69
Figura 39 - Esquema de elaboração da modelagem do Cenário Atual no ENVI-met	71
Figura 40 - Comparativo mostrando modelagem de cenário atual e Hipotético no ENVI-met em 2D e 3D, respectivamente	76
Figura 41 - Gráfico com dados de entrada utilizados na ferramenta Simple Forcing para o dia 7 de fevereiro	77
Figura 42 - Sequencia de gráficos com resultante dos dados medidos e simulados de cada ponto receptor analisado	79
Figura 43 - Sequência de gráficos mostrando a diferença de valores medidos e simulados, para o parâmetro temperatura encontrado em cada ponto receptor analisado.....	81
Figura 44 - Gráfico de temperatura do ar do dia 03/02.....	83
Figura 45 - Gráfico de temperatura do ar do dia 04/02.....	84
Figura 46 - Gráfico de temperatura do ar do dia 05/02.....	84
Figura 47 - Gráfico de temperatura do ar do dia 06/02.....	84
Figura 48 - Gráfico de temperatura do ar do dia 07/02.....	85
Figura 49 - Gráfico de temperatura do ar do dia 08/02.....	85
Figura 50 - Gráfico de temperatura do ar do dia 09/02.....	85
Figura 51 - Gráfico de temperatura do ar do dia 10/02.....	86
Figura 52 - Valores absolutos de temperatura do ar no dia 07/02/2017, às 9h	87
Figura 53 - Valores absolutos de temperatura do ar no dia 07/02/2017, às 15h	88

Figura 54 - Valores absolutos de temperatura do ar para o dia 07/02/2017, às 21h.	89
Figura 55 - Sequência de gráficos mostrando a diferença de valores simulados entre cenário Atual e Hipotético, para o parâmetro temperatura do ar encontrado em cada ponto receptor analisado.....	89
Figura 56 - Gráfico mostrando desvio padrão de cada simulação computacional a partir da média das variáveis.....	92
Figura 57 - Sequência de diagramas do tipo seção horizontal de cenário atual e hipotético do dia 07/02/2017 com altura de corte à 25m.....	93
Figura 58 - Sequência de diagramas do tipo seção horizontal de cenário atual e hipotético do dia 07/02/2017 com altura de corte à 46m.....	95
Figura 59 - Localização de diferentes alturas de corte na área de estudo	97
Figura 60 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário atual em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 9h.....	98
Figura 61 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário Hipotético em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 9h	99
Figura 62 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário atual em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 15h	100
Figura 63 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário Hipotético em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 15h	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Comportamento médio dos principais parâmetros meteorológicos em Maceió-AL	27
Quadro 2- Quadro-síntese dos pontos medidos no local de estudo.....	59
Quadro 3 - Comparativo de dados entre Maceió e Natal	72
Quadro 4 - Dados utilizados nas simulações computacionais.....	74
Quadro 5 - Resultados do tratamento estatístico entre dados medidos e simulados para Temperatura do ar	79
Quadro 6 - Dados de média e desvio padrão de cada simulação realizada no estudo	91

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE QUADROS	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Estrutura da dissertação.....	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	6
2.1 Clima Urbano.....	6
2.2 Escalas do clima urbano	7
2.3 Influência da topografia no clima urbano	10
2.4 A simulação computacional como auxílio aos estudos do clima urbano	13
3 O VALE DO REGINALDO NA CIDADE DE MACEIÓ	18
3.1 Caracterização físico-geográfica de Maceió.....	18
3.2 O clima na cidade de Maceió	26
3.3 Histórico da ocupação do Vale do Reginaldo e contexto atual.....	33
3.4 Áreas verdes do objeto de estudo	48
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	51
4.1 Pontos de monitoramento	52
4.2 Calibração do modelo computacional para a área de estudo.....	61
4.3 Equipamento de registro das variáveis climáticas.....	61
4.4 Grau de aferição dos instrumentos.....	62
4.5 Período de monitoramento	65
4.6 Simulação do cenário atual e validação do <i>software</i> Envi-met.....	67
4.7 Simulação do cenário hipotético.....	74
4.8 Validação do modelo para o comportamento da temperatura do ar	76
4.9 Análise gráfica e interpretação dos resultados.....	82
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83
5.1 Análise dos dados obtidos na pesquisa experimental	83
5.2 Análise dos resultados obtidos por simulação computacional.....	89
5.2.1. Análise microclimática.....	89
5.2.2. Análise topoclimática	92

Estudos climáticos em vales urbanos:Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

5.2.2.1 Análise dos diagramas de temperatura do ar no plano horizontal	92
5.2.2.2 Análise dos diagramas de temperatura do ar em seção vertical.....	97
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICES	113

1 | INTRODUÇÃO

Em meados do século XX, o cenário brasileiro foi marcado pelo início de um intenso processo de expansão das cidades. Maricato (2001) destacou que a população urbana cresceu de 26,3%, em 1940; para 81,2%, no final do século XX (2000). Esse crescimento populacional resultou na expansão da malha urbana e de diversas atividades humanas exercidas nos principais centros urbanos, transformando tanto o ambiente natural como o ambiente construído.

Esse novo ambiente construído nos grandes centros, que “avança” de forma agressiva e exploratória sobre o ambiente natural, adquire ao longo dos anos características distintas de suas condições iniciais do clima a partir da modificação no balanço de energia, gerando condições climáticas típicas que constituem o **clima urbano**.

As discussões sobre a qualidade do ambiente construído, em particular com o impacto dos assentamentos humanos sobre o clima urbano, têm fomentado diversos estudos na área da climatologia urbana (Souza, 2014; Gusson, 2014; Cruz e Barbosa, 2015). Embora se reconheça a importância dessas pesquisas para auxiliar na compreensão do planejamento urbano sobre os fatores ligados à cidade, que podem estar relacionados às mudanças climáticas (CHANDLER, 1976; ASSIS, 1990), existem dificuldades na aplicação das informações da climatologia urbana às atividades de planejamento e aos projetos urbanos, o que se constitui hoje como grande desafio a ser enfrentado pelos estudiosos da área.

A investigação dos fenômenos climáticos urbanos, a partir da avaliação da influência da configuração espacial e da geometria urbana na modificação do comportamento das variáveis climáticas, tem evidenciado a importância de relacionar a forma urbana com a qualidade térmica do local e o conforto térmico dos usuários.

Sabe-se que as modificações urbanas resultantes do fenômeno de urbanização e do crescimento das cidades, a exemplo do adensamento urbano e da substituição da cobertura natural por revestimentos concretos e asfálticos, exercem influência principalmente na escala local. Inúmeros estudos, a exemplo de Dacanal *et al* (2008) e Rocha *et al* (2011), têm demonstrado que essas mudanças são capazes de

modificar, por completo, as características climáticas das áreas urbanas em que atuam quando relacionadas aos efeitos antrópicos (LOMBARDO, 1985).

Nesse sentido, é correto afirmar que diversos fatores influenciam na formação do clima urbano, como a localização e entorno da cidade, densidade construída, impermeabilização do solo, topografia e proximidade de massas de água. Esses fatores são responsáveis por contrastes térmicos e higrométricos espaciais, efeito no regime de ventos, entre outros.

Dessa forma, faz-se importante entender como cada fator atua no ambiente térmico a fim de analisar e desenvolver aspectos do desenho urbano com vistas a obtenção de condições ambientais que promovam a qualidade térmica do ambiente nas áreas urbanas.

Assim, o estudo de clima urbano requer apurada observação entre os fatores geocológicos no qual se assenta o **sítio**, tomando em análise não apenas as formas primitivas (naturais), como as derivações, acréscimos ou supressões atribuídas a ele, a exemplo de aterros ou erosões, e a própria cidade, devido às configurações de formas de edificações, densidade de urbanização, tipos de uso e ocupação do solo, características de materiais construtivos e dinâmica funcional (MONTEIRO, 1990), já admitindo, portanto, a influência da ação humana na construção desta fisionomia urbana.

Em Maceió, a ocupação territorial deu-se inicialmente no plano intermediário de seu relevo, onde se localiza o bairro do Centro, descendo, posteriormente, para a planície litorânea e lagunar, para finalmente subir o tabuleiro. Entretanto, a população economicamente menos favorecida procurou alternativas para moradia frente ao elevado preço da terra nas áreas mais centrais. Porém, as precárias condições econômicas da classe trabalhadora não permitiam a aquisição de moradia na cidade formal, levando a população de baixa renda a ocupar áreas ambientalmente frágeis e inadequadas à ocupação.

Nas últimas quatro décadas, Maceió experimentou um rápido processo de urbanização associado a problemas nos sistemas de infraestrutura e ocupação urbana (NEVES *et al.*, 2007). Esse fato caracteriza-se pelo adensamento da

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

verticalização, o aumento da impermeabilização do solo, a má distribuição e conservação de áreas verdes urbanas, o acúmulo de atividades antropogênicas e o espraiamento do tecido urbano, que em Maceió avançou ao longo dos anos sobre terrenos alagadiços sujeitos à inundação, encostas com declividade igual ou superior a 30% e áreas de fundo de vale. É nesse contexto que a presente pesquisa se estabelece.

Assim, o objeto estudado – o Vale do Reginaldo, em especial o recorte mais ocupado do vale, é uma área que merece atenção especial, pois vem sendo progressivamente ocupado por assentamentos precários, apesar de ser uma área ambientalmente frágil. Nessa região, tem-se observado a ocupação indiscriminada das áreas de encosta – com crescente supressão da vegetação – e do fundo do vale, com impermeabilização das margens do riacho que percorre toda extensão do vale.

Além disso, nos últimos anos, o vale apresenta-se como uma região de interesse para o poder público, sendo alvo de constantes propostas urbanas relacionadas a obras de reurbanização e à construção de um eixo viário, por talhar a parte alta da cidade sob a formação de tabuleiro em uma grande extensão no sentido Norte-Sul, ligando a planície litorânea com os bairros mais distantes da orla, localizados na parte alta da cidade.

Nesse sentido, a pesquisa busca trazer contribuições para o estudo da climatologia urbana, destacando a relação entre ambientes natural e construído pautada na influência da ocupação do solo urbano em área de fundo de vale sobre a alteração das condições iniciais do clima local com a formação de clima urbano.

Dessa forma, observa-se que a ocupação indiscriminada nas áreas do Vale do Reginaldo, sem o adequado planejamento urbano-ambiental e a ausência de instrumentos que priorizem a qualidade climática, podem resultar no comprometimento da qualidade térmica dos espaços urbanos, com consequentes desdobramentos na redução da qualidade de vida e na sustentabilidade urbana.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Com isso, a presente investigação parte de **hipóteses de pesquisa** de acordo com a abordagem de duas escalas climáticas distintas:

1. Em abordagem **microclimática**, as alterações térmicas ao nível do usuário oriundas da substituição do solo natural pelo ambiente construído são agravadas em áreas de fundo de vale devido a sua conformação geográfica natural, que favorece a conformação de bolsões de calor devido ao reduzido fator de céu visível.

2. Em abordagem **topoclimática**, o Vale do Reginaldo, com suas condições ambientais naturais preservadas – vegetação nativa nas encostas e solo natural nas margens do riacho –, atua como elemento estruturador ambiental para cidade com aporte de ar fresco e temperatura amena para as áreas lindeiras ao vale.

1.1 Objetivos

A presente pesquisa tem como **objetivo geral** analisar o comportamento térmico em área de vale, em escalas de abordagem micro e topoclimáticas, frente à ocupação do solo, tomando o Vale do Reginaldo como estudo de caso.

Para tanto, faz-se necessário os seguintes **objetivos específicos**:

- Compreender as especificidades climáticas e a influência da topografia na conformação climática de vale urbano, tomando um recorte urbano do Vale do Reginaldo como estudo de caso;

- Analisar o comportamento térmico intra-vale, em escala microclimática, de acordo com as características de ocupação de solo existentes na área de estudo;

- Analisar o comportamento térmico extravale, em escala topoclimática, por meio de estudo dos cenários com a ocupação atual e um cenário hipotético com maior ocupação.

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação foi estruturada em seis capítulos.

O primeiro capítulo consistiu na introdução, apresentando as hipóteses da pesquisa que motivou essa investigação e os objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo apresenta revisão teórico-conceitual com vistas a embasar e ampliar os conhecimentos sobre o tema abordado e foi dividido nos três principais eixos temáticos desta pesquisa: o clima urbano, a influência da topografia no clima e as ferramentas computacionais como auxílio aos estudos do clima urbano.

O terceiro capítulo localiza e apresenta a caracterização do objeto de estudo na cidade de Maceió sob diferentes aspectos.

O quarto capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados neste estudo, localização e caracterização dos pontos de medições *in loco*, instrumentação utilizada na obtenção de dados e método de validação dos equipamentos e dos dados obtidos nos processos de medições no local de estudo e simulações computacionais.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos por meio da campanha de monitoramento na etapa de pesquisa experimental e os resultados das simulações computacionais nos dois cenários estudados.

Por fim, são apresentadas no sexto capítulo as considerações finais do trabalho fazendo referência ao que foi desenvolvido na pesquisa, concluindo o trabalho e apontando as limitações encontradas na utilização do programa computacional.

Em seguida, as referências bibliográficas com todas as referências utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, e posteriormente, os Apêndices da pesquisa.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

Neste capítulo buscou-se entender a influência da topografia e da ocupação do solo na modificação das condições iniciais do clima local. Dessa forma, o capítulo estrutura-se em três partes. A primeira aborda questões referente ao clima urbano e as escalas taxonômicas usualmente adotadas nos estudos de clima para o ambiente citadino. Em seguida, aborda-se a influência da topografia no clima urbano, a partir dos resultados de pesquisas publicadas em eventos científicos e periódicos especializados. Por fim, é apresentada a simulação computacional como ferramenta de pesquisa para estudos de clima urbano, com enfoque no *software* Envi-MET.

2.1 Clima Urbano

O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO, 1976). Resulta das modificações que as superfícies, os materiais e as atividades das áreas urbanas provocam nos balanços de energia, massa e movimento (OKE, 1978) e é evidenciado por meio das anomalias no comportamento de seus elementos (temperatura do ar e superficial, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento), principalmente quando o processo de urbanização carece de planejamento adequado ao clima local no qual a cidade está inserida.

Podemos entender o clima como um sistema na medida que compreendemos que o mesmo é regido por um conjunto integrado de fenômenos que se fundem no tempo e no espaço, revelando uma unidade ou tipos passíveis de serem medidos em seu tamanho (extensão) e em seu ritmo (duração) (RIBEIRO, 1993).

O fenômeno climático é constituído por um conjunto de elementos de naturezas diversas no qual esses elementos se relacionam ao mesmo tempo no mesmo espaço, em regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes. Por isso, a sua abstração racional exige uma referência taxonômica escalar. O conhecimento das diversas naturezas do fenômeno climático gerou a necessidade de classificá-lo em diferentes escalas como parte da própria metodologia de pesquisa sobre o assunto, uma vez que as observações do clima urbano permitem analisar desde o comportamento térmico de edificações até o clima de uma região.

2.2 Escalas do clima urbano

Monteiro (1976) propôs uma taxonomia climática baseando-se nas ordens de grandeza da geomorfologia como forma de observar a ocorrência dos fenômenos climáticos em variadas dimensões. Nessa classificação, a unidade básica de observação meteorológica é o clima urbano local, sendo os demais espaços climáticos subprodutos deste. As classes propostas por Monteiro (Op. Cit.) e os espaços urbanos de abrangência são: **Microclima**, relacionado à grande edificação, habitação ou setor de habitação; **Topoclima**, cuja classe depende do relevo local, especialmente da configuração dos terrenos e da exposição desses em relação à radiação solar e está relacionado à pequena cidade, fâcies de bairro ou subúrbio de cidade; **Mesoclima**, relacionado à cidade, bairro ou subúrbio de metrópole; **Clima local**, correspondente à área metropolitana ou metrópole; e **Clima sub-regional e regional**, referente à megalópole ou grande área metropolitana.

Com visão semelhante, Oke (2006), apresentou classes de escalas em dois níveis: espaciais (horizontal e vertical) e temporal (ano, mês etc.). Assim, o autor classificou as seguintes escalas espaciais:

- **Escalas Horizontais**

As escalas horizontais são divididas em mesoescala, escala local e microescala. A **mesoescala** abrange uma área urbana que influencia o tempo atmosférico e o clima em toda extensão da cidade, sendo esta uma área de dezenas de quilômetros. Esta escala não pode ser representada por uma única estação climatológica.

A **escala local** é a escala em que estações climatológicas padrão são projetadas para operar. Inclui características da paisagem como topografia, mas exclui os efeitos de microescala. Nas áreas urbanas, esta escala representa o clima dos bairros com tipos semelhantes de desenvolvimento urbano (cobertura de superfície, tamanho e espaçamento dos edifícios, atividade). É uma escala mais reduzida que a mesoescala.

A microescala compreende o espaço entre o solo e o nível médio das coberturas das edificações e representa a interação entre a atmosfera e os elementos urbanos. É a escala que está “preocupada com o estudo do clima próximo à superfície ou de áreas muito pequenas, com menos de 100 metros de extensão”. Dentro dessa escala, ainda podemos separar escalas mais específicas, como a escala do edifício, do pedestre, da rua, da praça, entre outras.

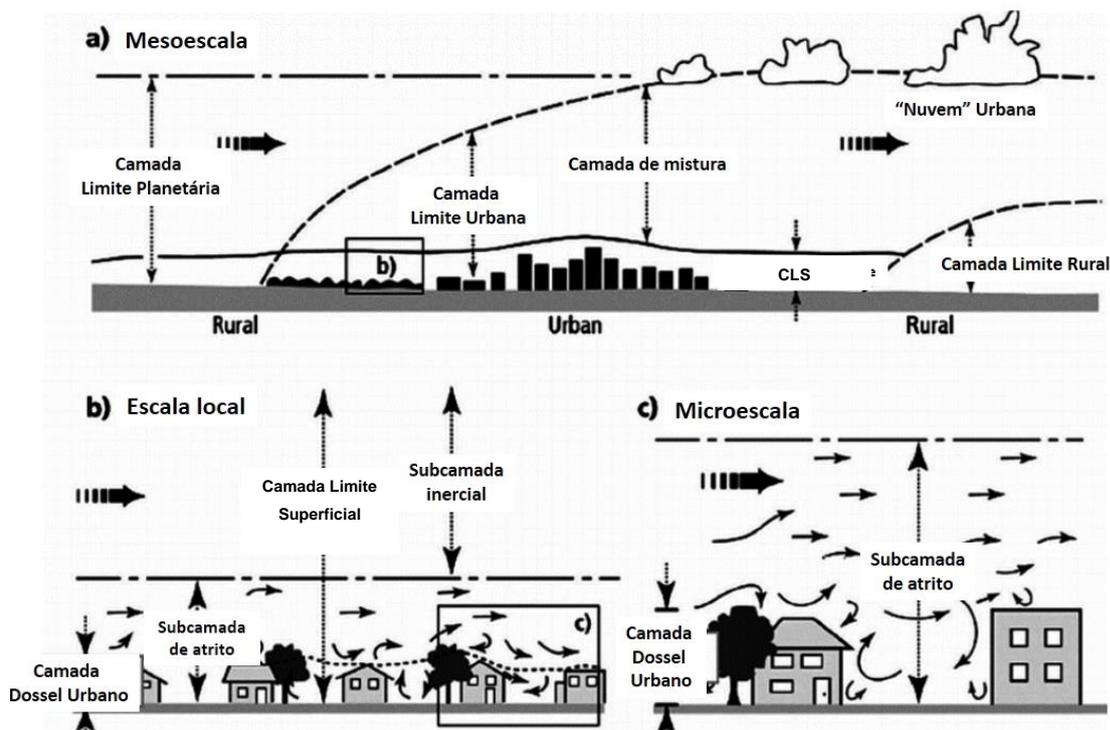
▪ **Escalas Verticais**

Oke (2003) propôs a divisão das escalas verticais em dois níveis: Camada Limite Planetária (CLP) e Camada Limite Superficial (CLS).

A **Camada Limite Planetária (CLP)** possui o primeiro nível delimitado entre a superfície terrestre até a altura da **Camada de Mistura**, determinada pelo deslocamento das massas de ar que possuem comportamento diferenciado do que ocorre mais próximo à superfície terrestre.

O segundo nível é denominado de **Camada Limite Superficial (CLS)** é a camada que sofre diretamente a influência do tipo de solo, rugosidade, pavimentação de superfície sua interferência, onde o atrito é quase inexistente. A CLP é afetada principalmente pelo calor antropogênico das construções, decréscimo do fluxo de ondas longas perdidas, alto armazenamento do calor pelos materiais de construção civil, excesso de calor sensível pela diminuição do fluxo de calor latente; e convergência do calor sensível pela redução da velocidade do vento. Já a CLS é dividida em duas subcamadas: subcamada de rugosidade ou de atrito (RSL) e subcamada inercial (ISL) (Figura 1).

Figura 1- Esquema das escalas climáticas e das camadas verticais nas áreas urbanas



Fonte: adaptado de Oke 2006

Oke (2006) também propôs uma reestruturação metodológica das pesquisas que tratam do clima urbano, com vistas a facilitar a comunicação fenomenológica e uma compreensão mais precisa dos resultados obtidos em diferentes ambientes urbanos, situados em diferentes lugares. A proposta enfatiza que a investigação a respeito dos diferentes aspectos do clima urbano deve seguir dois procedimentos distintos. No primeiro procedimento deve-se explicitar a relação dos efeitos climáticos com a topografia local, sobre a qual a malha urbana foi edificada ou na qual ela está inserida. Nesse caso, a cidade pode estar localizada no fundo de um vale, isolada sobre um planalto, confinada a uma vertente ou dispersa sobre uma grande área onde todas estas feições morfológicas anteriores ao processo de urbanização podem ser identificadas.

No segundo procedimento, considera-se desprezível a variação topográfica e busca-se explicitar a relação dos efeitos climáticos com a variabilidade espacial das coberturas existentes sobre a superfície. Nesse caso, destaca-se a caracterização dos diversos tipos morfológicos associados à ocupação urbana, variável conforme o grau

de urbanização que se estabelece. Assim, a cidade pode ser representada por um aglomerado urbano pouco distinto, em termos paisagísticos, daquela condição natural anterior ao assentamento, onde ainda prevalecem as áreas arborizadas com predominância de extensos setores de solo exposto e pouco impermeabilizado ou ainda ser representada por um aglomerado urbano densamente povoado, onde prevalece uma variabilidade espacial bastante complexa das coberturas sobre a superfície, destacando-se setores com extensas áreas impermeabilizadas e onde o processo de verticalização das edificações mostra-se de modo proeminente em meio à paisagem.

Em ambos os casos, tanto em relação à variabilidade topográfica quanto à variabilidade das coberturas sobre a superfície, acarreta-se o surgimento de uma variabilidade espacial climática. Com respeito à análise escalar, essa distribuição dos climas pode ser identificada em termos da escala local ou da topoescala. O problema, no entanto, para se explicar a gênese desses topoclimas consiste em definir em que medida os efeitos do relevo são preponderantes.

Dentre as classificações das escalas abordadas, a presente pesquisa adotou a análise do objeto de estudo considerando a escala **microclimática**, na qual foi feita pesquisa experimental com campanhas de monitoramento em pontos amostrais intravale; e a escala **topoclimática**, visto que a abordagem desta dissertação contempla a análise do comportamento térmico nas áreas limdeiras ao recorte espacial em estudo no Vale do Reginaldo, por meio de simulação computacional.

2.3 Influência da topografia no clima urbano

De acordo com Monteiro (1990), qualquer análise introdutória para o estudo de clima urbano requer uma apurada observação tanto da tipologia do sítio como dos modelos de morfologia urbana e das variadas combinações que se podem configurar; além da ordem da grandeza observável entre o “porte” do sítio e o da cidade.

No ramo das ciências da terra, a topografia é definida como resultado de processos geológicos e orgânicos. Esses processos interagem nas condições atmosféricas locais e são capazes de introduzir variações no clima, em escala próxima ao solo. Dessa forma, as características peculiares do lugar acidentado

Estudos climáticos em vales urbanos:

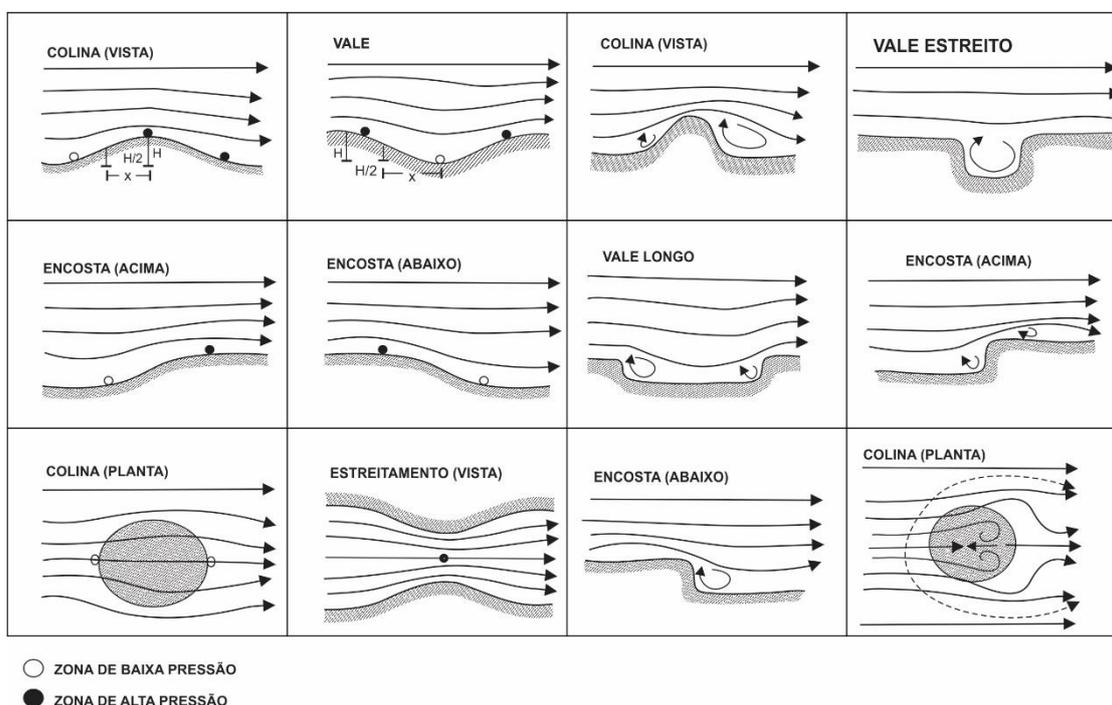
Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

geograficamente, como a orientação e o grau de declividade, influenciam nos aportes de radiação, assim como na intensidade, direção e conteúdo dos fluxos de ar e do transporte do calor atmosférico.

Em uma superfície terrestre que apresenta ondulações, os fluxos de ar podem ser desviados ou canalizados. Assim, quando uma massa de ar é descendente dificilmente ocorrerão precipitações. Dessa forma, as características pluviométricas variam muito entre localidades situadas a barlavento ou sotavento das montanhas (ROMERO, 2000).

Um relevo acidentado pode, também, atuar como barreira à ventilação modificando, muitas vezes, as condições de umidade e de temperatura do ar em escala regional (BARBIRATO *et al.*,2007) (Figura 2).

Figura 2 - Efeitos do relevo na incidência dos ventos predominantes a partir de diferentes conformações de relevo



Fonte: Adaptado de Oke (1999 p. 185)

Dentre os vários aspectos existentes na relação da topografia nos efeitos do clima, esta pesquisa dará destaque à topografia dos vales. É especificamente na região de fundo de vale onde os cursos d'água urbanos normalmente se localizam,

Estudos climáticos em vales urbanos:Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

favorecendo a distribuição da ventilação natural dos espaços urbanos por concentrarem as massas de ar predominantes e criarem zonas de alta pressão mais úmidas e possivelmente mais vegetadas nas suas redondezas (MASIERO, 2014).

Quando vegetados, os fundos de vale apresentam conformação de microclimas mais úmidos e com menor temperatura do ar, mesmo em áreas urbanas. A massa de ar fresco e úmido nos fundos de vale é conduzida ao longo de seu curso pela ação dos ventos, atingindo as ocupações lindeiras às suas margens, caracterizando o vale como um aporte de ar fresco para a cidade (DACANAL *et al.*, 2008). Além disso, as áreas de fundo de vale possuem um efeito de amenização do clima e podem contribuir para atenuar graves problemas causados pela urbanização (FONTES, 1998).

Cabe destacar que a razão entre a profundidade do vale (h) e sua largura (l) altera seu desempenho térmico, devido ao aumento ou diminuição do sombreamento e da maior capacidade de condução dos ventos pelo vale. Quanto maior a razão h/l , maior o sombreamento, menor a temperatura do ar e maior o potencial de canalização dos ventos no vale (JOHANSSON, 2005). Fenômeno semelhante ocorre nas áreas construídas onde predominam as edificações de alto gabarito ao longo das vias, conforme explica Johansson (*op. Cit.*). Assim, os vales profundos e vegetados têm maior atividade térmica na conformação de microclimas e influência nas áreas lindeiras.

Pesquisas que abordem a interação entre **topografia** e **clima**, principalmente nas regiões que compreendem os fundos de vale, ainda são incipientes na literatura. Entre os poucos trabalhos realizados com essa temática, pode-se destacar a pesquisa realizada por Dacanal *et al.* (2008), realizada em fundos de vales na região de Campinas para monitoramento do comportamento térmico em ambiente urbano, a qual mostrou que os fundos de vale em áreas urbanas interferem no clima e, quando vegetados, proporcionam a formação de microclima mais úmido e com temperaturas mais amenas. Porém, quando os fundos de vale possuem cursos d'água canalizados, supressão da vegetação e margens ocupadas com grande adensamento, os vales perdem a capacidade de favorecer a diminuição da temperatura do ar e à condução do ar fresco ao longo do seu eixo.

Estudo realizado por Rocha *et al.* (2011), relacionou a vegetação e a permeabilidade do solo com o ambiente térmico criado ao longo de avenidas em fundo de vale para alguns pontos da cidade de São José do Rio Preto- SP. O resultado da coleta de dados revelou diferenças na temperatura do ar entre os pontos amostrais da pesquisa. Além disso, verificou-se uma influência direta da presença de vegetação e permeabilidade do solo na diminuição da temperatura do ar noturna e minimização das ilhas de calor na avenida mais arborizada e com mais áreas livres dos pontos amostrais do estudo.

Quanto à interação entre topografia e ventilação, Maia (2016) enalteceu a importância da rugosidade da cidade em associação ao relevo para o escoamento dos ventos na cidade de Maceió. O estudo executado através do modelo computacional de microescala WAsP, verificou que em algumas áreas que a topografia provocou aceleração na velocidade do vento, havendo também áreas de estagnação do vento na divisa entre a parte baixa da cidade, as planícies litorâneas, e a parte alta da região do Tabuleiro. Também foi observada estagnação de ventos nas regiões de grotas que entremeiam o Tabuleiro.

A partir das informações levantadas e pesquisas referenciadas, percebeu-se a real importância de se analisar a ocupação em áreas de vale sob o viés da climatologia como elemento importante na orientação de possíveis intervenções urbanas no Vale do Reginaldo.

2.4 A simulação computacional como auxílio aos estudos do clima urbano

Na busca por um melhor entendimento das interações entre clima e cidade, pesquisadores desenvolveram modelos que encontram suas bases em fatores meteorológicos ou em características genéricas da estrutura urbana para simular a dinâmica da atmosfera (KARATASOU *et al.*, 2006).

Um dos modelos computacionais atualmente aplicados para o entendimento do clima urbano é o *software* ENVI-met; um freeware desenvolvido na Alemanha por Michael Bruse, do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz – Alemanha, que oferece várias possibilidades de aplicação e associações. O ENVI-met (BRUSE, 2007) é um modelo tri-dimensional de clima urbano, capaz de simular o fluxo de ar entre a

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

estrutura urbana e o ambiente, os processos de troca de calor e vapor das superfícies do solo, das construções e das vegetações, turbulência, dispersão das partículas e estimativas de conforto térmico a partir de descrição pormenorizada e análise dos processos subjacentes ao clima.

O programa computacional é de livre acesso¹. A versão atualmente disponível é a 4.2Summer17 lançada em julho de 2017², porém o programa encontra-se em constante desenvolvimento e vem sendo usado em diversas pesquisas como auxílio ao estudo da Climatologia Urbana.

Diferente de outros programas de simulações computacionais em clima urbano, o ENVI-met considera as leis fundamentais da termodinâmica, no qual o modelo possui parâmetros da mecânica dos fluidos, ocorrência de turbulências e escoamento, com processos termodinâmicos que ocorrem na superfície dos solos, nas plantas das edificações, para prever as condições térmicas e fluxos de ar entre as edificações e o meio urbano (BRUSE *et al.*, 2010).

O modelo permite avaliar o microclima de uma determinada área sob influência das condições climáticas, possibilitando também avaliar o comportamento de materiais existentes em edifícios e ruas, analisar a dispersão dos poluentes, a interação entre o microclima e o desenho urbano e determinar o fluxo de calor entre os materiais.

Na versão 4.2 do programa, a modelagem é construída em um formato tridimensional de visualização (Figura 3), com uma maior facilidade de desenho e também permitindo ao usuário especificar as propriedades físicas em cada elemento individualmente. Assim, é possível definir as aberturas em fachadas de edifícios e especificar as características dos materiais de caixilharia, vidro e alvenaria. Além

¹ Disponível em <http://www.envi-met.com/>.

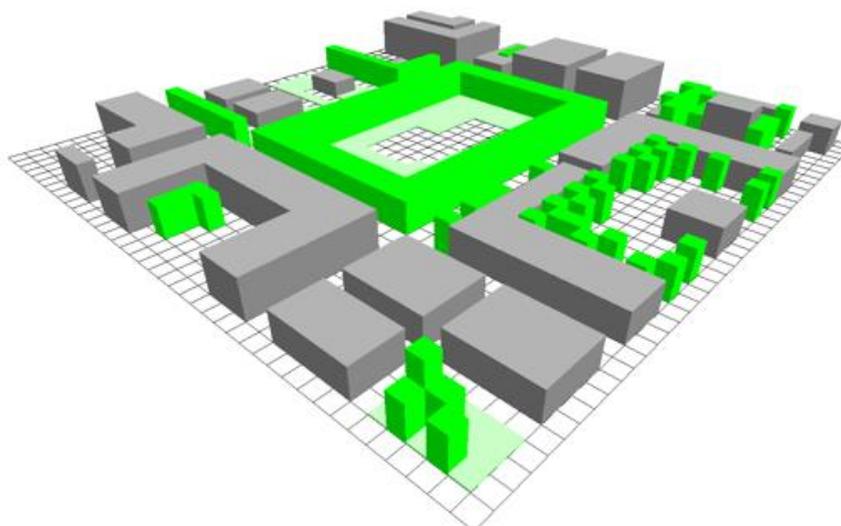
² As simulações computacionais apresentadas nesta pesquisa foram realizadas com esta versão do programa.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

disso, na nova versão do programa há a possibilidade de modelagem do terreno, com inserção da topografia local.

Figura 3 - Visualização 3D do ENVI-met



Fonte: Envi-met, 2016

Aplicações destes modelos de simulação computacional podem ser verificadas em vários estudos. Um dos estudos pioneiros foi realizado por Huttner *et al.* (2008), que utilizou o programa Envi-met para simular os efeitos do aquecimento global sobre a onda de calor que atingiu cidades da Europa Central, avaliando possíveis propostas para planejamento urbano dessas cidades.

No Brasil, pode-se citar os trabalhos realizados por Silva (2013), que investigou qual o grau de fechamento ou abertura dos espaços urbanos, assim como a melhor relação entre altura e distância entre edifícios e o seu impacto no conforto térmico urbano microclimático. Este grau de fechamento e abertura é controlado por diferentes alturas (*height*) e afastamentos (*wide*) das edificações que conformam uma fração do cânion urbano, chamado nesse trabalho de cavidade urbana. O método de avaliação foi apoiado por simulações computacionais com o programa Envi-met, no qual se utilizou o índice do voto médio predito³ – PMV de conforto para uma análise

³ PMV (*Predicted Mean Vote*) consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. A escala do voto médio é simétrica, representando o valor '0' (zero) como neutralidade

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

comparativa entre cenários hipotéticos de cavidades urbanas para o clima da cidade de Brasília. As conclusões definiram para o clima de Brasília três categorias de cavidades urbanas (CVU), segundo o seu valor de $W(\text{afastamento})/h(\text{altura})$ e conforto térmico gerado.

Quanto ao uso de simulação computacional usando o ENVI-met para previsão dos efeitos térmicos e dinâmicos no ambiente urbano, tem-se como referência o trabalho desenvolvido por Souza (2014), que avaliou o microclima de três porções localizadas na Região da Pampulha em Belo Horizonte, relacionando a presença da vegetação aos fatores climáticos de temperatura do ar, umidade relativa e específica do ar e temperatura radiante e de superfície. Os resultados alcançados demonstraram que a escolha do material de revestimento e a presença de vegetação são fundamentais na caracterização da área urbana e as características do ambiente em que está inserido podem ser afetadas com modificações nesses elementos.

No contexto de Maceió, Nogueira (2011), demonstrou em estudo feito em um loteamento horizontal no bairro da Serraria, indícios da influência da configuração urbana na qualidade climática do loteamento tanto para situação estudada quanto para prognósticos futuros relacionados ao uso e ocupação do solo.

Em pesquisa realizada por Cruz e Barbosa (2015), foi analisado de forma comparativa os efeitos microclimáticos causados pela atuação dos ventos alísios de direção sudeste e de direção nordeste no interior da malha urbana de um bairro com características de adensamento predominantemente vertical do uso e ocupação do solo, em Maceió, por meio da ferramenta ENVI-met. O resultado da pesquisa constatou que o posicionamento da quadra funciona como uma espécie de barreira construtiva para a penetração dos ventos em determinado período, gerando zonas de desconforto térmico, que não permitem a fluidez do ar para o interior da quadra.

A partir dos estudos apresentados, verifica-se que é possível a aplicar a simulação computacional do clima urbano através do programa computacional Envi-

térmica ou conforto térmico, e variando de '1' (um) a '3' (três), sendo os valores positivos correspondentes às sensações de calor e os negativos às sensações de frio. (FANGER, 1970).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

met, considerando dados de entrada relativamente acessíveis e chegando-se a resultados considerados satisfatórios por muitos pesquisadores anteriormente referenciados. Além disso, as características apresentadas neste capítulo apontam o programa como escolha favorável para alcançar os objetivos principais da presente pesquisa, pois a versão atualmente disponível do programa permite avaliar os efeitos da topografia no clima a partir da inserção de dados topográficos da área estudada.

O capítulo seguinte apresenta a área objeto de estudo da presente pesquisa na qual foram realizadas campanhas de monitoramento de dados climáticos em pontos amostrais e simulação computacional com uso do *software* ENVI-Met para análise do comportamento térmico a partir de diferentes padrões de ocupação do solo em área de vale.

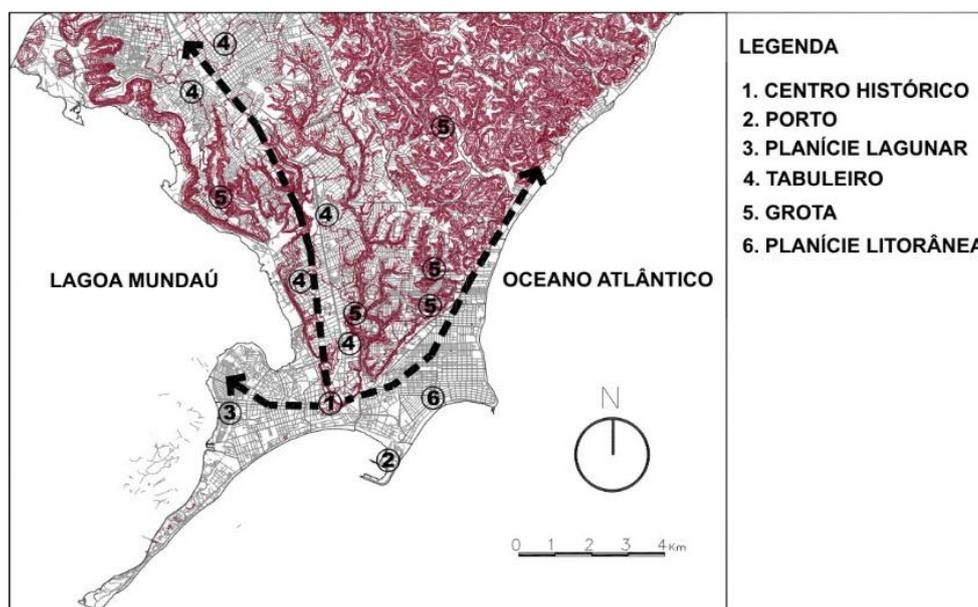
3 | O VALE DO REGINALDO NA CIDADE DE MACEIÓ

Para entender os caminhos trilhados na pesquisa, torna-se preciso conhecer o objeto de estudo e compreender o processo de inserção da problemática abordada no contexto da cidade de Maceió. Para tanto, foi realizada pesquisa bibliográfica em trabalhos acadêmicos de diferentes áreas do conhecimento que tiveram como objeto de estudo o Vale do Reginaldo. O presente capítulo introduz a área a partir da caracterização físico-geográfica da cidade de Maceió, abordando o contexto climático da cidade e o processo de ocupação do território, para então adentrar às questões relativas à área em estudo: o Vale do Reginaldo.

3.1 Caracterização físico-geográfica de Maceió

A cidade de Maceió apresenta elementos geográficos significativos na paisagem urbana, composta por grotas, encostas, tabuleiro, lagunas, entre outros. Para compreender melhor essa peculiaridade, é preciso, primeiramente, identificar os condicionantes geomorfológicos que contribuíram na formação da cidade. De modo sintético, o relevo da cidade é composto por dois planos: a parte baixa, correspondendo às planícies litorânea e lagunar (faixas costeiras), e a parte alta, formada por baixos planaltos sedimentares, do grupo “barreiras”, localmente denominados “tabuleiros”, com solo permeável e altitude progredindo de 40 metros junto das falésias do litoral (Sudeste) a 120 metros no interior (Noroeste) (Figura 4) (FARIA e CAVALCANTI, 2009).

Figura 4 - Mapa de relevo, malha viária e vetores de crescimento da região de Maceió



Fonte: Prefeitura de Maceió. Base cartográfica digital, 2000 – Mapa de declividades. *In:* Cavalcanti e Faria, 2009

Na cidade, os tabuleiros conformam uma cunha com seu ápice voltado para o Sul, de modo que a Leste se tem o Oceano e, a Oeste, a laguna Mundaú. Os terrenos do planalto são dessecados de duas maneiras: a) por depressões endorréicas (com alagamentos temporários); e b) por rios e riachos cujas bacias são escavadas em ravinas estreitas de encostas íngremes (grotas), de difícil acesso, desaguando a maior parte no Oceano e uma menor parte na laguna Mundaú. Desse modo, as “grotas” subdividem os tabuleiros em diversas porções sobre as quais a urbanização “projetada” se desenvolve (parcelamentos, conjuntos e condomínios), assim como as grotas vão abrigo a urbanização “não-projetada”, correspondendo às favelas e aos loteamentos clandestinos. As bordas externas dos tabuleiros, de onde fazem parte as paisagens lagunar e marítima, descem em falésias íngremes até o plano das planícies costeiras (FARIA e CAVALCANTI, *op. Cit.*).

Estudos climáticos em vales urbanos:Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

As grotas e as encostas⁴ são elementos marcantes nas características geomorfológicas de Maceió, resultantes das particularidades do relevo da cidade. As encostas são formadas na junção da planície com o tabuleiro e as grotas correspondem aos vales dos rios recortados no tabuleiro que correm em direção ao Oceano Atlântico ou à Laguna Mundaú (COSTA e RAMOS, 2004). A paisagem mais representativa dessa configuração consiste naquela conhecida como Vale do Reginaldo.

É importante destacar que o Vale do Reginaldo é composto pela bacia hidrográfica do riacho Reginaldo e a comunidade do Vale do Reginaldo, comumente lembrada como região de assentamentos precários invadidos ao longo dos anos e socialmente marginalizada. A comunidade está presente em toda porção da bacia hidrográfica, e a área mais ocupada do Vale está localizada entre o trecho médio e final do riacho Reginaldo. A bacia do riacho Reginaldo está completamente inserida na área urbana de Maceió, cortando a cidade de Norte a Sul, desde a região dos tabuleiros indo até a planície costeira e tem aproximadamente 1.040 hectares. O Vale do Reginaldo situa-se entre as Bacias da Laguna Mundaú a Oeste e do rio Jacarecica a Leste, ambas localizadas no Município de Maceió (ARAÚJO, 2005). Limita-se; ao Norte e a Leste com a Av. Menino Marcelo, seguindo no eixo sudeste até o bairro Cruz das Almas; a Oeste, com a Avenida Fernandes Lima; e a Sul, com a praia da Avenida da Paz e Oceano Atlântico (Figura 5).

⁴Encosta é o mesmo que vertente, é um elemento da superfície terrestre inclinado em relação à horizontal. São locais onde ocorrem o intemperismo, o transporte e deposição de materiais.

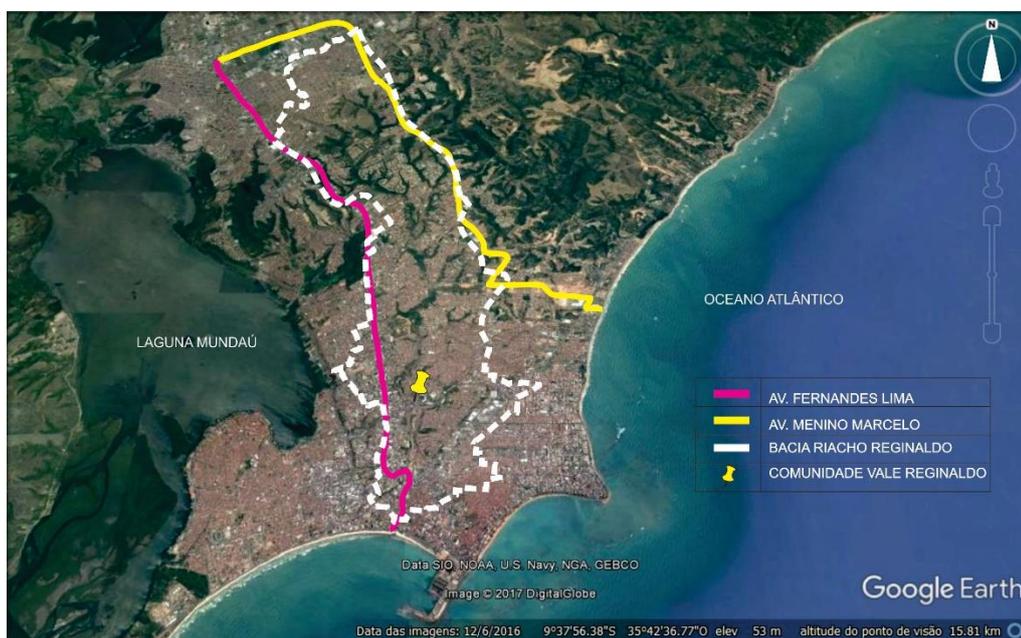
Vale é uma superfície côncava, formada por duas vertentes. O vale pode ser “aberto” se existe uma superfície plana entre as vertentes, ou “fechado” em caso contrário.

Grota é um vale apertado, profundo e pouco extenso (BRASIL, 1997).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 5 - Localização do complexo Vale do Reginaldo entre as principais vias de Maceió



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2016

O Vale do Reginaldo possui características particulares em relação à sua topografia. Trata-se de uma região com talwegues bem definidos, que se apresentam “encravados” entre encostas bastante íngremes, que definem a sua seção principal (NEVES *et al*, 2007). Estes aspectos são capazes de influenciar na conformação do clima, podendo afetar na qualidade térmica dos espaços urbanos.

Foi possível visualizar alguns aspectos que caracterizam a região por meio da elaboração do Modelo Numérico do Terreno (MNT)⁵ (Figura 6), construído a partir da base cartográfica de Maceió, na escala 1:2000 (HOLZ, 2010). Entre esses aspectos podemos destacar as áreas planas de tabuleiro, a planície costeira e a presença de um vale bem definido ao longo de todos os cursos d’água da bacia hidrográfica do

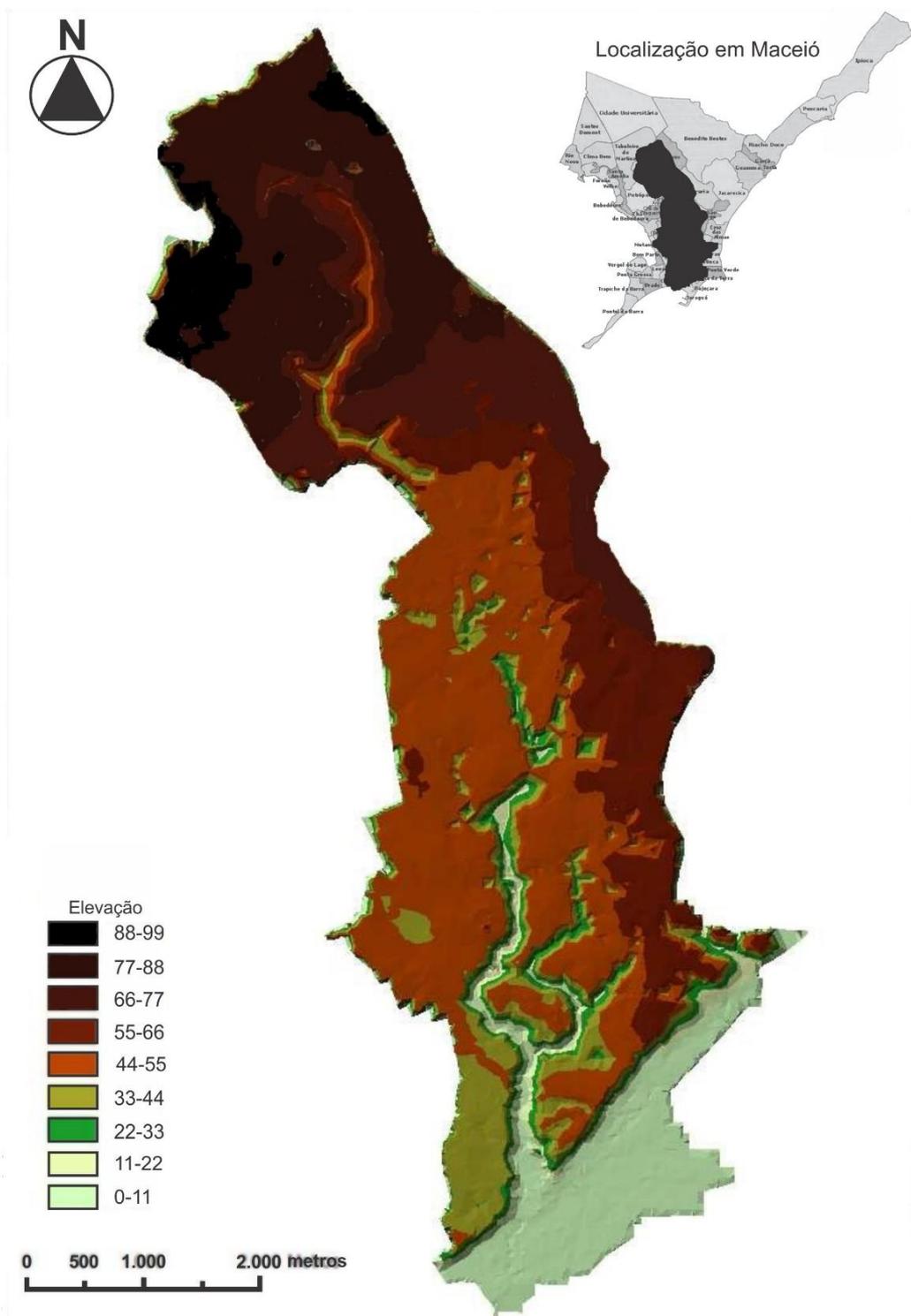
⁵Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informação meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos (CÂMARA *et al*, 2001).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Riacho Reginaldo e seus afluentes que segue toda a extensão do Vale (HOLZ, *op. Cit.*).

Figura 6 - Modelo numérico do terreno da Bacia do Riacho Reginaldo



Fonte: Adaptado de Holz, 2010

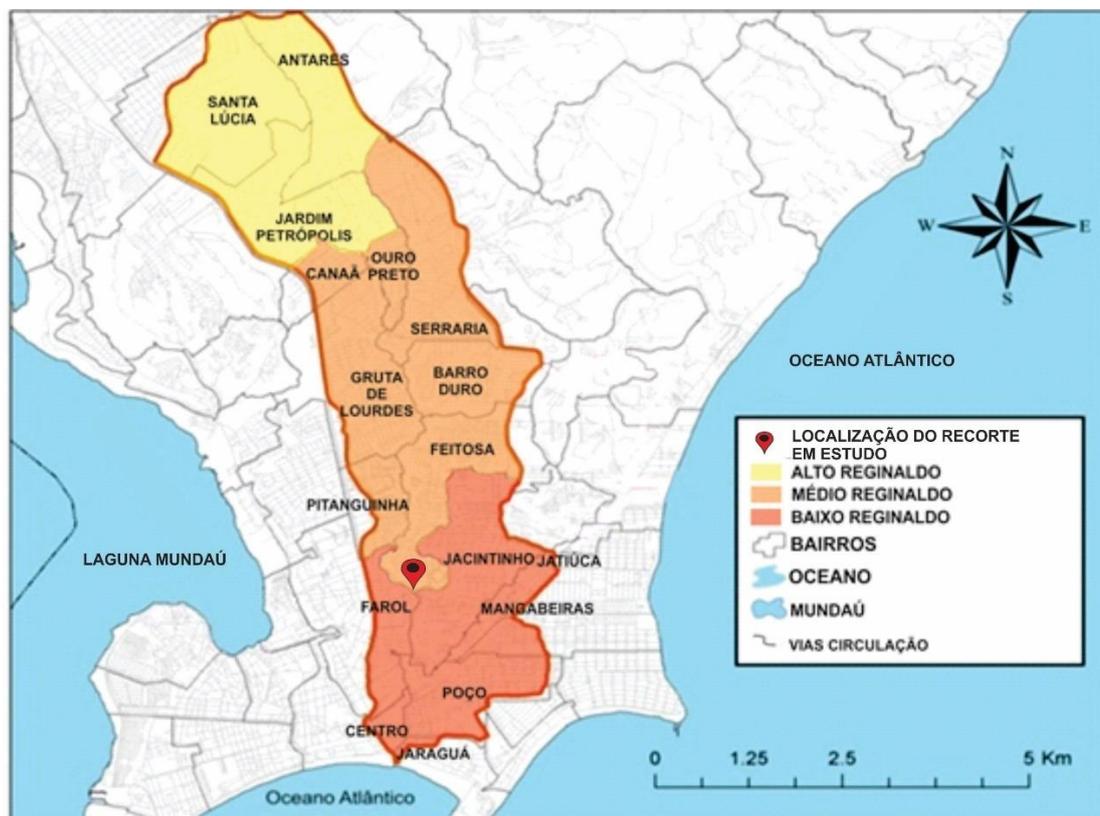
Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

A geomorfologia da área da Bacia do Reginaldo é primordialmente composta pelos sedimentos terciários da Formação Barreiras. Esta formação que compõe o tabuleiro da região foi escavada por séculos de drenagem natural feita pelas águas acumuladas em seus baixios que, carregando sedimentos pouco a pouco, originaram a Depressão do Reginaldo (vales da Bacia que conhecemos atualmente). Além disso, formação da Bacia do Reginaldo é composta por arenito com matriz argilosa, pouco consolidado e intercalações subordinadas de argila e siltitos argilosos [...] (TC/BR, 1995:20).

A região onde se localiza a Bacia do Vale do Reginaldo pode ser caracterizada topograficamente em três partes: Alto, Médio e Baixo Reginaldo. Segundo Coelho (2008), em consulta a Base cartográfica de Maceió, tem-se que: os bairros de Antares, Santa Lúcia e Jardim Petrópolis estão locados no Alto Vale; Canaã e Ouro Preto como zona de transição; Gruta de Lourdes, Barro Duro locados no Médio Vale; Pitanguinha e Feitosa como zona de transição; e Farol, Jacintinho, Mangabeiras, Jatiúca, Poço, Centro e Jaraguá como Baixo Vale. Dessa forma essa bacia hidrográfica urbana drena todos estes 16 bairros citados, como visto na figura 7.

Figura 7 - Localização geográfica do Complexo Vale do Reginaldo e divisões em relação a topografia local



Fonte: Adaptado de RODRIGUES *et al*, 2014

Situado na região correspondente ao Baixo Reginaldo, o recorte urbano delimitado como objeto de estudo para esta pesquisa, foi escolhido por ser uma das poucas áreas em todo Vale do Reginaldo que apresenta um representante comunitário, fato que facilitou o acesso à área. Além disso, a escolha do local considerou fatores importantes que influenciam no microclima urbano da região, como: localização intravale (encosta e fundo de vale), densidade construída e cobertura do solo.

Cabe salientar também que a região de estudo escolhida no vale é marcada pela falta de segurança e violência associada ao tráfico de drogas. Embora a questão de segurança tenha sido vista inicialmente como impasse à realização da pesquisa, este foi sanado por meio de visitas ao local com o acompanhamento do líder comunitário que intermediou o contato entre os pesquisadores e a comunidade em questão acerca do conteúdo da pesquisa como forma de auxílio à preservação dos equipamentos durante o período de monitoramento de dados no local.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

O recorte apresenta como características principais a alta taxa de densidade construída na região intravale, pouca área vegetada, e áreas de borda significativamente adensada por edificações de diferentes alturas que se concentram próximas à Bacia do riacho (figura 8).

Figura 8 - Imagens da área de estudo mostrando características de ocupação e revestimento do solo: (a) área de encosta com densidade construída e área de borda com edificações de diferentes alturas; (B) entorno de um dos pontos de monitoramento de dados mostrando a ocupação e revestimento de solo, e pouca vegetação e; (c) localização das imagens (a) e (b) na imagem aérea



Fonte: (a) e (b) Autoria própria, e (c) adaptado de imagem do Google Earth, 2017

Além das funções naturais da Bacia e do Vale do Reginaldo, importantes à cidade, temos na sua conformação natural, no seu relevo, e no uso atual do solo da

Estudos climáticos em vales urbanos:

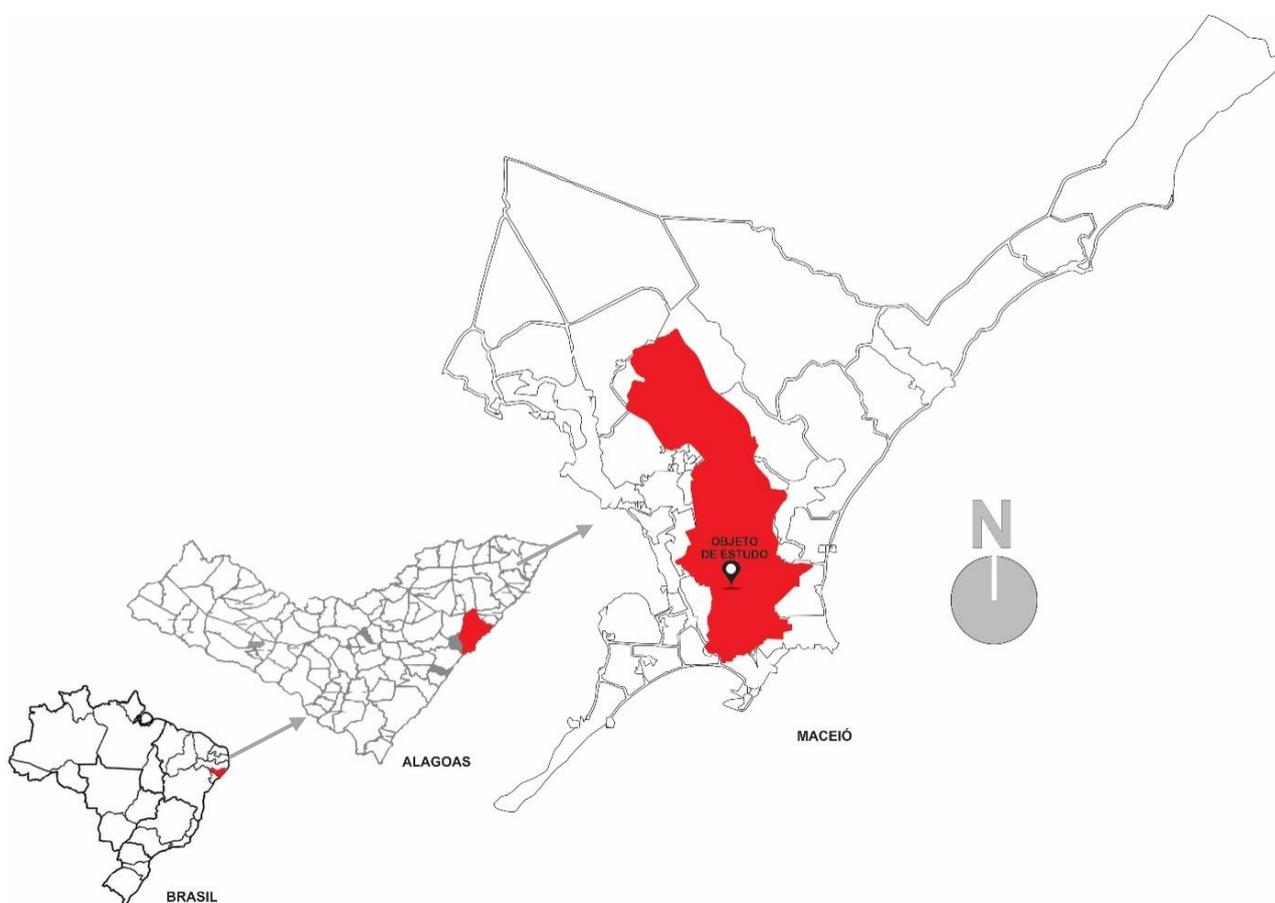
Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

região, elementos que possuem grande influência para as questões de estudos do clima em Maceió.

3.2 O clima na cidade de Maceió

A cidade de Maceió, a capital do Estado de Alagoas, está localizada na mesorregião Leste do Estado (Figura 9), na latitude 9°40' ao Sul e longitude 35°42' Oeste. Possui clima caracterizado como quente e úmido com radiação solar intensa, apresentando pequenas variações de temperatura diárias, sazonais e anuais.

Figura 9 - Localização de Maceió e objeto de estudo em território nacional



Fonte: Adaptação de imagens retiradas do Google Imagens, 2017

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

De acordo com as Normais Climatológicas⁶, organizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (BRASIL, 1992) (Quadro 1), Maceió apresenta basicamente duas estações: uma caracterizada por altas temperaturas e pouca pluviosidade com ocorrência de chuvas passageiras (outubro a janeiro), e outra bastante chuvosa, que consiste em um período de intensa pluviosidade e temperaturas mais baixas em relação à estação anterior (abril a julho).

Quadro 1 - Comportamento médio dos principais parâmetros meteorológicos em Maceió-AL

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temperatura Média (°C)	26,2	26,3	25,3	25,9	25,1	24,3	23,7	23,5	23,9	24,1	24,4	24,8	24,8
Temperatura Máxima (°C)	30,2	30,4	30,2	29,6	28,5	27,6	27,0	27,1	27,8	29,0	29,9	30,0	28,9
Temperatura Mínima (°C)	22,4	22,6	22,7	22,5	22,0	21,3	20,5	20,2	20,7	21,2	21,6	22,0	21,6
Temperatura Máxima Absoluta (°C)	38,0 13/82	34,4 04/89	35,0 14/82	33,4 01/84	32,6 04/87	33,2 - xx/77	31,8 31/87	30,7 10/87	32,0 02/83	34,1 30/74	34,1	34,2 31/88	38,0 - 13/01/82
Temperatura Mínima Absoluta (°C)	18,8 13/84	19,1 25/76	17,4 24/79	17,8 29/82	18,0 28/81	11,3 16/80	16,0 15/76	15,9 17/76	16,0 04/81	17,4 03/74	18,2 22/78	17,9 01/74	11,3 - 16/06/80
Precipitação Total (mm)	74,8	111,0	191,0	312,6	340,7	298,3	325,1	179,0	148,4	72,7	51,9	62,1	2167,7
Precipitação – Altura Máx em 24h (mm)	100,1 31/66	152,2 20/85	200,5 03/79	407,6 28/79	149,7 02/77	137,4 27/77	185,6 12/89	91,3 26/68	109,3 29/78	90,3 16/77	140,4 22/86	89,2 21/89	407,6 - 28/04/79
Umidade Relativa (%)	75,4	76,6	78,3	81,5	82,6	79,6	82,1	79,5	77,2	76,0	74,7	75,8	78,3
Insolação total (horas e décimos)	254,2	225,7	203,0	179,4	191,8	178,6	176,0	205,2	204,6	252,4	274,7	264,2	2609,7
Nebulosidade (0-10)	5,9	6,0	6,3	6,8	6,8	6,8	6,8	6,3	6,2	5,5	5,5	5,6	6,2

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, período de 1961-1990

A cidade possui temperatura média anual de 24,8°C e variação anual de 2,8°C entre os valores médios mensais de temperaturas médias. Apesar das médias

⁶ Normal climatológica é o valor padrão reconhecido de elemento meteorológico, considerando a média de sua ocorrência em um determinado local, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). "Normal" significa a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Os apuramentos estatísticos referentes a estes intervalos são designados Normais Climatológicas e referem-se a períodos padronizados de 30 (trinta) anos: 1901-1930, 1931-1960 e 1961-1990. Os parâmetros geralmente incluídos nas Normais, são temperaturas, pressão atmosférica, precipitação, ventos quantidade de nuvens, umidade relativa do ar, etc. (INMET, 2017).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

razoáveis de temperatura, esta pode apresentar valores de temperatura absoluta em torno dos 38°C nos meses mais quentes (BRASIL, 1992).

A região apresenta um clima de temperaturas elevadas, com pequena amplitude térmica e temperaturas médias anuais sempre superiores a 20°C. As menores temperaturas são observadas no segundo semestre do ano, principalmente nos meses de julho a agosto, enquanto as temperaturas mais elevadas acontecem no início do ano, entre janeiro e março. Por ser uma cidade litorânea e estar sob a influência de massas d'água (Laguna Mundaú e Oceano Atlântico), Maceió apresenta para a umidade relativa do ar valores médios mensais variando entre 74,7% e 82,6%, com a média anual de 78,3%. Os menores registros de umidade relativa ocorrem nos meses de novembro a janeiro, quando os valores oscilam em torno dos 75%, enquanto as maiores umidades relativas são observadas nos meses de abril, maio e julho, superiores a 80%.

A condição típica do céu é parcialmente nublado, com raras ocorrências de céu claro. A média mensal da nebulosidade varia sazonalmente, tendo seus valores menores nos meses de outubro a janeiro, sempre inferiores a 6,0 décimos e maiores nos meses de abril a julho com 6,8 décimos, mas sempre apresentando um grau de cobertura do céu superior a 50% coincidindo com o mesmo período da estação chuvosa. O mês de maior insolação é o mês de novembro e o de menor insolação é o mês de julho.

A média pluviométrica anual da cidade é de 2.167,70 mm, porém, possui grande variação anual quanto à distribuição de chuvas (BRASIL, 1992), e aproximadamente 60% da precipitação de todo o ano acaba se concentrando entre os meses de abril e julho. A irregularidade de distribuição de chuvas em Maceió influencia na estabilidade das encostas, que se tornam desprotegidas com a retirada da vegetação, constituindo áreas de risco para a população, como é o caso do Vale do Reginaldo. Além disso, os meses de maior ocorrência de chuva, constituem um período de relativa “cheia” para o riacho, tendo efeitos principalmente na planície litorânea de Maceió, onde o riacho passa a ser popularmente conhecido como “Riacho Salgadinho”, local onde deságua todos os dejetos domésticos depositados ao longo do curso do riacho no mar (Figura 10).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 10 - Riacho Reginaldo, popularmente conhecido como riacho Salgadinho, onde deságua dejetos domésticos depositado ao longo do curso do riacho no mar



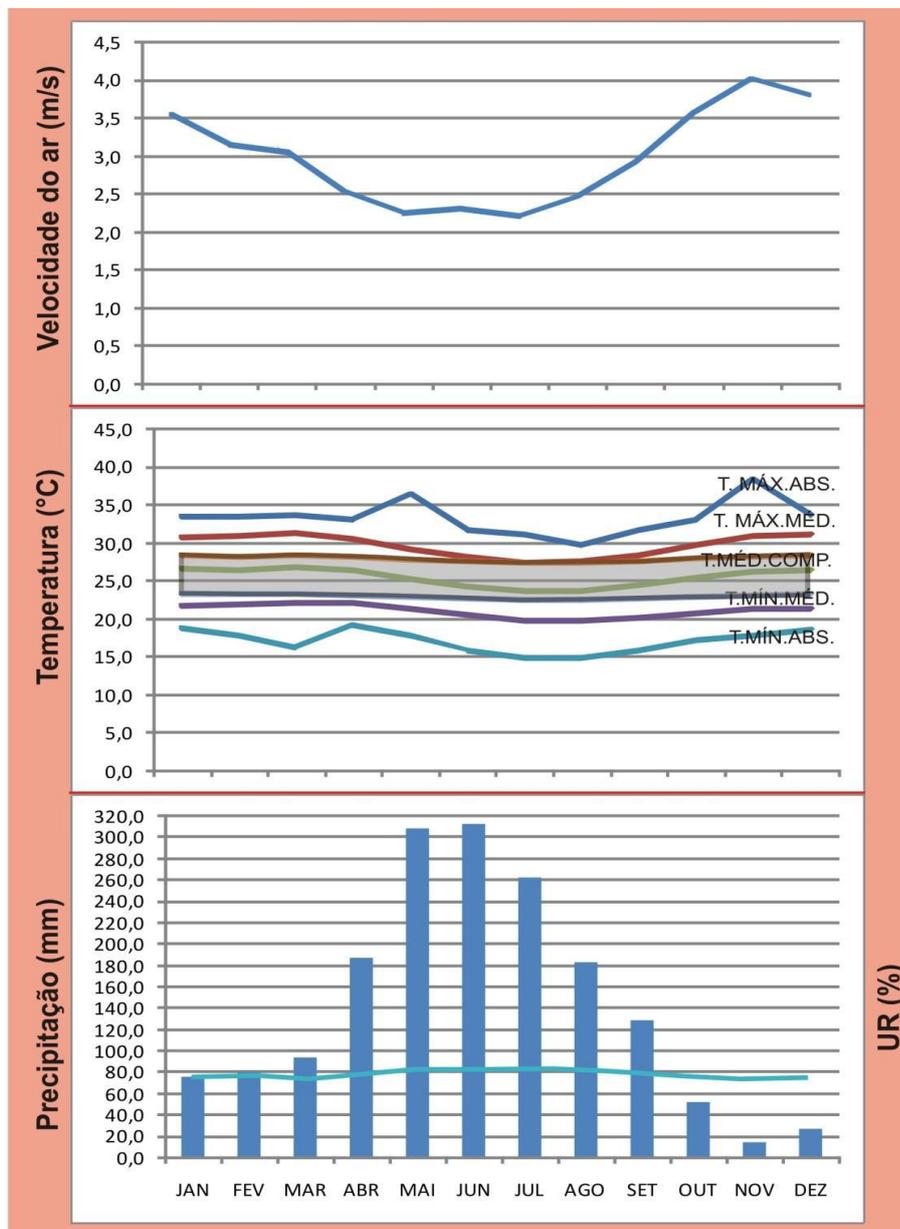
Fonte: Globalgarbage.org.br, 2017

Na figura 11 tem-se o gráfico do clima para a cidade de Maceió contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) da temperatura do ar (com intervalo de conforto térmico de acordo com a temperatura neutra de Auliciems, 1982), umidade relativa do ar e precipitação, publicado por Passos (2009).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 11- Gráfico de clima para a cidade de Maceió



Fonte: PASSOS, 2009

O gráfico apresenta velocidade do ar oscilando entre 2 e 4 m/s, temperatura média entre 20°C e valores próximos a 30°C. Os maiores índices de precipitação pluviométrica se apresentam nos meses de abril a setembro, e os menores estão nos meses de outubro a março, com umidade relativa variando de 70% a pouco mais de 80% ao longo do ano.

Comparando-se o gráfico de Passos ao quadro das Normais climatológicas, observa-se que há similaridade no comportamento anual do parâmetro de

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

temperatura e umidade relativa do ar. Em contrapartida, a variável precipitação, se apresenta máxima nos meses de maio e junho, onde nas Normais, as máximas ocorrem em maio e julho.

Maceió está inserida na Costa Leste do Nordeste brasileiro, também conhecida como Zona da Mata, que se estende do Rio Grande do Norte até o sul da Bahia. Com relação aos ventos dominantes nesta região, sabe-se que o ciclo da pressão atmosférica tem relação direta com sua velocidade e direção. São identificados para a região de Maceió cinco tipos de ventos atuantes: (a) nordeste, (b) leste, (c) sudeste, (d) brisa marítima e (e) brisa terrestre ou terral (BERNARDO, 1999).

a. Ventos de Nordeste: atuam de outubro-novembro a janeiro-fevereiro, período onde ocorre o enfraquecimento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e caracteriza-se pela intensidade do fluxo, que é maior durante o dia.

b. Ventos de Leste: antecipam os ventos de Sudeste e atuam de acordo com o recuo do Equador térmico (ZCIT), proveniente do fortalecimento da ASAS.

c. Ventos de Sudeste: são provenientes dos ventos alísios. Atua de abril a agosto-setembro e caracteriza-se por mudanças súbitas de golfadas de ar, o que indica a emissão intermitente de “restos” dos sistemas frontais atuantes nas latitudes médias do Brasil, denominadas Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POA's).

d. Brisa marítima: ventos de menor escala provenientes das diferenças locais de pressão estabelecidas pelo gradiente térmico entre o oceano e o continente. Sopra durante o dia do mar (maior pressão – menor temperatura) para o continente (menor pressão – maior temperatura). Está frequentemente em fase com os alísios.

e. Brisa terrestre ou terral: sopra durante a madrugada do continente (maior pressão – menor temperatura) para o mar (menor pressão – maior temperatura). São mais perceptíveis durante a primavera – verão, quando os alísios de sudeste estão mais fracos devido ao enfraquecimento da ASAS.

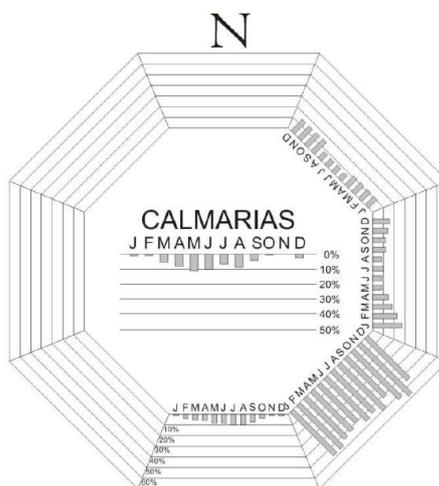
Segundo Barbirato (1998), Maceió está sob influência alternada dos ventos alísios de Sudeste, mais frequente durante todo o ano, de velocidade fraca a moderada, e os ventos de retorno do Nordeste nos meses mais quentes (janeiro,

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

fevereiro e março). O valor médio mensal da velocidade do vento é de 2,8 m/s, podendo chegar a valores absolutos mais intensos de 10 m/s na direção nordeste (Figura 12).

Figura 12 - Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Maceió



Fonte: PASSOS, 2009

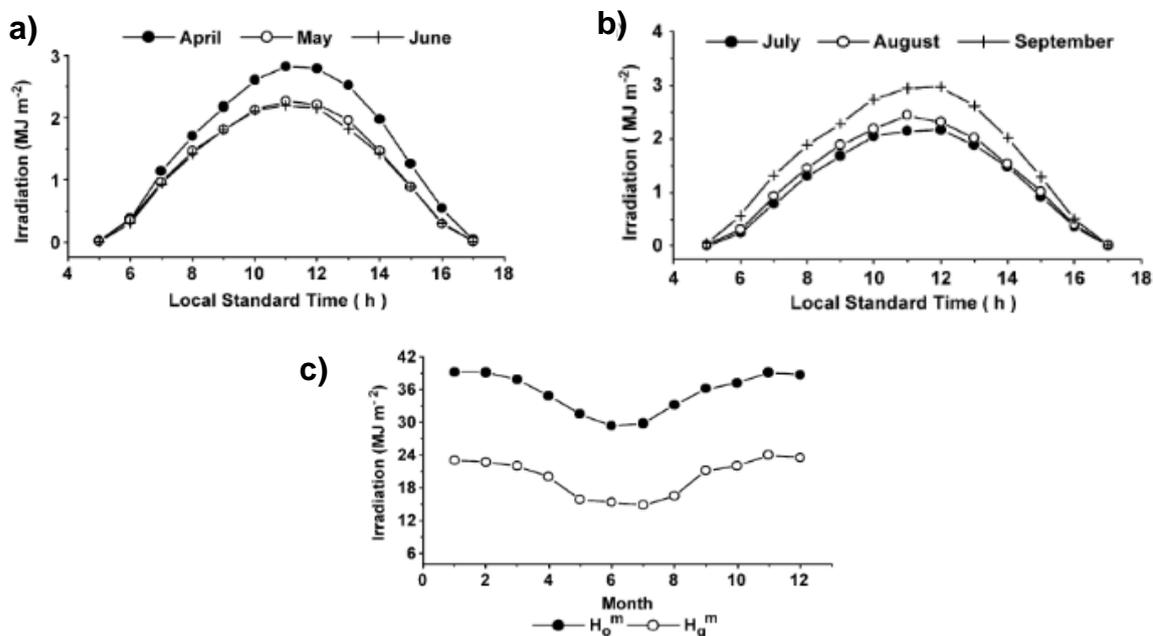
A variabilidade horária da radiação solar global na região de Maceió foi estudada por Souza et al (2005) no período de 1997 a 1999, e apresentou valor de 3,18 MJ m⁻² nas estações secas (setembro-fevereiro) e 2,50 MJ m⁻² nas estações chuvosas (março-agosto) (Figura 13a e 13b, respectivamente). Já a média mensal (Figura 13c) da irradiação solar global foi de 19,89 MJ m⁻². Em dias com céu sem nuvens, parcialmente nublados (os mais freqüentes) e nos mais nublados, as médias diárias de irradiação solar global foram de 25,20, 19,00 e 8,00 MJ m⁻², respectivamente. Em uma escala anual a irradiação solar global mudou de 15.00 MJ m⁻² em agosto a 24.04 MJ m⁻² em novembro.

Em suma, o balanço médio de radiação para a região apresenta os maiores valores para o período que corresponde ao solstício de verão, e os menores valores para o período de solstício de inverno.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 13 - Variação horária da radiação nos meses mais quentes (a), nos meses mais frios (b) e variação mensal da radiação solar em superfície horizontal [H_o] e radiação solar global [H_g]



Fonte: Souza *et al*, 2005

3.3 Histórico da ocupação do Vale do Reginaldo e contexto atual

A partir da metade do século XX o crescimento demográfico e a expansão urbana tornaram-se realidade nas cidades do Brasil. O êxodo rural e a industrialização passaram a concentrar e abrigar um intenso fluxo de pessoas, gerando uma explosão demográfica desenfreada e uma alta demanda por moradia (PEREIRA *et al*, 2014).

A disputa territorial ocasionada pela grande concentração de pessoas nos centros urbanos, aliada à desigualdade social, fez com que parte da população migrasse para as regiões periféricas, carentes de infraestrutura, segurança e qualidade de vida. Muitas vezes estas regiões estão situadas em zonas impróprias à urbanização e construção de casas, como é o caso da ocupação de encostas e áreas de risco⁷. Nesse sentido a análise dessas localidades, possui justificativas

⁷ De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT entende-se como área de risco aquela “passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

pluritemáticas e multidisciplinares, como as ambientais, sociais, econômicas e legais (ANJOS, 2004).

Semelhante ao que ocorre nas demais cidades brasileiras, a ocupação territorial da população de baixa renda que migrou para Maceió em busca de novas oportunidades de emprego, se deu principalmente nos terrenos “desprezados” pelo mercado formal de terras, que correspondem principalmente às áreas ambientalmente frágeis da cidade, quais sejam: as grotas e encostas, as margens da Laguna⁸ Mundaú e nas áreas periféricas da malha urbana, conforme identificado na figura 14.

Na década de 1980, uma inundação nas margens da Laguna Mundaú, deixou inúmeras famílias sem moradia, o que intensificou a ocupação de áreas de risco e de Preservação Permanente⁹ pela população de baixa renda, processo que aumentou o número de áreas invadidas nas Grotas do Jacintinho e impulsionou ao processo de ocupação do Vale do Reginaldo (LOPES e ANDRADE, 2005).

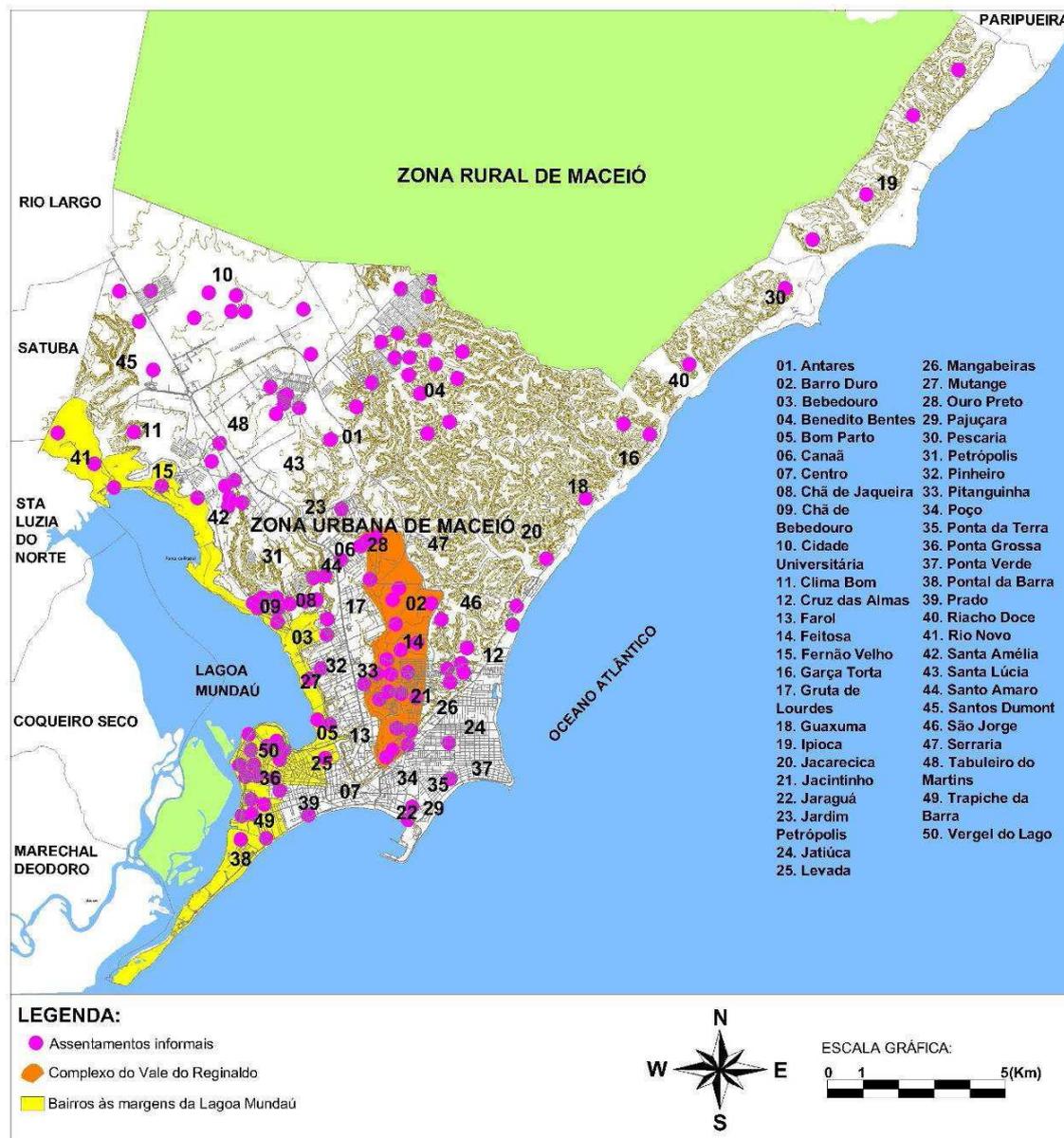
⁸A laguna é um corpo de água salgada ou salobra de origem marinha que apresenta algum tipo de ligação com o mar por meio de breves formações rochosas, barreiras de areia ou por recifes. É o caso da lagoa Mundaú; caracterizada como uma laguna de água salobra ou estuário, uma vez que suas águas sofrem permanentemente influência das águas do mar e das águas dos rios (MELO, 2012).

⁹ Segundo o Código Florestal (Lei Federal no 4.771, de 1965) áreas de Preservação Permanente (APPs) são áreas no entorno de nascentes e as margens de riachos, rios e lagoas ou lagos – naturais ou artificiais que são protegidos de acordo com o disposto no inciso III, § 1º, do art. 225 da Constituição Federal e nos termos dos arts. 2º e 3º do Código Florestal. São, portanto, áreas “non aedificands” que não permitem a ocupação das bordas dos tabuleiros (faixa de cem metros) e das encostas (declividade superior a 45%) e das faixas marginais dos cursos d’água – com exceção de obras públicas de infraestrutura (estradas, pontes e rede elétrica) quando não há alternativa locacional.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 14 - Espacialização dos assentamentos informais na cidade de Maceió



Fonte: Base Cartográfica PMM; PEMAS, 2001. *In*: Melo e Lins (2010)

Além disso, a proximidade com o centro da cidade, praias e equipamentos urbanos na época, tornou principalmente a área que assentou boa parte da Comunidade do Vale, mais atrativa à ocupação (Figura 15). Desde então, o Vale do Reginaldo vem sendo ocupado progressivamente por assentamentos informais, em sua maioria esses assentamentos são provenientes de invasões, sobretudo na porção Sul.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

solo urbano, tendo como exemplo as encostas ocupadas em sua maioria pela população com baixa renda.

O adensamento desordenado ¹⁰ da população promoveu também a intensificação do processo de favelização no local; pouca ou nenhuma arborização como forma de substituir o ecossistema natural por outro, estabelecido conforme as necessidades e o poder dos usuários e habitantes do Vale do Reginaldo, que, em sua maioria, optaram pela impermeabilização sem controle do solo ocupado.

Inserido nesse contexto, a área de estudo pertence a região que compreende o Baixo Reginaldo e localiza-se especificamente entre os bairros do Jacintinho, Feitosa e Gruta (Figura 16). Em relação a ocupação e uso do solo, a área estudada é caracterizada, sobretudo, por vários aglomerados subnormais ¹¹, alguns deles instalados nas encostas do Vale, porém a ocupação ocorre prioritariamente na região da bacia hidrográfica do Reginaldo (Figura 17), onde as habitações foram construídas de modoprecário pela população de baixa renda que ali habita. Segundo Barboza *et al.* (2015), a precariedade vai além da construção e são características desse aglomerado consolidado: a irregularidade no traçado e a ilegalidade fundiária, urbanística e edilícia.

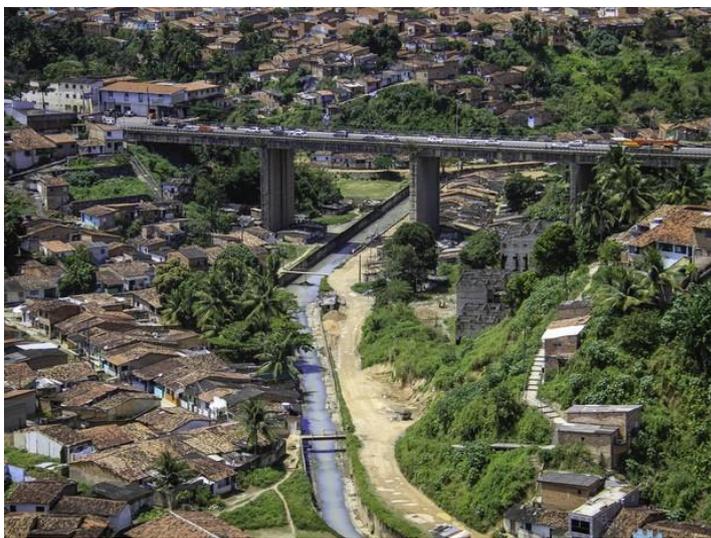
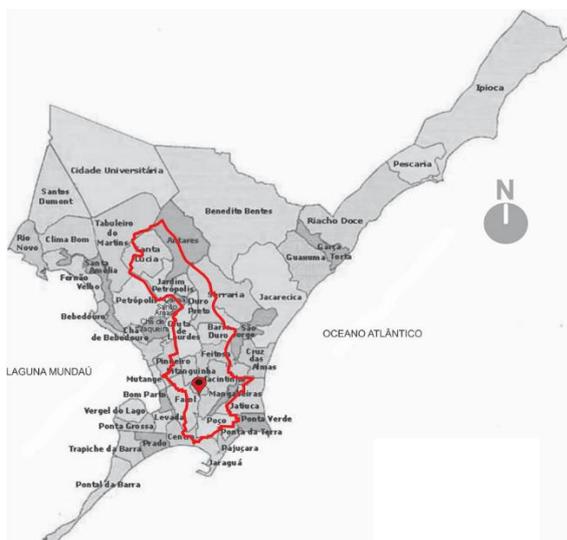
¹⁰O adensamento significa a intensificação do uso e ocupação do solo vinculando a disponibilidade de infra-estrutura e as condições do meio ambiente. Estas características se aplicam a empreendedores que parcelam a terra com o objetivo de construir para futuramente negociar os imóveis. No caso da ocupação individual, a ausência de infra-estrutura não impede a instalação irregular de pessoas, e isto acarreta diversos problemas de ordem ambiental e sanitária que influenciam na qualidade de vida dos moradores, proporcionando assim um adensamento desordenado da população em determinado lugar (NUCCI, 2001). O adensamento desordenado geralmente está associado a falta de planejamento e gestão urbana, e tem como um dos causadores da rápida expansão urbana, o processo migratório diretamente influenciado pelo desenvolvimento econômico de algumas regiões do país, bem como pelo anseio de melhores condições de vida, que se configura no sonho almejado por uma grande parcela da população brasileira (NASCENTE e FERREIRA, 2007).

¹¹O IBGE denomina Aglomerado Subnormal, o conjunto constituído por um mínimo de 51 domicílios, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular), dispostos, em geral, de forma desordenada e densa, e carentes, em sua maioria, de serviços públicos essenciais (IBGE, 2003).

Estudos climáticos em vales urbanos:

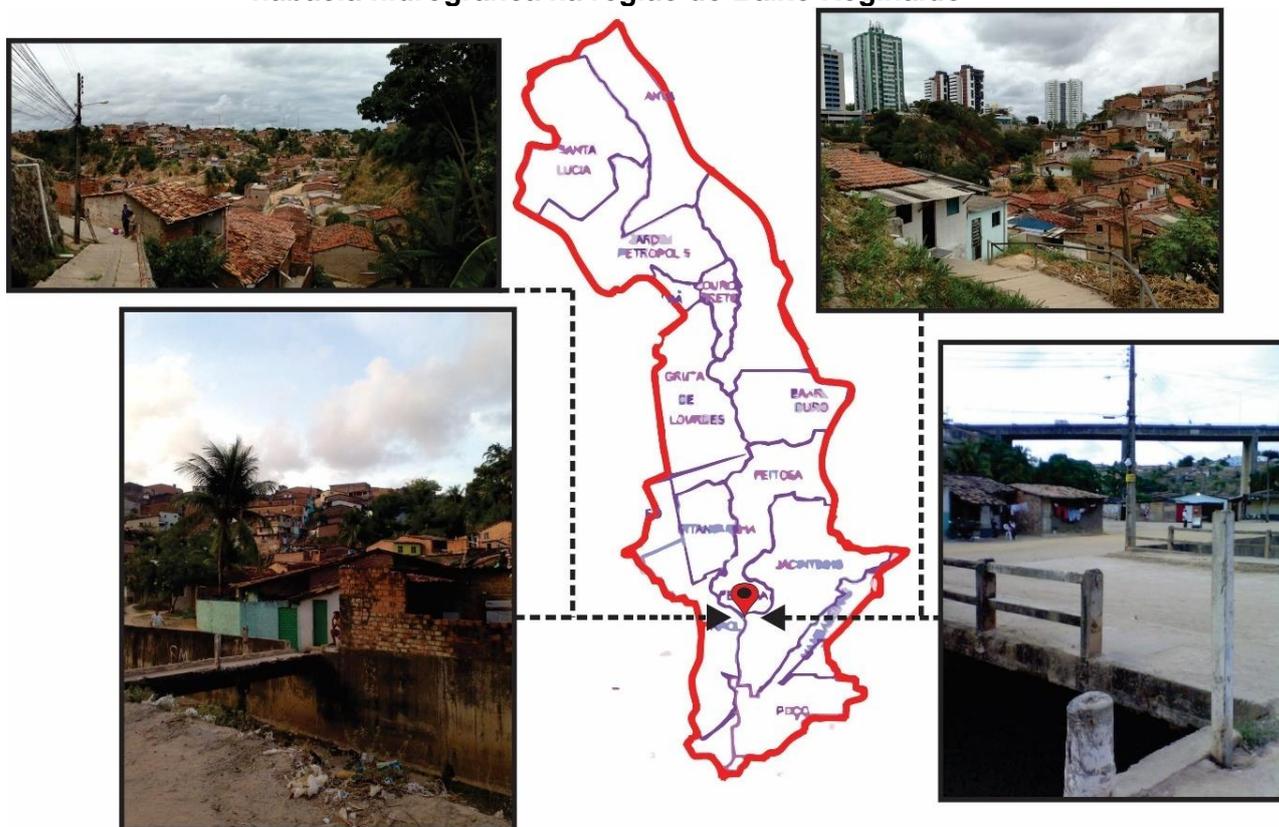
Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 16 - Localização e vista aérea da região mais ocupada no vale do Reginaldo, respectivamente



Fonte: Google Earth e site reporteralagoas.com.br, 2015

Figura 17 - Imagem mostrando ocupação do solo que ocorre prioritariamente na bacia hidrográfica na região do Baixo Reginaldo



Fonte: Autoria própria, 2016

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Além disso, o Vale do Reginaldo é uma área de grande interesse para o poder público, sendo frequentemente tema de propostas públicas feitas pela Prefeitura de Maceió, sendo a maioria baseada nas questões de infraestrutura e no desenvolvimento da mobilidade para a cidade. São expostas a seguir tais propostas, projetos, relatórios de estudo e discursos relacionados ao tema do Reginaldo (PDTU, 1982; PDMM, 2005; TC/BR, 1995; ARAUJO, 2005).

- **Plano Diretor de Transporte Urbano (PDTU)**

Realizado em 1982, o Plano Diretor de Transportes Urbanos estabeleceu diretrizes para o desenvolvimento dos transportes para a cidade de Maceió. O Plano propunha o uso do Vale como eixo viário como uma das alternativas para melhorar e desenvolver a mobilidade na cidade. Nesse sentido, apresentava como diretriz estratégica direcionada aos transportes, o uso do fundo do vale como *artéria* de deslocamento, possibilitando a ligação dos bairros do tabuleiro até a planície costeira diretamente através da introdução de novos corredores de transporte.

O PDTU já previa que a Avenida Fernandes Lima (atual eixo viário de ligação entre os bairros da planície litorânea aos bairros distantes da orla localizados sobre o tabuleiro) não atenderia, em um futuro próximo, ao crescimento do número de veículos que transitariam pela cidade, principalmente com o crescimento do bairro do Tabuleiro dos Martins, vetor de expansão urbana de Maceió na época. Dessa forma, o Plano pontuava como principal objetivo do Eixo Viário do Vale do Reginaldo (EVVR), desviar parte do número de automóveis que transitam pela Av. Fernandes Lima para seu corredor no Vale do Reginaldo. Assim, previa que o Vale do Reginaldo e as linhas de tráfego localizadas no seu curso, se constituíssem como uma nova possibilidade de rota de trânsito para os automóveis e menos congestionamentos nas vias dos bairros do Centro e Farol.

Dessa forma, observa-se que o Vale do Reginaldo já era considerado, em 1982, como rota estratégica para a mobilidade de Maceió e definido no PDTU como zona de proteção pela sua importância ambiental.

▪ **Proposta do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT)**

A proposta do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) foi idealizada no início da década de 1990 pela Maia Melo Engenharia e Planejamento, Projeto e Consultoria Internacional (TCI) com o objetivo da implantação do Corredor de Transporte no Vale do Reginaldo. A fundamentação da proposta foi baseada nos estudos do PDTU que recomendava a necessidade de novas opções de transporte para a cidade. O estudo de viabilidade para implantação do VLT apontava duas soluções: (1) adoção de transporte público de maior capacidade (Bonde Moderno - VLT) num eixo paralelo a Av. Fernandes Lima, haja vista saturação da mesma e (2) a realização do Eixo viário previsto no PDTU.

As ações propostas nesse estudo de intervenção foram: (1) urbanização, (2) relocação de favelas para o Tabuleiro dos Martins, (3) proteção ambiental do Vale do Reginaldo, (4) canalização do riacho do Reginaldo, (5) execução de Macro Drenagem do fundo do vale e encostas e, finalmente, (6) a implantação do Bonde Moderno que, junto à alternativa viária de acesso ao Porto, seriam os novos canais de escoamento dos transportes da cidade.

O projeto do VLT não saiu da fase de estudos e hoje é tido como inviável pelos órgãos da prefeitura, pois seria demasiado oneroso para o município por necessitar de grandes intervenções para remoção da ocupação existente no Vale como também por precisar de grandes obras de contenção de encostas e ampliação da área do fundo do Vale para que permitisse a passagem do veículo.

▪ **O projeto do EVVR no contexto do Projeto de Revitalização do Jaraguá**

Assim como a proposta do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), também no início da década de 1990 (entre 1991 e 1992), foi apresentado pela Prefeitura de Maceió um macro-projeto de revitalização do bairro do Jaraguá, cujos planos estavam vinculados ao turismo e estruturação da cidade.

A proposta para o bairro do Jaraguá, além da reestruturação urbana e arquitetônica, previa a ampliação e construção de novos acessos tendo por objetivo principal melhorar as condições de vida da população da área, provendo-a com

serviços de saneamento e melhora da acessibilidade na área da intervenção e entorno.

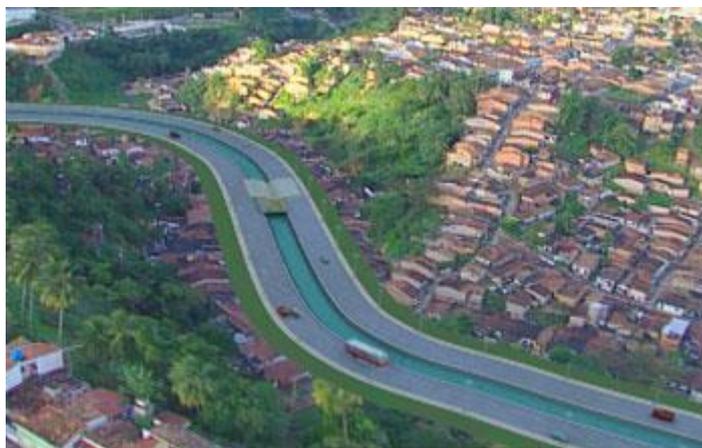
Para atingir os objetivos relacionados à mobilidade desta proposta, foi idealizado o projeto do Eixo Viário Vale do Reginaldo (EVVR), baseado nas propostas colocadas pelo PDTU de 1982, com a finalidade de “abrir” o bairro do Jaraguá à cidade. Dessa forma, a proposta viária complementar ao Macro-projeto do Jaraguá buscava melhorar as vias de acesso da cidade em direção ao Porto de Maceió, ligando-o diretamente aos bairros do Farol, Barro Duro e Tabuleiro dos Martins e, assim, facilitar o deslocamento de automóveis e mercadorias até o porto e reativar a vitalidade do bairro do Jaraguá frente o estado de abandono e de esvaziamento de atividades na área.

▪ **Eixo Viário Vale do Reginaldo (EVVR)**

O Eixo Viário do Vale do Reginaldo (Figura 18) foi proposto em 1991 e é decorrente dos projetos para o bairro do Jaraguá. A proposta surge sob a responsabilidade do Instituto Municipal de Planejamento e Ação Regional (IMPAR) com projetos da Consultoria e Estudos Técnicos Ltda. (ENGESUR), o qual se configurou basicamente de um tronco viário que pretendia estabelecer uma via direta da orla do Jaraguá até os bairros localizados no tabuleiro de Maceió e, assim, desafogar as principais vias de Maceió.

Entre os projetos propostos para a construção do Eixo Viário, também foram propostas ações no âmbito do saneamento e drenagem, de preservação e manutenção ambiental, porém, os relatórios das propostas não contemplam as questões sociais das áreas a serem intervidas. Resumem-se a comentar que, para realização da intervenção urbana, será necessária remoção da ocupação existente e recuperação ambiental dos locais degradados, propondo a reurbanização do Vale do Reginaldo, afirmando que “(...) *deverão ser desenvolvidos os planos de remoção e relocação de famílias e os projetos básicos para a recuperação das margens do vale em questão (...)*”, colocando as propostas como meios de urbanizar a área, sem o interesse de proporcionar qualidade a vida aos moradores residentes no Vale.

Figura 18 - Projeto para implantação do veículo leve sobre trilhos no Vale do Reginaldo



Fonte: Gomes, 2008.

Em recente pesquisa, Lima (2009) afirma que a reorganização do vale do Reginaldo com a construção do Eixo viário, consta da continuação da canalização do riacho, sistema viário composto por pistas marginais, ciclovias e passeios; construção de edifícios de apartamentos de três pavimentos para acomodar a população a ser retirada em função do processo de reurbanização das favelas (margens do riacho a serem ocupadas pelo Sistema Viário e aquelas que sairão das encostas consideradas “áreas de risco”); além de equipamentos comunitários.

▪ **Estudo de Impacto Ambiental (IEA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) das intervenções ao Vale do Reginaldo**

O Relatório de Impacto Ambiental para o Vale do Reginaldo foi elaborado em fevereiro de 1995 pela Tecnologia e Consultoria Brasileira Ltda (TC/BR), o qual apresentou diagnóstico da situação da área com foco na rede de infra-estrutura da cidade.

O relatório apontou a importância da Bacia do Reginaldo para Maceió quando cita que “(...) o Sistema Reginaldo, segundo maior produtor de água do Município, é responsável pelo abastecimento da região mais densamente povoada de Maceió, sendo sua captação feita a partir de uma bateria de poços profundos...” (TC/BR, 1995, p.3). O documento afirmou que, igualmente como nas grandes cidades brasileiras, a ocupação urbana em Maceió em áreas ambientalmente frágeis como o Vale do

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Reginaldo ocorreu de forma rápida e desordenada, avançando predatoriamente sobre o ambiente natural.

(...) Na Bacia do rio Reginaldo, (...) além dos esgotos sem tratamento, lixo também é lançado diretamente nos leitos dos rios, devido a falta de orientação da população e a ineficiência ou inexistência de coleta. Tais fatores vêm a contribuir para o agravamento do quadro atual onde, além do péssimo impacto visual, esta sendo posta em risco a qualidade de vida da população local e áreas adjacentes, com entupimentos e assoreamento do canal do Reginaldo/Salgadinho e a contaminação das praias em que o canal deságua. (MACEIÓ, TC/BR, 1995, p.3)

O estudo concluiu que a cidade de Maceió era bem servida em recursos hídricos de superfície e subterrâneos, porém esses recursos são cada vez mais comprometidos pela contaminação e irresponsabilidade ambiental existente da cidade (TC/BR, 1995). Conclui afirmando que a bacia do Reginaldo, em Maceió, se encontra amplamente alterada pela ação antrópica e a vegetação natural do vale, quando não devastada, se encontra alterada pela população que vive no local ou no alto dos tabuleiros que ocupa as encostas ilegalmente como extensão dos seus terrenos.

▪ **Unidade Executora Municipal (UEM) – Vale do Reginaldo**

Instituída em 2004, a Unidade Executora Municipal (EUM) era um órgão municipal que tratava das obras de saneamento e da abertura de vias no Reginaldo. Os projetos abordados por esse grupo incluíam ações para urbanização da bacia como a construção do EVVR, coleta de lixo e sobretudo campanhas de educação ambiental para a população (ARAÚJO, 2005).

Posteriormente, a UEM, fundou o Comitê de Desenvolvimento do Vale do Reginaldo (CDVR) com vistas a ampliar e a aprofundar as discussões sobre o Vale em um processo de maior participação entre técnicos, estudantes e líderes comunitários do lugar, buscando a democratização das decisões a serem tomadas para o Vale.

▪ **Discurso do Prefeito Cícero Almeida¹²**

¹² Disponível em: <http://www.alagoas24horas.com.br/conteudo/?vCod=24614>, 2016. Acessado em agosto de 2016.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Durante as campanhas eleitorais de 2004, o então prefeito do município de Maceió e candidato à reeleição, Cícero Almeida, apresentou à população maceioense, entre outras propostas de desenvolvimento urbano, o projeto do “Corredor de Transportes do Vale do Reginaldo”. Assim, foi reapresentada à população a antiga proposta de intervenção apresentada em 1991 referente ao EVVR, como projeto de “desenvolvimento” para Maceió e para o próprio Vale do Reginaldo.

O EVVR, anteriormente subprojeto parte do Projeto Jaraguá, passou ao papel de destaque e foi amplamentedivulgado por constituir uma “nova” solução viária para melhoria das condições de mobilidade da cidade, como também para “desenvolver” a comunidade residenteno Vale do Reginaldo.

Neste contexto, no início do ano de 2005, as Secretarias de Infra-Estrutura e de Habitação e a Secretaria Municipal de Controle e Convívio Urbano (SMCCU) iniciaram o cadastramento das edificações localizadas no Vale, realizando levantamentos e indicando as edificações que deveriam ser removidas para viabilizar o EVVR.

O projeto estava na etapa de cadastros e planejamento de remoções da população quando o Plano Diretor Municipal de Maceió (PDMM), aprovado na Câmara Municipal, tornou inviável a implantação do projeto do EVVR por estar localizado em uma área definida como Zona de Interesse Social (ZEIS). Dessa forma, o projeto deveria ser submetido a estudos de adequação às diretrizes dessa zona.

- **Comitê de desenvolvimento do Vale do Reginaldo**

A inadequação dos planos viários destinados ao Vale do Reginaldo frente às ZEIS e ZIAP do PDMM levou à formação, pela Secretaria de Planejamento de Maceió e UEM, o “Grupo Gestor do Plano de Desenvolvimento Sustentável do Vale do Reginaldo”, formado inicialmente pelos técnicos da Secretaria de Planejamento do Município.

O Comitê de Desenvolvimento do Vale do Reginaldo (CDVR) foi fundado no dia 26 de setembro de 2006 e teve origem a partir das reuniões e mesas redondas do

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Grupo Gestor, onde a participação de convidados buscava tornar as discussões mais abrangentes fundamentadas no conhecimento acumulado dos técnicos da Prefeitura.

O grupo foi formado para realizar levantamentos, reunir dados sobre o Vale do Reginaldo e promover discussões com vistas a criar um panorama atualizado do Vale e da Bacia do Reginaldo para que, posteriormente, fosse possível estabelecer intervenções consistentes para a área e realizar adaptações dos projetos para o local adequadas às premissas do PDMM.

Dessa forma, atualmente são realizados estudos sobre uso do solo, economia, mobilidade e outros aspectos sobre a área, para que depois da etapa de correção e atualização dos dados existentes, seja debatida a locação de uma via no fundo do Vale de forma mais consistente, democrática e com participação dos seus moradores.

▪ **Políticas do PDMM para o Vale – Plano de Mobilidade; novos eixos de transporte para Maceió**

Em Maceió, o Plano de Mobilidade do Município de Maceió (PDMMM) iniciou seu processo de formulação em 2006, junto ao período de revisão do Plano Diretor Municipal. O PDMMM tinha como metas principais a criação de eixos viários concêntricos ao bairro do Centro. Contudo, apenas em 2014 foi realizado estudo para a Implantação da Rede de Veículos Leves sobre Trilhos (VLT) no trecho Centro / Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, no âmbito da Região Metropolitana de Maceió, tendo como um dos projetos existentes a implantação da Via Marginal do Vale do Reginaldo III (Moenda - Rotary). Embora o documento técnico¹³ com o diagnóstico do estudo tenha sido divulgado, as informações detalhadas do traçado e características do projeto ainda não foram divulgadas.

¹³ Disponível em: <http://www.maceio.al.gov.br/wp-content/uploads/admin/pdf/2015/10/RT-VLT-00-2A0-004_1.pdf>. Acesso em dezembro de 2016.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

▪ Reurbanização do Vale do Reginaldo

A proposta projetual para o Eixo do Vale deu lugar às obras de reurbanização com o intuito de priorizar a construção de moradias e contenção de encostas, além de saneamento e implantação de obras especiais de viadutos e pontes, conforme divulgado pela Prefeitura de Maceió (2016). O projeto de Reurbanização do Vale do Reginaldo foi lançado em 2008, porém os trabalhos não avançaram, sendo reiniciados em 2015 (Figura 19).

Figura 19 - Obras de reurbanização no vale do Reginaldo (a) e (b) e abaixo localização das obras de urbanização no Vale do Reginaldo (c)



Fonte: a) e b) Secretaria de comunicação da Prefeitura de Maceió e c) adaptação de imagem do Google Earth, 2016

▪ **Recuperação do Riacho Salgadinho**

No início de 2017, a Prefeitura de Maceió anunciou o projeto para a recuperação do Riacho Salgadinho¹⁴ – nome dado ao Riacho Reginaldo na região da planície litorânea de Maceió. Para tanto, foram feitos diagnósticos dos impactos físico e biótico da bacia do Vale do Reginaldo que levaram a crer que um dos maiores fatores para contribuição da degradação do riacho são as obras irregulares nas margens do canal, além do descarte de esgoto doméstico. Entre as ações para a recuperação estão a limpeza do riacho, já em andamento, e o Projeto Jardins Filtrantes, como forma de recuperar toda a bacia hidrográfica do Vale do Reginaldo.

Frente aos parâmetros urbanísticos ambientais, o Vale do Reginaldo é classificado atualmente pelo Plano Diretor Municipal de Maceió como Zona Especial de Interesse Social – ZEIS (Figura 10), caracterizando-a como área destinada aos seguimentos da população considerados de vulnerabilidade social, prioritários no atendimento a ações e projetos habitacionais e regularização fundiária, com a garantia de promoção de infraestrutura, transporte, saneamento ambiental, equipamentos urbanos e comunitários que findem em incluir esta população a cidade (PDMM, 2005).

Diferentemente da região que concentra a porção mais ocupada do Vale, a área da Bacia do Reginaldo é definida pelo atual Plano Diretor como Zona de Interesse Ambiental Paisagístico – ZIAP, pelo fato das encostas serem consideradas áreas públicas paisagísticas, devendo ser preservadas em função do papel modelador da paisagem e mantenedor do equilíbrio ecológico (Figura 20)

A área do recorte em estudo na presente pesquisa está situada especificamente na Zona Residencial 1, constituindo áreas destinadas predominantemente ao uso residencial, observando diretrizes como: verticalização de baixa altura, permissão para o exercício de atividades comerciais, de serviços e industriais, compatibilizadas ao uso residencial, e estímulo à promoção de habitação de interesse social (MACEIÓ, 2007). Contudo, a “preservação ambiental” na área

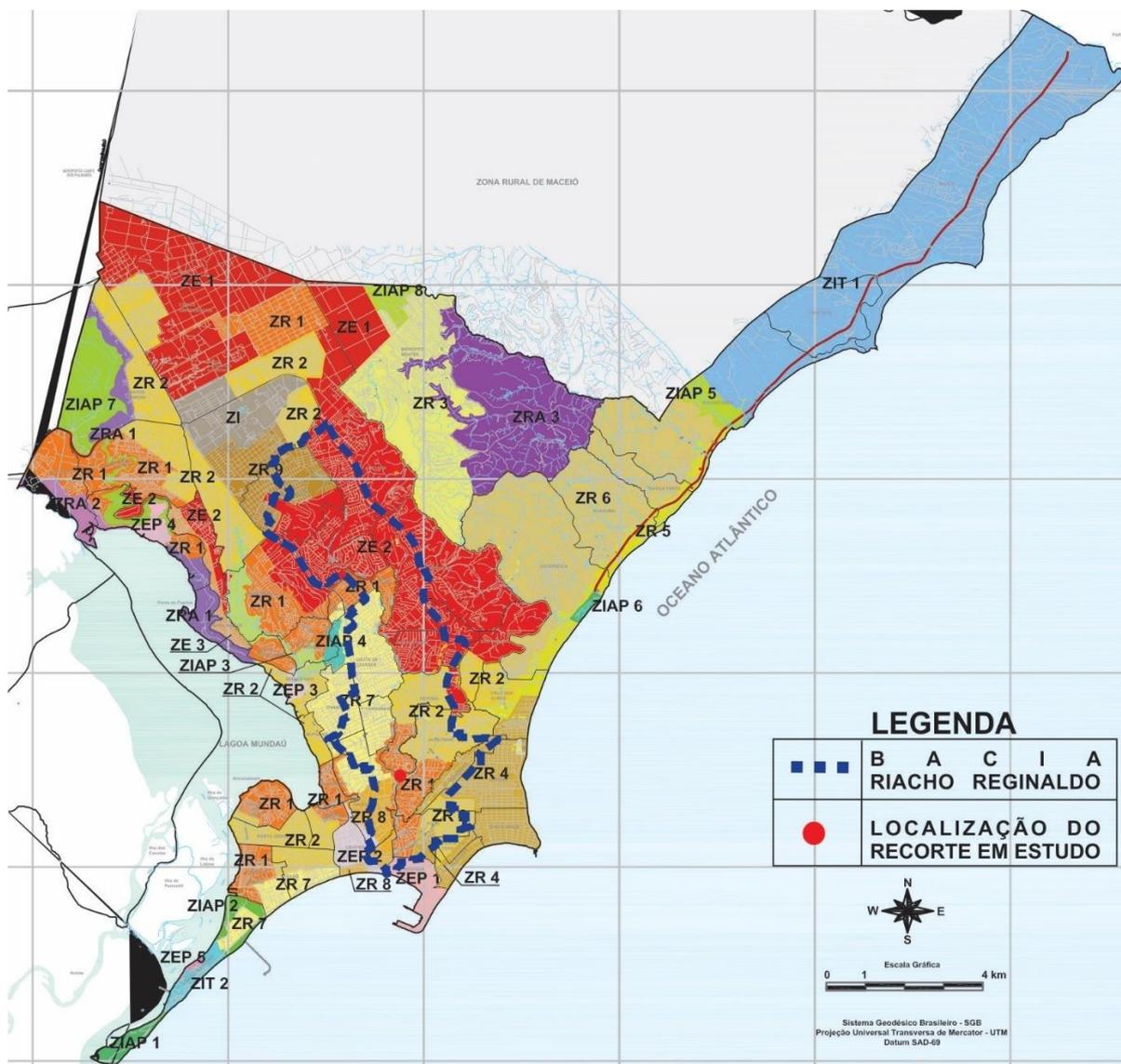
¹⁴ Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/2017/03/prefeitura-se-reune-com-mpe-para-discutir-recuperacao-do-salgadinho/>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

limita-se ao discurso, sem ações efetivas. A elevada carga de esgoto e lixo doméstico que escoam pelo riacho atinge a fauna e a flora da região, hoje praticamente inexistente.

Figura 20 - Mapa de zoneamento da cidade de Maceió, destacando a região de estudo no vale do Reginaldo



Fonte: Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento de Maceió, 2016

3.4 Áreas verdes do objeto de estudo

Embora haja poucos registros sobre as áreas destinadas à vegetação nativa na cidade de Maceió, no que concerne à lógica paisagística descrita por Gonçalves (1994), a cidade possui duas grandes áreas de reserva ecológica inserida na malha urbana: a reserva do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), localizado no

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

bairro da Gruta de Lourdes, e o Parque Municipal de Maceió, localizado no bairro de Bebedouro.

As áreas verdes nativas existentes na cidade compreendem, ainda, as áreas de encostas e de vales, nos quais a presença da vegetação é significativa.

Considerando o Vale do Reginaldo, é comum observar em alguns trechos da área a crescente supressão da cobertura de vegetação nativa, principalmente na parte mais habitada, que compreende o Baixo Reginaldo (Figura 21). Este fato, somado à ocupação das encostas por habitações precárias em solo inadequado à construção de edificações, constituem uma das causas para a erosão do solo e ao surgimento de áreas de risco à população (ARAÚJO, 2005). A existência de vegetação nas encostas ajudaria a conter os deslizamentos de terra durante períodos chuvosos, evitando desastres ambientais e tragédias sociais, geralmente com registro de mortes por soterramento.

Figura 21 - Fenômeno erosivo do solo causado pela ocupação irregular da encosta e supressão vegetal na área de estudo (Baixo Reginaldo)



Fonte: Paulo Jr, 2013

A diminuição de cobertura vegetal na área foi comprovada em pesquisa realizada por Silva *et. al.* (2011), que elaboraram diagnóstico da ocupação urbana espaço-temporal na região do Vale por meio do uso de fotografias aéreas convencionais e técnicas de geoprocessamento com a finalidade de diagnosticar as mudanças urbanísticas e detectar a expansão da ocupação do solo na região, nos

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

últimos anos. Os resultados mostraram que a vegetação foi reduzida drasticamente. Em 1974, a vegetação ocupava uma área de aproximadamente 58% do Vale; em 2005, observou-se que a vegetação ocupava apenas 17% da área avaliada (Figura 22).

Com isso o processo de redução da vegetação local, pode gerar impacto negativo no clima local do vale do Reginaldo, principalmente por substituir um elemento mitigador do clima por outros elementos que possam contribuir para o desconforto térmico local, como o aumento do solo pavimentado em vez do solo exposto e vegetado.

Figura 22 - Fenômeno erosivo do solo causado pela ocupação irregular da encosta e supressão vegetal na área de estudo (Baixo Reginaldo)



Fonte: Silva et al., 2011

Dessa forma, podemos observar que o Vale do Reginaldo foi objeto de estudo de diferentes pesquisas em diversas áreas do conhecimento. O resgate dessas informações ajudou a compreender a problemática da ocupação do solo na área e evidenciar a importância de estudos climáticos a partir da realidade observada na área. O capítulo seguinte apresenta os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa para alcance dos objetivos propostos.

4 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa correspondem à análise do comportamento térmico em vale urbano a partir de duas escalas de abordagem: **microclimática** e **topoclimática**.

Para alcançar os objetivos específicos, foram realizadas atividades pontuais com vistas à geração do produto referente a cada objetivo, conforme apresentado no diagrama metodológico da pesquisa (Figura 23).

Figura 23 - Diagrama auxiliar na construção da metodologia



4.1 Pontos de monitoramento

Para registro do comportamento térmico em seis pontos fixos distribuídos dentro do vale, foi realizada campanha de monitoramento durante o período de verão. Os *dataloggers*¹⁵ foram instalados no dia 02/02/2017 e retirados no dia 11/02/2017, possibilitando o registro do comportamento térmico de 8 dias completos e consecutivos (período de 03/02/2017 a 10/02/2017). Os registros dos dados climáticos foram tomados em intervalos horários, com o equipamento instalado a 4 metros do solo, conforme descrito no item 3.3.

Os pontos de monitoramento foram localizados dentro do vale com vistas ao registro do comportamento térmico diário em diferentes ambiências do recorte da área em estudo. O objetivo da campanha foi obter dados climáticos em pontos com características geoambientais e geourbanas distintas, considerando, para tanto: cota topográfica, revestimento e ocupação do solo, existência de vegetação e densidade construtiva. Além disso, procurou-se espacializar os pontos amostrais de forma a abranger uma porção representativa do recorte em estudo, considerando, ainda, a localização em áreas de fundo do vale e áreas nas duas encostas.

Assim, inicialmente foi feito reconhecimento da área *in loco*, por meio de visita guiada com o líder comunitário do Vale do Reginaldo¹⁶, para identificação das formas de ocupação do solo. Posteriormente, foi feita a escolha de possíveis pontos de monitoramento tomando como base imagens do Google Earth (2016) que auxiliou na distribuição espacial dos pontos amostrais com vistas a obter maior abrangência do recorte em estudo. Por fim, foi feita nova visita *in loco*, também acompanhada pelo líder comunitário, para instalação dos *dataloggers*. A escolha definitiva da localização

¹⁵*Datalogger* é um equipamento que contém um sistema programável microprocessado que coleta, armazena e processa dados de outros instrumentos. Através desse sistema, o datalogger pode realizar diversas funções, como por exemplo, a contagem de pulsos emitidos pelos instrumentos, sempre que um evento ou medição se repete. Este tipo de equipamento possui uma unidade de memória que permite reter essas informações e pode se comunicar com um PC ou laptop através de softwares adequados para este fim (FERREIRA, 2009).

¹⁶ Seu Edvaldo Francisco Lima, popularmente conhecido na comunidade do Vale do Reginaldo como “Durval” é líder comunitário no Vale do Reginaldo há mais de 30 anos.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

dos seis pontos amostrais levou em consideração a prévia espacialização indicada pelas imagens de satélite, aliada às características físicas e ambientais dos pontos amostrais, verificando-se também as condições de segurança do equipamento¹⁷. Dessa forma, os seis pontos amostrais de monitoramento foram espacializados conforme ilustrado nas figuras 24 e 25.

Figura 24 - Localização dos pontos de medições e corte de perfil esquemático na área de estudo



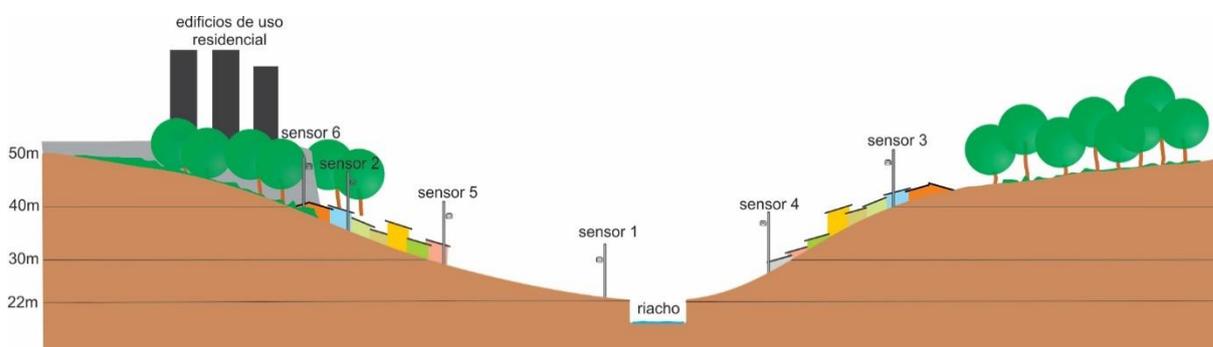
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2017

¹⁷ A segurança do equipamento foi fator importante para definição dos pontos amostrais. Os equipamentos foram instalados próximo a residências de moradores conhecidos do líder comunitário, o qual informou ao proprietário da casa o objetivo da pesquisa e a função do equipamento instalado, solicitando que o morador observasse e o informasse sobre qualquer tentativa de furto ou dano ao equipamento.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

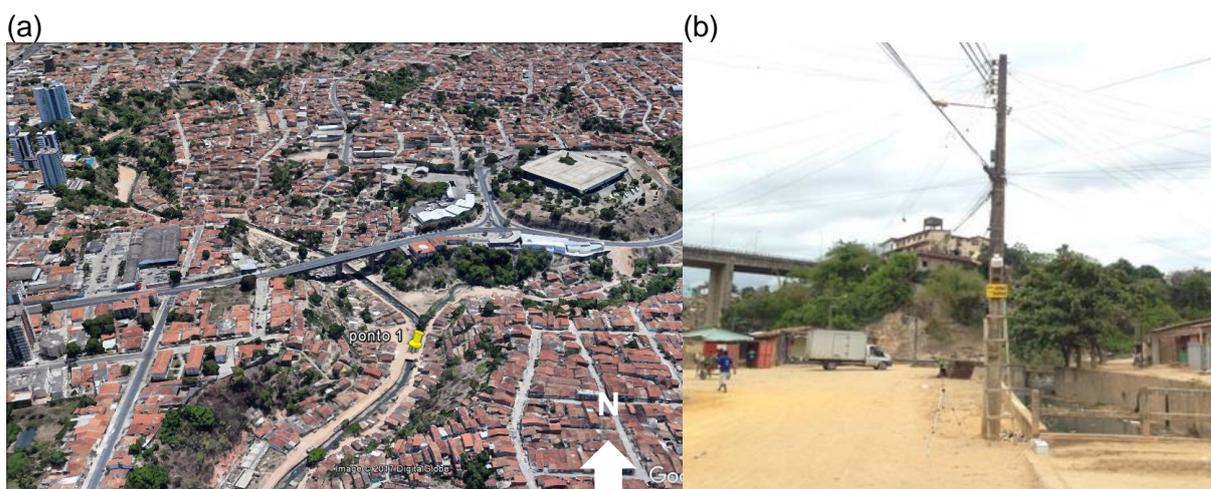
Figura 25 - Perfil topográfico esquemático no sentido Sudoeste SO-Nordeste NE do Vale do Reginaldo, mostrando a localização dos pontos de medições no Vale do Reginaldo



Fonte: Adaptação de perfil topográfico elaborado a partir de dados do Google Earth, 2017

O **ponto 1** localiza-se no fundo do vale, em uma área aberta às margens do riacho (Figura 26a). O entorno desse ponto amostral apresenta ocupação esparsa com baixa densidade construída, composta por edificações em alvenaria – em sua maioria – com até 2 pavimentos e escassa vegetação do tipo arbustivas e arbóreas (Figura 26b). O revestimento do solo no entorno é predominantemente caracterizado por solo exposto de terra batida.

Figura 26 - Imagem aérea de localização (a) e foto do Ponto 1 (b)



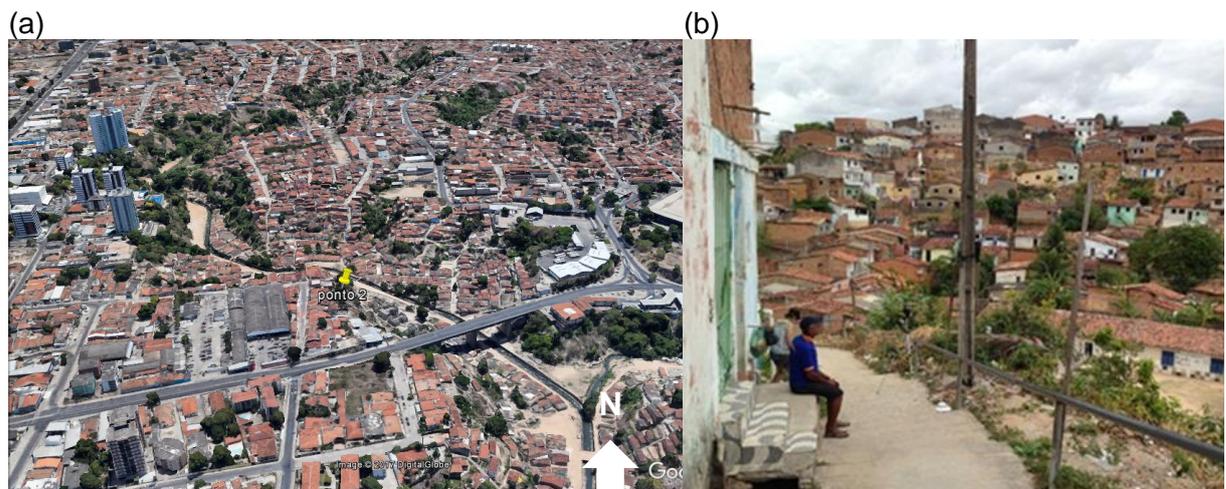
Fonte: a) Imagem aérea do Google Earth, 2017 e b) autoria própria, 2017

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

O **ponto 2** está localizado sobre a encosta Oeste, nas proximidades da área lindeira do vale (Figura 27a). O entorno é caracterizado por poucas edificações construídas em alvenaria, de até 2 pavimentos (Figura 27b). O revestimento do solo é constituído por piso cimentadona área de circulação e solo exposto com a presença de gramíneas na área de encosta.

Figura 27 - Imagem aérea de localização (a) e foto do Ponto 2, respectivamente



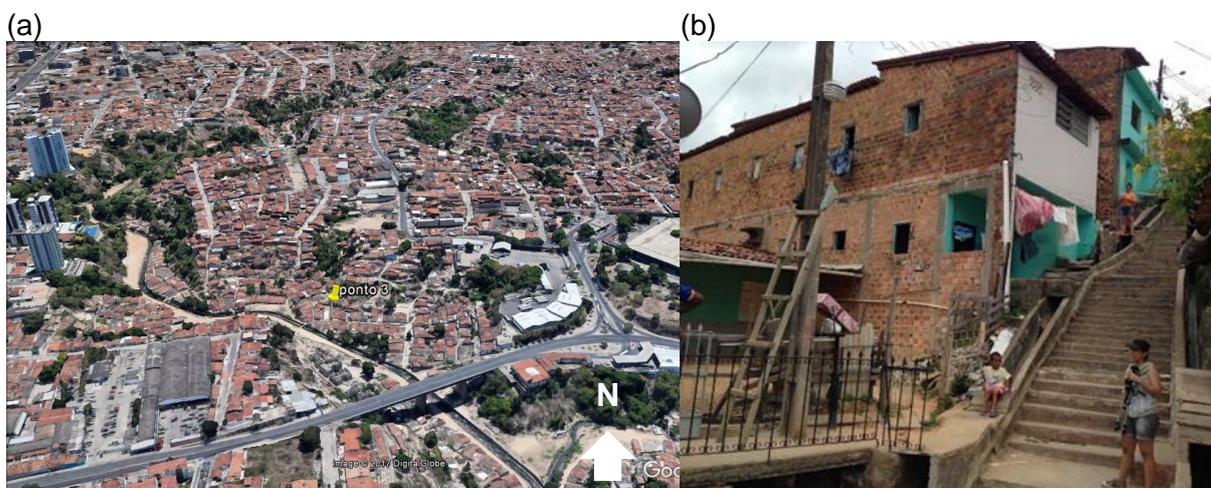
Fonte: a) Imagem aérea do Google Earth, 2017 e b) autoria própria, 2017

O **ponto 3** localiza-sena encosta Leste (Figura 28a), em área com alta declividade e densamente ocupada por aglomerados de edificações com até 2 pavimentos e escassa vegetação de pequeno e médio porte entre as edificações (Figura 28b). O entorno possui revestimento de solo em concreto na forma de escadarias.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

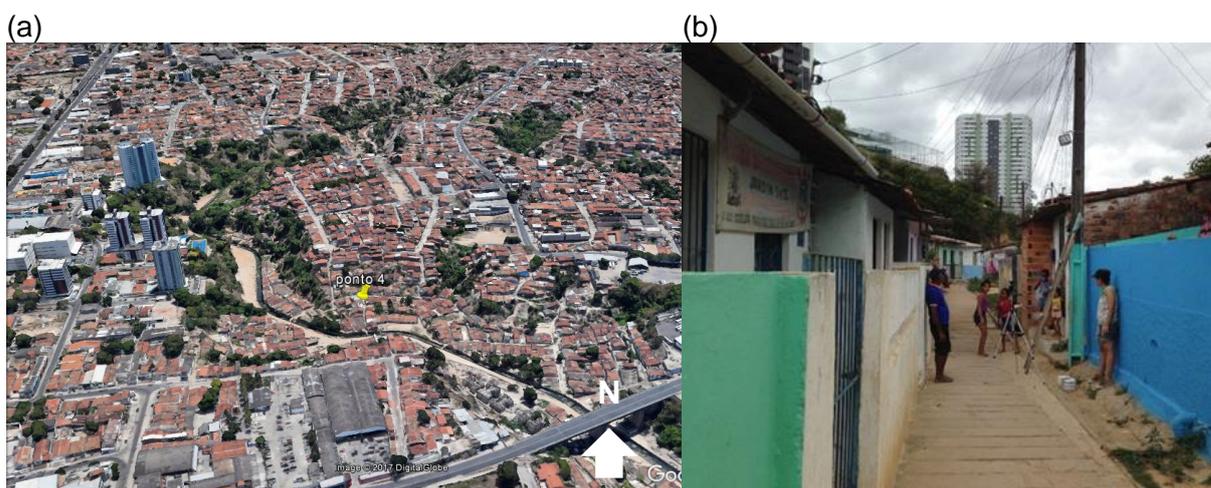
Figura 28 - Imagem aérea de localização e foto do Ponto 3, respectivamente



Fonte: a) Imagem aérea do Google Earth, 2017 e b) autoria própria, 2017

O **ponto 4** está localizado em área de fundo de vale e densamente ocupada por aglomerados de edificações térreas e ausência de vegetação arbórea (Figura 29a e 29b). O revestimento de solo é caracterizado por piso cimentado com pequenas áreas de solo exposto.

Figura 29 - Imagem aérea de localização e foto do Ponto 4, respectivamente



Fonte: a) Imagem aérea do Google Earth, 2017 e b) autoria própria, 2017

O **ponto 5** localiza-se em área no fundo do vale próximo às margens do riacho (Figura 30a). Diferencia-se do ponto 1 por possuir entorno mais adensado, caracterizado por aglomerado de edificações de até 2 pavimentos (Figura 30b). O revestimento do solo é composto unicamente por solo exposto e seu entorno é

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

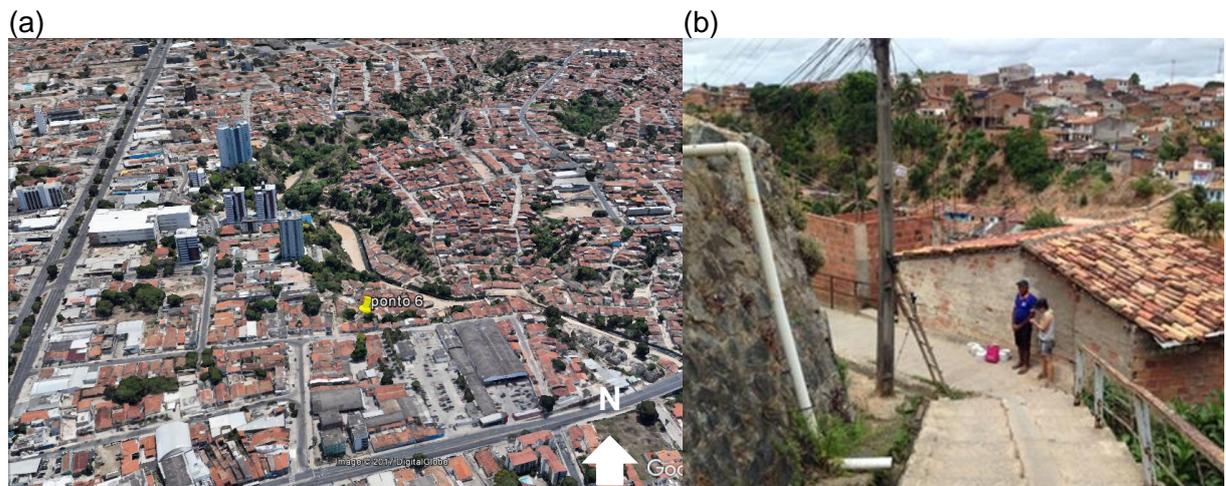
marcado pela presença de algumas árvores de grande e médio porte; como sombreiros e coqueiros.

Figura 30 - Imagem aérea de localização e foto do Ponto 5, respectivamente



Fonte: a) Imagem aérea do Google Earth, 2017 e b) autoria própria, 2017

Por fim, o **ponto 6** está localizado na cota topográfica mais elevada, em relação aos demais pontos de medição (Figura 31a). Localiza-se em um dos acessos ao vale, próximo à área lindeira da encosta Oeste. O entorno é caracterizado por alta densidade de construção com edificações de até 2 pavimentos. Neste ponto, destaca-se a existência de muros de contenção em pedra. A vegetação é escassa, sendo encontrados alguns arbustos na área de encosta. O revestimento do solo é caracterizado por piso cimentado (Figura 31b).

Figura 31- Imagem aérea de localização e foto do Ponto 6, respectivamente

Fonte: a) Imagem aérea do Google Earth, 2017 e b) autoria própria, 2017.

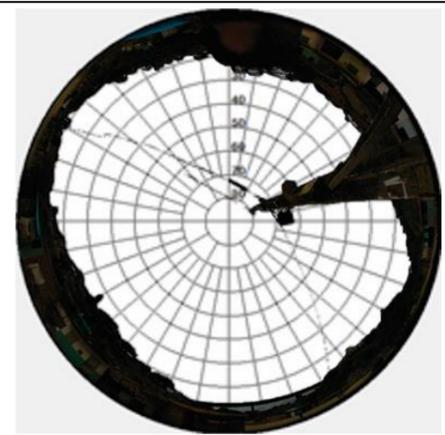
Com objetivo de melhor descrever a geometria e radiação do entorno dos pontos amostrais foi calculado o Fator de Visão do Céu (FVC), que é uma estimativa da área visível do céu a partir de um ponto de observação na malha urbana. Dessa forma, a área em que o FVC é calculado resulta de limites impostos pelos elementos urbanos e suas inter-relações. O resfriamento das superfícies terrestres é proporcional à área de céu visível para um ponto nessa superfície onde o céu se torna elemento essencial no balanço de energia, por apresentar normalmente sua temperatura inferior à da superfície terrestre (SOUZA *et al*, 2010). Seu valor numérico varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 0 maior a obstrução da abóbada celeste.

O Fator de Visão do Céu de cada ponto amostral foi obtido a partir de fotografias esféricas geradas por uma lente olho de peixe Nikon FC-E19, acoplada a uma câmera fotográfica digital Nikon Coolpix 5700 posicionada a 1,5 m do solo, apoiada sobre um tripé e nivelada com auxílio de um nível de bolha. Em seguida, o FVC foi calculado com auxílio do software Rayman 1.2, de acordo com as recomendações de Matzarakis *et al.* (2010). O quadro 2 apresenta uma síntese das características de cada ponto amostral adotado nesta pesquisa.

Estudos climáticos em vales urbanos:

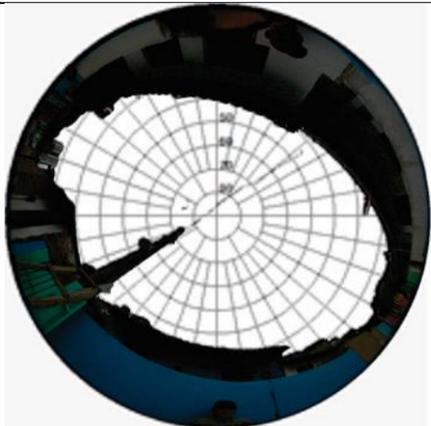
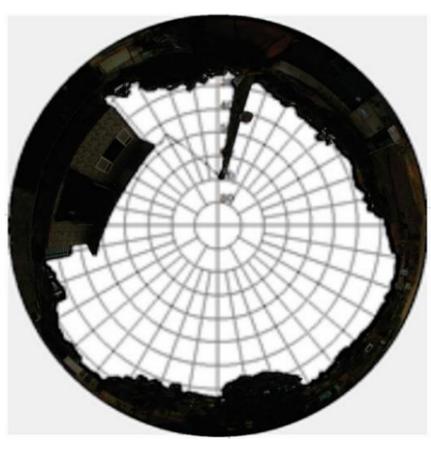
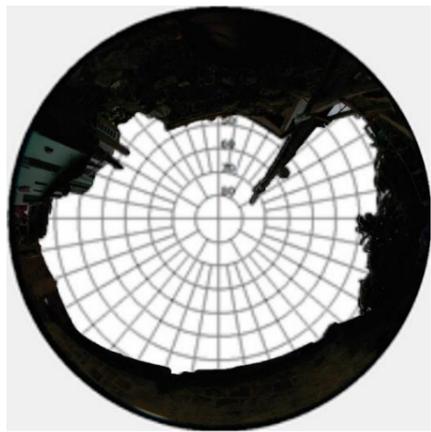
Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Quadro 2- Quadro-síntese dos pontos medidos no local de estudo

	IMAGEM AÉREA	FOTO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	IMAGEM LENTE OLHO DE PEIXE	FATOR CÉU VISÍVEL
PONTO 1			<ul style="list-style-type: none"> - 9m de altitude em relação ao nível do mar; - Entorno com densidade construída de nível médio, composto por edificações em alvenaria, de até 2 pavimentos; - Revestimento do solo em terra batida; - Vegetação arbustiva e arbórea 		<ul style="list-style-type: none"> - Fator de visão do céu de 0,524 - Área obstruída de 47,6%
PONTO 2			<ul style="list-style-type: none"> - 34m de altitude em relação ao nível do mar - Edificações em alvenaria, de até 2 pavimentos; - Revestimento do solo em concreto e terra batida, - Vegetação rasteira 		<ul style="list-style-type: none"> - Fator de visão do céu= 0,539 Área obstruída= 46,1%
PONTO 3			<ul style="list-style-type: none"> - 22m de altitude em relação ao nível do mar - Edificações em alvenaria, de até 2 pavimentos; - Revestimento do solo em concreto, - Pouca vegetação arbustiva 		<ul style="list-style-type: none"> - Fator de visão do céu= 0,500 Area obstruída= 50%

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

PONTO 4			<ul style="list-style-type: none"> - 27m de altitude em relação ao nível do mar, -Edificações térreas em alvenaria; - Revestimento do solo em concreto e terra batida, - Não há vegetação muito próxima 		<p>Fator de visão do céu= 0,495</p> <p>Área obstruída= 50,5%</p>
PONTO 5			<ul style="list-style-type: none"> - 29m de altitude em relação ao nível do mar, -Edificações em alvenaria, de até 2 pavimentos; - Revestimento do solo em terra batida, - Vegetação arbustiva e arbórea de copa densa 		<p>Fator de visão do céu= 0,581</p> <p>Área obstruída = 41,9%.</p>
PONTO 6			<ul style="list-style-type: none"> - 41m de altitude em relação ao nível do mar, -Edificações em alvenaria, de até 2 pavimentos; - Revestimento do solo em concreto, - Vegetação arbustiva e rasteira 		<p>-Fator de visão do céu de 0,524</p> <p>-Área obstruída de 47,6%</p>

4.2 Calibração do modelo computacional para a área de estudo

A calibração do modelo de simulação foi realizada a partir da correlação entre dados monitorados *in loco* e dados gerados a partir de simulação computacional com o programa Envi-met 4, considerando o cenário do recorte da área em estudo com as características geoambientais e geourbanas existentes.

4.3 Equipamento de registro das variáveis climáticas

Os dados de medições em campo foram obtidos com aparelhos registradores automáticos da marca HOBO, modelo Pro V2 U23-001¹⁸ (Figura 32a), com registro de temperatura do ar, protegidos da radiação solar direta por um escudo de proteção específico para o equipamento (Figura 32b). Os sensores foram programados para registro de dados em intervalos horários e instalados em poste de iluminação pública em uma altura média de 4 metros do piso¹⁹.

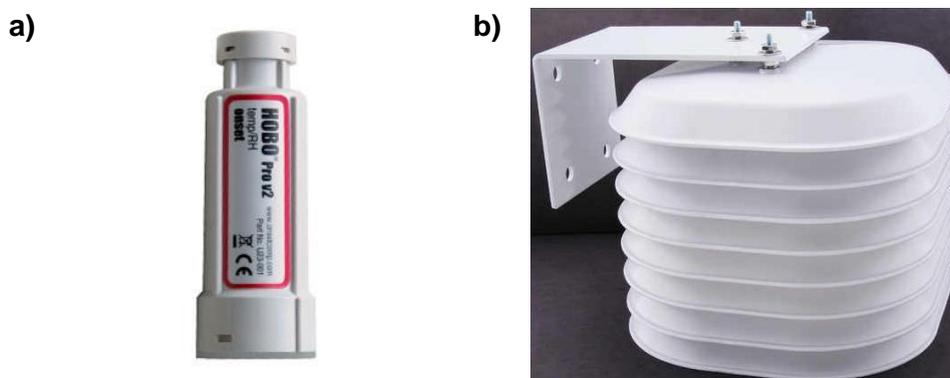
Embora a escala de abordagem seja a microclimática, o objetivo dessa etapa foi o de coletar dados para compreensão do comportamento térmico na camada de ar com influência da cobertura do solo e calibração do modelo de simulação computacional para sua posterior validação, comparando os dados provenientes dos sensores Hobo com os dados dos receptores inseridos nos modelos simulados.

É importante destacar que a função dos receptores nas simulações do Envi-met é similar a dos receptores Hobos no local de estudo: captar dados climáticos para o ponto específico de análise. Ressalta-se que a locação dos receptores nas simulações computacionais foi a mesma dos receptores Hobos nas medições no local.

¹⁸O HOBO é um sensor portátil do tipo data logger que tem a função de armazenar dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Os sensores eletrônicos (Dataloggers Hobo Onset) usados nesta pesquisa operam com a temperatura na faixa de -40°C a 70°C. Segundo as especificações do fabricante ONSET Brasil (2016), sua precisão é de 0,2°C acima de 0°C até 50°C e tempo de resposta de 40min no ar em movimento de 1m/s.

¹⁹Por questões de segurança do equipamento, não foi possível efetuar registro de dados contínuos na altura do usuário. Considerando as escalas verticais proposta por Oke (2006), observa-se que a altura de 4m ainda corresponde a Camada Intra-Urbana, atendendo, portanto, aos objetivos pretendidos.

Figura 32- Equipamentos para as medições das variáveis em campo: (a) registradores automáticos de temperatura e umidade relativa do ar, e (b) escudo protetor da radiação solar.

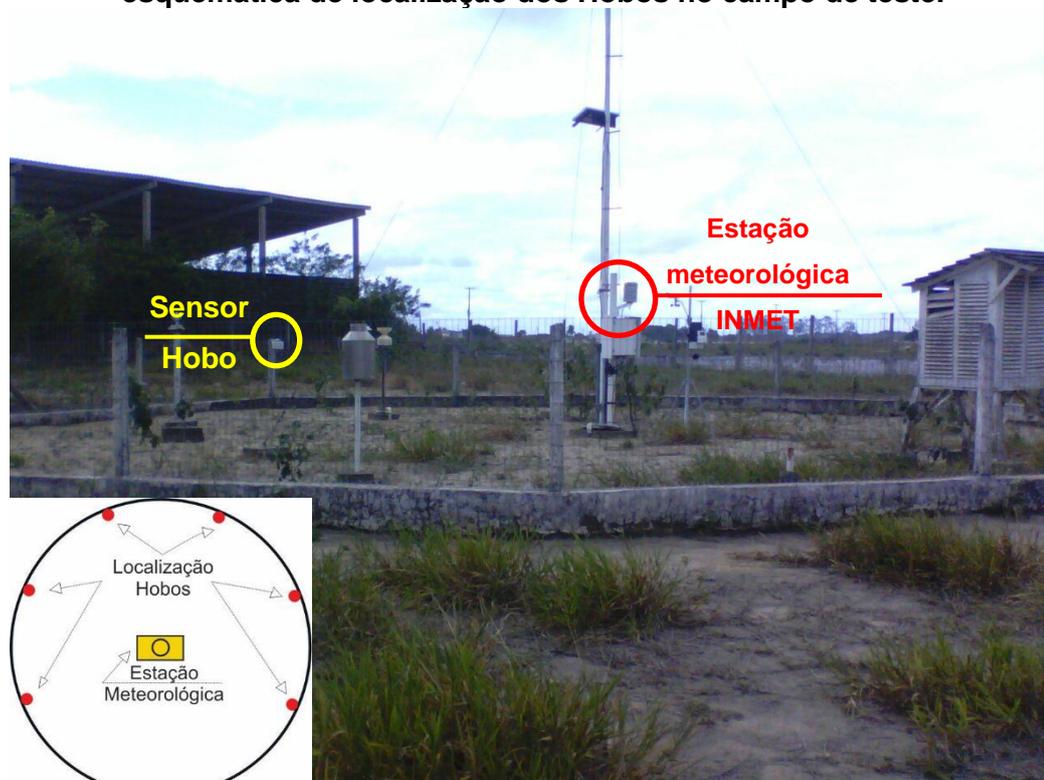


Fonte: Sigmasensors.com,2016

4.4 Grau de aferição dos instrumentos

Com vistas a avaliar o grau de precisão e calibração dos sensores usados na pesquisa experimental, foram adotados os procedimentos metodológicos usados por Masiero (2014). Dessa forma, os dataloggers usados na campanha de monitoramento foram instalados a 1,5m de altura do solo na área da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada dentro do Campus da Universidade Federal de Alagoas, em Maceió (Figura 33). Os equipamentos foram programados para registro de dados contínuos em intervalo horário, permanecendo junto à estação do INMET no período de 16/02/2017 a 21/02/2017.

Figura 33 - Campo de teste dos sensores Hobo junto a estação meteorológica INMET, localizado na Universidade Federal de Alagoas, com destaque para planta esquemática de localização dos Hobos no campo de teste.



Fonte: Autoria própria, 2017

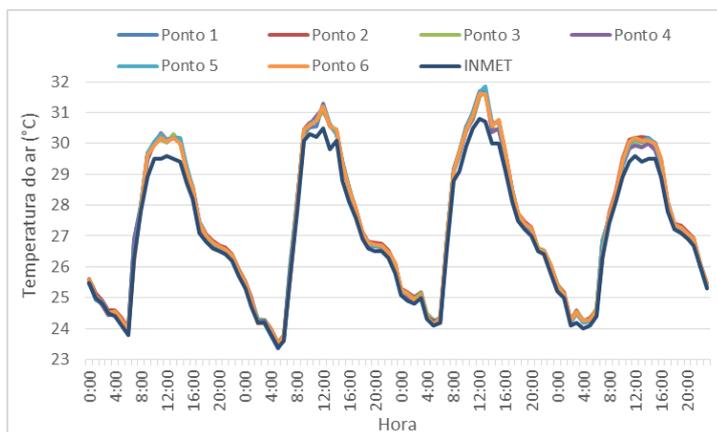
Em seguida, os dados de temperatura do ar registrados pelos seis *dataloggers* foram comparados com os dados disponibilizados pela estação do INMET (2017) (Figura 34), de forma que as discrepâncias entre os resultados gerados pelos equipamentos pudessem ser reduzidas através da correlação estatística dos dados dependendo das condições meteorológicas

As maiores diferenças de temperatura entre os sensores Hobo em relação aos valores registrados pela Estação do INMET ocorreram nos horários de pico de radiação (horário entre 11h e 15h) e ficaram próximas do grau de precisão especificado pelo fabricante dos sensores Hobo que é de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Nos horários em que a radiação atua menos intensamente e durante a noite, a precisão do sensor apresentou valores mais acurados em relação a estação do INMET (Figura 34).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

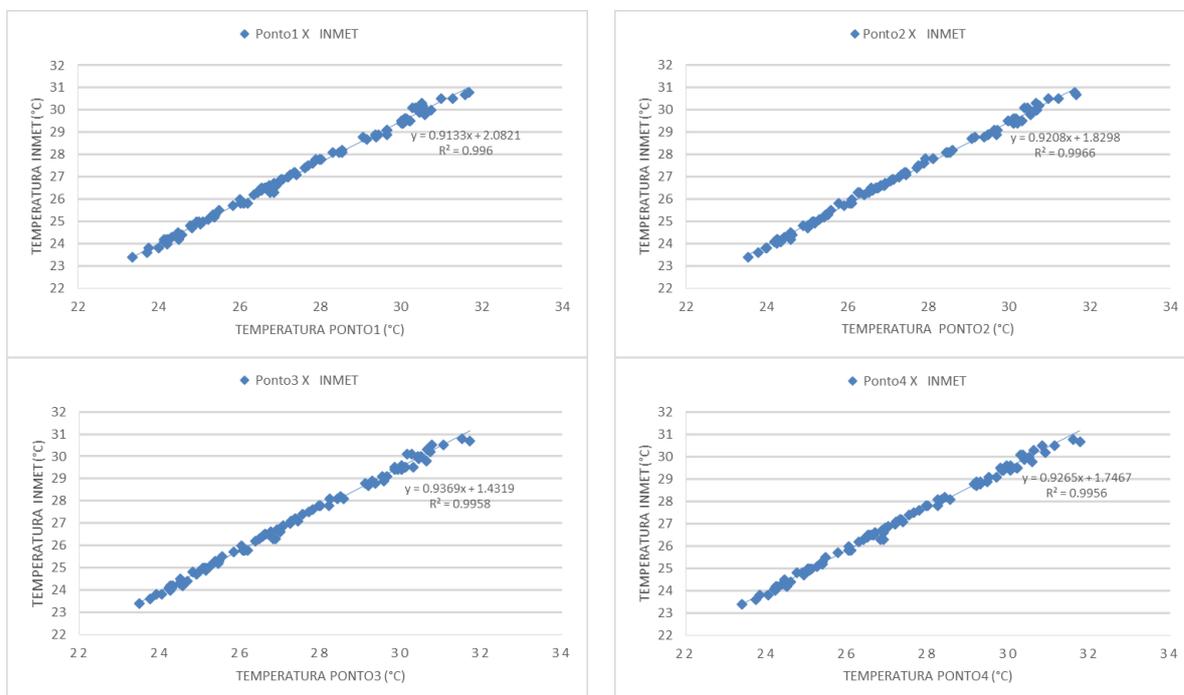
Figura 34 - Gráfico de temperatura do ar, comparando dados entre os sensores Hobo e dados do INMET para o período de teste



Fonte: Autoria própria, 2017

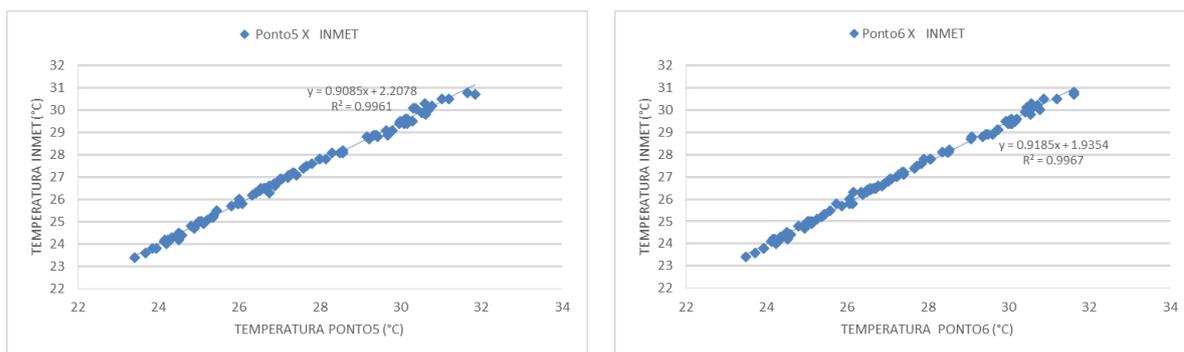
Desta forma, foram aplicados os fatores de correção para os valores de temperatura conforme a análise dos gráficos de dispersão a seguir (Figura 35).

Figura 35 - Sequencia de gráficos de dispersão mostrando a correlação entre os dados de temperatura do ar obtida *in loco* com os dados do INMET



Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL



Fonte: Autoria própria, 2017

A partir das análises da figura 35, observou-se que as resultantes dos gráficos produzidos demonstraram relação de linearidade entre todos os sensores analisados e os dados obtidos pela estação automática do INMET. Esse fato é confirmado a partir dos resultados encontrados no coeficiente de determinação R^2 , que apresentou valores próximos a 1²⁰, evidenciando a confiabilidade dos equipamentos para a pesquisa experimental e calibração das simulações computacionais realizadas nesta investigação.

4.5 Período de monitoramento

O monitoramento do comportamento térmico foi realizado no período de verão, por apresentar os meses com as temperaturas do ar mais elevadas, maior incidência de radiação solar direta e menor nebulosidade na região. Assim, a escolha por um período de céu claro e ar calmo deu-se pelo fato dessas condições atmosféricas melhor evidenciarem a influência da ocupação do solo na formação dos microclimas.

Dessa forma, a campanha de monitoramento dos dados térmicos nos pontos amostrais foi realizada entre os dias 02 e 11 de fevereiro de 2017 por ser uma época pouco chuvosa e de baixa nebulosidade. A partir dos dados horários de oito dias

²⁰O coeficiente de determinação é uma medida descritiva da proporção da variação de Y que pode ser explicada por variações em X. Simbolizado por r^2 e indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados. Quanto mais próximo de 1 estiver o coeficiente de determinação, melhor será o grau de explicação da variação de Y em termos da variável de X. É pouco comum que ter uma correlação perfeita ($r^2 = 1$) na prática, porque existem muitos fatores que determinam as relações entre variáveis na vida real (Shimakura, 2006). É uma medida sempre positiva, e é obtida, na regressão linear simples elevando-se o coeficiente de correlação Pearson ao quadrado.

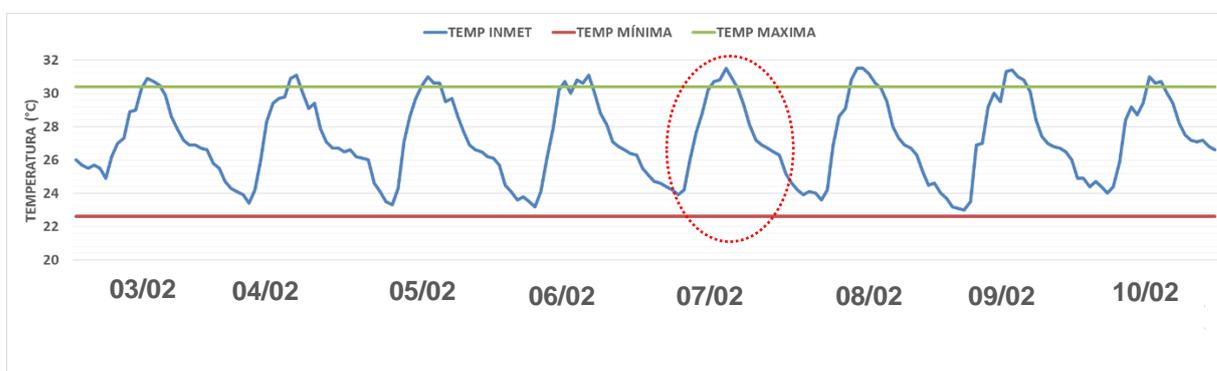
Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

completo e consecutivos, foi necessário eleger um dia representativo do período em análise cujos dados pudessem ser usados para simulação computacional.

Nesse sentido, foram analisados os dados climáticos registrados na estação automática do INMET na Universidade Federal de Alagoas – tomada como estação climática de referência. O gráfico da figura 36 mostra o comportamento horário dos valores de temperatura do ar nos oito dias de campanha de monitoramento dos pontos amostrais.

Figura 36 - Gráfico do comportamento da temperatura do ar em Maceió segundo dados do INMET, entre os dias de campanha da pesquisa (03/02 a 10/02), com indicação da média das máximas e da média das mínimas para o mês de fevereiro, de acordo com as Normais Climatológicas de Maceió (1961-1990)

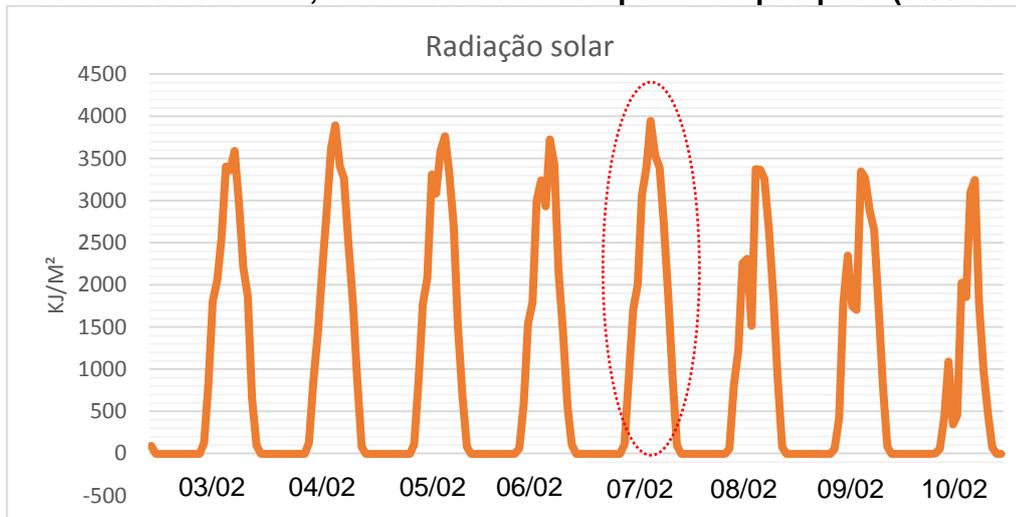


Fonte: Autoria própria, 2017

O gráfico da figura 36 mostra que há regularidade no comportamento térmico dos dados disponibilizados pela Estação do INMET, com os valores correspondentes as temperaturas mínimas e máximas encontradas na série histórica apresentada no quadro das Normais climatológicas de Maceió (Quadro 1).

A partir da análise do comportamento diário dos oito dias de campanha, elegeu-se o comportamento dos dados climáticos registrados no dia 07/02/2017 como padrão para os dados de entrada no modelo de simulação por apresentar temperaturas do ar elevadas e baixa nebulosidade, identificada pelos registros da radiação solar global do período de monitoramento, conforme apresentadona figura 37.

Figura 37 - Gráfico do comportamento da radiação solar global em Maceió segundo dados do INMET, entre os dias de campanha da pesquisa (03/02 à 10/02)



Fonte: Autoria própria, 2017

4.6 Simulação do cenário atual e validação do *software* Envi-met

Após a definição do dia representativo para a análise dos pontos amostrais, foi feita simulação computacional com o programa Envi-met (versão 4.2) usando como modelo o cenário atual de ocupação e inserindo os dados climáticos do dia 07/02/2017 como parâmetro climático para simulação computacional. Também foram alocados receptores²¹ no modelo computacional nos locais dos pontos amostrais onde foram instalados os *dataloggers* na fase de campanha experimental.

As simulações de cenário atual do recorte urbano estudado foram realizadas com o propósito de se fazer avaliação de compatibilidade da curva do comportamento térmico diário entre dados medidos *in loco* e os dados simulados, com vistas a validar o modelo computacional para a pesquisa.

Para compreender melhor a relação do programa ENVI-met com as proporções reais da área de estudo, é necessário entender que o programa simula em diferentes escalas e tamanhos de malha e *grids* (campos de ajustes da grade auxiliar para a inserção da área a ser simulada), sendo necessária que seja determinada a dimensão da malha para a realização das simulações.

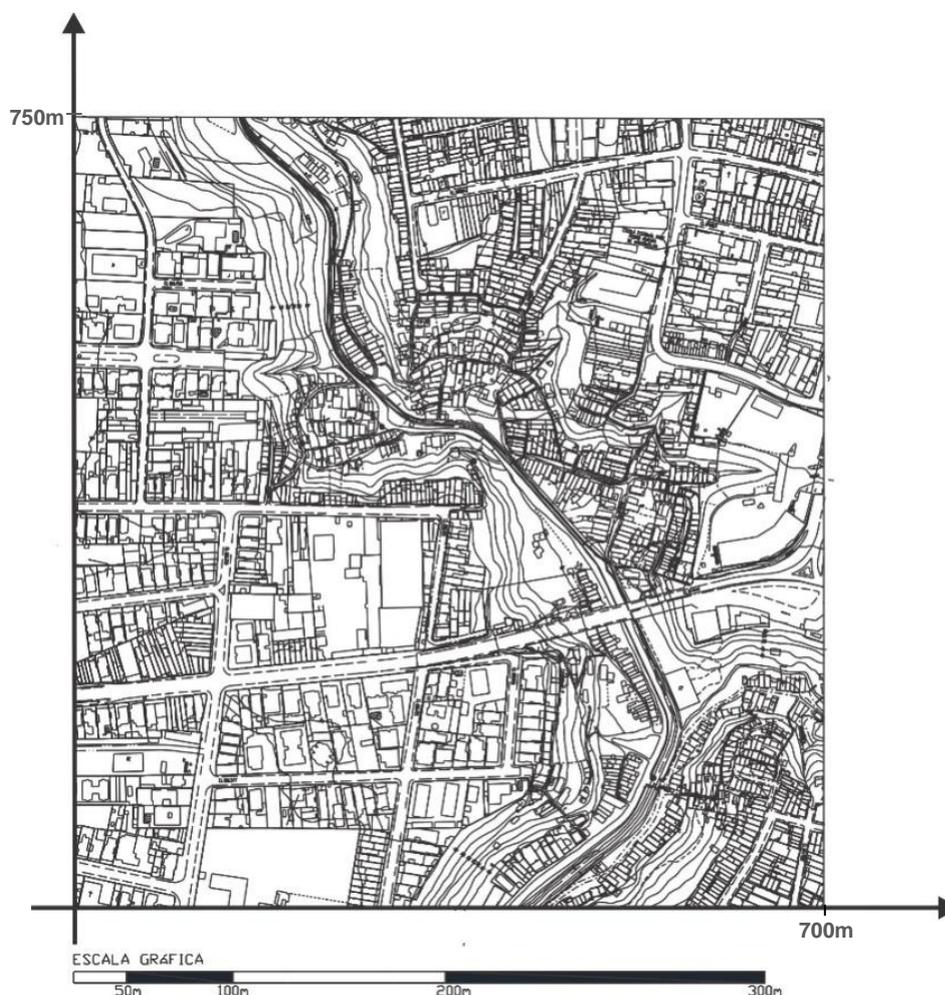
²¹ Receptores são qualquer aparelho que receba sinais ou dados para ele transmitidos e os decodifique.

Estudos climáticos em vales urbanos:Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Mudanças de escalas implicam em maior ou menor resolução do desenho e, além disso, influenciam no número de *grids* a ser utilizado (quando se tem o perímetro de área já definido), alterando conseqüentemente, o tamanho da malha que deve ser utilizada. O ENVI-met 4.1, versão do programa utilizada nessa pesquisa, possibilita simulações em três diferentes versões de malha (em metros) estabelecidas pelo próprio programa: 100x100x40, 150x150x35, e 250x250x25 que correspondem à largura x comprimento x altura, sendo que das três malhas apresentadas no programa apenas a menor delas está disponível gratuitamente para simulações.

Quanto maior a versão da malha, maior é a capacidade em *grids*, no entanto, maior também é o tempo de simulação, em função do incremento de dados. Existe uma relação direta entre a dimensão total de uma determinada área e a escala e versão da malha utilizadas para a simulação. Como a equipe de criação do programa passou por um momento de transição de versão gratuita para a comercializada durante a execução dessa pesquisa, o fragmento selecionado com dimensões reais para as simulações, com 700x750 metros (Figura 38), teve que se adaptar a versão de malha gratuita disponível no programa (100x100x40).

Figura 38 - Tamanho da área de modelagem utilizado nas simulações computacionais em plano cartesiano



Contudo, a partir dessa malha total de 100m, só foi utilizado 90m para assim deixar espaço para área de borda nas simulações. Nesse sentido, considerando que o programa funciona como um plano cartesiano, o recorte da área ocupou 90 *grids* no eixo das coordenadas (x) e 90 *grids* no eixo das abscissas (y) e 30 *grids* no eixo vertical (z). Foi dividido os 700m da malha real para os 90 da malha adotada para as simulações, obtendo-se assim 7,77m para o tamanho de cada célula do *grid* no eixo X, e 8,33m para o eixo Y que possui 750m de medida. Por ser uma área constituída por diferentes níveis topográficos, ela possui como ponto mais elevado do modelo o valor topográfico de 45m. O prédio mais alto da região possui altura de 30m, portanto, adotou-se na célula *grid* vertical o valor de 3m. Além disso, também foram inseridos o

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

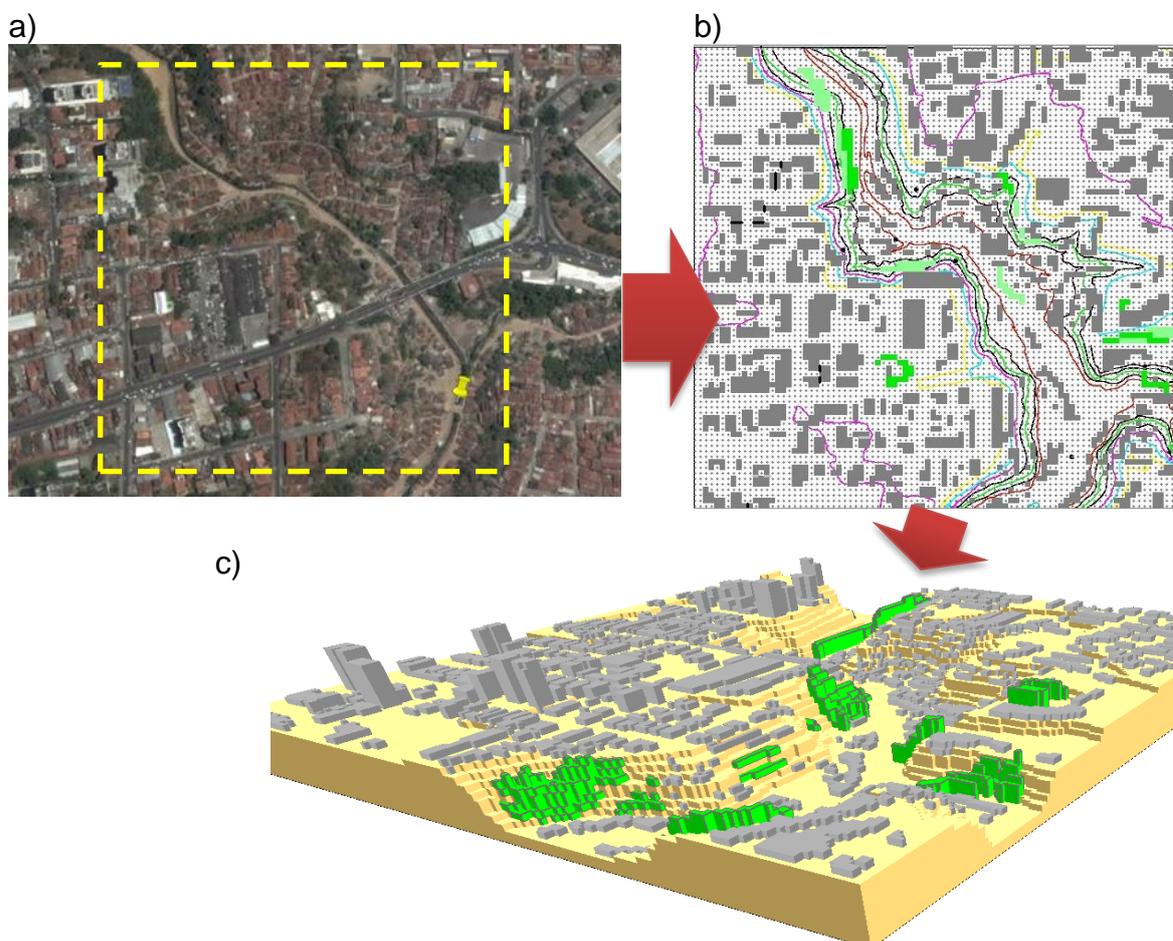
valor de 3 células para cada lado do recorte utilizado, como área de alinhamento (*nesting grids*²²), conforme indicado no tutorial do programa.

Como forma de localizar geograficamente a área dentro das exigências do programa computacional, foram inseridas as coordenadas geográficas da cidade de Maceió/AL (latitude -9°40' Sul; longitude -35°42' Oeste); Zona de hora referencial: UTC -3 e Longitude referencial: -35°42'. Para as propriedades das edificações relativos as paredes e coberturas, foi atribuído tijolo cerâmico como padrão da envoltória e telha cerâmica como padrão de cobertura das edificações inseridas no modelo.

Após a inserção de dados básicos de entrada no programa, se iniciou a modelagem do cenário da área em estudo a ser simulada no ENVI-met (Figura 39).

²²O ENVI-met cria uma área de alinhamento em torno do modelo central para mover o limite do modelo para a área de interesse e minimizar os efeitos de fronteira indesejados.

Figura 39 - Esquema de elaboração da modelagem do Cenário Atual no ENVI-met



Fonte: (a) Imagem adaptada do Google Earth, (b) e (c) ENVI-met V4.2, 2017

Após a modelagem da área, foi realizada a inserção de dados numéricos de entrada para as simulações. No Envi-met são solicitados dados meteorológicos básicos para início da simulação, como: direção e velocidade dos ventos a 10m de altura, rugosidade da área, temperatura atmosférica inicial, umidade específica a 2500m do nível do mar, umidade relativa a 2m, nebulosidade, radiação, entre outros.

Para a inserção de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, nebulosidade, velocidade e direção do vento, foram usados os dados climáticos do dia 07 de fevereiro de 2017, registrados na estação meteorológica do INMET. O valor utilizado para o dado de coeficiente de rugosidade das superfícies e a estrutura urbana, foi o correspondente a 0,01, tendo como referencia a metodologia desenvolvida por Katzschner (1997), considerando a rugosidade do solo sob a estação meteorológica mencionada equivalente a uma área de espaço livre.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Com relação ao valor de umidade específica a 2.500m do nível do mar, este foi obtido a partir do banco de dados digitalizados do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming²³, que reúne os dados de sondagem vertical da atmosfera de todos os aeroportos que coletam estes dados. E assim foi coletado o dado para 0 hora UTC (21h local)²⁴.

Vale destacar que o aeroporto de Maceió não realiza lançamento de balão meteorológico para registro desses dados. Assim, foi usado como dado de entrada para simulação a umidade específica registrada no Aeroporto de Natal-RN (Quadro 3), por ser cidade litorânea mais próxima com este dado disponível.

Quadro 3 - Comparativo de dados entre Maceió e Natal

	Maceió	Natal
Temperatura do ar (°C), a 2m do solo	26,3	27,2
Umidade relativa do ar (%), a 2m do solo	76,6	75
Umidade específica do ar (%), a 2.500m do nível do mar	-	6,42

Fonte: Sonda do INPE²⁵ e Universidade de Wyoming, 2017²⁶

Para a realização de simulações computacionais mais próximas a realidade encontrada, o programa ENVI-met necessita da inserção de um fator de ajuste da radiação solar, esse ajuste foi feito com base nos valores de radiação global medido na estação INMET – Maceió e nos os dados médios de nebulosidade. Os valores de nebulosidade, foram obtidos a partir das Normais climatológicas de Maceió (1961-

²³<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Último acesso em agosto de 2016.

²⁴O modelo inicia com condições atmosféricas estaticamente neutras. Nestas condições, de acordo com Stull (1988), a temperatura potencial do ar é constante ao longo da camada de mistura atmosférica e, assim, pode ser considerada igual à temperatura do ar na superfície. Isto pode acontecer nos períodos logo antes do nascer do sol e/ou depois do por-do-sol. Com isso, é recomendável que a inicialização da simulação seja em horário no período noturno ou antes do nascer do sol.

²⁵ Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/natal_clima.html>. Acesso em junho de 2017.

²⁶ Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em junho de 2017.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

1990), que passados em décimos, foram transformados em oitavas em acordo com as exigências do programa.

Após a colocação dos valores de nebulosidade, foi feita uma previsão da radiação global, que teria que ser igual ou maior que 1000 W/m^2 ao meio dia para o dia escolhido nas simulações, de acordo com valores obtidos na estação INMET-Maceió. Para se chegar a esse valor de radiação global, foi feito um ajuste de 1,2 no fator radiação. E assim chegou ao valor de 1095 W/m^2 para radiação global no modelo.

Os dados de umidade do solo para as profundidades de 0-20 cm, 20-50 cm e abaixo de 50 cm, assim como os valores de temperatura do solo, foram retirados de pesquisa elaborada por Omena (2009), que realizou estudo observacional da temperatura do solo em Maceió. Para os demais valores solicitados pelo programa, como turbulência e LBC (*Lateral Boundary conditions*), foram usados os dados padrão do programa devido a ausência de fontes de dados para a região de estudo.

A síntese dos principais dados de entrada necessários para o processamento das simulações computacionais no programa consta no Quadro 4.

Quadro 4 - Dados utilizados nas simulações computacionais

DADOS EXIGIDOS PELO PROGRAMA		DADOS DO DIA 07 DE FEVEREIRO DE 2017	FONTE
Dados de entrada	Hora inicial de simulação	21:00	-
	Duração da simulação (h)	72	-
	Velocidade dos ventos(m/s)	4	INMET
	Direção dos ventos (graus)	135	INMET
	Temperatura média mensal (°C)	26,3	Normais Climatológicas de Maceió
	Umidade relativa do ar (%)	76,6	
	Umidade específica do ar a 2500m (g/kg)	6,42	Universidade de Wyoming
Temperatura do solo	0 a 20 cm	27	OMENA (2009)
	20 a 50 cm	28	
	Abaixo de 50 cm	25	
Umidade do solo (%)	0 a 20 cm	24	
	20 a 50 cm	25	
	Abaixo de 50 cm	28	
Nebulosidade (décimas)/(oitavas)		6,0/4,8	Normais Climatológicas de Maceió
Radiação difusa (W/m ²)		82,5	INMET
Radiação global (W/m ²)		220	

4.7 Simulação do cenário hipotético

Para efeito de análise comparativa entre cenários estabelecidos para o estudo (Figura 40), foi elaborado um cenário hipotético baseado na proposta de construção do projeto de Eixo viário da região do Vale do Reginaldo²⁷. Os parâmetros utilizados para a criação deste cenário baseiam-se na inserção de via que intercepta toda a região do vale, com a inclusão de duas vias margeando o leito do riacho, revestida

²⁷ As propostas para ocupação do Vale do Reginaldo como Eixo Viário foram apresentadas na seção 3.3 deste trabalho.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

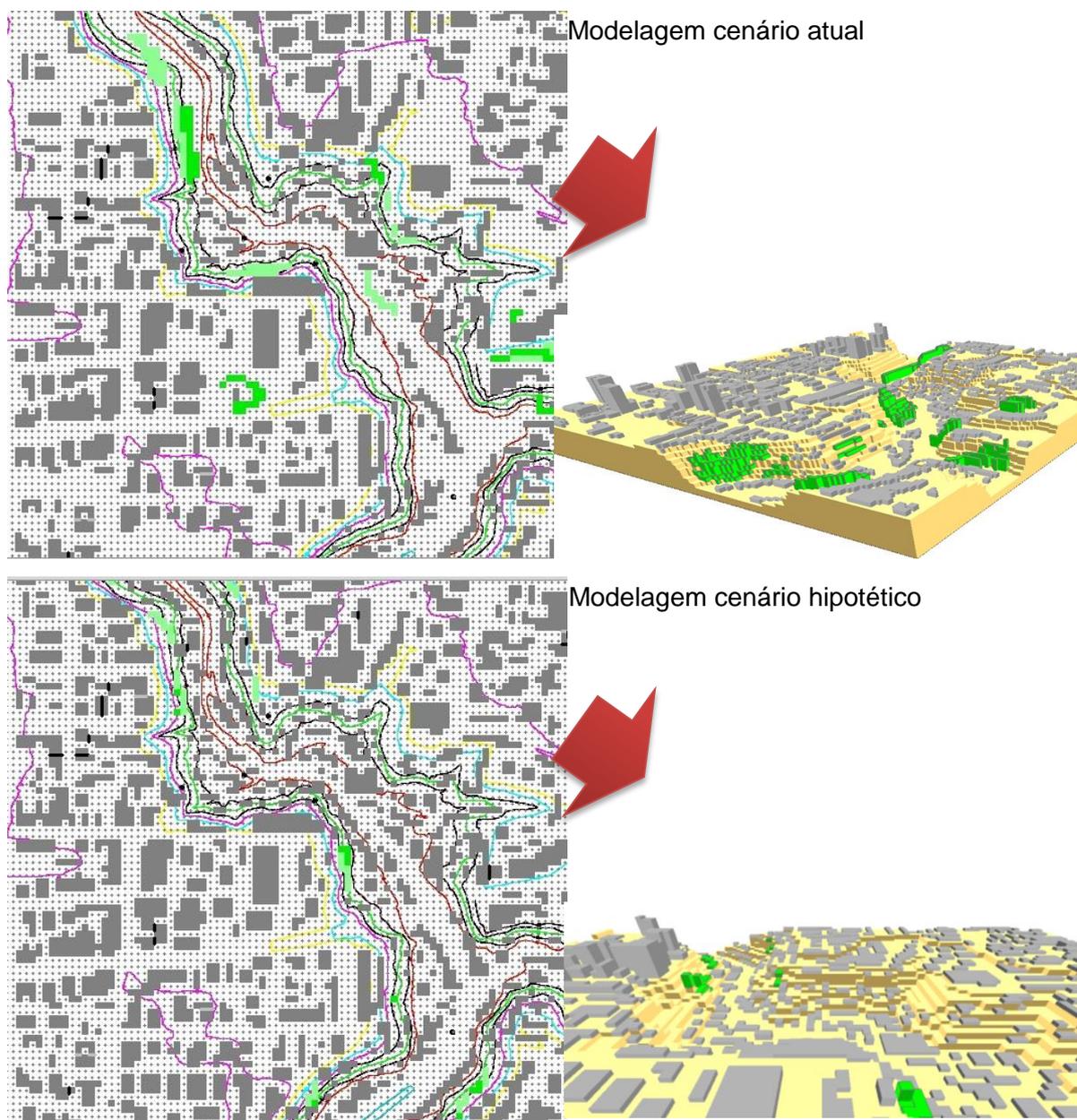
por pavimento asfáltico. Somadas a este cenário, foram inseridas edificações de 1 e 2 pavimentos às margens da via, seguindo o curso do riacho, as quais surgiriam devido à especulação imobiliária na área, provocando aumento da densidade construída e maior supressão da vegetação em relação ao cenário atual.

É importante destacar que o projeto do eixo viário não propõe a implantação de edificações às margens do riacho onde o projeto recomenda a instalação da via principal do Eixo Viário, contudo, neste trabalho sugere-se a inserção de áreas edificadas próximas a essa via devido a possível especulação imobiliária na área, que teria a proximidade a terminais de transporte de massa e as obras de reurbanização da área como fator atrativo a ocupação.

A adaptação deste cenário, faz parte das propostas de urbanização da Prefeitura de Maceió, conforme foi melhor explanado na listagem de projetos urbanos pensados para a região do Vale do Reginaldo, no Capítulo 3 deste estudo. Com isso, a proposta que se faz para a análise do cenário hipotético está na possibilidade de simular como seria o comportamento térmico do Vale, caso o projeto do Eixo Viário fosse realizado.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 40 - Comparativo mostrando modelagem de cenário atual e Hipotético no ENVI-met em 2D e 3D, respectivamente

Fonte: ENVI-met V4.2, 2017

4.8 Validação do modelo para o comportamento da temperatura do ar

O programa dispõe de uma ferramenta de simulação forçada, denominada *Simple Forcing*, onde é possível definir a variação diurna da camada atmosférica. A ferramenta *Forcing* permite uma melhor validação entre dados simulados e medidos,

Estudos climáticos em vales urbanos:

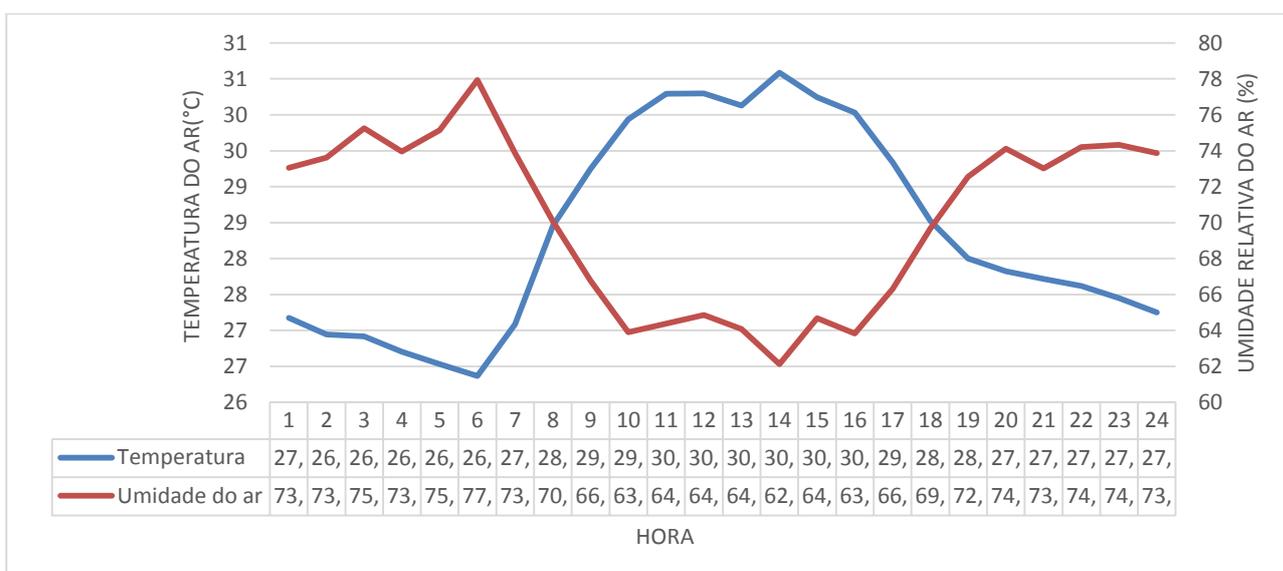
Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

o que contribui para melhorar ainda mais o trabalho de arquitetos e planejadores urbanos (HUTTNER E BRUSE, 2009).

Neste estudo também foi usada a ferramenta *Simple Forcing*, que permitiu a inserção do comportamento diário a partir dos dados meteorológicos registrados na campanha de medições *in loco*. Nas simulações dos cenários estabelecidos (cenário atual e hipotético), foram inseridos na base de dados de entrada os dados climáticos do dia 7 de fevereiro de 2017 (Figura 41), com vistas a indicar o comportamento horário no ciclo de 24h da data representativa.

É importante destacar que foram realizados diversos testes prévios para verificar a sensibilidade do programa quanto ao uso da ferramenta *Simple Forcing*.

Figura 41 - Gráfico com dados de entrada utilizados na ferramenta *Simple Forcing* para o dia 7 de fevereiro



Fonte: Autoria própria, 2017

Com o objetivo de avaliar as resultantes obtidas com as medições *in loco* e as simulações computacionais, para confirmar a calibração do modelo, foi realizado um tratamento estatístico utilizando como base o MSE (indicação de desvio médio de valores) e RMSE (medida de dispersão dos valores estimados em relação aos valores medidos), essas variáveis possibilitaram a confirmação e a confiabilidade dos resultados gerados entre os valores medidos e os valores simulados. A partir disso, foram analisados os resultados do cenário hipotético da área em comparação com o

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

cenário atual, observando o efeito da configuração urbana, chegando a conclusões que busquem trazer uma configuração urbana adequada para a região. As equações para a determinação do MSE e do RMSE são as seguintes:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{n=N} (P_n - O_n)^2}{N-1}}$$

Onde:

y_1 é o valor simulado,

x_1 é o valor medido;

n é o número de observações.

Sendo:

Erro médio de estimativa (Mean Bias Error -MBE): indica se o modelo está subestimando ou superestimando os dados observados; também chamado de erro sistemático ou viés (bias). Apresenta valores do erro na mesma dimensão da variável em análise.

Raiz quadrada do erro médio (Root Mean Square Error- RMSE): mensura os desvios não-sistemáticos (aleatórios). É comumente usada para expressar a acurácia dos resultados numéricos, com vantagem de apresentar valores do erro na mesma dimensão da variável em análise.

No quadro 5 são apresentados os dados dos cálculos do MSE (indicação de desvio médio de valores) e RMSE (medida de dispersão dos valores estimados em relação aos valores medidos) para temperatura do ar entre os valores medidos e os

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

simulados. Esses indicadores estatísticos são utilizados para determinar se as amostras de estudo são coerentes, sendo o resultado o quanto mais próximo de zero, melhor a coerência e confiabilidade das amostras utilizadas (ABREU, 2004).

Quadro 5 - Resultados do tratamento estatístico entre dados medidos e simulados para Temperatura do ar

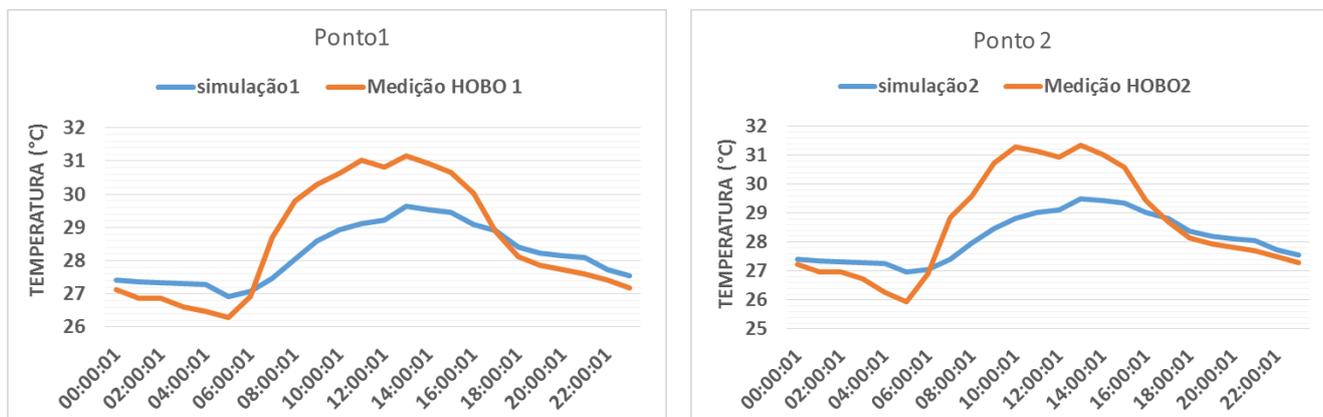
Ponto de medição/receptor	MSE	RMSE
1	0,0211	0,0003
2	0,0298	0,0002
3	0,0149	0,0002
4	0,0238	0,0002
5	0,0259	0,0001
6	0,0036	0,0001

Fonte: Autoria própria, 2017

Com os resultados obtidos com o tratamento estatístico foi verificado que os dados simulados foram aceitáveis em relação aos dados medidos por estarem equivalentes a Zero (0,00).

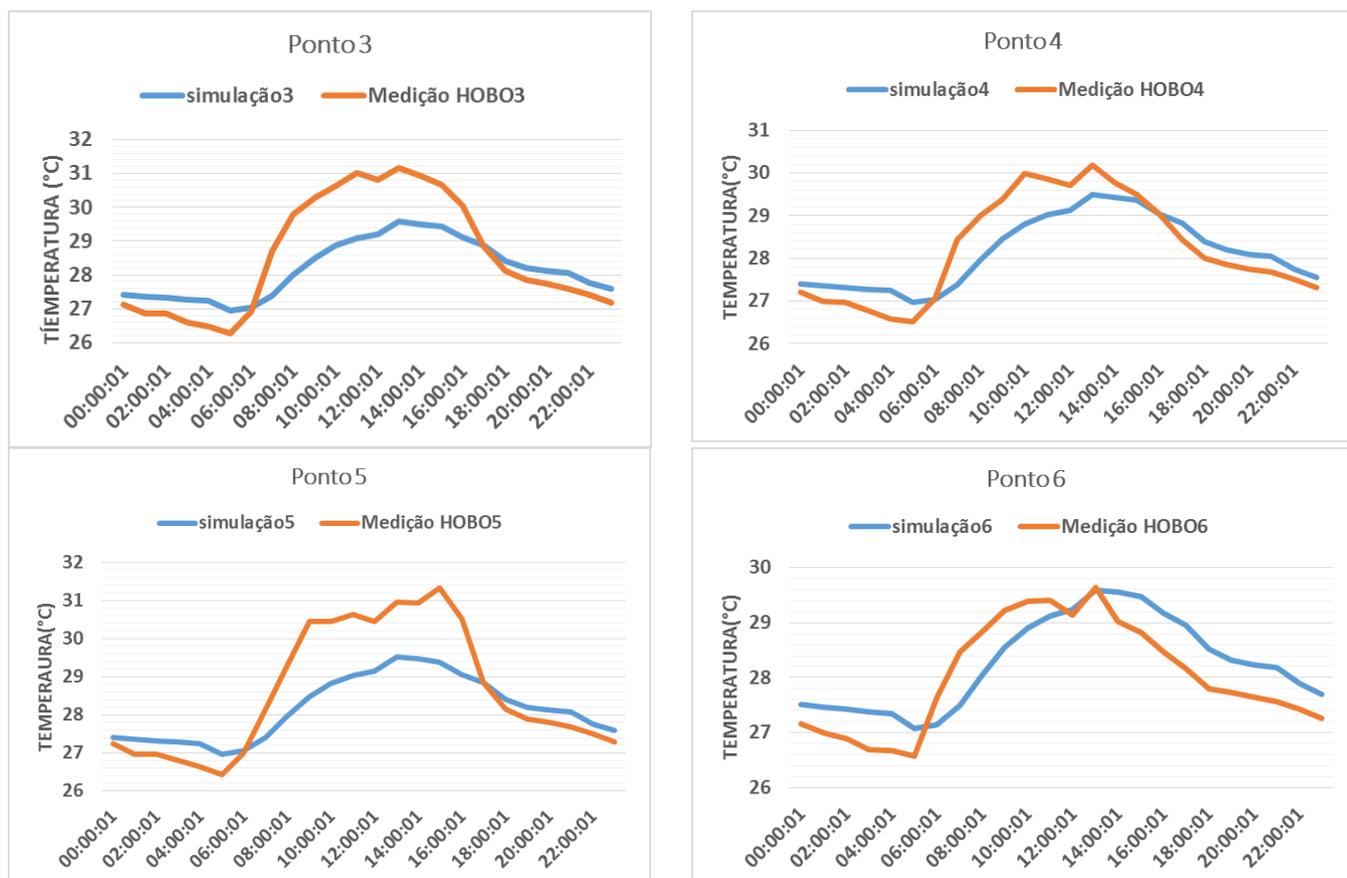
Os resultados dos gráficos das simulações comparado aos dados medidos são apresentados a seguir (Figura 42). Os dados obtidos nas medições *in loco* e dados gerados pelo programa de simulação computacional, encontram-se mais detalhados nos Apêndices 1,2 e 3.

Figura 42- Sequencia de gráficos com resultante dos dados medidos e simulados de cada ponto receptor analisado



Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL



Fonte: Autoria própria, 2017

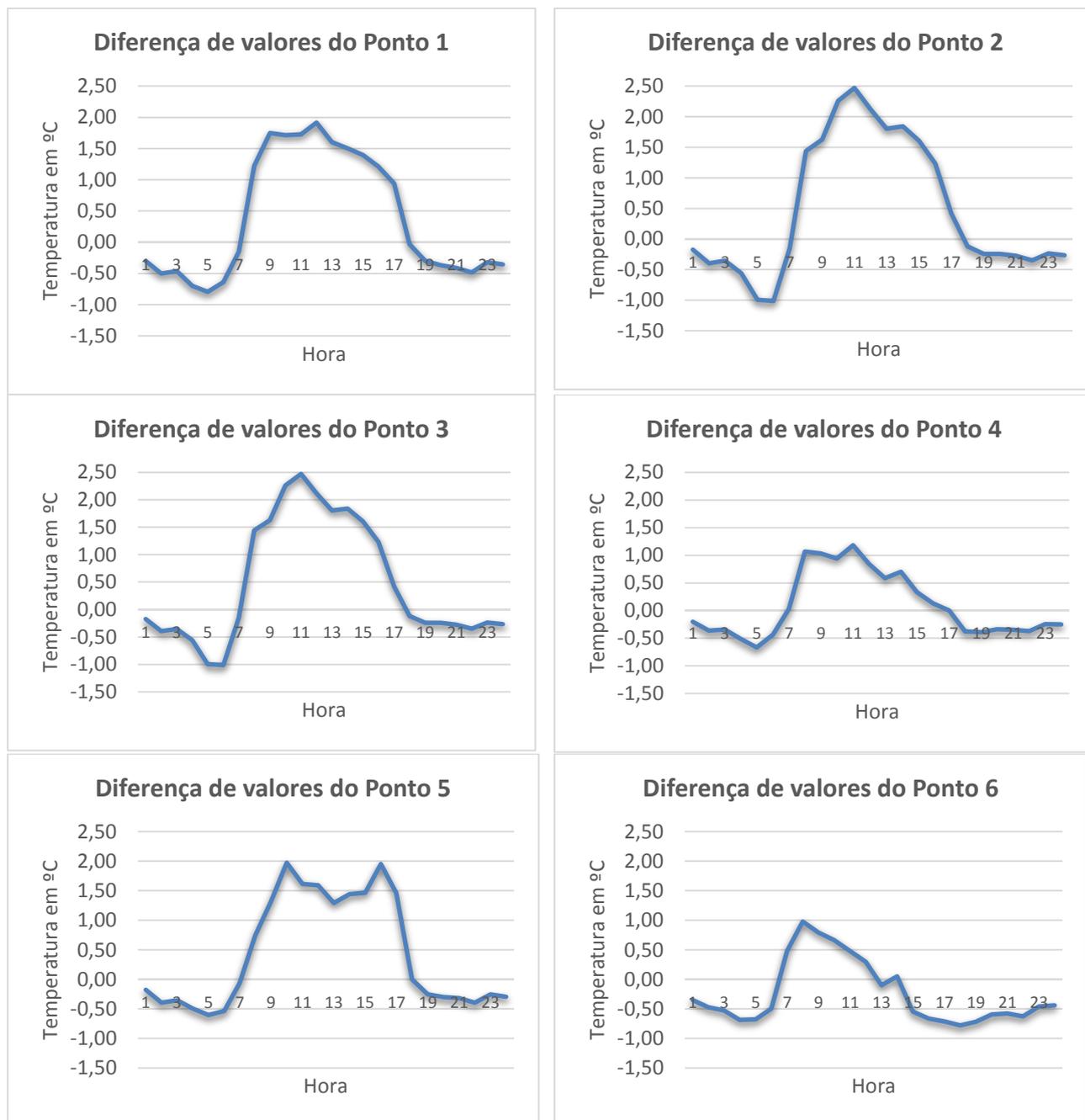
As resultantes dos dados gerados pelas simulações computacionais para o parâmetro de temperatura do ar em cada ponto amostral comparados aos dados registrados *in loco* mostraram que as maiores inconstâncias de valores ocorrem, principalmente, nos horários que há aporte de energia advinda da radiação solar, entre 7h e 16h, com maiores diferenças ao meio-dia quando as diferenças entre os dados medidos e simulados chegam a 2°C, podendo ser esta uma limitação do programa computacional. Gusson (2014), adotando a mesma metodologia para validação dos dados, obteve diferenças térmicas de até 3,3°C entre os dados reais e simulados, atribuindo esse resultado à limitação da versão do programa usada naquela pesquisa.

A Figura 43 apresenta as diferenças dos valores de temperatura do ar nos seis pontos amostrais comparando-se os dados gerados por simulação computação e os dados registrados *in loco*.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 43 - Sequência de gráficos mostrando a diferença de valores medidos e simulados, para o parâmetro temperatura encontrado em cada ponto receptor analisado



Fonte: Autoria própria, 2017

Os resultados apresentados permitiram observar que, mesmo usando a ferramenta *simple forcing* e inserindo os valores horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar, forçando o comportamento da atmosfera no modelo seguir comportamento higratérmico registrado pela estação automática do INMET no dia

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

adotado como de referência (07/02/2017), mostraram que as diferenças entre os valores de temperatura do ar simuladas no ENVI-met chegaram a até 2,5°C (pontos amostrais 2 e 3) no horário de maior aquecimento diurno, quando comparados com os dados registrado *in loco*. Entretanto, as diferenças tornam-se quase nulas nos horários noturno.

Os resultados alcançados mostraram que o modelo seguiu o padrão de variação dos dados medidos, já que a margem de erro dos *dataloggers* usados na pesquisa é de de 0,5°C a 1,0°C, operando com temperatura na faixa de -40°C a 70°C, segundo informações do fabricante. Dessa forma, os resultados foram considerados válidos.

4.9 Análise gráfica e interpretação dos resultados

Após as simulações, foram obtidas imagens pelo programa gráfico LEONARDO®, transformando os dados numéricos gerados pelo ENVI-met® em diagramas do tipo plano horizontal e seção vertical, de forma que fosse possível visualizar o comportamento do campo térmico no recorte da área objeto da presente pesquisa. Estes resultados são apresentados no capítulo a seguir.

5 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

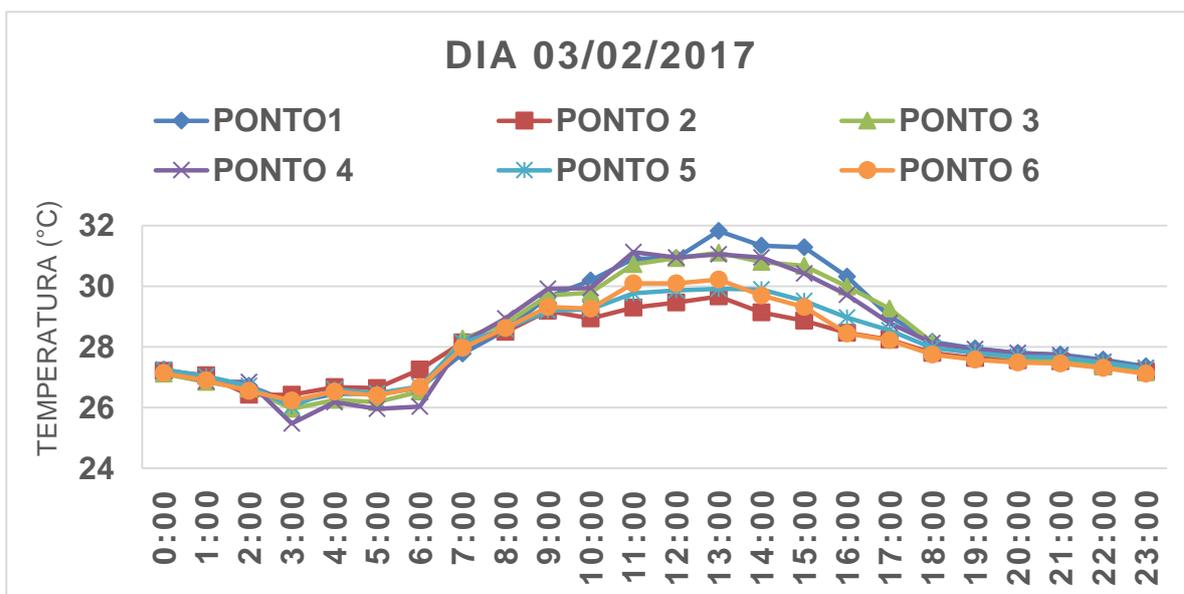
A análise dos resultados foram divididas em duas etapas. Na primeira etapa foi feita análise dos dados da pesquisa experimental, registrados nos seis pontos amostrais durante a campanha de monitoramento *in loco*. O objetivo dessa análise foi verificar as diferenças térmicas entre os pontos monitorados frente às características: cota topográfica, revestimento e ocupação do solo, existência de vegetação e densidade de construção.

A segunda etapa consistiu na análise dos dados gerados a partir de simulações computacionais com o programa ENVI-met. Nesta etapa foram feitas análises comparando-se o comportamento térmico no cenário atual e no cenário hipotético, frente as propostas de modificações das áreas do Vale do Reginaldo com a criação do Eixo Viário.

5.1 Análise dos dados obtidos na pesquisa experimental

As figuras numeradas de 44 a 51, mostram a análise do parâmetro temperatura para todos os pontos de medições referentes a todo o período de monitoramento no local.

Figura 44 - Gráfico de temperatura do ar do dia 03/02



Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 45 -Gráfico de temperatura do ar do dia 04/02

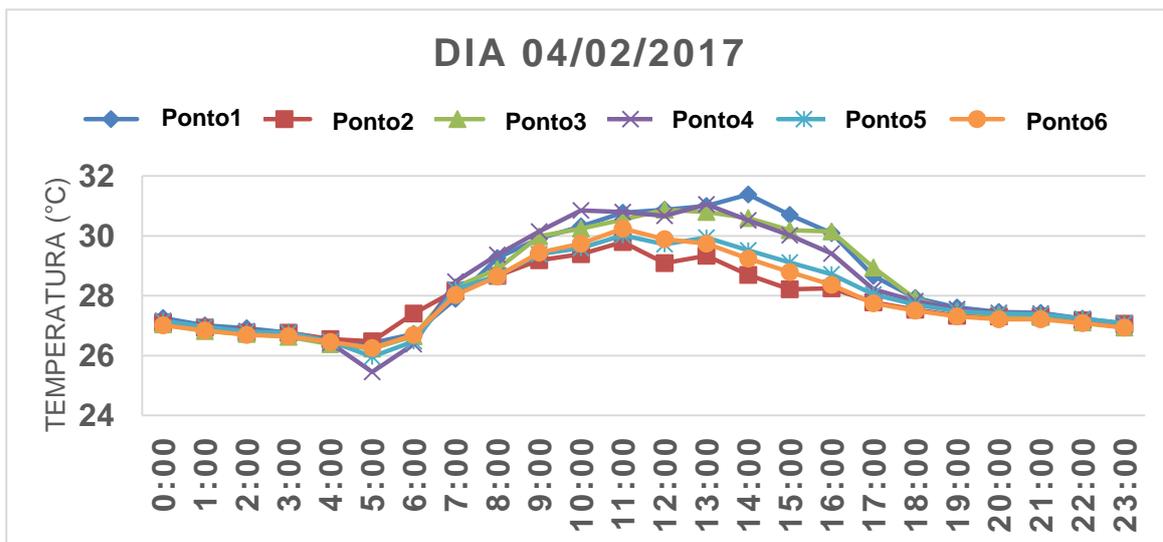


Figura 46 - Gráfico de temperatura do ar do dia 05/02

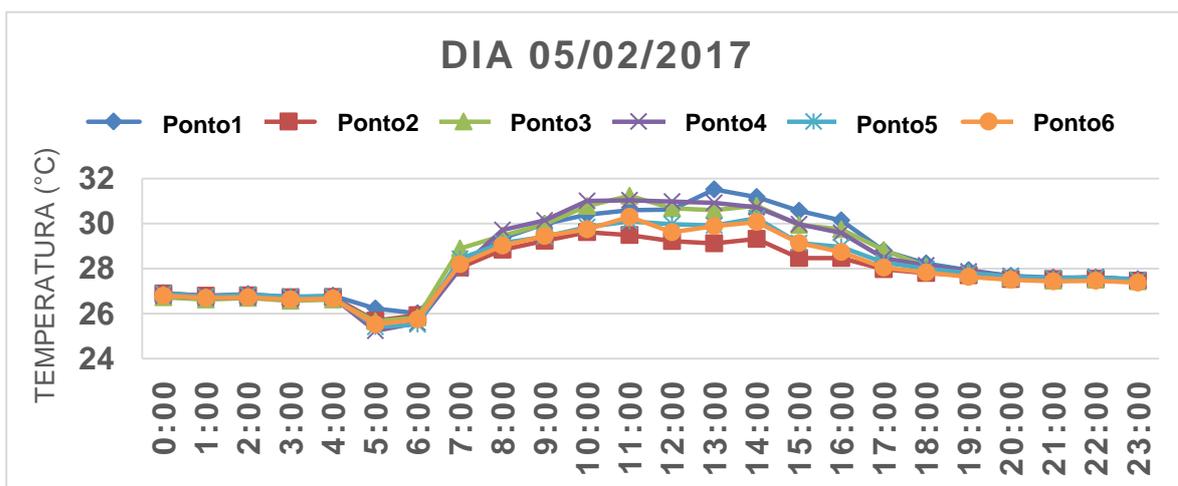
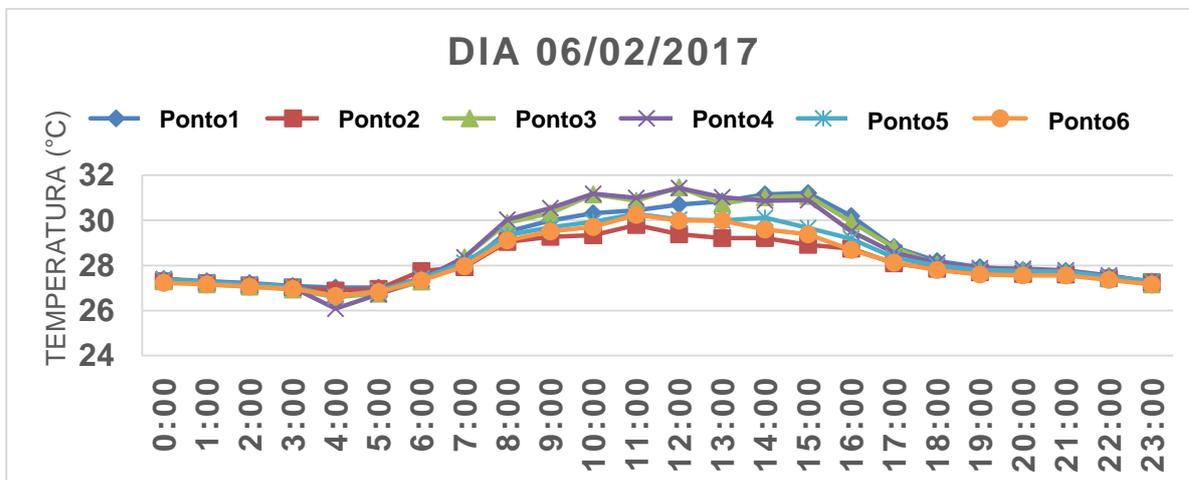


Figura 47 - Gráfico de temperatura do ar do dia 06/02



Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 48 - Gráfico de temperatura do ar do dia 07/02

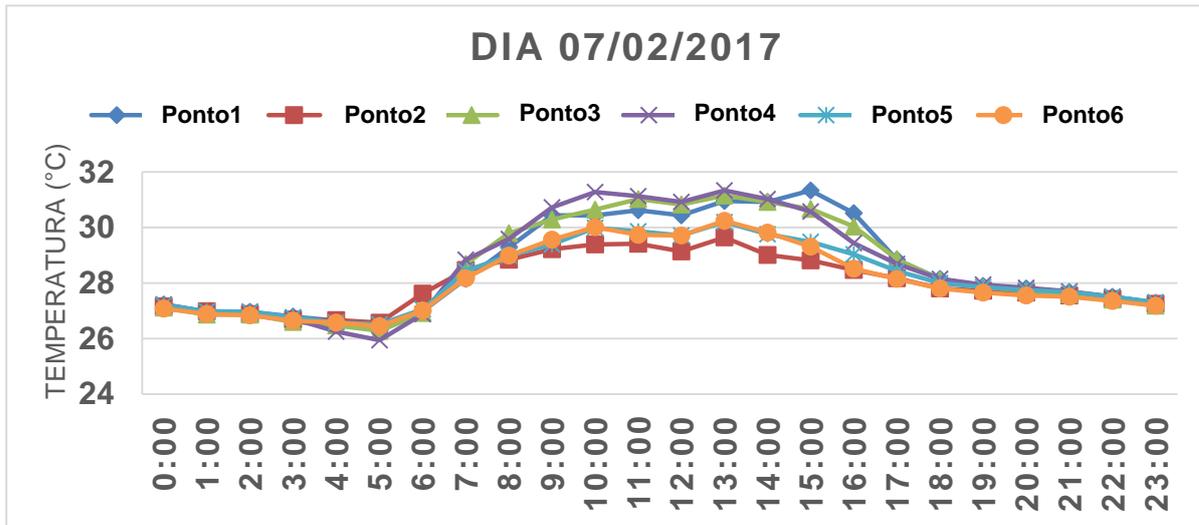


Figura 49 - Gráfico de temperatura do ar do dia 08/02

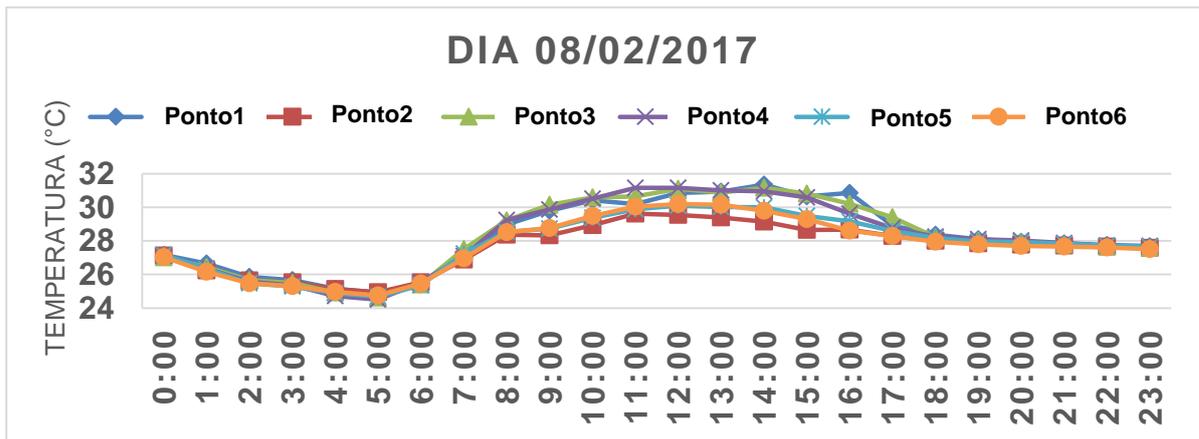


Figura 50 -Gráfico de temperatura do ar do dia 09/02

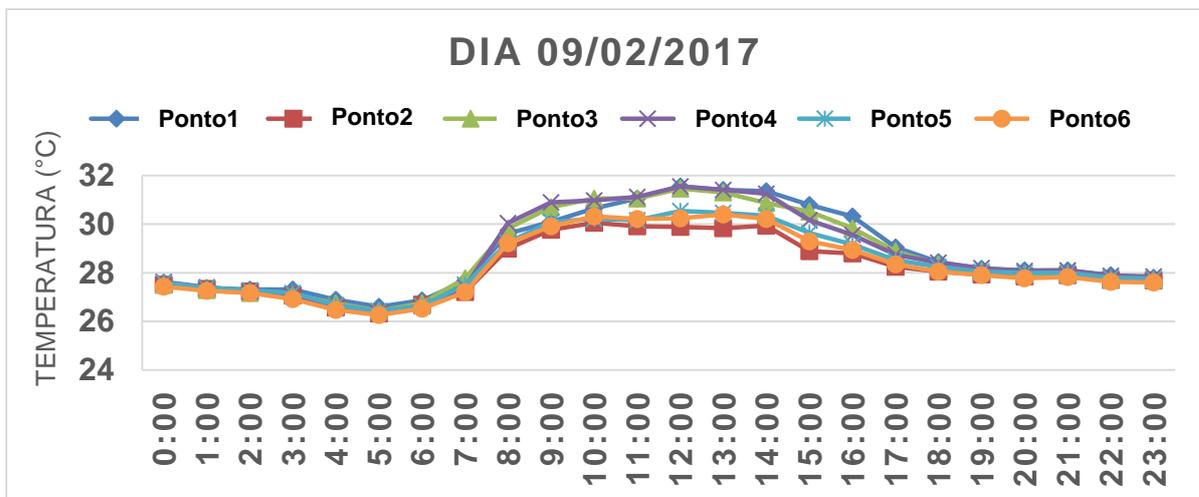
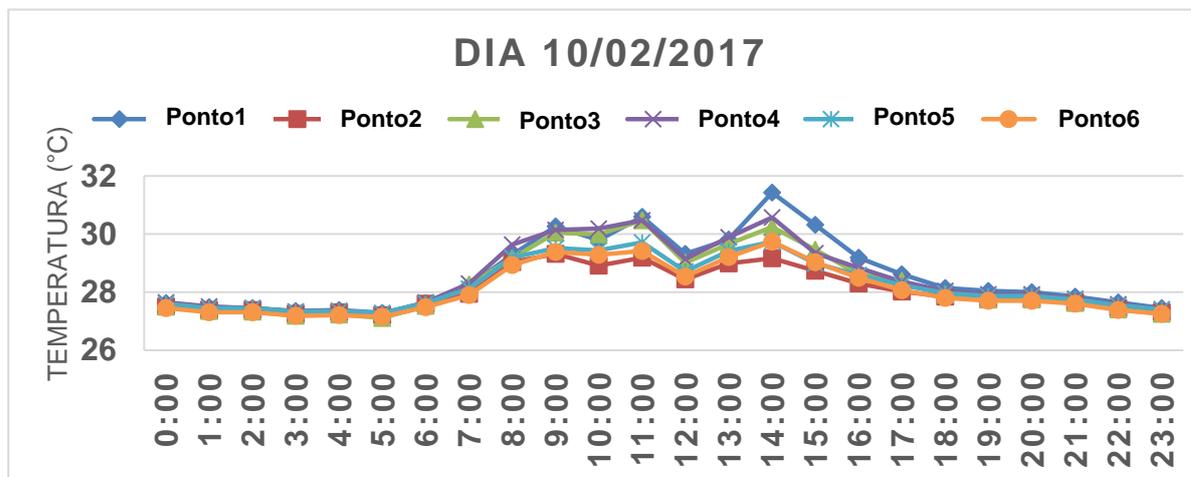


Figura 51 -Gráfico de temperatura do ar do dia 10/02



As análises mostram em todos os gráficos, o ponto 1 como o mais quente e o ponto 4 como o que apresenta valores térmicos mais baixos no comparativo de gráficos relativos ao período de monitoramento no local. Enfatizando-se que as características desses pontos estão relacionados com os resultados encontrados, pois, o Ponto receptor 1 caracteriza-se por estar localizado na principal via de acesso ao Reginaldo, local de relevante tráfego de pessoas e veículos; e o Ponto receptor 4 está locado entre adensado de edificações térreas, a explicação para as baixas temperaturas registradas seria a possibilidade de sombreamento obtida pela proximidade desse ponto receptor com a área de encosta. Além disso, de acordo com a análise de FVC (Fator de Visão do Céu) registrado no quadro 2, o ponto receptor 4 é o que apresenta maior área de obstrução do céu – acima de 50%- comprovando assim, o sombreamento como fator colaborador para as baixas temperaturas encontradas.

Os dias analisados apresentaram comportamento térmico similar, sendo a data referente ao dia 07/02/2017, a que registrou os maiores valores térmicos alcançados durante todo o período de monitoramento.

As figuras 52, 53 e 54, apresentam os registros obtidos de temperatura do ar nos seis pontos monitorados no horário das 9h, 15h e 21h, respectivamente.

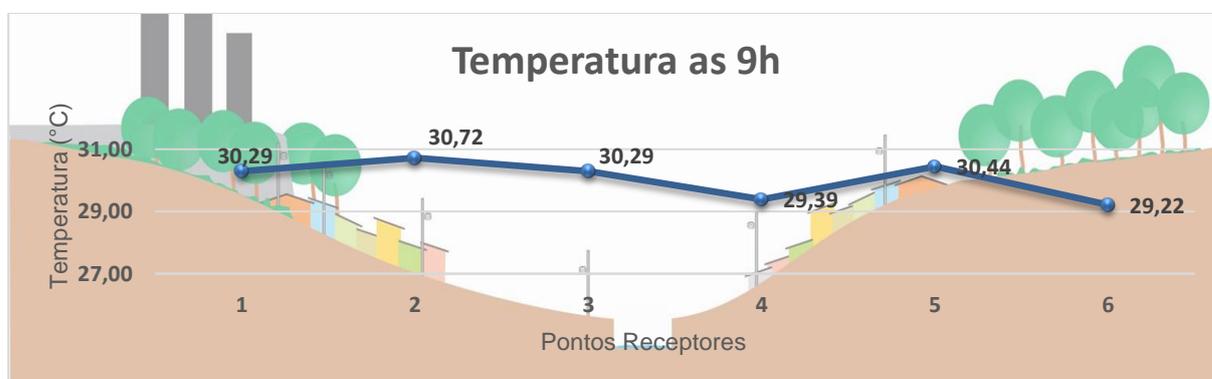
A partir do gráfico das 9h (Figura 52), foi possível constatar que o ponto 2 apresentou tendência de maior aquecimento em relação aos demais pontos monitorados, com temperatura detectada a aproximadamente 31°C. Destaca-se que

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

o ponto 2 é o segundo ponto mais alto, e provavelmente sua configuração constituída por densidade construtiva composta por edificações multipavimentos, revestimento de solo concreto associado ao solo nú em região de encosta, se constitui como fator potencializador do aquecimento e sirva como barreiras a ventilação de acordo com a direção dos ventos na área. Em contrapartida, o ponto receptor 4 e 6, se apresentam como o de temperaturas mais baixas às 9h. O ponto 4 está inserido em meio a um aglomerado de edificações construídas muito próximas. E o ponto 6, assim como o ponto 2, é o que apresenta maior altitude em relação aos demais pontos receptores, destacando que topograficamente, nos pontos mais altos a ventilação atinge maiores intensidades, tornando assim, uma área termicamente mais amenas que as demais analisadas. Além disso, o ponto 6 está situado em região a barlavento de ventos provenientes do oceano atlântico, somado as características específicas do Ponto 6, que não possui obstáculos que impeçam a penetração dos ventos para o interior da borda, já que a presença de verticalização na área ficou disposta por trás do local da medição.

Figura 52 - Valores absolutos de temperatura do ar no dia 07/02/2017, às 9h



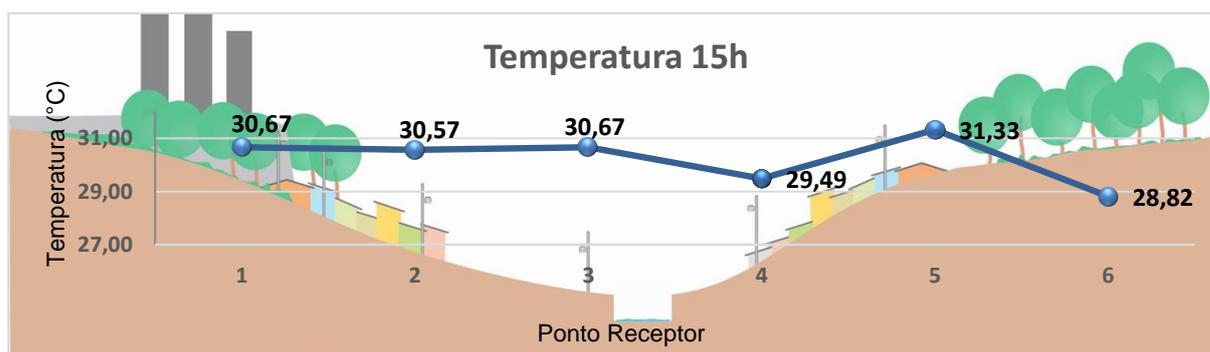
No gráfico das 15h (Figura 53), foi possível observar que houve uniformidade no comportamento térmico entre os valores dos pontos 1, 2 e 3, com valores a pouco mais de 30,5°C. Entretanto, a partir do ponto 4 houve uma pequena oscilação, destacando o ponto 5 como o mais quente, e o ponto 6 como o mais frio para o horário analisado. Ressalta-se que os pontos 5 e 6 estão localizados próximos: o ponto 5 em área de encosta e o ponto 6 em área de borda de encosta. Contudo, a conformação do ponto 5, segundo análise de Fator de Visão do Céu (FVC), aponta que a região possui menor área de obstrução de céu em comparação aos demais pontos amostrais (41,9%), o que significa dizer que a localização desse ponto amostral se encontra mais

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

exposta a radiação solar direta ao longo do dia. Aliado a isso, os componentes do local: pouca vegetação, solo exposto, aglomerado de edificações de até dois pavimentos, influenciam no comportamento térmico do ponto 5. Já os resultados apresentados para o ponto 6, refletem no fator altitude conforme explicado no caso da figura 52.

Figura 53 - Valores absolutos de temperatura do ar no dia 07/02/2017, às 15h



O gráfico das 21h (Figura 54), mostra a tendência de uniformidade do comportamento térmico microclimático dos seis pontos analisados para o determinado horário. Destacando que a diferença de valores entre os pontos analisado foi mínima. Neste caso, as temperaturas obtidas após o pôr do Sol, rapidamente se estabilizam, caracterizando um efeito de “ilha de calor”²⁸ particular de região de baixa latitude²⁹ com clima quente e úmido, a qual pertence a região estudada.

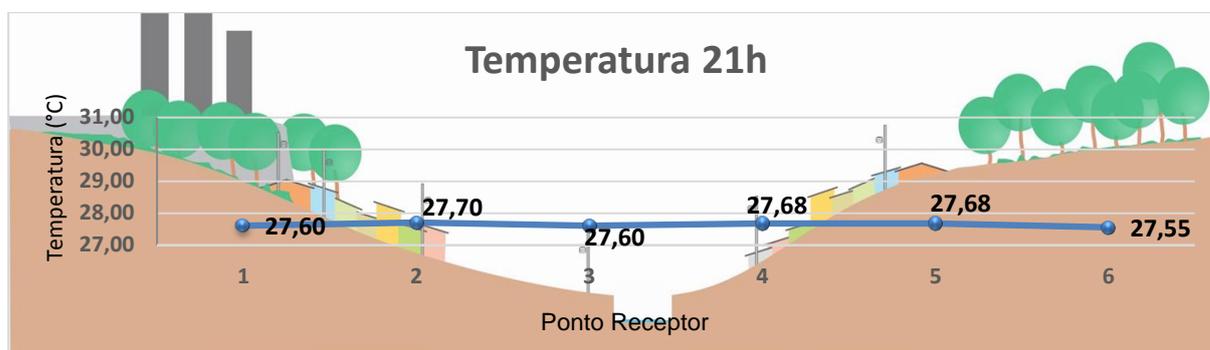
²⁸Ilha de calor caracteriza-se como um fenômeno que altera a temperatura de uma determinada região, que na maioria das vezes são centros urbanos. Essa alteração e intensidade da temperatura ocasionam muitas vezes precipitações muito intensas, trazendo transtornos para a população. O crescimento desordenado e a falta de planejamento das grandes metrópoles, mais o excesso de construções verticalizadas, colaboram para a ocorrência do fenômeno (DOS SANTOS e RODRIGUES, 2017).

²⁹As regiões de baixas latitudes estão localizadas em áreas próximas a linha do Equador, os raios solares incidem de forma perpendicular na atmosfera, resultando em temperaturas elevadas (OLIVEIRA, 2014).

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Figura 54 - Valores absolutos de temperatura do ar para o dia 07/02/2017, às 21h

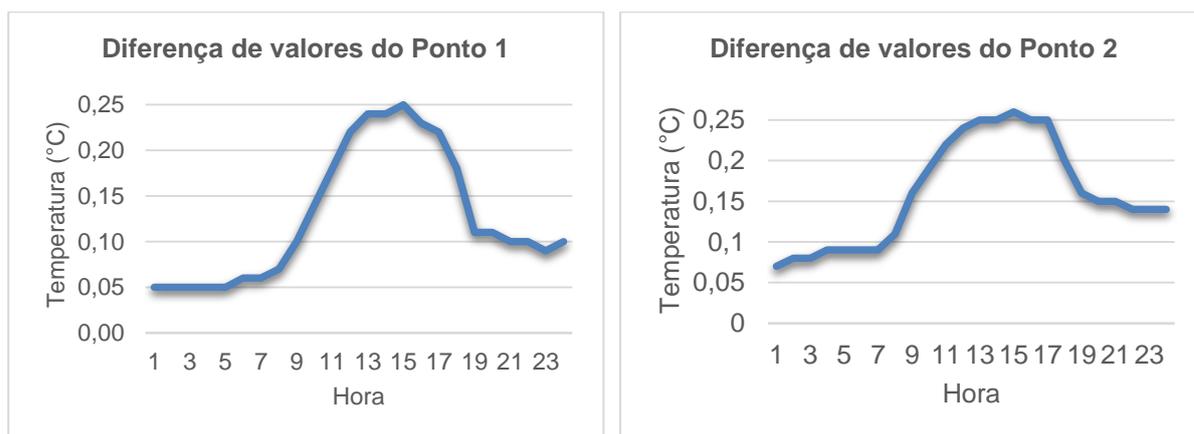


5.2 Análise dos resultados obtidos por simulação computacional

5.2.1. Análise microclimática

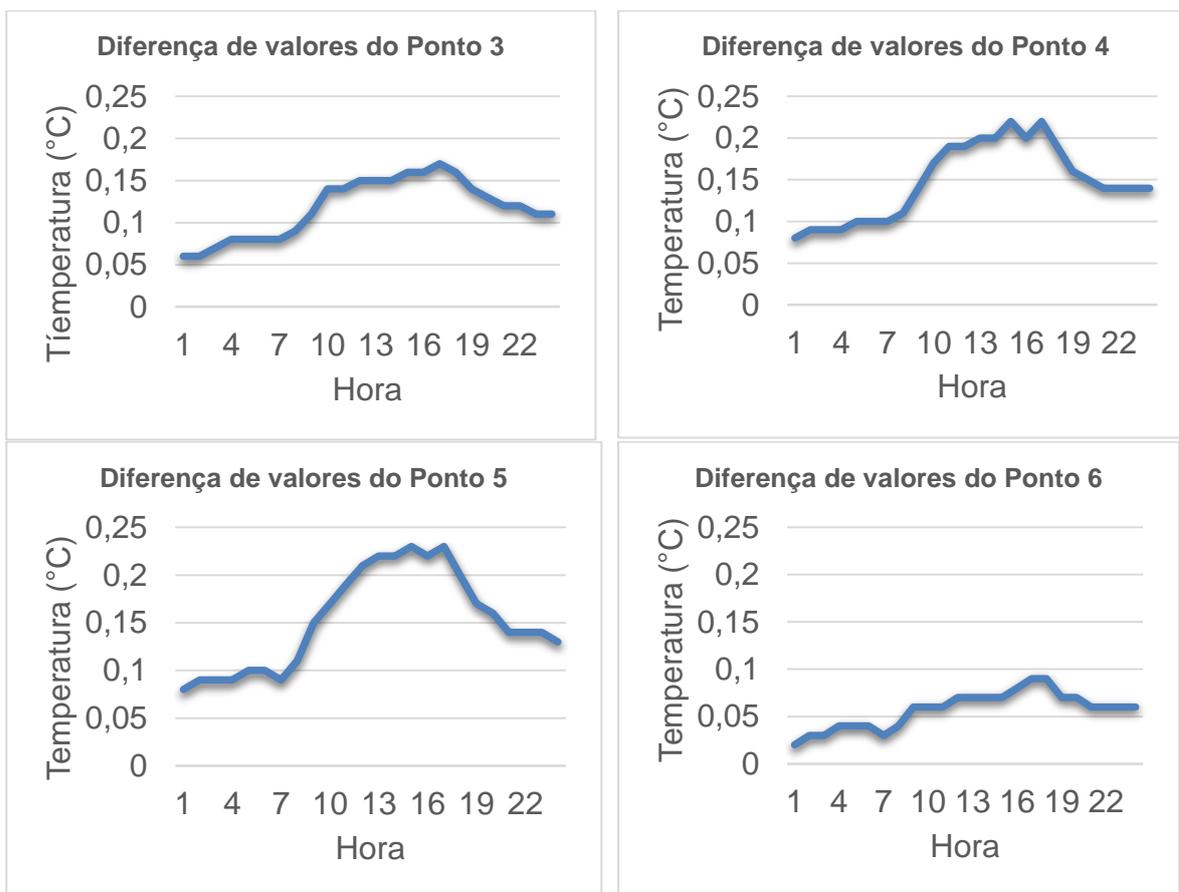
Com o propósito de analisar em escala microclimática as simulações computacionais, foram elaborados gráficos que apresentam as variações de valores obtidas entre as simulações dos cenários estudados, conforme visto na sequência de gráficos da figura 55.

Figura 55 - Sequência de gráficos mostrando a diferença de valores simulados entre cenário Atual e Hipotético, para o parâmetro temperatura do ar encontrado em cada ponto receptor analisado



Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL



Ao ser comparado o comportamento térmico dos cenários analisados por meio de simulação computacional (cenário Atual e hipotético), foi observado que os pontos apresentaram comportamento semelhante, embora destaque-se os Pontos 1 e 2 como os que apresentaram maiores diferenças horárias. Ressaltando-se que o ponto 1 se configura como o mais próximo a região do Riacho Reginaldo; local que de acordo com o cenário hipotético proposto, é o que está mais suscetível às transformações de uso e ocupação do solo por ser local de instalação do Eixo Viário. Já o ponto 2, de acordo com a elaboração do cenário hipotético, se apresenta com mudança de revestimento de solo exposto (cenário atual) para concreto, e supressão de vegetação na localidade em que se insere: próximo a região de borda na encosta.

Como extremo dos pontos 1 e 2, o gráfico de variação de valores referentes ao ponto receptor 6, é o que apresenta curva diferente dos demais gráficos e as menores variações de valores, talvez devido a ocupação de solo já consolidada na região compreendida nas áreas lindeiras ao vale, que de acordo com a modelagem do cenário hipotético, não foi passível de mudança.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Com o objetivo de identificar o grau de precisão dos dados provenientes das simulações atuais e hipotéticas, os resultados dos cenários analisados sob as mesmas condições climáticas foram submetidos a análise da média e desvio padrão (quadro 6).

Quadro 6: Dados de média e desvio padrão de cada simulação realizada no estudo

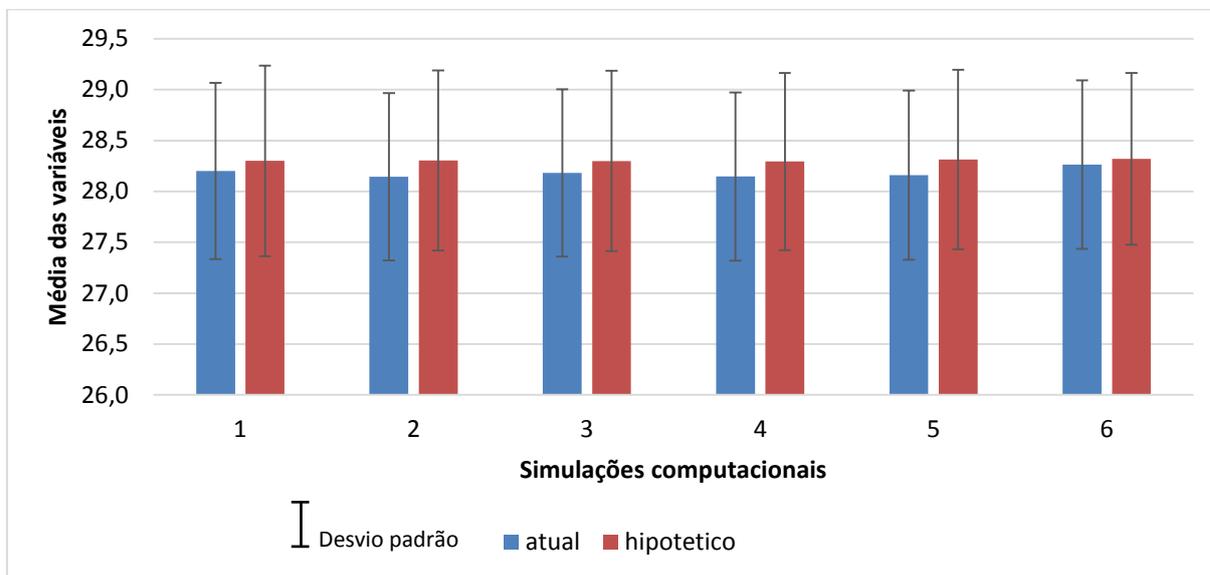
Simulação	Média	Desvio padrão (S)
Atual 1	28,2	0,9
Atual 2	28,1	0,8
Atual 3	28,2	0,8
Atual 4	28,1	0,8
Atual 5	28,2	0,8
Atual 6	28,3	0,8
Hipotético 1	28,3	0,9
Hipotético 2	28,3	0,9
Hipotético 3	28,3	0,9
Hipotético 4	28,3	0,9
Hipotético 5	28,3	0,9
Hipotético 6	28,3	0,8

Fonte: Autoria própria

Os resultados encontrados foram considerados aceitáveis para esta pesquisa, pois todos os valores obtidos se encontram dentro do que é considerado ideal para desvio padrão, com pouca diferença existente entre as simulações analisadas e valores iguais a zero³⁰, conforme mostra gráfico da figura 56.

³⁰ Desvio-padrão pode-se conceituar como o desvio dos valores em relação à média dos valores. Seu valor ideal é igual a zero, e, quanto maior for, mais problemática é a pesquisa. Esta medida estatística é fundamental para dar confiabilidade nas respostas da pesquisa. O desvio padrão é calculado por meio da raiz quadrada da variância para a amostra (TIBONI, 2010).

Figura 56 - Gráfico mostrando desvio padrão de cada simulação computacional a partir da média das variáveis



Fonte: Autoria própria

5.2.2. Análise topoclimática

5.2.2.1 Análise dos diagramas de temperatura do ar no plano horizontal

As figuras a seguir mostram os resultados da simulação computacional para a área em estudo considerando os dados de entrada referente ao comportamento climático do dia 07/02/2017, selecionado como referência para esta análise, conforme descrito no capítulo de procedimentos metodológicos.

Como método de análise, foi observado o parâmetro de temperatura do ar, de forma a conhecer o comportamento do campo térmico, em escala de abordagem topoclimática. A análise foi feita considerando os dados dos horários: 9h, 15h e 21h, considerados horários sinóticos para as observações relacionadas ao clima³¹.

A análise do comportamento do campo térmico em plano horizontal foi feita em dois planos: a 25 metros, em relação ao nível do mar, de forma a analisar o campo

³¹ Como rotina, as observações meteorológicas devem ser efetuadas em horários padronizados internacionalmente, denominados "horários sinóticos". Estes horários são: horas sinóticas principais - 0000, 0600, 1200 e 1800 HMG; e horas sinóticas intermediárias - 0300, 0900, 1500 e 2100 HMG. O horário sinótico está sempre referenciado ao meridiano de Greenwich. Fonte: BRASIL, 2016.

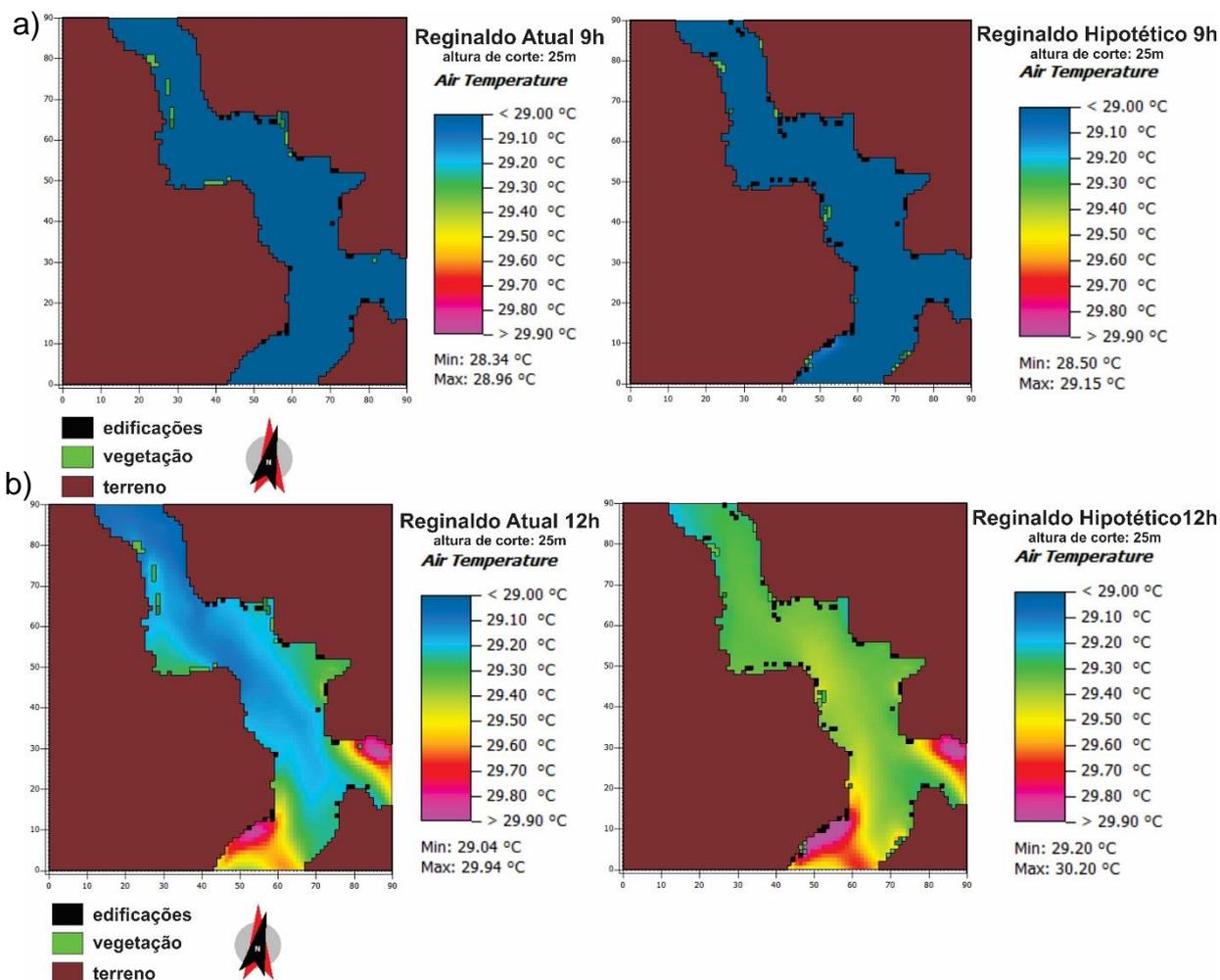
Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

térmico intravale; e a 46 metros, em relação ao nível do mar, de forma a analisar o campo térmico nas áreas lindeiras ao Vale.

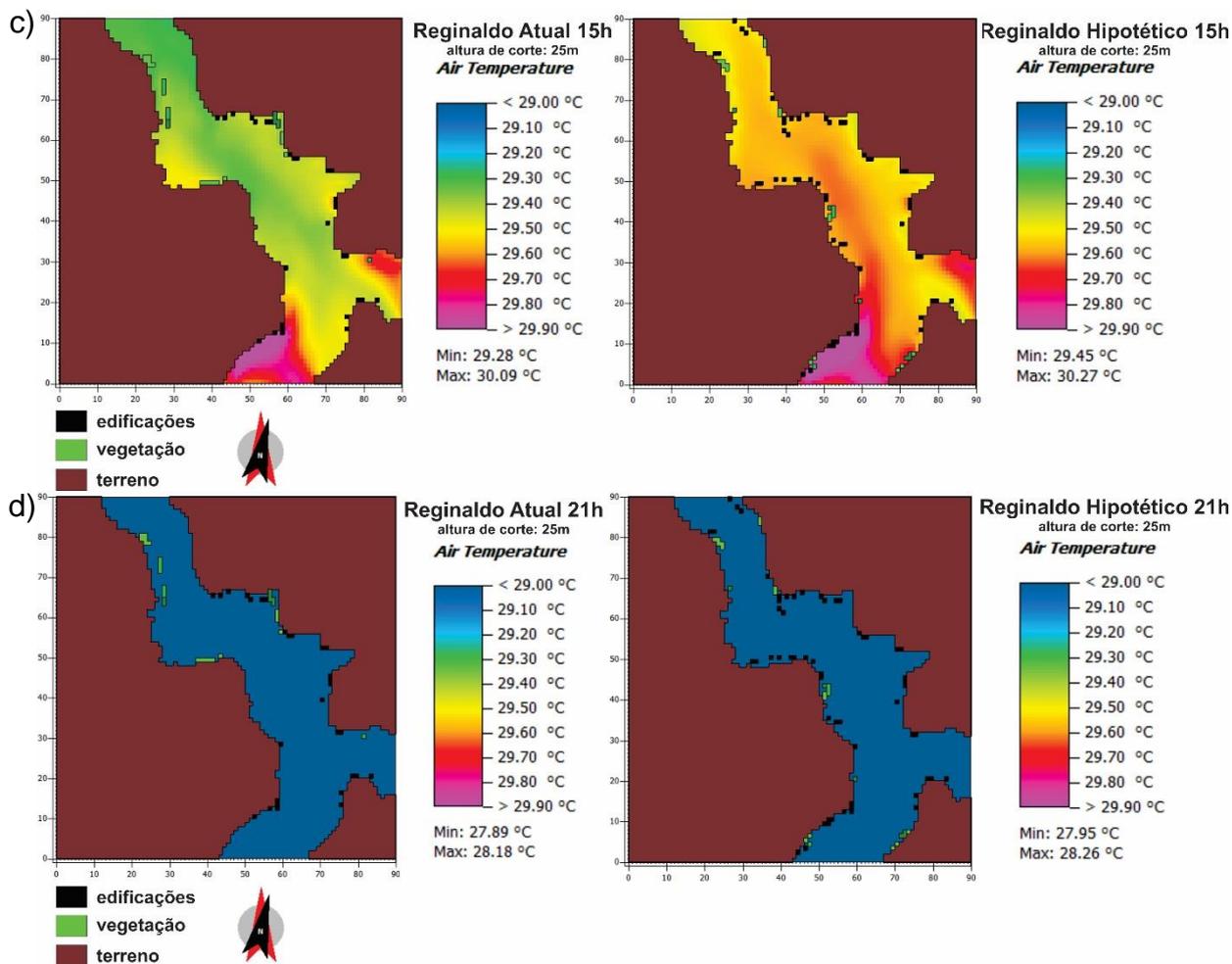
A Figura 577 mostra o comportamento do campo térmico na porção intravale, na altura de 25m em relação ao nível do mar, nos quatro horários analisados, considerando a ocupação do solo no cenário atual e no cenário hipotético.

Figura 57 - Sequência de diagramas do tipo seção horizontal de cenário atual e hipotético do dia 07/02/2017 com altura de corte à 25m



Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL



No período das 9h da manhã (Figura 57 a), tanto a figura correspondente ao cenário atual, como a do hipotético apresentam comportamento uniforme, com valores a 29°C.

No horário das 12h (Figura 57 b), a proposição de cenário hipotético apresenta valores de temperatura maiores que os do cenário atual, com resultados que partem dos 29,30°C. Destaque em ambos os cenários da figura 57b, para as porções a Sudeste dos mapas, pois nessa determinada localização há maior variação e concentração de temperaturas mais elevadas com aquecimento médio em torno de 29,9°C. Vale lembrar que é exatamente nessa região com temperaturas acima de 29°C, que está localizada avenida de intenso fluxo de veículos na ponte sobre o Reginaldo, próximo a Rodoviária de Maceió.

No diagrama correspondente às 15h (Figura 57c), pode-se observar que os valores encontrados chegam a mais de 30°C, principalmente no cenário hipotético, sugerindo a transformação do cenário analisado como elemento de intensidade

Estudos climáticos em vales urbanos:

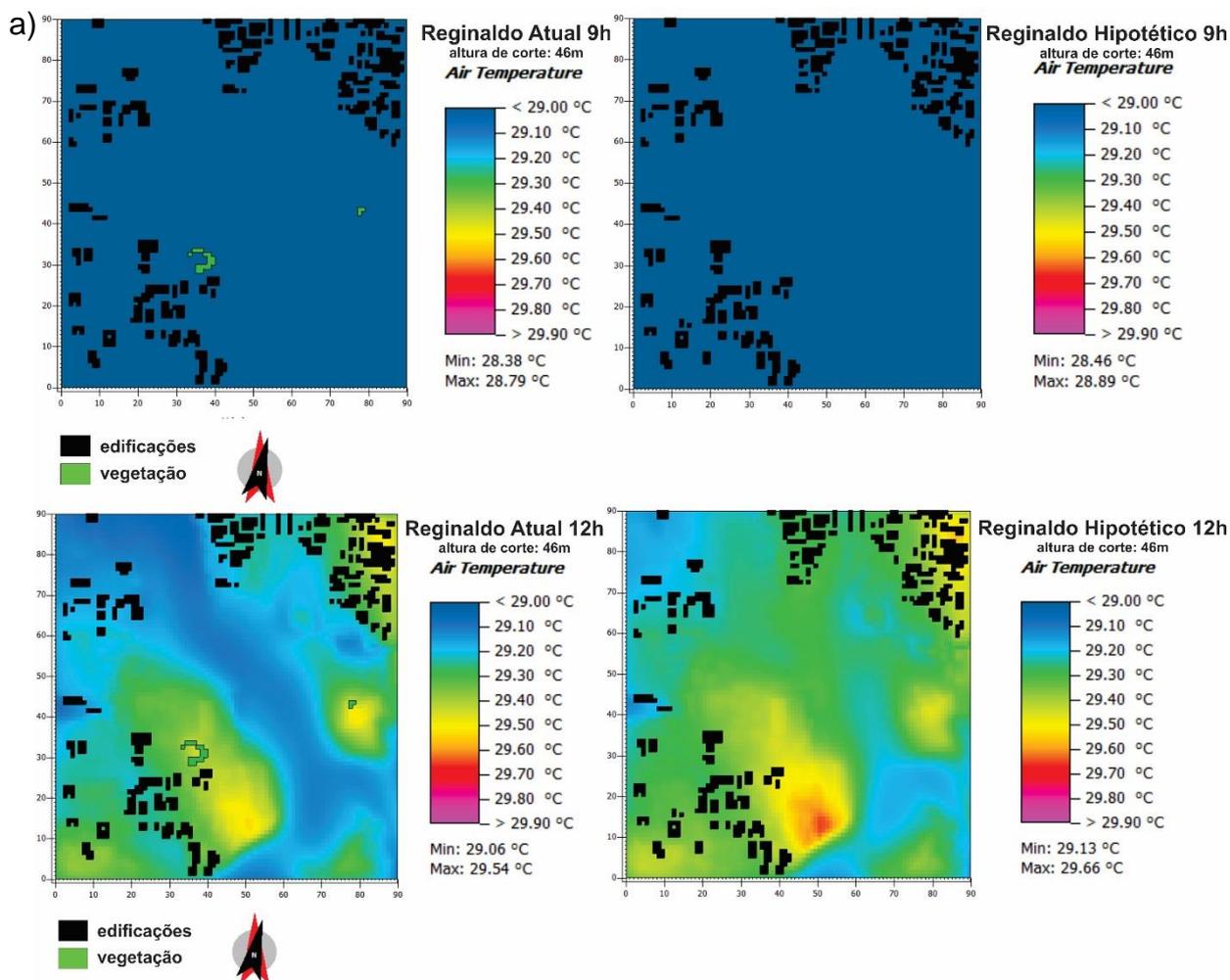
Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

térmica. Destacando novamente em ambos os cenários para este horário, a porção Sudeste, como a que apresenta maior variação térmica e concentra as regiões mais quentes.

Já para o diagrama das 21h (Figura 57d), o comparativo se assemelha aos casos das 9h, porém com temperaturas mais amenas (mínimas em torno de 27,9°C e máximas em torno de 28, 2°C).

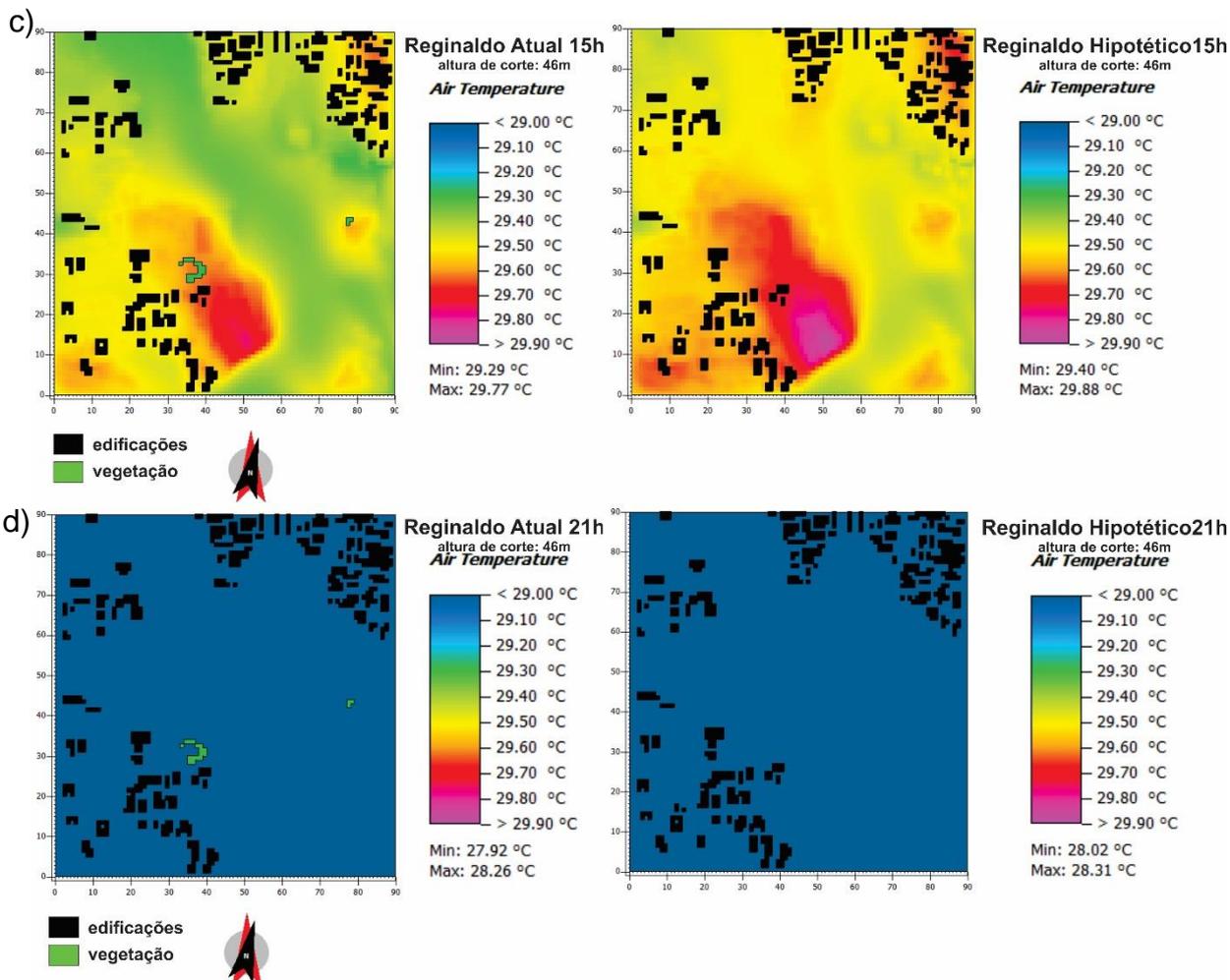
Em suma, os valores de temperatura nos diagramas analisados em diferentes horários variam de 27, 9°C a pouco mais 30°C, o que caracteriza a região intravale como zona de altas temperaturas, levando em consideração que possivelmente a forma de canion aliada a configuração da ocupação urbana ali instalada, somam atributos para que esse fato ocorra.

Figura 58 - Sequência de diagramas do tipo seção horizontal de cenário atual e hipotético do dia 07/02/2017 com altura de corte à 46m



Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL



Nos comparativos correspondentes aos horários das 12h e 15h (Figuras 58b e 58c, respectivamente), principalmente nas porções a Sul dos comparativos, onde os valores encontrados se mostram acima de 29°C e próximos a 30°C. O destaque dos comparativos das 12h e 15h está na porção Sul destes, especificamente nas manchas avermelhadas, onde são concentrados os maiores valores térmicos, lembrando que a porção Sul dos mapas correspondem a áreas de fim de encosta e início de área de borda, onde se concentram edificações de alturas variadas. Esta característica, comprova a influência da concentração de edificações em determinado local, como elementos intensificadores de temperaturas mais elevados, se somado a existência de edificações altas na região, tal efeito pode se tornar mais intenso devido a proposição de barreiras a ventilação e contribuição a formação de ilhas de calor nestas áreas de borda do Vale.

Os diagramas referentes as 9h e 21h (figuras 58a e 58d, respectivamente) se mostram semelhantes aos dos comparativos da figura 57, pois estes também

Estudos climáticos em vales urbanos:

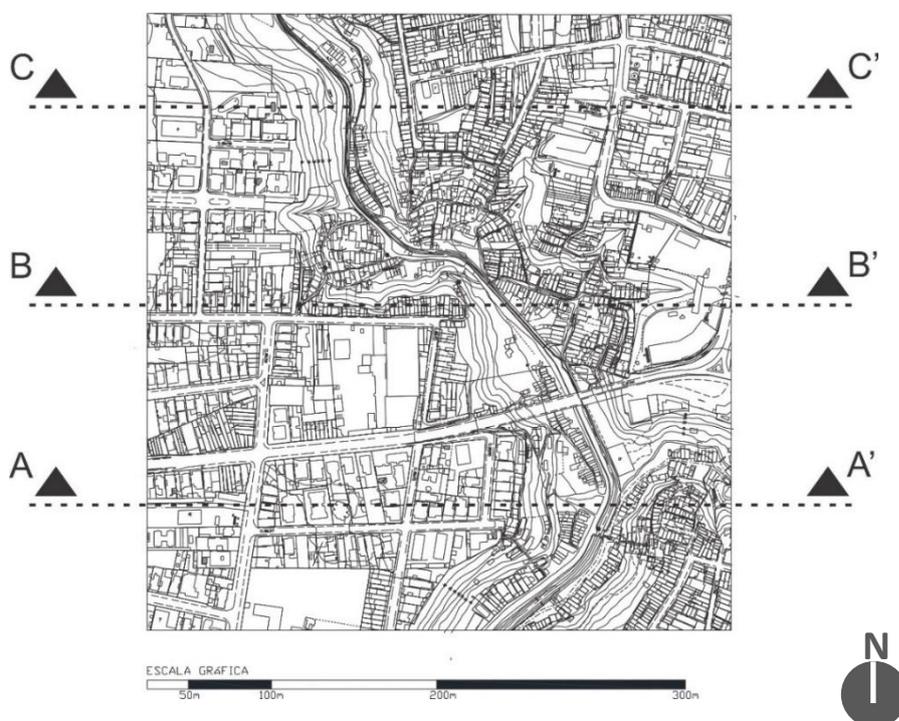
Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

apresentam comportamento térmico uniforme com temperaturas que não ultrapassavam dos 29°C, resultando em situações de comportamento térmico mais amenos que nos comparativos das 12h e 15h.

5.2.2.2 Análise dos diagramas de temperatura do ar em seção vertical

Para melhor compreensão dos diagramas em seção vertical (corte transversal), foram adotadas três secções: AA', BB' e CC', conforme indicado na Figura 59.

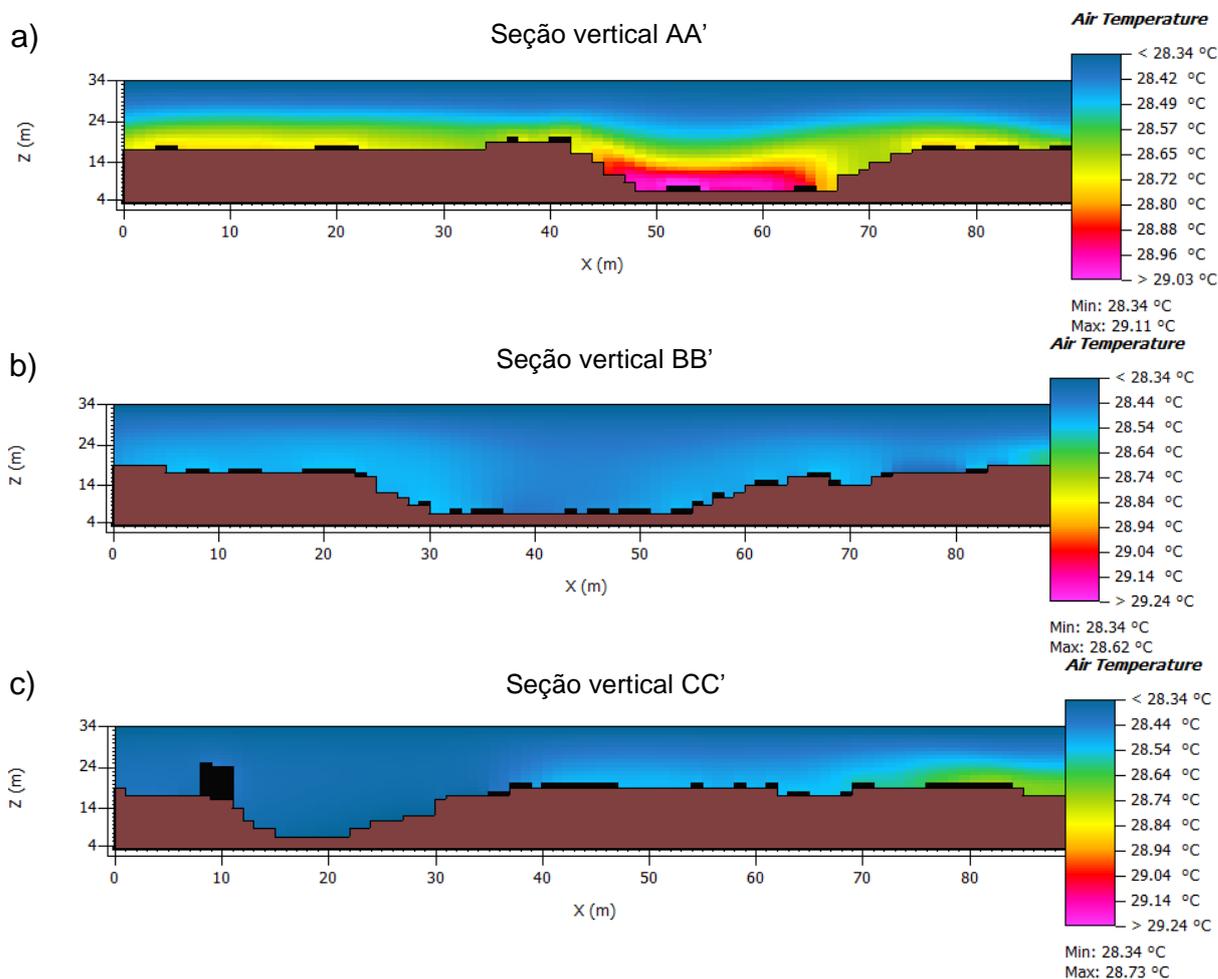
Figura 59 - Localização de diferentes alturas de corte na área de estudo



Fonte: Adaptado da base cartográfica de Maceió, 2017

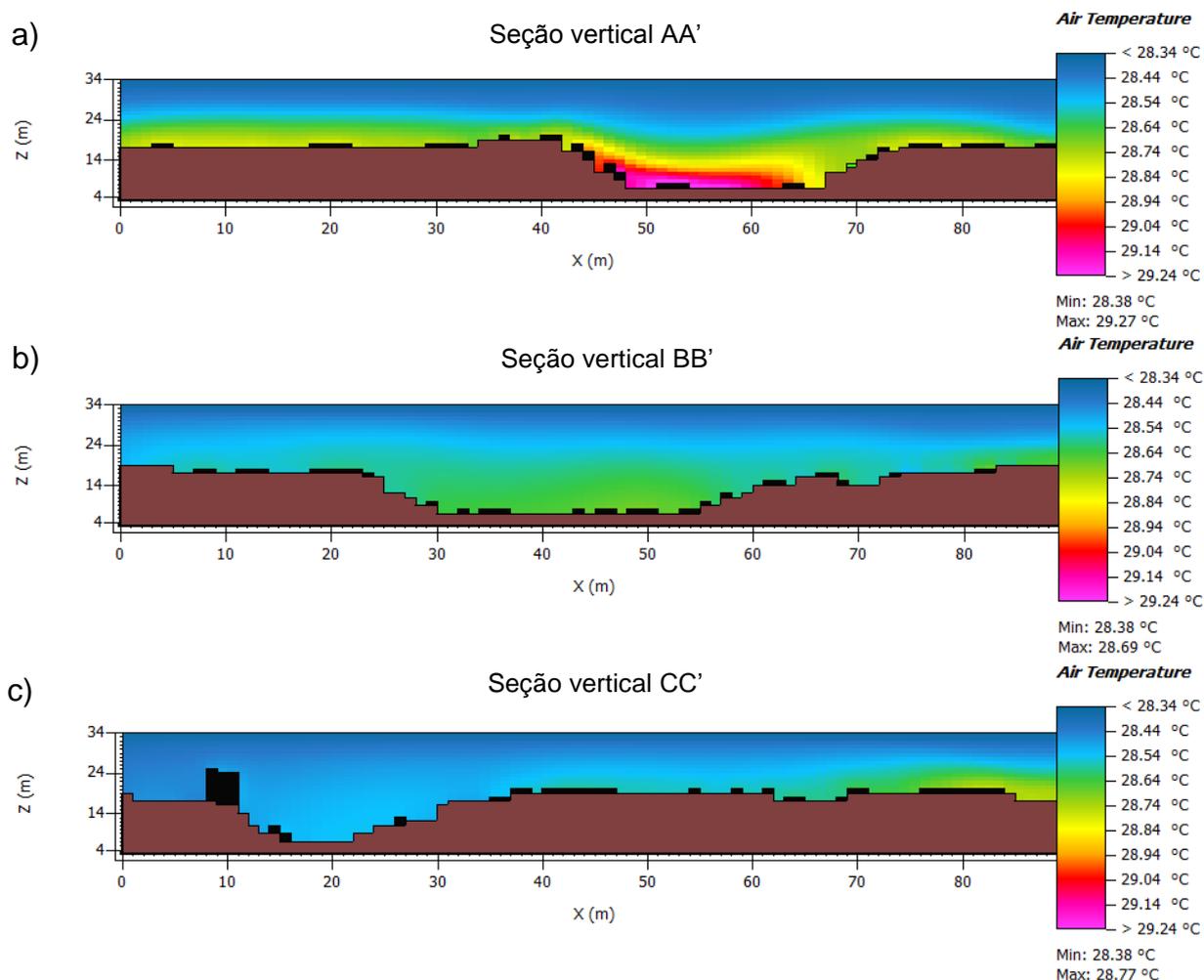
A seguir são apresentados diagramas do tipo seção vertical, referentes às simulações do cenário atual e Hipotético, nos horários de 9h e 15h.

Figura 60 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário atual em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 9h



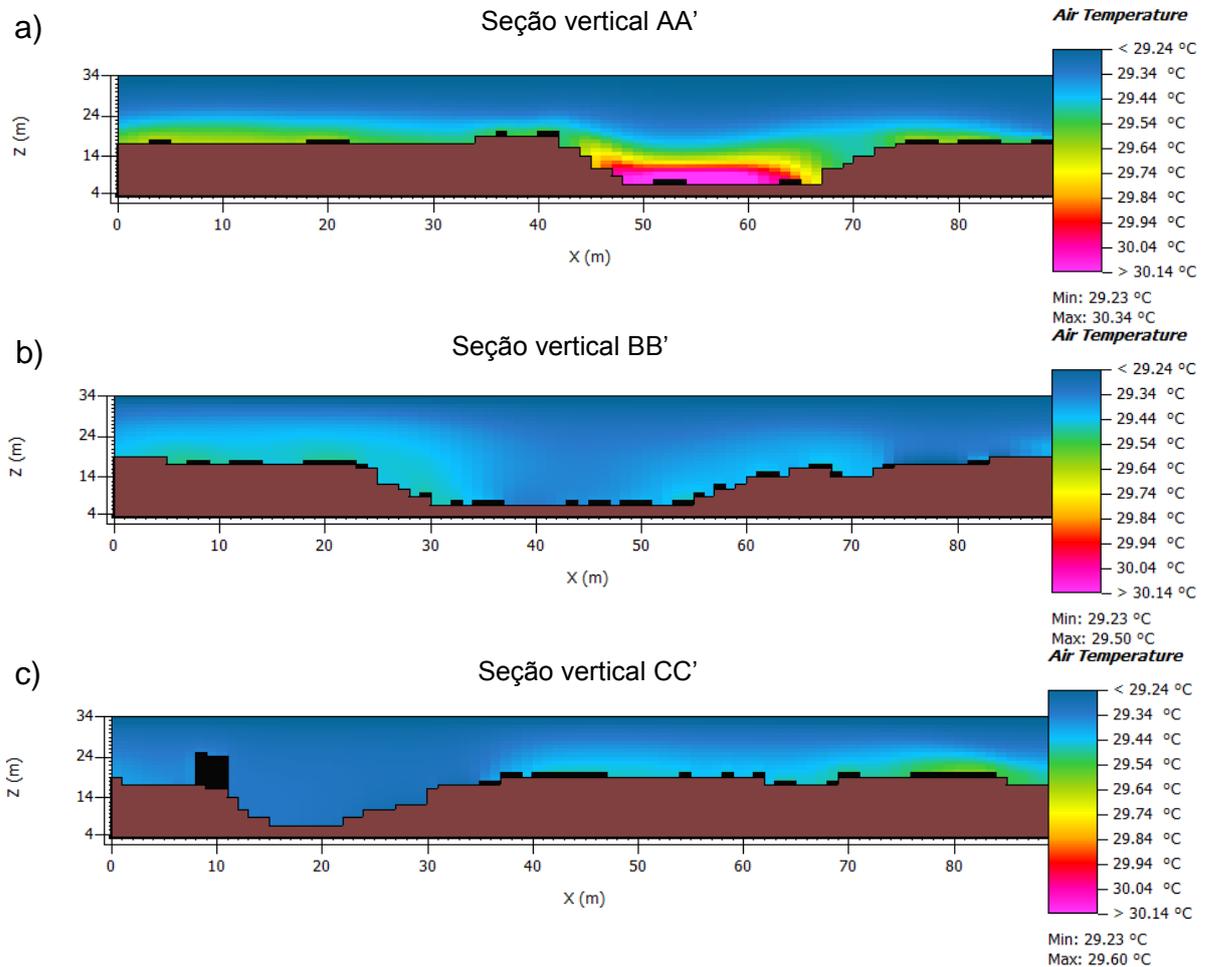
Nas seções AA' (Figura 60 a), o predomínio das temperaturas mais altas se encontram no fundo de vale, com valores acima de 29°C. Destaque nesta figura, que em toda área intra e extravale os valores térmicos se apresentam mais elevados que as demais seções deste conjunto. Na seção BB' (Figura 60 b), as temperaturas se apresentam inferiores a 29°C, tanto a intra como a extravale. Já na seção CC' (Figura 60 c), assim como na seção BB, onde os valores não ultrapassam os 29°C. na seção vertical CC' (Figura 60c), é identificado pontualmente na região de borda entre edificação (em verde) concentração de maiores temperaturas, contudo, em toda a região, não ultrapassam os 29°C.

Figura 61 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário Hipotético em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 9h



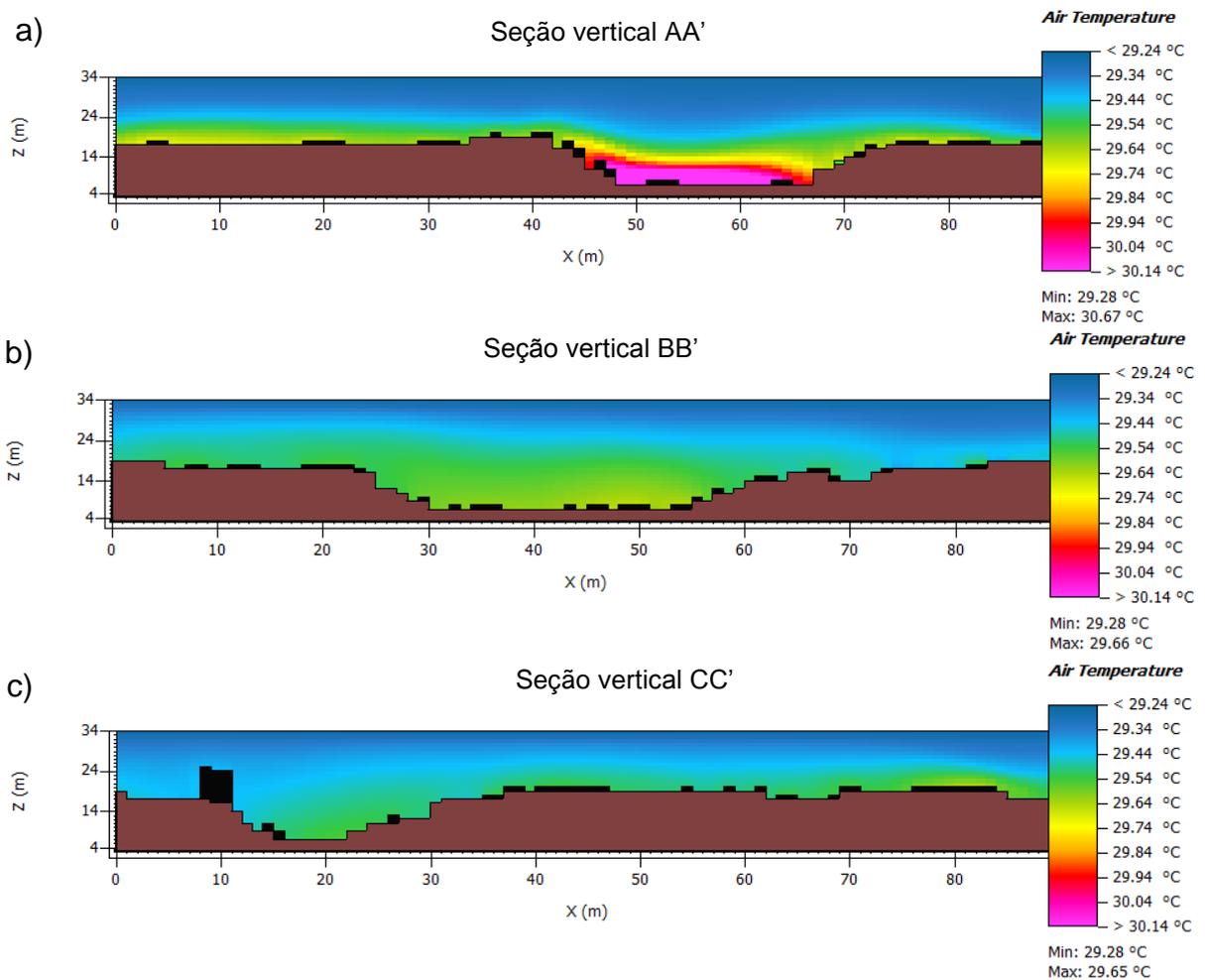
Embora os diagramas do cenário hipotético das 9h (Figura 61a) se apresentem semelhantes aos diagramas do cenário Atual 9h (Figura 60a), diferindo de pouco menos de 1°C dos dados obtidos entre os cenários. Na figura 61b, pode-se destacar o comportamento térmico do cenário hipotético das 9h, que diferente do diagrama do cenário Atual para o mesmo horário, neste os maiores valores de temperatura se concentram na região de fundo de vale, e pontualmente na área de borda. Este fato se deva ao aumento do número de construções postos no cenário hipotético simulado. Já a seção vertical CC (Figura 61c) se mostra, assim como no caso da seção AA', semelhante ao diagrama de cenário atual (figura 60c).

Figura 62 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário atual em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 15h



Na figura 62, destaca-se na seção AA' (Figura 62a), concentração de calor localizada pontualmente no fundo do vale, com valores que ultrapassam dos 30°C. Na seção BB' (Figura 62b), pode ser observada concentração de maiores valores térmicos localizados pontualmente nas encostas dos dois lados do vale, o que pode ser caracterizado como fenômeno de inversão térmica (quando uma camada de ar quente se sobrepõe a uma camada menos quente, os poluentes ali se acumulam junto a superfície e impedem a mistura da atmosfera). E na seção CC' (Figura 62c), o predomínio de altas temperaturas concentradas entre edificações na região de borda, com valores que permeiam entre 29,44°C a 29,64°C.

Figura 63 - Sequência de diagramas de seção vertical de cenário Hipotético em diferentes alturas de corte, para o parâmetro temperatura do ar às 15h



Já na figura 63, embora o comportamento da figura da seção AA' (Figura 63a) se apresente semelhante a figura da seção AA' do cenário atual (Figura 62a), o mesmo não ocorre na seção BB' (Figura 63b) do caso hipotético, em que se nota efeito de zonas de concentração de temperaturas mais elevadas no fundo do vale, onde provavelmente a implantação de materiais de revestimento de solo (asfalto e concreto) e implantação de mais blocos de edificações tenham tido influência no comportamento observado. No caso da seção CC' (Figura 63c), a concentração de temperaturas mais altas foi estendida para quase todo o vale, provavelmente pela inserção de mais edificações em toda essa região no cenário hipotético.

As medições locais realizadas em diferentes configurações de pontos receptores auxiliaram nas reflexões acerca do impacto do uso do solo sobre o clima e

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

a necessidade de se organizar um espaço urbano sem que cause maiores danos ao meio ambiente.

O comportamento climático das porções intravale às 15h foram os que demonstraram temperaturas mais elevadas, com valores que chegavam a pouco mais de 30°C, e as áreas extravale como áreas “mais frias” em relação aos fundos de vale (com valores que chegavam a 28,3°C tendo como exemplo os diagramas de seção horizontal a 46m de altura de corte), com exceção nas regiões com concentração de edificações.

Outro ponto de destaque está no fato de haver pouca variação de valores de temperatura tanto entre as comparações de cenários, quanto entre a análise individual dos diagramas em si, o que pode ser consequência da limitação da malha disponível para o estudo da área nas simulações computacionais. Em contrapartida, os valores gerados nas simulações mostram-se dentro da normalidade considerada para a Cidade de Maceió, ou seja, são valores que vão de 27°C a 30°C de acordo com as Normas Climatológicas de Maceió (BRASIL, 1992) para o dado período analisado.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os procedimentos metodológicos adotados com campanha de monitoramento *in loco* e simulação computação do recorte da área em estudo mostraram-se adequados para análise do comportamento térmico em área de vale, em escalas de abordagem micro e topoclimáticas, pois permitiram uma melhor compreensão dos efeitos da topografia em diferentes níveis dentro das escalas climáticas estudadas, frente à ocupação do solo, a partir do estudo de caso selecionado, permitindo alcançar, assim, os objetivos propostos nesta pesquisa.

Quanto a abordagem microclimática, Os resultados obtidos mostraram que as resultantes que deram destaque a região de fundo de vale, merece especial atenção quanto a ocupação do solo, pois são as áreas que apresentaram neste estudo, temperaturas mais elevadas, por ser uma localização que apresenta maior concentração de construções e atividades humanas, levando-se em consideração que é uma região de “mais difícil alcance” da ventilação natural (fator diretamente atrelado ao parâmetro temperatura atmosférica) quando relacionado aos fatores direção e intensidade de ventos vs. profundidade e largura do vale encontrado.

As análises realizadas com o auxílio do Fator de Visão do Céu – FVC, foram de grande importância para avaliação dos elementos que influenciam no clima (elementos naturais e construções) que bloqueiam os raios solares interferindo na temperatura e no balanço de radiação em um cânion urbano, como é o caso da região de fundo de vale, e apontaram fator de obstrução de céu dos pontos analisados, variando de 42% a 50%. Tal resultado remete a uma reflexão de como será essa área, caso haja aumento na densidade construída e verticalização das áreas de borda futuramente, após as constantes obras de urbanização que a região sofre.

Quanto a abordagem topoclimática, as simulações que enfatizaram as áreas lindeiras da região, apontaram a presença de edificações mais altas como um fator que contribui ainda mais para o aumento da profundidade do cânion encontrado no vale, gerando assim zonas que concentravam temperaturas mais elevadas, principalmente em horários de maior radiação solar, como as 15h.

Outro ponto de destaque, está no fato da supressão de vegetação, acúmulo de atividades antropogênicas e a expansão de ocupações servirem como elementos potencializadores para altas temperaturas, devido a transformação do ambiente natural para um que se adapte à realidade da região que passa por constantes processos de construções de novas moradias e obras urbanas.

Por fim, é importante destacar também, que embora os resultados das simulações de diferentes cenários propostos para esta pesquisa não mostrem grandes diferenças térmicas para um cenário de caso hipotético, o mesmo não pode servir como justificativa para o adensamento de construções em locais de topografia peculiar ou a devastação do revestimento natural em prol do concreto para possíveis benefícios a área. O presente estudo serve como ferramenta para reflexão sobre as consequências do uso e ocupação do solo em área de vale sobre o clima, cabendo a reflexão sobre como planejar o urbano de forma consciente, principalmente quando se trata de cidades em constante desenvolvimento urbano como Maceió, cuja complexidade de problemas urbanos requer investigações de toda ordem.

Quanto ao comportamento e limitações do programa, o uso da ferramenta computacional mostrou-se como uma estratégia bastante útil na busca por comparações de diferentes cenários conforme aqui proposto. Porém, a geração de resultados para arquivos que possuía muitas variáveis em questão, como presença de diferentes níveis topográficos, presença de vegetação, presença significativa de área edificada e a locação de seis receptores ao longo da área estudada, provavelmente fez com que as simulações demorassem cerca de 30 a 45 dias no processamento de dados para as análises finais. Além disso, a geração de grande quantidade de dados pelo programa exigiu que fosse dispendido muito tempo no tratamento destes para a obtenção do produto final.

A transição da versão gratuita para as versões comercializadas do programa, impossibilitou que no estudo fossem utilizadas malhas de simulações compatíveis ao tamanho da área analisada, destacando aqui, que apenas a menor versão da malha foi disponibilizada gratuitamente pelo site do ENVI-met.

Sabendo-se da necessidade da inserção de dados de entrada para as simulações, baseando-se na confiabilidade das fontes, para que assim gerem

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

resultados confiáveis. A presente pesquisa esbarrou na escassez de alguns dados referentes a Maceió, e encontrou como alternativa de solução, a utilização de dado de localidade mais próxima à cidade, como no caso da umidade do ar a 2500m de altitude, em que foi usada a referência de Natal.

Para trabalhos futuros, recomenda-se expandir a área de análise para outras localidades com diferentes configurações geomorfológicas, além de se associar as pesquisas em ambiente urbano às sensações térmicas dos usuários, uma vez que essa sensação é diretamente ligada ao conforto ambiental e contribui para que o usuário busque alternativas de uso do espaço externo.

Além disso, para estudos futuros, ressalta-se a importância do monitoramento contínuo dos valores de temperatura do ar tomados em superfície em vários outros pontos da região distribuídos em malha para que permita a visualização contínua do campo térmico na área de estudo.

Por fim, deve-se considerar que o clima urbano se constitui apenas uma das múltiplas facetas da qualidade ambiental urbana, mas seu estudo torna-se fundamental como uma contribuição ao planejamento urbano, que por sua vez pode conduzir a uma melhoria na qualidade de vida da população mediante a cooperação deste tipo de estudo no trabalho de planejadores e gestores urbanos. Esta é a finalidade de grande parte dos estudos realizados na cidade dentro da referida temática, destacando-se que os estudos aqui apresentados apenas abrem caminhos para a discussão sobre as consequências do uso e ocupação no Vale do Reginaldo, contudo as questões referentes a climatologia em vales urbanos não se encerram por aqui, havendo a possibilidade de que outros cenários devam ser analisados.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. L. P. de. **Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- ANJOS, C. A. M. Ocupação de encostas urbanas: uma dicotomia sócio-ambiental. *In: ARAÚJO, Lindemberg Medeiros (Org.). Geografia: espaço tempo e planejamento*. Maceió: EDUFAL, 2004.
- ARAÚJO, A. **Um estudo do Vale do Reginaldo: Poluição e Saneamento**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.
- ASSIS, E. S. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor urbana: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical**. Rio de Janeiro, 164p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.
- AULICIEMS, A. Psycho-Physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design. *In: Proc. Of Inter. Biometeorology Congress in Journal of Biometeorology*, supplement to vol. 26, 1982.
- BARBIRATO, G. M. ; SOUZA, L. C. L. ; TORRES, S. C. **Clima e cidade: uma abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. EDUFAL: Maceió, 164 p., 2007.
- BARBIRATO, G. M. **Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano em Maceió – AL**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.
- BARBOZA, I.; PESSOA, S. R. N.; PINTO, L. C.; SILVA, C. **Estudo da autoconstrução em Alagoas**. 2015. Disponível em <http://dados.al.gov.br/dataset/39e70e254d9c4680b9e8d709de9f0f94/resource/3bbc9ee40a3d4ebbae3d4e9a4d826653/download/estudoautoconstrucao2016.pdf>. Acesso em dezembro de 2015.
- BRASIL. **Instituto Nacional de Meteorologia**, INMET. Disponível em www.inmet.gov.br. Acessado em julho 2015.
- _____. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília: DNMET, 1992.
- _____, Ministério dos transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem-DNER. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Lei nº 10.257**- Estatuto da Cidade. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 2001.

_____. **Lei Federal nº 4771 de 15 de Setembro de 1965: Institui o Novo Código Florestal**. Brasília, 1965.

BRUSE, M. Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System. In: **PLEA 2007** – The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Proceedings... Singapore, 2007.p. 491-498.

CÂMARA, G.; FELGUEIRAS, C. A. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira. (Org.). **Introdução à ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CARLOS, A. F. A. **A Cidade**. 8. ed. São Paulo: Contexto, 2005.

CHANDLER, T. J. **Urban Climatology and its Relevance to Urban Design**. Geneva, WMO Technical Note 149, 1976.

COELHO, F. **Contribuições conceituais para elaboração de plano de gestão em educação ambiental integrada a bacias hidrográficas urbanas. Estudo de caso: bacia do rio Reginaldo, Maceió - al**. Dissertação (Mestrado em recursos hídricos). Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2008.

COSTA, J.; RAMOS, V. Espaço Urbano de Maceió: Ambiente físico e organização sócio-econômica. In: ARAUJO, L. M. (Org.). In: **Geografia: espaço tempo e planejamento**. Maceió: EDUFAL, 2004.

CRUZ, M. S. ; BARBOSA, R. V. R. Análise comparativa entre a atuação dos ventos alísios de Sudeste e ventos alísios de Nordeste na malha urbana do bairro de Ponta Verde, em Maceió-AL. In: **Anais do XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Campinas-SP: ENCAC, 2015.

DACANAL, C., PEZZUTO, C; LABAKI, L. C.; GOMES, V. Microclima em Fundos de Vale: análise de diferentes ocupações urbanas em Campinas, SP. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 12., Anais...Fortaleza: Antac, 2008.

DOS SANTOS, A. M.; RODRIGUES, G. A. **Ilhas de calor**.SIMTEC, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 10, set. 2017. Disponível em: <<http://159.203.166.88/index.php/simte/article/view/227>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort – Analysis And Applications in Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company. New York, 1970.

FARIA, G. M. G.; CAVALCANTI, V. R. Sistema de espaços livres da cidade de Maceió. In: **Paisagem e Ambiente: ensaios**. N°26. São Paulo-SP:USP/FAU,2009. Pp.7-27.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

FERREIRA, M. G. **Avaliação do rendimento de unidade de bombeamento de água acionada por um gerador eólico de pequeno porte.** Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica). Universidade Federal do Ceará, 2009.

FONTES, M. S. G.C. **Efeito climático das áreas de fundo de vale no ambiente urbano: o caso de São Carlos – SP.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – São Carlos, 1998.

GONÇALVES, W. **Padrões de assentamento de áreas verdes municipais: uma versão crítica.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo-USP. São Paulo, 1994.

GOOGLE EARTH. **Imagem digital do mapeamento de Maceió 2016.** Disponível em <http://www.googleearth.com>. Acesso em março de 2016.

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

HOLZ, J. **Levantamento e mapeamento do índice de risco de alagamento da bacia do riacho Reginaldo.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Maceió, 2010.

HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P. **Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities.** Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Nr. 18 (2008): Helmut Mayer and Andreas Matzarakis (eds.): 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, 2008. p. 307-312.

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. Disponível em http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstract/pdf/382880-2-090514010851-002.pdf. Acesso em julho de 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Aglomerados subnormais – Informações territoriais.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000015164811202013480105748802.pdf>. Acesso em maio de 2016.

JOHANSSON, E. **Urban Design and Outdoor Thermal Comfort in Warm Climates. Studies in Fez and Colombo.** Tese de doutorado (Housing Development & Management) Lund Institute of Technology. Suécia, 2005.

KARATASOU, S., SANTAMOURIS, M., GEROS, V. **Urban building climatology. In: Environmental Design of Urban Buildings.** London, 2006.

LOPES, A. C.; ANDRADE, E. S. J. **Habitação de Interesse Social em Maceió.** Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 2005.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

KATZCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: **IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Salvador-BA. Anais do IV ENCAC. Jussana M. F. G. Nery, Tereza M. M. Freire, Roberto Lamberts (edits.). Salvador: FAUFBA; ANTAC, 1997, p.49-58.

LIMA, B. M. **Áreas de proteção permanente-APPs em Maceió. Do ideário conservacionista aos usos sócio-ambientais das Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado. Maceió, 2009.

LOMBARDO, M. A.; **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

MACEIÓ. Lei municipal nº 5.486, de 30 de dezembro de 2005. **Plano diretor do município de Maceió**. Maceió: Prefeitura Municipal de Maceió, 2005. Disponível em: <http://sempla.maceio.al.gov.br/planejamentourbano.htm>. Acesso em janeiro de 2016.

_____, **Lei Municipal Nº 5.593, de 08 de Fevereiro de 2007**. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. Disponível em <<http://www.maceio.al.gov.br>> acesso em abril de 2016.

MAIA, R. G. X.; **Padrões de escoamento do vento na região metropolitana de Maceió**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL, 2016.

MARICATO, E. Na periferia do mundo globalizado. In: MARICATO, Ermínia. (Org). **Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana**. Petrópolis-RJ: Editora Vozes, 2001.

MATZARAKIS, A; RUTZ, F., MAYER, H. **Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model**. International Journal of Biometeorology, 2010, p. 131-139.

MASIERO, E.; **Análise da influência de corpos d'água em microclimas urbanos: estudo de caso em São José do Rio Preto, SP**. Tese (doutorado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2014.

MELO, T. S.; Tensões sócio-ambientais às margens da lagoa Mundaú em Maceió, Alagoas. In: **Anais do II Seminário Nacional sobre Áreas de Preservação Permanente em meio urbano: abordagens, conflitos e perspectivas nas cidades brasileiras**. Natal, RN, 2012. Disponível em <http://www.cchla.ufrn.br/appsurbanas/>. Acesso em outubro de 2015.

_____, T. S.; LINS, R. D. B. O fenômeno dos assentamentos humanos precários em áreas urbanas ambientalmente frágeis: o caso das favelas do Dique-Estrada, em Maceió, Alagoas. In: **Anais do V Encontro Nacional da ANPPAS**, Florianópolis,

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

2010. Disponível em <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT3-848-991-20100903191215.pdf>. Acesso em outubro de 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapeamento de Riscos em encostas e margem de rios.** Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (org). Brasília, 2007. 176p.
MONTEIRO, C. **Teoria e Clima Urbano.** Tese de livre docência. São Paulo: USP, IGEOG, 1976. 181p.

MONTEIRO, C. **A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um “Clima Urbano”.** GEOSUL, Florianópolis, 1990.

MONTEIRO, C. A. Fo. Teoria e clima urbano. In: MONTEIRO, C. A. de F; MENDONÇA, F. (Org.) *et al.* **Clima urbano.** São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.

NASCENTE, J. P. C.; FERREIRA, O. M. **Impactos socioambientais provocados pelas ocupações irregulares do solo urbano: estudo de caso do loteamento Serra Azul.** Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Goiânia, 2007. Disponível em:
<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/arquivosupload/36/file/impactos%20s%C3%93cio%20ambientais%20provocados%20pelas%20ocupa%C3%87%C3%95es%20irregulares.pdf>. Acesso em abril de 2017.

NEVES, M. G. F. P; SOUZA, V. C. B.; PEPLAU, G.; SILVA JUNIOR, R.; PEDROSA, H.; CAVALCANTE, R. Características da bacia do Riacho Reginaldo em Maceió – AL e suas implicações no escoamento superficial. In: **Anais SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo, SP.** São Paulo, 2007.

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

NUCCI, J. C. **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano.** São Paulo: Humanistas/FFLCH-USP, 2001. 236p.

OKE, T. R.; **Boundary layer climate.** London: Methuen& Ltd A. Halsted Press Book, 1978.

_____, T. R., **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** Report no. 81. Geneva: WMO, 2006.

OLIVEIRA, E. V. **Meteorologia Aplicada.** Instituto Federal de Pernambuco - IFPE. Recife, 2014. Disponível em:
http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpe/tecnico_sistemas_energia_renovavel/arte_meteorologia_aplicada.pdf. Acesso em janeiro de 2017.

OMENA, A. M. **Estudo observacional teórico e numérico da temperatura do solo em Maceió-AL.** Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 2009.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

PASSOS, I. C. S. **Clima e Arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado. Maceió, 2009.

PEREIRA, P. A.; TORRES, M. S. S.; TAVARES, A. C. F. Cadastro Fundiário de Áreas de Alto Risco Ambiental e de Criminalidade do Vale do Reginaldo, Maceió/AL. In: **SIMGEO - Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2014, Recife/PE. V SIMGEO 2014, 2014.

PMM. Prefeitura Municipal de Maceió. **Plano de Desenvolvimento de Maceió**. Maceió: COMPLAN – Coordenação Municipal de Planejamento, 2006.

_____. Prefeitura Municipal de Maceió. **Plano diretor de transportes urbanos de Maceió — PDTU**, 1982.

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L. Contribuição da vegetação e permeabilidade do solo para o ambiente térmico em avenidas de fundo de vale. In: **Encontro nacional de conforto no ambiente construído**, 11. Búzios, 2011. Anais... Búzios: ANTAC, 2011 (CD-ROM).-619.

RIBEIRO, A G. **As escalas do clima**. Boletim de Geografia Teorética. V 23 n.45-46, 1993.

RODRIGUES, B. T.; RODRIGUES, M. T.; MALHEIROS, J. M.; BASTOS, A. L. Delimitação de bacias hidrográficas e áreas de Contribuição formadoras de esgoto e variáveis socioeconômicas utilizando técnicas de Geoprocessamento. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia e V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 2014**, Gramado - RS. XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia/ANAIS. Rio de Janeiro - RS: SBC, 2014.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: ProEditores, 2000.

SILVA, C. F.; **O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

SILVA, I.S.; MARTINS, K.S.; NICÁCIO, R. M.; ARAÚJO, L. L. Diagnóstico da ocupação urbana na região do Vale do Reginaldo-Maceió/AL. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Curitiba, 2011.

SOUZA, C. A. S.; **Estudo microclimático de recortes urbanos vegetados em Belo Horizonte – MG, através de modelagem micrometeorológica**. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável). Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

SHIMAKURA, S. E. Coeficiente de determinação. In: **CE003 - Estatística II**. Dep. de Estatística – UFPR. Paraná, 2006. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/>. Acesso em outubro de 2017.

SOUZA, J. L.; NICÁCIO, R.M.; MOURA, M.A.L. **Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil**. Renewable Energy. v. 30, p. 1203 – 1220, 2005.

SOUZA, L. C. L.; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. **Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre**. Ambiente Construído. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, v. 10, n. 4, p. 155-167, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/865>>. Acesso em janeiro de 2017.

TC/BR, **Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental _ RIMA das intervenções previstas para o Vale do Reginaldo**. Relatório de andamento. Diagnostico parcial. Maceió, 1995.

TIBONI, C. G. R. **Estatística Básica**. Editora Atlas: São Paulo, 2010.

Estudos climáticos em vales urbanos:Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

APÊNDICES

- Apêndice 1-** Dados horários de temperatura do ar (°C) do dia 07/02/2017 para cada Ponto Receptor da simulação de Cenário Atual..... 114
- Apêndice 2 -** Dados horários de temperatura do ar (°C) do dia 07/02/2017 para cada Ponto Receptor da simulação de Cenário Hipotético 114
- Apêndice 3 -** Dados horários de temperatura do ar (°C) para cada Ponto Receptor das medições no local 116

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Apêndice 1- Dados horários de temperatura do ar (°C) do dia 07/02/2017 para cada Ponto Receptor da simulação de Cenário Atual

Hora	simulação Atual1	simulação Atual2	simulação Atual3	simulação Atual4	simulação Atual5	simulação Atual6
00:00:01	27,41	27,41	27,41	27,41	27,41	27,51
01:00:01	27,37	27,36	27,36	27,35	27,36	27,46
02:00:01	27,33	27,32	27,32	27,31	27,32	27,42
03:00:01	27,3	27,28	27,28	27,28	27,29	27,38
04:00:01	27,27	27,25	27,25	27,24	27,25	27,35
05:00:01	26,92	26,95	26,96	26,96	26,96	27,07
06:00:01	27,07	27,04	27,05	27,03	27,05	27,15
07:00:01	27,47	27,4	27,4	27,38	27,4	27,49
08:00:01	28,04	27,96	27,99	27,96	27,97	28,05
09:00:01	28,58	28,46	28,5	28,45	28,47	28,55
10:00:01	28,92	28,81	28,88	28,81	28,83	28,91
11:00:01	29,11	29,01	29,09	29,02	29,03	29,12
12:00:01	29,22	29,12	29,21	29,13	29,15	29,24
13:00:01	29,65	29,49	29,58	29,49	29,51	29,59
14:00:01	29,53	29,42	29,51	29,43	29,46	29,56
15:00:01	29,46	29,34	29,43	29,36	29,38	29,48
16:00:01	29,1	29,02	29,11	29,04	29,06	29,18
17:00:01	28,9	28,81	28,88	28,82	28,84	28,95
18:00:01	28,42	28,39	28,41	28,39	28,4	28,52
19:00:01	28,22	28,19	28,21	28,19	28,2	28,32
20:00:01	28,14	28,1	28,12	28,1	28,12	28,23
21:00:01	28,09	28,05	28,07	28,05	28,07	28,18
22:00:01	27,73	27,74	27,77	27,75	27,76	27,89
23:00:01	27,54	27,55	27,58	27,56	27,58	27,7

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Apêndice 2 - Dados horários de temperatura do ar (°C) do dia 07/02/2017 para cada Ponto Receptor da simulação de Cenário Hipotético

Hora	simulação Hipotético1	simulação Hipotético2	simulação Hipotético3	simulação Hipotético4	simulação Hipotético5	simulação Hipotético6
00:00:01	27,46	27,48	27,47	27,49	27,49	27,53
01:00:01	27,42	27,44	27,42	27,44	27,45	27,49
02:00:01	27,38	27,4	27,39	27,4	27,41	27,45
03:00:01	27,35	27,37	27,36	27,37	27,38	27,42
04:00:01	27,32	27,34	27,33	27,34	27,35	27,39
05:00:01	26,98	27,04	27,04	27,06	27,06	27,11
06:00:01	27,13	27,13	27,13	27,13	27,14	27,18
07:00:01	27,54	27,51	27,49	27,49	27,51	27,53
08:00:01	28,14	28,12	28,1	28,1	28,12	28,11
09:00:01	28,72	28,65	28,64	28,62	28,64	28,61
10:00:01	29,1	29,03	29,02	29	29,02	28,97
11:00:01	29,33	29,25	29,24	29,21	29,24	29,19
12:00:01	29,46	29,37	29,36	29,33	29,37	29,31
13:00:01	29,89	29,74	29,73	29,69	29,73	29,66
14:00:01	29,78	29,68	29,67	29,65	29,69	29,63
15:00:01	29,69	29,59	29,59	29,56	29,6	29,56
16:00:01	29,32	29,27	29,28	29,26	29,29	29,27
17:00:01	29,08	29,01	29,04	29,01	29,04	29,04
18:00:01	28,53	28,55	28,55	28,55	28,57	28,59
19:00:01	28,33	28,34	28,34	28,34	28,36	28,39
20:00:01	28,24	28,25	28,24	28,24	28,26	28,29
21:00:01	28,19	28,19	28,19	28,19	28,21	28,24
22:00:01	27,82	27,88	27,88	27,89	27,9	27,95
23:00:01	27,64	27,69	27,69	27,7	27,71	27,76

Estudos climáticos em vales urbanos:

Análise em cenários de ocupação do solo no Vale do Reginaldo em Maceió/AL

Apêndice 3 - Dados horários de temperatura do ar (°C) para cada Ponto Receptor das medições no local

Date	Medição HOBO 1	Medição HOBO2	Medição HOBO3	Medição HOBO4	Medição HOBO5	Medição HOBO6
00:00:01	27,11	27,24	27,11	27,21	27,24	27,16
01:00:01	26,87	26,97	26,87	26,99	26,97	26,99
02:00:01	26,87	26,97	26,87	26,97	26,97	26,89
03:00:01	26,60	26,72	26,60	26,77	26,79	26,70
04:00:01	26,48	26,26	26,48	26,57	26,65	26,67
05:00:01	26,28	25,94	26,28	26,52	26,43	26,57
06:00:01	26,92	26,89	26,92	27,06	26,99	27,63
07:00:01	28,69	28,84	28,69	28,44	28,15	28,47
08:00:01	29,79	29,59	29,79	28,99	29,29	28,84
09:00:01	30,29	30,72	30,29	29,39	30,44	29,22
10:00:01	30,65	31,28	30,65	29,99	30,44	29,39
11:00:01	31,03	31,13	31,03	29,87	30,62	29,41
12:00:01	30,82	30,93	30,82	29,72	30,44	29,14
13:00:01	31,15	31,33	31,15	30,19	30,95	29,64
14:00:01	30,93	31,03	30,93	29,77	30,93	29,02
15:00:01	30,67	30,57	30,67	29,49	31,33	28,82
16:00:01	30,04	29,44	30,04	29,04	30,52	28,47
17:00:01	28,87	28,69	28,87	28,44	28,84	28,17
18:00:01	28,12	28,15	28,12	28,00	28,15	27,80
19:00:01	27,85	27,95	27,85	27,85	27,90	27,73
20:00:01	27,73	27,83	27,73	27,75	27,80	27,65
21:00:01	27,60	27,70	27,60	27,68	27,68	27,55
22:00:01	27,41	27,51	27,41	27,51	27,51	27,43
23:00:01	27,19	27,28	27,19	27,31	27,28	27,26