

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CONFIGURAÇÃO URBANA E MICROCLIMAS: ESTUDO EM  
LOTEAMENTO HORIZONTAL DE MACEIÓ-ALAGOAS**

**Aline Maria Pereira Nogueira**

Maceió  
2011

**ALINE MARIA PEREIRA NOGUEIRA**

**CONFIGURAÇÃO URBANA E MICROCLIMAS: ESTUDO EM  
LOTEAMENTO HORIZONTAL DE MACEIÓ-ALAGOAS**

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.

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gianna Melo Barbirato**

Maceió  
2011

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Janaina Xisto de Barros Lima**

N774c Nogueira, Aline Maria Pereira.

Configuração urbana e microclimas : estudo em loteamento horizontal de Maceió – Alagoas / Aline Maria Pereira Nogueira. – 2011.  
184 f. : il.

Orientadora: Gianna Melo Barbirato.

Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 163-174.

Apêndices: f. 175-178.

Anexos: f. 179-184.

1. Arquitetura e clima. 2. Loteamento horizontal – Maceió (AL).  
3. Microclima urbano. 4. Análise climática. I. Título.

CDU: 711.4(813.5)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**Aline Maria Pereira Nogueira**

**CONFIGURAÇÃO URBANA E MICROCLIMAS: ESTUDO EM LOTEAMENTO  
HORIZONTAL DE MACEIÓ-ALAGOAS**

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.

**APROVADA em:** 26 / 09 / 2011

**BANCA EXAMINADORA**

*Gianna Melo Barbirato*

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> GIANNA MELO BARBIRATO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL

*Alexandre Toledo*

---

Prof. Dr. ALEXANDRE MÁRCIO TOLEDO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL

*[Assinatura]*

---

Prof. Dr. AUGUSTO ARAGÃO DE ALBUQUERQUE  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL

*M<sup>te</sup> Solange G. de C. Fontes*

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES  
Universidade Estadual Paulista - UNESP- Bauru

*Dedico às minhas filhas, Malu e Duda,  
que são minha razão de viver, pelos  
momentos que não pude me dedicar a elas  
para que este trabalho fosse concluído.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço primeiramente àquele que permitiu que eu pudesse sonhar de uma forma que alargasse meus horizontes, por isso sonhei, busquei e conquistei. Deus, o maior mestre, mais do que me criar, deu propósito à minha vida. Obrigada por toda sabedoria, proveniência, pelo que sou, o que tenho e o que espero.*

*A minha orientadora Gianna Barbirato, pela amizade e oportunidade de orientação, pela paciência e dedicação transmitindo seus valiosos conhecimentos e, acima de tudo, pela confiança que depositou em mim.*

*À minha mãe Luíza Régia, pela paciência e por estar sempre ao meu lado não importando as dificuldades, me incentivando para que eu continuasse a jornada dos estudos.*

*Aos meus irmãos, pelo carinho e compreensão nas ausências, excepcionalmente ao meu irmão especial João Afonso, que me ensinou a conviver com as diferenças, obrigada pela lição de vida!*

*Ao meu pai, que hoje mesmo distante, agradeço por ter me conduzido ao caminho da dignidade e da responsabilidade, e pelo orgulho que sente por mim.*

*Ao meu esposo Sergio, pela confiança depositada, pelo amor incondicional, mesmo diante das minhas incertezas e, sobretudo, pela paciência das ausências nos momentos que poderíamos ter desfrutados juntos, mas sempre me incentivou e apoiou para que eu pudesse concluir mais esta etapa da minha vida.*

*Ao Roberto, pela grande amizade que nos une, pela consideração, carinho e respeito sempre presente.*

*A minha sogra Fátima e à minha cunhada Alice, pessoas muito queridas, generosas e compreensivas, que nos momentos de luta, cansaço e fraqueza colaboraram substancialmente para a realização e conclusão deste trabalho.*

*A minha amiga Walkyria, pelos auxílios técnicos deste trabalho, sempre por perto nos momentos que mais precisei.*

*Aos professores Alexandre Toledo (UFAL), Augusto Aragão (UFAL) e Maria Solange Fontes (UNESP), pelas valiosas contribuições desde o exame de qualificação.*

*Ao professor Ricardo Barbosa, pelas sugestões e oportunidade de utilizar o programa Envi-met.*

*A Camila Nakata (Universidade Estadual Paulista de Bauru) e ao Caio Silva (Universidade de Brasília), pelos longos e-mails compartilhados durante o trabalho de simulações com o programa Envi-met.*

*Aos professores Bianor Monteiro e Lúcia Hidaka, com quem tive o privilégio de realizar o estágio de docência.*

*Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado da UFAL, pelo incentivo e por todos os ensinamentos estendidos nas disciplinas.*

*Aos meus amigos da turma de mestrado, em especial ao meu amigo Alex, por cada momento compartilhado nesse longo tempo de tarefas difíceis, de angústias diversas, mas sem dúvida, enriquecedor. Vocês tornaram esta fase ainda mais agradável.*

*Aos amigos e demais bolsistas do GATU e do GECA, por todo incentivo e apoio técnico, me concedendo os equipamentos necessários para as medições de campo.*

*Ao Silas, pela ajuda imprescindível nas imagens desta dissertação.*

*A Camila Sirqueira, amiga companheira em todas as horas de angústias nos momentos que desfrutamos do mundo das simulações computacionais Esse mérito é seu também!*

*À administração do condomínio San Nicolás, pelo material concedido.*

*À Capes/Fapeal por acreditar na relevância do meu projeto de pesquisa, me concedendo a bolsa de mestrado.*

*A todos aqueles que de alguma forma puderam contribuir para realização deste trabalho.*

*A todos dirijo meu sincero agradecimento.*

*“Sou arquiteto,  
Aquele que dizem ser engenheiro frustrado,  
Decorador disfarçado,  
Esquisito, meio pirado,  
Às vezes alienado, outras, por demais engajado;  
Às vezes de havaianas, outras engravatado.*

*Sou arquiteto,  
Aquele que chamam de sonhador;  
Ah! pudesse eu ter meus sonhos de volta,  
Mas sou ainda um aprendiz na escola da vida;  
Dominei a forma, distribuo espaços,  
Mas muitas vezes me sinto fora de esquadro,  
Perdido em linhas paralelas demais,  
Numa escala indefinida.*

*Mas sou arquiteto.  
Sou poeta,  
E sou muito mais que um sonhador,  
Porque possuo em cima da velha prancheta,  
Projetos para todos os sonhos;  
Casas para abrigar um novo amor;  
Caminhos para chegar ao arco-íris;  
E jardins para o aconchego do entardecer...”*

Lienne Liart

## RESUMO

A interação do clima com a configuração e o uso do espaço urbano pode afetar de forma significativa as condições de conforto ambiental, determinando o microclima urbano. A pesquisa de mestrado avalia a qualidade microclimática de uma fração de um loteamento horizontal, no contexto urbano de Maceió-AL, através da análise das variáveis climáticas, considerando os atributos da configuração urbana existente (cenário atual), como também uma situação futura, quando da ocupação máxima edificada do loteamento (cenário futuro), de acordo com as prescrições urbanísticas atuais para o local. Os procedimentos metodológicos fundamentaram-se em uma ótica qualitativa através do diagnóstico das características da forma urbana da área estudada e análise da insolação do arranjo construtivo, e quantitativa, através de medições microclimáticas móveis, além de simulações computacionais do desempenho térmico e dinâmico, com o uso do programa ENVI-met versão 3.1. A análise da área confirmou a existência de microclimas diferenciados na malha urbana do loteamento estudado, de acordo com a ocupação do solo, orientação do arranjo construtivo e características térmicas das superfícies. Os resultados das simulações computacionais comprovaram uma diferença de até 6,6 °C na temperatura do ar e de até 0,44 m/s na redução da velocidade média do vento entre os dois cenários analisados, confirmando-se a influência de alguns atributos da forma urbana no comportamento microclimático, como: a densidade construída, as características termodinâmicas dos materiais de revestimento do solo, além da ausência de sombreamento caracterizada pela carência de arborização urbana. A partir dos resultados obtidos, evidencia-se a importância da avaliação climática como ferramenta para o planejamento urbano, e como esta pode orientar decisões projetuais para amenizar possíveis situações de desconforto em espaços urbanos.

Palavras-chave: loteamento horizontal; microclima urbano; análise climática; simulação computacional.

## **ABSTRACT**

The interaction between climate and urban configuration can significantly affect the environmental comfort conditions, determining the urban microclimate. The research evaluates the microclimatic quality of a fraction of a horizontal residential settlement allotment, in the urban context of Maceió-AL, through the analysis of climatic variables, considering the attributes of existing urban configuration (present scenario), but also a future situation considering maximum occupancy (future scenario), in accordance to the local urban planning requirements. The methodological procedures were based on a qualitative perspective in the form of features diagnostic of the urban area, analysis of the solar exposure built arrangement, and quantitatively by mobile microclimatic measuring, and computer simulations of the thermal performance and dynamic, using the software ENVI-met 3.1 version. The area analysis confirmed the existence of different microclimates, according to land use, building orientation and thermal characteristics. The results of computer simulations have shown a difference of up to 6,6°C in air temperature and up to 0,44 m/s in reducing of average wind speed between the two scenarios analyzed, confirming the influence of some urban form attributes in microclimatic behavior, as the: density built, the thermodynamic characterized by lack of urban greening. From the results, highlights the importance of climate approach as a tool for urban planning, and how this can guide urban design decisions in order to minimize uncomfortable climatic situations in urban spaces.

**Key-words:** Horizontal allotments, urban microclimates, climatic analysis, computer simulation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 01: Diagrama básico do Sistema Clima Urbano (S.C.U.)	30
Ilustração 02: Representação esquemática da Classificação das Alterações Atmosféricas Urbanas	35
Ilustração 03: Efeito da rugosidade no perfil de velocidade do vento do campo à cidade	42
Ilustração 04: Comportamento dos fluxos do vento em diferentes arranjos; a) efeito da sombra de vento com edificações em fileira; b) arranjo ortogonal normal; c) efeito a partir da inclinação (45°) arranjo em tabuleiro de xadrez	43
Ilustração 05: Efeito da densidade construída na circulação de vento entre as edificações	45
Ilustração 06: Impacto da radiação solar através da proporção W/H 1 e 4	46
Ilustração 07: Diferenças de temperatura durante o dia e à noite devido ao efeito da vegetação	53
Ilustração 08: Metodologia do urbanismo bioclimático proposto por Higuera	55
Ilustração 09: Esquema sintético da metodologia do urbanismo bioclimático de Higuera	56
Ilustração 10: Localização do estado de Alagoas no Brasil	66
Ilustração 11: Mapa do estado de Alagoas com a localização da cidade de Maceió	66
Ilustração 12: Imagem de satélite da cidade de Maceió	67
Ilustração 13: Esquema dos planos de relevo da cidade de Maceió em relação ao nível do mar	68
Ilustração: 14: Gráfico da temperatura média da cidade de Maceió entre o período de 1961 a 1990	69
Ilustração 15: Gráfico da umidade do ar média da cidade de Maceió entre o período de 1961 a 1990	70
Ilustração 16: Gráfico da precipitação média da cidade de Maceió entre o período de 1961 a 1990	70
Ilustração 17: Rosa dos ventos – frequência de ocorrência para a cidade de Maceió	71
Ilustração 18: Rosa dos ventos – velocidades predominantes para a cidade de Maceió	71

Ilustração 19: Mapa de Maceió com a localização das áreas residenciais horizontais fechadas desde o lançamento e das vias principais.	75
Ilustração 20: Mapa de localização do bairro da Serraria no município de Maceió-AL	77
Ilustração 21: Vista aérea do loteamento selecionado e da Avenida Menino Marcelo (à esquerda). Planta baixa do traçado urbano do loteamento San Nicolas (à direita)	77
Ilustração 22: Vista aérea do loteamento San Nicolas	78
Ilustração 23: Vista das vias internas asfaltadas do loteamento San Nicolas (à esquerda rua com canteiro central; à direita, rua sem canteiro central)	79
Ilustração 24: Termo-higro-anemômetro digital com ventoinha	82
Ilustração 25: Localização pontos escolhidos para medição das variáveis microclimáticas no loteamento San Nicolas. Foto aérea (à esquerda) e planta baixa (à direita)	85
Ilustração 26: Esquema do sistema de simulação do modelo ENVI-met 3.1	87
Ilustrações 27: Tela inicial do editor de arquivo de área do programa ENVI-met 3.1	88
Ilustração 28: Arquivo para edição da configuração de versão, escala e propriedades geográficas da área	89
Ilustração 29: Delimitação do recorte de estudo no loteamento San Nicolas para simulações no ENVI-met. Vista aérea (à esquerda) e planta baixa (à direita)	92
Ilustração 30: Planta baixa em extensão BMP do fragmento de 330mx330m selecionado. À esquerda, cenário atual; à direita, cenário futuro.	94
Ilustração 31: Modelação da área de 220 x 220 <i>grids</i> no ENVI-met 3.1 (arquivo de extensão .IN) do fragmento selecionado de 330mx330m para o cenário atual (esquerda) e para o cenário futuro (direita)	94
Ilustração 32: Imagem do arquivo de dados para configuração da área no programa ENVI-met 3.1(arquivo de extensão .IN), para os dois cenários desta pesquisa	95
Ilustração 33: Perfil da altura das edificações no loteamento San Nicolas	98
Ilustração 34: Tipologia morfológica das casas existentes no loteamento San Nicolas – predominância de 02	98
Ilustração 35: Exemplo de lote com os recuos permitidos pelo regulamento interno do loteamento	99
Ilustração 36: Gráfico dos lotes ocupados e desocupados	99
Ilustração 37: Gráfico das áreas de usos do loteamento San Nicolas	100

Ilustração 38: Loteamento San Nicolas no ano de 2005 (à esquerda). Ocupação no ano de 2010 (à direita)	101
Ilustração 39: Gráfico da orientação predominante dos lotes no loteamento San Nicolas	101
Ilustração 40: Gráfico da orientação predominante das ruas no loteamento San Nicolas	102
Ilustração 41: Fotografias de passeios e áreas verdes com mobiliários urbanos desprovidos de sombreamento	103
Ilustração 42: Imagem tridimensional do loteamento San Nicolas com os condicionantes ambientais predominantes	103
Ilustração 43: Gráficos das áreas permeáveis e impermeáveis do loteamento San Nicolas nos cenários atual e futuro	104
Ilustração 44: Gráfico dos materiais de revestimento solo encontrados no loteamento San Nicolas no cenário atual	106
Ilustração 45: Gráfico dos materiais de revestimento solo encontrados no loteamento San Nicolas no cenário futuro	106
Ilustração 46: Levantamento das áreas verdes no loteamento San Nicolas	107
Ilustração 47: Fotografias de algumas das áreas verdes do loteamento San Nicolas	108
Ilustração 48: Esquema da projeção da sombra nas edificações do loteamento: a) situação perpendicular à diagonal; b) situação oblíqua à diagonal	110
Ilustração 49: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 8 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	111
Ilustração 50: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 8 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	111
Ilustração 51: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 12 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	113
Ilustração 52: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 12 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	113
Ilustração 53: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 16 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	114
Ilustração 54: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 16 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	115
Ilustração 55: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 8 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	116

Ilustração 56: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 8 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	117
Ilustração 57: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 12 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	117
Ilustração 58: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 12 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	118
Ilustração 59: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 16 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	119
Ilustração 60: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 16 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	119
Ilustração 61: Insolação para o equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 8 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	120
Ilustração 62: Insolação para o equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 8 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	120
Ilustração 63: Insolação para o equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 12 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	121
Ilustração 64: Insolação para o equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 12 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	122
Ilustração 65: Insolação para o equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 16 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas	123
Ilustração 66: Insolação para o equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 16 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas	123
Ilustração 67: Gráfico comparativo das médias de temperatura do ar para o dia 25/10/2010 e 26/10/2010 obtidos na pesquisa de campo e no INMET	125
Ilustração 68: Perfil do comportamento da temperatura do ar para o dia 25/10/2010 às 9 horas	126
Ilustração 69: Perfil do comportamento da temperatura do ar para o dia 25/10/2010 às 15 horas	127
Ilustração 70: Perfil do comportamento da temperatura do ar para o dia 25/10/2010 às 21 horas	127
Ilustração 71: Perfil do comportamento da umidade do ar para o dia 25/10/2010 às 9 horas	129
Ilustração 72: Perfil do comportamento da umidade do ar para o dia 25/10/2010 às 15 horas	130

Ilustração 73: Perfil do comportamento da umidade do ar para o dia 25/10/2010 às 21 horas	130
Ilustração 74: Perfil do comportamento da velocidade do vento para o dia 25/10/2010 às 9 horas	131
Ilustração 75: Perfil do comportamento da velocidade do vento para o dia 25/10/2010 às 15 horas	132
Ilustração 76: Perfil do comportamento da velocidade do vento para o dia 25/10/2010 às 21 horas	132
Ilustração 77: Imagem tridimensional do cenário atual do loteamento San Nicolas	134
Ilustração 78: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 9 horas	136
Ilustração 79: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 9 horas	137
Ilustração 80: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 15 horas	138
Ilustração 81: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 15 horas	139
Ilustração 82: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 21 horas	139
Ilustração 83: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 21 horas	140
Ilustração 84: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário atual às 9 horas	141
Ilustração 85: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário atual às 9 horas	142
Ilustração 86: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário atual às 15 horas	143
Ilustração 87: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário atual às 15 horas	144
Ilustração 88: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário atual às 21 horas	144
Ilustração 89: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário atual às 21 horas	145
Ilustração 90: Imagem tridimensional ilustrativa do cenário futuro do loteamento SanNicolas	146

Ilustração 91: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 9 horas	147
Ilustração 92: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 9 horas	148
Ilustração 93: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 15 horas	149
Ilustração 94: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 15 horas	149
Ilustração 95: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 21 horas	150
Ilustração 96: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 21 horas	150
Ilustração 97: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 9 horas	151
Ilustração 98: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 15 horas	151
Ilustração 99: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 21 horas	152
Ilustração 100: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 9 horas	153
Ilustração 101: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 15 horas	153
Ilustração 102: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 21 horas	153

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Alterações climáticas produzidas pelas cidades comparadas com ambiente rural	28
Quadro 02: Articulação do Sistema Clima Urbano (S.C.U.) segundo os canais de percepção	31
Quadro 03: Organização das escalas espacial e temporal do clima	32
Quadro 04: Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano	33
Quadro 05: Categorização de espaços segundo relação W/H	47
Quadro 06: Propriedades radiativas de alguns materiais presentes no ambiente urbano	51
Quadro 07: Matriz de interação entre as variáveis naturais e as variáveis urbanas	57
Quadro 08: Estratégias gerais para as quatro grandes regiões climáticas	57
Quadro 09: Tipos de condomínios	73
Quadro 10: Tipologias habitacionais de loteamentos e condomínios no município de Maceió	74
Quadro 11: Listagem das áreas residenciais horizontais fechadas em Maceió desde o lançamento	75
Quadro 12: Requisitos técnicos para construção no loteamento San Nicolás	79
Quadro 13: Alguns parâmetros que podem simulados no programa ENVI-met 3.1	89
Quadro 14: Configuração da versão e escala adotada nesta pesquisa	93
Quadro 15: Pesquisas que utilizaram umidade específica na configuração do programa ENVI-met	96
Quadro 16: Dados para configuração básica do programa ENVI-met	96
Quadro 17: Diagnóstico bioclimático de adequação ambiental	108
Quadro 18: Descrição dos pontos de medição no loteamento San Nicolas	124
Quadro 19: Classificação da velocidade média de acordo com Beaufort	133
Quadro 20: Localização dos pontos de medição da pesquisa de campo no <i>grid</i> do programa ENVI-met	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classificação das diferentes estruturas urbanas, em ordem decrescente, de acordo com as atividades urbanas e características morfológicas	40
Tabela 02: Comparação dos valores de temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para as 9 horas	137
Tabela 03: Comparação dos valores de temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para as 15 horas	138
Tabela 04: Comparação dos valores de temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para as 21 horas	140
Tabela 05: Comparação dos valores da velocidade do vento entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para às 9 horas	142
Tabela 06: Comparação dos valores da velocidade do vento entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para às 15 horas	143
Tabela 07: Comparação dos valores da velocidade do vento entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para às 21 horas	145
Tabela 08: Tabela comparativa dos resultados da temperatura do ar e da velocidade do vento nas simulações com o ENVI-met para as 9 horas	154
Tabela 09: Tabela comparativa dos resultados da temperatura do ar e da velocidade do vento nas simulações com o ENVI-met para as 15 horas	154
Tabela 10: Tabela comparativa dos resultados da temperatura do ar e da velocidade do vento nas simulações com o ENVI-met para as 21 horas	154
Tabela 11: Tabela comparativa dos resultados dos parâmetros relacionados ao uso e ocupação do solo para o cenário atual e futuro do loteamento	158

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	20
Objetivos	24
Estrutura da dissertação	24
<b>1. O CLIMA E O AMBIENTE URBANO</b>	26
1.1. O Clima Urbano: natureza e escalas de abordagens	26
1.2. O microclima urbano	36
1.3. A configuração da forma urbana e sua relação com o microclima urbano	38
1.3.1. Rugosidade e Porosidade	41
1.3.2. Densidade construída	44
1.3.3. Tamanho da estrutura urbana	47
1.3.4. O uso e a ocupação do solo	48
1.3.5. Orientação	49
1.3.6. Permeabilidade do solo	49
1.3.7. Propriedades termodinâmicas dos materiais	50
1.3.8. As áreas verdes	52
1.4. A adequação bioclimática na configuração dos espaços urbanos	54
1.5. O uso de simulações computacionais para análise do clima urbano: a ferramenta ENVI-met	58
<b>2. CONTEXTO REGIONAL: A CIDADE DE MACEIÓ - ALAGOAS</b>	66
2.1. Morfologia urbana e perfil climático de Maceió-AL	67
<b>3. METODOLOGIA DA PESQUISA</b>	72
3.1. A escolha do objeto de estudo	72
3.1.1. Descrição geral do loteamento selecionado	78
3.2. A avaliação qualitativa da pesquisa	80
3.2.1. O método adotado	80
3.2.2. Caracterização bioclimática do loteamento estudado	80
3.2.3. O estudo da insolação	81
3.3. A avaliação quantitativa da pesquisa	81
3.3.1. A pesquisa de campo: medição das variáveis microclimáticas	81
3.3.1.1. Definição dos pontos para a medição	84

3.3.2. Simulações computacionais das variáveis microclimáticas	86
3.3.2.1. Configuração de áreas, escalas, versões e dados meteorológicos no programa ENVI-met 3.1	86
3.3.2.2. Preparação para as simulações computacionais: configuração dos dados de entrada no programa ENVI-met 3.1	91
<b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	97
4.1. Análise qualitativa do loteamento San Nicolas	97
4.1.1. Caracterização bioclimática do loteamento	97
4.1.1.1. Análise dos atributos bioclimatizantes da forma urbana	97
4.1.1.2. Diagnóstico bioclimático de adequação ambiental	108
4.1.2. Análise das simulações da insolação das áreas externas	110
4.2. Análise quantitativa do loteamento San Nicolas	124
4.2.1. Resultados da pesquisa de campo e estação meteorológica de referência INMET	124
4.2.2. Cenário atual: comparação dos dados simulados com os dados observados	134
4.2.3. Análise do comportamento das variáveis microclimáticas do loteamento para o cenário futuro	146
4.2.4. Análise comparativa entre o cenário atual e o cenário futuro do loteamento estudado	154
<b>CONCLUSÕES</b>	159
<b>REFERÊNCIAS</b>	163
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	171
<b>APÊNDICE</b>	175
Apêndice A – Banco de dados da medição das variáveis microclimáticas no loteamento San Nicolas	175
<b>ANEXOS</b>	179
Anexo A – Zoneamento urbano do município de Maceió	179
Anexo B – Quadro dos parâmetros urbanísticos para Zona ZE-2 no município de Maceió	181
Anexo C – Dados meteorológicos da Estação Automática do INMET para Maceió-AL para os dias 25, 26 e 27/10/2010	182

## INTRODUÇÃO

---

Muitos dos problemas urbanos causados pelo processo de urbanização alteram significativamente o microclima das cidades, o que tem feito crescer o número de pesquisas sobre o desempenho climático dos espaços urbanos. A configuração urbana causa um clima próprio, devido às interferências das construções, dos revestimentos do solo, da emissão de poluentes e da geração de calor, inerentes às condições urbanas, cujas conseqüências podem afetar não somente os espaços externos, mas também o interior das edificações.

Os estudos do clima urbano deveriam ser mais utilizados como ferramenta para o planejamento urbano e dos edifícios. A desconsideração pelos fatores climáticos nos projetos urbanísticos e arquitetônicos pode acarretar em problemas de desconforto térmico, problemas estruturais de erosão e alagamentos, decorrentes da passagem das águas pluviais.

No Brasil, os dados sobre o clima local são, na maioria das vezes, de difícil acesso e, quando disponíveis, não são tratados para uso em projetos de arquitetura ou em planejamento das cidades. Essa problemática compromete o uso das poucas informações disponíveis, as quais acabam sendo subutilizadas pelos arquitetos e urbanistas, pois são geralmente desenvolvidas em função da agricultura e das ciências aeronáuticas (GOULART et al, 1998).

Em várias regiões do mundo, como também no Brasil, estudos sobre a adequação do desenho dos edifícios e das cidades às condições climáticas locais vêm sendo realizados observando-se a orientação das construções e da malha viária à ventilação natural e à insolação, a forma e os materiais de construção utilizados, a permeabilidade das superfícies, entre outros aspectos.

Silveira e Romero (2006) estudaram dois conjuntos habitacionais em Teresina (Piauí), com o objetivo de verificar se as condições climáticas dos mesmos podem ser

consideradas ilhas de calor na cidade em função de suas características construtivas. Foram analisados parâmetros em relação ao entorno, ao conjunto e às áreas abertas. Realizaram-se medições de campo de algumas variáveis microclimáticas como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade dos ventos e temperatura radiante, em alguns pontos para cada conjunto num período quente como também para o período chuvoso a fim de compará-los com a estação meteorológica de referência da cidade. Os resultados mostraram significativa diferença, caracterizando estes espaços como microclimas urbanos.

Torres (2006) avaliou a qualidade térmica no interior de edificações verticais em 03 conjuntos habitacionais na cidade de Maceió (Alagoas). A pesquisa constatou que os arranjos construtivos apresentam má localização de aberturas em relação à ventilação natural, má distribuição e orientação das edificações e pouca porosidade.

Silveira (2007) desenvolveu um estudo para a cidade de Teresina (Piauí), propondo parâmetros bioclimáticos para a avaliação de conjuntos habitacionais multifamiliares na região subúmida do Brasil, avaliando as condições microclimáticas geradas em função dos aspectos morfológicos e tratamento das áreas externas. A pesquisa resultou em um quadro-indicador de sustentabilidade ambiental para avaliação de conjuntos habitacionais verticais (de até 4 pavimentos).

Walaski (2008) elaborou uma proposta para avaliação ambiental em 06 condomínios horizontais no bairro de Santa Felicidade, na cidade de Curitiba (Paraná), tendo como base os princípios do Planejamento da Paisagem, considerando os seguintes atributos: cobertura vegetal arbórea, espaços livres de edificação, opções de recreação ao ar livre, permeabilidade do solo, forma do arruamento, distância mínima entre as edificações, entre outros. Os resultados mostraram-se positivos em relação à qualidade ambiental, entretanto foram detectadas situações a serem modificadas nos projetos, principalmente as edificações que são construídas ainda no sistema convencional.

Kallas (2008) estudou o desenho urbano implantado em um loteamento horizontal na cidade de Teresina (Piauí), através da avaliação pós-ocupacional, considerando os aspectos da sustentabilidade e da adequação bioclimática. A pesquisa avaliou que o microclima gerado no desenho urbano, contribui para um aumento de temperatura do ar, diminui a umidade, proporcionando desconforto térmico, sendo propostas algumas considerações para melhorias do espaço urbano e da qualidade ambiental do loteamento.

O crescimento no número de condomínios<sup>1</sup> e loteamentos fechados<sup>2</sup> em todo o país é um fato que há algum tempo vem se apresentando como tendência do modelo de urbanização brasileira. As grandes e médias cidades têm passado por mudanças no que tange à sua estrutura sócio-espacial urbana, sobretudo na forma de organização e ocupação de seu espaço (KÖRBES, 2008). Os condomínios e os loteamentos fechados constituem, hoje, parte do tecido urbano devido à sua expansão em número, como também ocupam áreas onde ainda existe a oferta de grandes glebas, por isso, os empreendimentos de grande porte estão se expandindo para as áreas periféricas das cidades.

Longe dos problemas urbanos das áreas centrais, essas áreas residenciais fechadas prometem uma série de benefícios aos seus moradores, divulgando na mídia imagens de um ambiente que lembra o verdadeiro “paraíso”. Sobre isso, Bicudo (2007, p.379) constata que:

A forma condominial de organização é, sem sombra de dúvidas, a que melhor se adaptou ao novo modelo de urbanização, acompanhada pela privatização dos espaços de uso coletivo. Se antes os particulares reuniam-se em praças, hoje o fazem nos *shoppings centers*. Se anteriormente freqüentavam os parques, lagos e rios, os particulares, agora, reúnem-se nos clubes, onde desfrutam de grande infra-estrutura.

---

<sup>1</sup> Conjunto composto por residências unifamiliares ou multifamiliares (edifícios e/ou casas), de uso privado e restrito aos seus condôminos, onde estes são proprietários de uma fração proporcional ideal das áreas de uso comum. Os condomínios são regulamentados pela Lei Federal de nº 4.591/64 (que trata das incorporações e dispõe sobre sistema de condomínio de edificações), possuindo sua espacialidade e seus limites definidos, regulados e decididos no domínio privado (BECKER, 2005).

<sup>2</sup> Não existe uma definição jurídica para o termo loteamento fechado. No entanto, o termo loteamento é a principal tipologia do parcelamento do solo no Brasil. O loteamento é regulamentado pela Lei Federal nº 6.766/79 (que trata do parcelamento do solo urbano), sendo representado pela subdivisão da gleba em lotes destinados às edificações, com abertura de vias e logradouros públicos, sendo explicitados na legislação que 35% da área do loteamento, será de domínio público. Esta lei federal define, ainda, que o parcelamento do solo urbano poderá ser feito mediante loteamento ou desmembramento de glebas.

Em Maceió, região de estudo desta dissertação, tem-se intensificado a construção desses empreendimentos em lugares limitados por áreas de preservação ambiental (grotas). Esse tem sido o modelo mais recorrente atualmente divulgado pela mídia e pelo setor imobiliário maceioense, embora seja comum na cidade loteamentos fechados contendo uma guarita e limitados apenas por muros em todo o seu perímetro.

Em Maceió, até o presente momento desta pesquisa, a maior parte desses empreendimentos surge como loteamentos que são fechados posteriormente, constituindo-se condomínios. Por isso, serão tratados nesta dissertação os termos *loteamento* e *condomínio* até a definição do objeto de estudo, o que não altera as características físico-espaciais que estes empreendimentos possuem, nem mesmo o enfoque desta dissertação, que é o microclima urbano gerado nesses espaços.

Face à expansão em número no Brasil, esses espaços urbanos ainda são pouco explorados em pesquisas, no que tange à adequação climática segundo a configuração urbana. Diante desse panorama, é importante que se reflita como os parâmetros de configuração urbana de condomínios e loteamentos horizontais podem interferir de maneira diferenciada no comportamento das variáveis climáticas, atuando nos microclimas locais. Para isso, pretende-se na presente dissertação analisar como esses espaços estão sendo configurados e se atendem aos parâmetros climáticos de planejamento.

O objeto de estudo empírico dessa dissertação de mestrado é uma fração urbana localizada em um empreendimento horizontal fechado de uso exclusivamente residencial, registrado na base cartográfica do município de Maceió.

## **Objetivos**

O objetivo geral é avaliar a qualidade microclimática em um loteamento horizontal na cidade de Maceió-AL, a partir da influência da configuração urbana. Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Analisar as características do loteamento em estudo quanto aos aspectos relacionados à: tipologia e orientação dos parcelamentos e das áreas livres, orientação das ruas e dos espaços de passagem do pedestre e os materiais de revestimentos das superfícies;
- Analisar a insolação e as condições térmicas e dinâmicas resultantes da configuração espacial urbana do loteamento, para o cenário atual e para um cenário futuro, considerando sua ocupação máxima e atendendo às prescrições urbanísticas vigentes;
- Comparar as conseqüências térmicas e dinâmicas resultantes entre o cenário atual e o cenário futuro, correlacionando a influência da configuração urbana no comportamento do microclima local, para as duas situações.

## **Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está organizada em quatro partes: dois capítulos de revisão documental e fundamentação teórica, um capítulo de metodologia e um capítulo para análises e discussões dos resultados.

No primeiro capítulo, de abordagem teórica, realizado para embasar e ampliar os conhecimentos sobre o tema, apresentam-se os eixos temáticos desta pesquisa: o clima urbano, as inter-relações do microclima e da configuração urbana, a adequação bioclimática dos espaços urbanos e o uso da ferramenta ENVI-met para análise do clima urbano.

O segundo capítulo trata do universo de estudo. É apresentada a cidade de Maceió-AL, contexto regional que permeia esta dissertação, com suas características climáticas e morfológicas.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia adotada e os procedimentos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. São apresentados os procedimentos metodológicos relativos à pesquisa de campo, como também os procedimentos para a simulação computacional da insolação e das condições térmicas e dinâmicas do loteamento estudado.

O quarto capítulo apresenta a análise e discussões dos resultados obtidos na análise qualitativa e na análise quantitativa descritiva.

## **1. O CLIMA URBANO**

---

O ambiente urbano é resultado da interação de elementos que abrangem os componentes físicos, climáticos, econômicos e culturais, podendo ser abordado sobre diversos pontos de vista. No entanto, são as condições climáticas que parecem ter tradicionalmente influência decisiva nas variações da densidade da trama urbana.

As alterações no clima local variam de uma cidade para outra em função do processo de crescimento urbano, da intensidade e da morfologia do uso do solo, além das características geológicas do lugar. A ação ecológica natural associada aos fenômenos urbanos constitui um conjunto complexo de inter-relações que caracterizam o clima do ambiente urbano, o que podemos chamar de “clima urbano” (LOMBARDO, 1985).

### **1.1. O Clima Urbano: natureza e escalas de abordagens**

O clima urbano é um sistema do ambiente urbano resultante da interação entre os fenômenos naturais e as atividades antrópicas ocorridas nas cidades.

Oke (1996) conceitua o clima urbano afirmando ser o resultado da modificação substancial das feições climáticas locais pelas condições particulares do meio ambiente urbano, seja pela morfologia e geometria do tecido urbano, pela permeabilidade ou propriedades termodinâmicas dos materiais das superfícies, pelo aumento do fluxo de automóveis, entre outros, provocando alterações no balanço energético local. Para Oliveira (1993), o clima urbano é determinado pelas características climatológicas da região, pela forma urbana e pelas atividades humanas desenvolvidas nas cidades. No ponto de vista de Monteiro (1976, p.95 e 2003, p.19), “o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

As influências das alterações causadas pela urbanização na atmosfera se estendem para além dos limites urbanos, alterando os climas locais e projetando seus efeitos nos espaços circundantes.

Os estudos científicos sobre o clima urbano iniciaram-se na Europa, no século XIX, e apontam que o ambiente urbano apresenta alterações climáticas bastante distintas do ambiente rural circundante. Segundo Oke (1978, p. 247), “em comparação com a paisagem circunvizinha, a cidade usualmente provoca um enrugamento, aquecimento, e talvez ressecamento das condições da superfície”.

O primeiro estudo que identificou diferenças climáticas entre a cidade e o meio rural, foi o trabalho do climatologista Luke Howard, intitulado “The Climate of London deduced from meteorological observations” (O Clima de Londres deduzido de observações meteorológicas), em 1833, no qual por meio da análise de observações meteorológicas para a cidade de Londres no período de 1797 a 1831, diagnosticou que nas cidades, as temperaturas são mais altas e a umidade mais baixa, quando comparadas ao meio não urbanizado circunvizinho (MONTEIRO, 1976).

Décadas mais tarde, surgiram pesquisas importantes que tratavam das modificações climáticas em áreas urbanas provocadas pelo efeito da urbanização, destacando-se o trabalho de Landsberg, em 1956, “The Climate of towns” (“O clima das cidades”). Este, por sua vez, representou um marco histórico nos estudos climatológicos, pois, é a primeira síntese que trata sobre os estudos dos climas urbanos em cidades de latitudes médias, assinalando os atributos que particularizam os estados atmosféricos que, em contraste com o circundante, são observados devido à interferência urbana. Monteiro (1976, p. 57), descreve os aspectos fundamentais que caracterizam o clima urbano nesta síntese:

- O clima urbano é a modificação substancial de um clima local;

- O desenvolvimento urbano tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição do sítio;
- A cidade modifica o clima através de alterações em superfície;
- A cidade produz um aumento de calor devido às modificações na ventilação, na umidade e até nas precipitações, que tendem a ser mais acentuadas;
- A poluição atmosférica representa o problema básico da climatologia das modernas cidades industrializadas.

As diferenças entre o ambiente urbano e o ambiente rural circundante foram aproximadamente quantificadas por Landsberg (1981), conforme mostra o quadro 01, que apresenta as principais alterações sobre as variáveis climáticas produzidas pela cidade em regiões de clima temperado, servindo de exemplo para o entendimento dos processos e fenômenos que definem a qualidade climática urbana.

	<b>Elemento</b>	<b>Comparando a ambientes rurais</b>
<b>Poluentes</b>	Núcleos de condensação	10 vezes mais
	Partículas	10 vezes mais
	Misturas gasosas	5 a 25 vezes mais
<b>Radiação</b>	Total em superfície horizontal	0 a 20% menos
	Ultravioleta, inverno	30% menos
	Ultravioleta, verão	5% a menos
	Duração da luz solar	5% a 15% menos
<b>Nebulosidade</b>	Nuvens	5% a 10% mais
	Nevoeiro, inverno	100% mais
	Nevoeiro, verão	30% mais
<b>Precipitação</b>	Quantidades	5% a 15% mais
	Dias com menos de 5mm	10% mais
	Queda de neve, interior da cidade	5% a 10% menos
	Queda de neve, limite da cidade	10% mais
	Tempestades	10% a 15% mais
<b>Temperatura</b>	Média anual	0,5°C a 3°C mais
	Mínima de inverno	1°C a 2°C mais
	Máxima de verão	1°C a 3°C mais
	Dias com uso de aquecimento	10% menos
<b>Umidade Relativa</b>	Média anual	6% menos
	Inverno	2% menos
	Verão	6% menos
<b>Velocidade do vento</b>	Média anual	20% a 30% menos
	Rajadas de vento	10% a 20% menos
	Calmaria	5% a 20% menos

Quadro 01: Alterações climáticas produzidas pelas cidades comparadas com ambiente rural  
Fonte: Adaptado de Landsberg (1981)

Quase um decênio após a síntese de Landsberg, o trabalho de Howard foi consolidado com o trabalho de Chandler, “The Climate of London” (O Clima de Londres), em 1965, sendo considerada a primeira monografia sobre o clima de uma metrópole (MENDONÇA; MONTEIRO, 2003). Em 1978, dentre as várias produções científicas, destacou-se o trabalho de Oke, ressaltando o manual que trata sobre os climas da camada limite da atmosfera.

No Brasil, as pesquisas envolvendo o clima urbano surgiram em meados da década de 1970 com o trabalho de Monteiro, que procurava focar o comportamento climático das cidades sob uma perspectiva conjuntiva e integradora. Monteiro, em 1976, ao aplicar as noções da funcionalidade sistêmica aos estudos sobre o clima urbano apresentou uma conjectura para o seu estudo, denominado Sistema Clima Urbano, designado pela sigla S.C.U. O autor considera o clima urbano como um sistema como aberto, dinâmico e adaptativo, visando compreender a organização climática de uma cidade, centrando essencialmente sobre os impactos da área urbana na atmosfera. A análise do Sistema Clima Urbano é feita a partir dos campos de percepção humana e os resultados visam, acima de tudo, o planejamento da cidade (MENDONÇA, 1994). A ilustração 01 mostra um diagrama básico que tem como objetivo representar o Sistema Clima Urbano proposto por Monteiro:

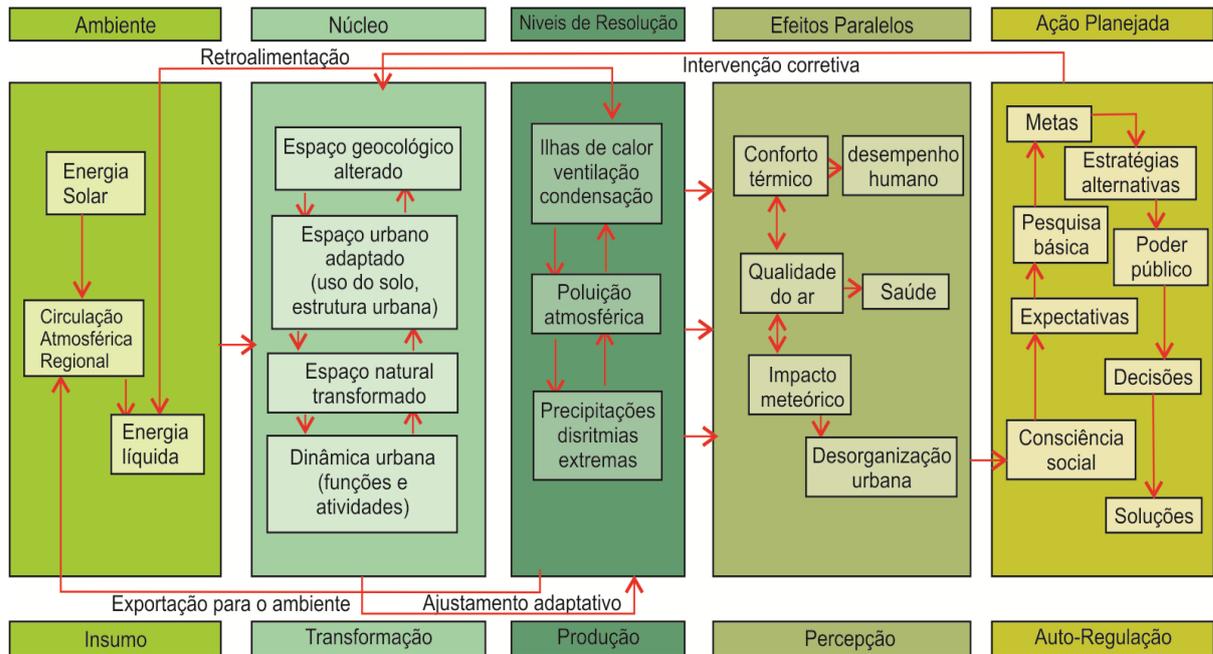


Ilustração 01: Diagrama básico do Sistema Clima Urbano (S.C.U.)

Fonte: adaptado de Mendonça e Monteiro (2003, p.45)

Com base no diagrama, pode-se observar que a estrutura do S.C.U. de Monteiro aborda três campos de percepção:

- I. **Campo termodinâmico** (conforto térmico) – envolve os componentes termodinâmicos, sendo expressados pelo calor, ventilação e umidade;
- II. **Campo físico-químico** (qualidade do ar) – a poluição do ar está associada às outras formas de poluição como a da água e do solo, porém é uma das mais decisivas para obtenção da qualidade no ambiente urbano;
- III. **Campo hidrometeórico** (impacto meteórico) – neste campo pertencem todas as formas meteóricas hídricas (precipitações, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestades).

Nesse contexto, Monteiro (2003) elaborou um quadro permitindo a articulação entre os três canais de percepção, estabelecendo um paralelo comparativo (quadro 02).

CARACTERIZAÇÃO	SUBSISTEMAS		
	I	II	III
	Termodinâmico	Físico-químico	Hidrometeorológico
CANAIS			
	Conforto Térmico	Qualidade do ar	Impacto meteorológico
Fonte	Atmosfera, radiação circulação horizontal	Atividade urbana Veículos auto-motores Indústrias obras-Limpas	Atmosfera estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no Sistema	Intercâmbio de operador e operando	Do operador ao operando	Do operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação Núcleo Ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódio (eventual)
Observação	Meteorológica especial T. de campo	Sanitária e meteorológica especial	Meteorológica hidrológica (T. de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia Sanitária	Engenharia sanitária e infra- estrutura urbana
Produtos	“Ilha de Calor” Ventilação Aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade humana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários, doenças respiratórias, oftalmológicas, etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infra-estrutura urbanae regularização fluvial Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e Homem	Homem	Natureza

Quadro 02: Articulação do Sistema Clima Urbano (S.C.U.) segundo os canais de percepção  
Fonte: adaptado de Mendonça e Monteiro (2003, p.46)

As discussões mais relevantes e menos consensuais nos estudos do clima urbano são as suas escalas de abordagem. Definir esse conceito implica na constituição dos limites do objeto de estudo além de uma maior compatibilização entre as linguagens de análise climática, meteorológica e o planejamento urbano (BRANDÃO, 2009).

Os conceitos e metodologias, que tratam da classificação das escalas de estudo do clima de toda e qualquer investigação científica, incluem dimensões relativas ao espaço e ao tempo, permitindo, assim, uma melhor compreensão do clima urbano.

Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.22) afirmam que “a escala climática diz respeito à dimensão, ou ordem de grandeza, espacial (extensão) e temporal (duração), segundo a qual os fenômenos climáticos são estudados”, pois “a interação dos controles atmosféricos com os fatores geográficos do clima determina o dinamismo do fluxo de energia que se dá em áreas diferentes do espaço terrestre”. Embasado numa flexibilidade entre essas diversas grandezas, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) ressaltam uma síntese da nomenclatura dos termos e as dimensões espaciais e temporais de maior aceitação, conforme mostra o quadro 03.

Ordem de grandeza	Subdivisões	Escala horizontal	Escala vertical	Temporalidade das variações mais representativas	Exemplificação espacial
Macroclima	Clima sazonal Clima regional	> 2000 Km	3 a 12 Km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, mares, etc.
Mesoclima	Clima regional, clima local, topoclima	2.000 Km a 10 Km	12 Km a 100m	De várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade, etc.
Microclima	-	10 Km a alguns metros	Abaixo de 100m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação/casa, etc.

Quadro 03: Organização das escalas espacial e temporal do clima  
Fonte: adaptado de Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.23)

A classificação das escalas climáticas de Mendonça e Monteiro (2003) estabelece uma ordem hierárquica, relacionando as unidades climáticas com as ordens de grandeza taxonômica das formas e com os graus de urbanização, visando subsidiar o planejamento urbano. O quadro 04 mostra as escalas de tratamento no clima urbano propostas pelos autores acima citados.

Ordens de grandeza	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	milhões de Km	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	milhões de Km	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Redes transectos
IV	centenas de Km	1:1.000.000 1:500.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
V	dezenas de Km	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	centenas de metros	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande Bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios)	Urbanismo	Especiais
-	dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Quadro 04: Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano

Fonte: adaptado de Mendonça e Monteiro (2003, p.29)

Uma importante distinção nas escalas de investigação do clima urbano tem sido abordada em 1976 por Oke. Na taxonomia de Oke, propõe-se uma estrutura tridimensional para abordar os fenômenos climáticos que ocorrem no ambiente urbano, envolvendo uma escala espacial (horizontal e vertical) e outra temporal (ano, mês, semana, dia, hora, minuto e segundo). No âmbito horizontal (que depende da distância em metros), Oke (1987), apresenta quatro escalas de abordagem: macroescala (de  $10^5$  a  $10^8$  m), mesoescala (de  $10^4$  a  $2 \times 10^5$  m), escala local (de  $10^2$  a  $5 \times 10^4$  m) e microescala (de  $10^{-2}$  a  $10^3$  m).

No plano vertical, o autor aponta a PBL, *Planetary Boundary Layer* (Camada Limite Atmosférica), como a camada que corresponde aos baixos níveis da troposfera; camada de mistura ou turbulência, gerada pela fricção entre o ar e a superfície terrestre e pela convecção de parcelas do ar aquecidas pela superfície (DUMKE, 2007). É nesta camada que estão enfocados os mais diversos estudos sobre o clima urbano.

A Camada Limite Atmosférica está dividida em dois níveis, de acordo com as alterações climáticas e o processo de urbanização (ilustração 02):

- Camada Limite Urbana (UBL<sup>3</sup>), engloba todos os níveis que definem o fato urbano e representa a interação da atmosfera com o conjunto da cidade, apresentando um conjunto de microclimas produzidos pelo entorno mais imediato.
- Camada Intra-Urbana (UCL<sup>4</sup>), também conhecida como camada urbana no nível da cobertura das edificações - compreende o espaço entre o solo e o nível médio das coberturas das edificações e representa a interação entre a atmosfera e o elementos urbanos (microescala).

Essa divisão permite fazer uma diferenciação entre os processos que ocorrem na microescala, que se estende desde o solo até aproximadamente o nível médio das coberturas das edificações.

Ainda na ilustração 02, pode-se observar ainda a Pluma Urbana, que corresponde a camada sobre a Camada Limite Rural, que sofre influência da atmosfera urbana, a sotavento da área urbanizada.

---

<sup>3</sup> Urban Boundary Layer

<sup>4</sup> Urban Canopy Layer

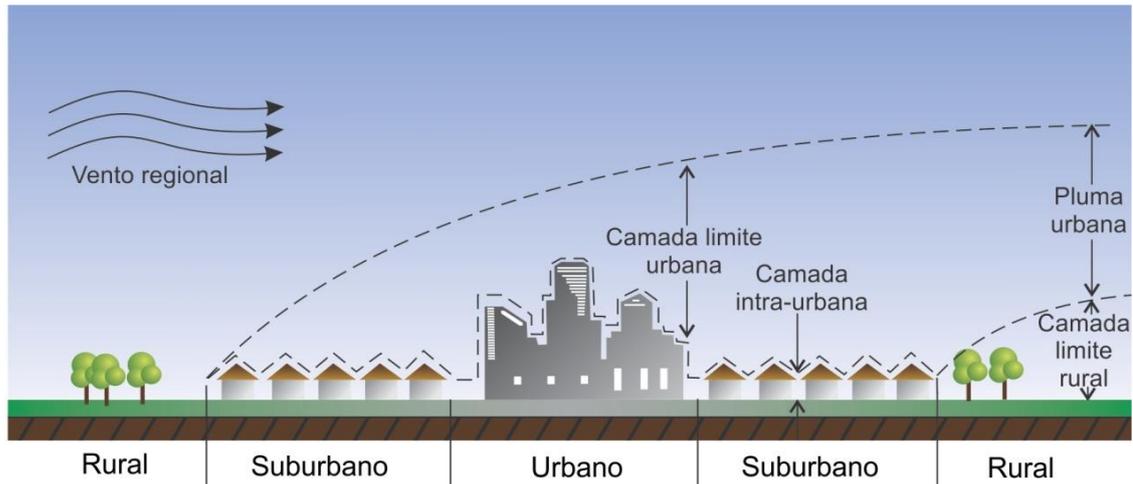


Ilustração 02: Representação esquemática da Classificação das Alterações Atmosféricas Urbanas  
 Fonte: adaptado de Oke, 1978, p. 240

Todas as características físicas intrínsecas ao meio urbano, onde padrões evoluem abaixo da camada de coberturas das edificações, podem ser transferidas para camadas atmosféricas acima destas coberturas através dos movimentos e fluxos turbulentos (GRIMMOND; OKE, 1999). Com isso, surgem grandes células sobre a cidade que favorecem a ocorrência de discontinuidades nas distribuições espaciais de variáveis como a componente vertical do vento, temperatura e umidade (MACHADO, 2008).

A camada limite urbana tem um âmbito de escala local (mesoescala). Já a camada urbana de cobertura das edificações recebe influências de processos de microescala presentes *cânions*<sup>5</sup> entre edificações. É na camada intra-urbana que acontecem as trocas de energia que atingem diretamente os cidadãos, uma vez que essas trocas são consideravelmente dependentes da natureza das superfícies e da forma da trama urbana.

Esta pesquisa está inserida na escala microclimática, pois, é nesta escala que toda superfície ou objeto detém o seu próprio microclima.

<sup>5</sup> É a unidade padrão para o estudo do microclima. Os cânions são formados por três superfícies (parede e piso) e três lados abertos. Suas características geométricas podem ser descritas através de três parâmetros: H (altura média do cânion); W (largura) e L (comprimento). Portanto, as relações H/L, L/W e a densidade construída são descritores geométricos que caracterizam um cânion (ROMERO, 2011).

## 1.2. O microclima urbano

Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.24) definem o microclima como “a menor e a mais imprecisa unidade escalar climática (podendo variar de alguns centímetros a centenas de metros quadrados).”

A interação do clima com a configuração e o uso do espaço urbano, pode provocar uma desorganização na dinâmica climática, contribuindo para a formação de ambientes climáticos diferenciados, fazendo com que cada cidade ou bairro (dentro da mesma cidade) possa ter seu próprio microclima. Esta desorganização climática na atmosfera urbana, provocada principalmente pelas atividades antropogênicas, afeta de forma significativa as condições de conforto ambiental na cidade, alterando alguns atributos do clima, como a temperatura, umidade, pluviosidade, dinâmica dos ventos locais, nebulosidade e a qualidade do ar, determinando, contudo, o microclima urbano.

Nas cidades, os elementos climáticos são modificados quando comparados à área adjacente rural, ou seja, a temperatura do ar é mais elevada, os ventos são modificados no sentido e na velocidade e a umidade relativa é mais baixa, gerando um microclima característico das áreas urbanas (SILVEIRA e ROMERO, 2006), cujas principais características foram relatadas por Higuera (2006, p. 115):

- Temperaturas mais altas que o entorno circundante: existe um sobreaquecimento maior nas zonas centrais urbanas, conhecidas como ilhas de calor<sup>6</sup> urbanas. A temperatura da cidade aumenta devido à alta proporção de energia secundária consumida, à modificação das características de absorção das superfícies urbanas (que em geral são impermeáveis e de cor escura) e ao menor efeito refrigerador de sua

---

<sup>6</sup> Consiste num fenômeno onde as cidades são, principalmente, à noite mais quentes que o meio rural ou menos urbanizado que os rodeia (GARCIA, 1995 p.30). Modificação do clima local das regiões urbanizadas devido ao processo de urbanização, que difere significativamente das regiões rurais circunvizinhas (HUANG et al, 2006). Esse fenômeno se intensifica à noite, poucas horas após o pôr-do-sol, sendo melhor visualizado em dias de calmarias e céu claro.

atmosfera como resultado dos elementos contaminantes (poluentes presentes no ar). Pode-se concluir que na cidade a temperatura sempre é maior que no campo e, esta diferença pode se apresentar como um gradiente desde a periferia ao centro urbano, de onde se produzem os aumentos mais significativos.

- Regime especial de ventos: as condições do regime geral dos ventos são completamente modificadas pelo tecido urbano, através das zonas de densidades variadas, possíveis canalizações de ventos ao longo das ruas, espaços livres e áreas verdes disseminadas. A altura das edificações podem variar tanto a direção quanto a velocidade das correntes de ar, podendo causar efeitos favoráveis ou desfavoráveis sobre a cidade.
- Menor umidade e sequeidão ambiental: devido à predominância, nas cidades, de grandes áreas edificadas sobre as áreas verdes e cursos d'água. Os revestimentos existentes na superfície urbana produzem um aquecimento superficial e uma evapotranspiração quase nula, pois a água da chuva escorre rapidamente, não podendo ser retida devido às condições de baixa permeabilidade da superfície do solo.

Para Mendonça e Monteiro (2003), a formação dos microclimas urbanos deriva diretamente da heterogeneidade tanto do sítio quanto da estruturação, morfologia e funcionalidade urbana, gerando bolsões climáticos intra-urbanos diferenciados, conhecidos como ilhas de calor e as ilhas de frescor<sup>7</sup>, conforme for a interação do clima com a configuração do espaço, quando comparadas a seu entorno mais próximo.

Lynch e Hack(1986) enfatizam a importância das condições microclimáticas para os planejadores urbanos, pois tais condições interferem nas trocas térmicas e na umidade entre o ambiente urbano e os espaços construídos, resultantes dos materiais escolhidos ainda na fase

---

<sup>7</sup> São áreas verdes de parque que atenuam a temperatura do ar, gerando menos liberação de calor para a atmosfera junto ao sol.

de projeto. Em regiões de clima quente e umidade do ar elevada, é imprescindível o resfriamento dos espaços urbanos por meio da movimentação do ar e da prevenção dos ganhos excessivos de calor, mediante recursos de sombreamento.

Bitan (1992) aponta que o uso correto dos elementos climatológicos e sua integração com a configuração urbana em diferentes níveis de planejamento e construção são capazes de melhorar os microclimas de uma determinada área urbana.

A seguir são abordados os elementos da forma urbana que podem condicionar o microclima urbano.

### **1.3. A configuração da forma urbana e sua relação com o microclima urbano**

A forma urbana é o resultado da organização dos elementos morfológicos através da maneira como estes se constituem e se estruturam no território, capaz de determinar a vida humana na sociedade. Ou seja, é a materialização da cidade que, para Lamas (1992), corresponde à maneira como se organiza e se articula sua arquitetura.

Lamas (1992, p.44) faz uma análise da forma urbana sob quatro aspectos, que devem ser considerados em qualquer investigação mais abrangente do espaço urbano:

- **Aspectos quantitativos:** se referem a uma organização quantitativa como a densidade, superfícies, fluxos, coeficientes volumétricos, perfis, dimensões, entre outros;
- **Aspectos de organização funcional:** relacionam-se com as atividades humanas e aos usos do espaço urbano (residencial, comercial, industrial, institucional, entre outros.);

- **Aspectos qualitativos:** referem-se ao conforto ambiental dos espaços. Em espaços urbanos, referem-se à adequação climática, à acessibilidade e ao estado de conservação;
- **Aspectos figurativos:** relacionam-se com a comunicação estética do espaço urbano.

Nesta dissertação serão averiguados os aspectos de análise quantitativos e qualitativos, considerando-se as condições microclimáticas decorrentes da configuração urbana.

Os elementos climáticos se apresentam de forma bastante variada dentro da própria malha urbana, de acordo com as diversas formas de uso e ocupação do solo, ou melhor, de acordo com os atributos da morfologia urbana. Estes atributos correspondem tanto à forma urbana como um todo, quanto aos arranjos morfológicos. Dessa maneira, a forma urbana pode alterar o perfil urbano microclimático, condicionando o clima urbano através das relações estabelecidas entre o ambiente construído, a rugosidade<sup>8</sup> da superfície, a geometria urbana, pisos e propriedades dos materiais de superfície (BARBIRATO, 2005; SHASUA-BAR; HOFFMAN, 2000).

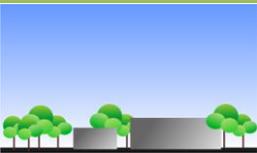
Vidal (1995) observou, ao analisar bioclimaticamente assentamentos populares na cidade de Natal-RN, que a orientação do traçado urbano, a elevada permeabilidade do solo, a baixa densidade e os espaços destinados às áreas verdes são fatores determinantes para um bom desempenho bioclimático; enquanto que a falta de arborização dos espaços públicos, a ocupação horizontal e a inexistência de rugosidade para incrementar a ventilação urbana, são fatores desfavoráveis a um melhor controle climático.

---

<sup>8</sup> Característica urbana que expressa a fricção entre o movimento das massas de ar sobre as diferentes alturas das edificações (OLIVEIRA, 1988).

Oke (2004) analisa as formas urbanas sob o aspecto da rugosidade, da porcentagem da área impermeável e da relação proporcional entre a altura dos edifícios e a largura das vias (relação H/W), a fim de classificar as diferentes estruturas urbanas em função do seu metabolismo e de suas características morfológicas, identificando suas peculiaridades como também suas potencialidades na modificação do clima urbano, conforme mostra o tabela 01.

Tabela 01 – Classificação das diferentes estruturas urbanas, em ordem decrescente, de acordo com as atividades urbanas e características morfológicas

Zona Climática Urbana	Ilustração da área	Classe de Rugosidade	Relação H/W <sup>9</sup>	Área impermeável <sup>10</sup> (%)
1 – Área urbana com desenvolvimento intenso, com aglomerado de edifícios altos revestidos.		8	> 2	> 90
2 – Área urbana intensamente desenvolvida, com alta densidade construída, com edifícios variando de 2 a 5 pavimentos		7	1.2 – 2.5	> 85
3 – Área urbana altamente desenvolvida, com média densidade urbana; edificações enfileiradas ou isoladas (conjuntos residenciais, lojas e apartamentos) com pequenos recuos.		7	0.5 – 1.5	70 - 85
4 - Área urbana altamente desenvolvida, com baixa densidade urbana, com edifícios grandes e baixos como, por exemplo, os shoppings centers e supermercados, possuindo grandes estacionamentos pavimentados.		5	0.05 – 0.2	70 - 95
5 - Área urbana com médio desenvolvimento e baixa densidade urbana, apresentando edificações variando de 1 a 2 pavimentos, tendo como exemplo os subúrbios residenciais.		6	0.2 – 0.5 Ou > 1 com árvores altas	35 - 65
6 – Áreas urbanas de uso misto com grandes edificações em áreas abertas, como por exemplo, as universidades, os hospitais e os aeroportos.		5	0.1 – 0.5, depende das árvores	< 40

<sup>9</sup> Relação proporcional entre a altura das edificações (H) e largura das vias (W).

<sup>10</sup> Porcentagem média do terreno coberto por materiais impermeáveis.

7 – Área semi-rural com edificações dispersas e distribuídas numa área rural como, por exemplo, as fazendas e as propriedades rurais.		4	> 0.05 depende das árvores	< 10
---	---	---	----------------------------------	------

Fonte: adaptado de OKE (2004, p.21).

Oliveira (1988) desenvolveu um método qualitativo de análise do espaço urbano, identificando as características da forma urbana e como estas podem atuar, fraca ou intensamente, sobre um ou mais elementos climáticos, configurando o clima urbano. Identifica as seguintes características: rugosidade e porosidade, densidade construída, tamanho (altura e extensão horizontal), ocupação e permeabilidade do solo, orientação, propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes e áreas verdes (vegetação).

A metodologia desenvolvida por Oliveira (1988) permite identificar aspectos, elementos e atributos da forma urbana que se relacionam com o ambiente climático urbano, oferecendo a base para o desenho urbano voltado para a redução dos impactos ambientais e do consumo energético.

A seguir, estão explicitados esses elementos da forma urbana, referente ao método qualitativo de Oliveira (1988), com suas características morfológicas, como fatores condicionantes da formação do microclima urbano.

### 1.3.1. Rugosidade e Porosidade

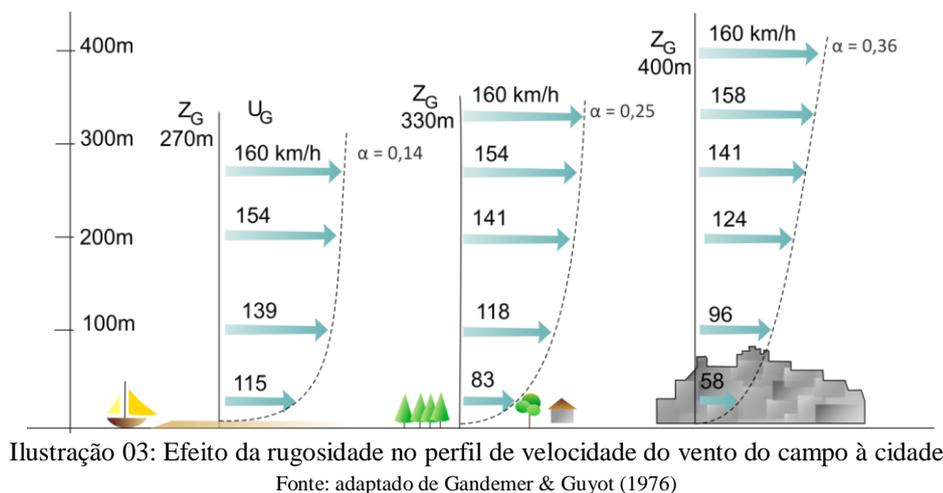
A rugosidade e a porosidade são características morfológicas que determinam o desempenho da estrutura urbana em relação ao aproveitamento dos ventos.

A rugosidade está relacionada com o conjunto de irregularidades, ou seja, de saliências e reentrâncias que caracterizam uma determinada superfície. De acordo com Santos (2004), a rugosidade pode ser entendida como as diferenças de alturas da massa edificada, responsáveis por alterar significativamente a forma de deslocamento das massas de ar. É uma

medida de fricção, maior ou menor, que a superfície urbana oferece aos ventos que se desloca sobre ela, sendo caracterizada por meio do volume e da geometria da massa edificada.

Dessa forma, quanto mais rugosa for a superfície, maior será a distância (da altura) em que sua influência sobre o vento será percebida, aumentando, assim a camada limite.

A ilustração 03 mostra o perfil do vento em diferentes ambientes, a partir da influência da rugosidade.



Nota-se que, quando afastado da influência da área superficial urbana, o vento apresenta um perfil de velocidade vertical constante. A partir da aproximação da camada da superfície urbana, percebe-se uma alteração no comportamento do mesmo, influenciado pela rugosidade da trama urbana.

A porosidade é representada pela maior ou menor permeabilidade de uma estrutura urbana à passagem dos ventos e é expressa por meio da relação entre espaços abertos e espaços confinados, ou seja, corresponde aos espaçamentos entre os edifícios e/ou arranjos morfológicos e à diversidade de alturas relativas entre edifícios e demais superfícies urbanas. É definida pela estrutura de parcelamento, do índice de ocupação, da existência de espaços vazios e pela largura das vias.

Conceituada por Oliveira (1988) como a maior ou menor permeabilidade que o tecido urbano apresenta aos ventos, a porosidade na malha urbana pode modificar substancialmente o comportamento do escoamento desses dentro da cidade, uma vez que a direção e a velocidade dos ventos são controladas pela forma e disposição dos edifícios (afastamentos), pelo aumento do gabarito das edificações (altura das edificações), pelo padrão de arruamento e espaços abertos, além das condições topográficas do sítio urbano.

Nessas condições, Olgyay (1998) ao analisar os arranjos construtivos mais utilizados nas cidades, verificou que o arranjo escalonado (tabuleiro de xadrez) apresenta um melhor aproveitamento do vento em relação à malha ortogonal normal, pois é o que melhor reduz o efeito da sombra de vento<sup>11</sup>, em seguida o arranjo ortogonal normal e, por último, o posicionamento inclinado (45°) em relação aos ventos predominantes (ilustração 04).

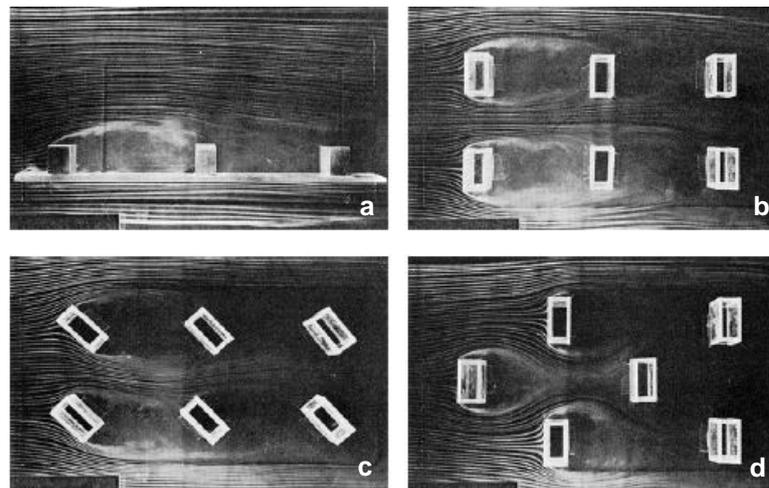


Ilustração 04: Comportamento dos fluxos do vento em diferentes arranjos; a) efeito da sombra de vento com edificações em fileira; b) arranjo ortogonal normal; c) efeito a partir da inclinação (45°) arranjo em tabuleiro de xadrez  
Fonte: Olgyay, 1998

Em cidades de clima quente e úmido, contexto regional desta pesquisa, deve-se tornar a malha mais porosa, aumentando as dimensões dos recuos e incentivar o uso de pilotis

<sup>11</sup> Separação do fluxo de ar ocasionando a formação de zonas turbulentas de recirculação de ar, vórtices. (TORRES, 2006)

ou de pavimentos intermediários vazados, propiciando uma melhor ventilação natural na malha urbana, a fim de se evitar a formação das ilhas de calor (SORANO, 2009).

### 1.3.2. Densidade construída

A densidade de construção relaciona-se às taxas de ocupação da área construída, às distâncias entre edificações e alturas médias dos edifícios, além de detalhes da estrutura urbana como tamanho e forma das edificações e posição relativa entre as mesmas. O adensamento e a expansão horizontal das cidades, quando não planejadas, podem trazer conseqüências ambientais significativas. Givoni (1992) observa que em locais de clima quente e úmido, as melhores condições de conforto são obtidas com edifícios altos e estreitos (torres), posicionados distantes uns dos outros, de acordo com a densidade do lugar.

A densidade das várias áreas construídas numa cidade afeta o microclima urbano modificando, principalmente, o regime dos ventos, o balanço de radiação e a temperatura do ar (GIVONI, 1998).

Oke (2004), em sua classificação da zona climática urbana (tabela 01, página 40), caracteriza a densidade de uma área urbana segundo a relação proporcional entre a altura das edificações e a largura da caixa viária (H/W). Quando os edifícios estão bem distanciados, com relação  $H/W > 0,05$ , não há uma interação entre os fluxos de ar e os edifícios. No entanto, à medida que o espaçamento entre as edificações diminui, esse fluxo passa a ser alterado em função do arranjo dos edifícios.

Oke (1987) e Lee et al (1980) analisaram a interferência da geometria do tecido urbano no fluxo do vento em três situações de distanciamento (ilustração 05):

- 1) Fluxo com rugosidade isolada: quando o fluxo passa a ser alterado pelo arranjo entre os edifícios. O espaço entre as edificações é largo, sendo maior que a soma

das regiões de separação do fluxo localizadas a sotavento ( $E_d$ ) e a barlavento ( $E_u$ ), geradas entre as edificações;

- 2) Zona de circulação de ar (fluxo com esteira de interferência): quando a relação  $H/W$  é menor que a soma das regiões de separação. A altura e o arranjo das edificações passam a perturbar o redemoinho a barlavento ( $E_u$ ) e na cavidade ( $Sc$ ). Apresenta um fluxo de ar secundário no cânion que é gerado quando o fluxo de ar na cavidade é reforçado pela deflexão do fluxo na frente do edifício a sotavento ( $E_d$ ).
- 3) Fluxo deslizante (turbulento): quando a relação  $H/W$  é maior, há uma estabilização do vórtice e a maior parte do fluxo de ar não penetra no cânion, favorecendo o deslizamento do fluxo sobre os obstáculos, resultando apenas num movimento turbulento no espaço entre eles.

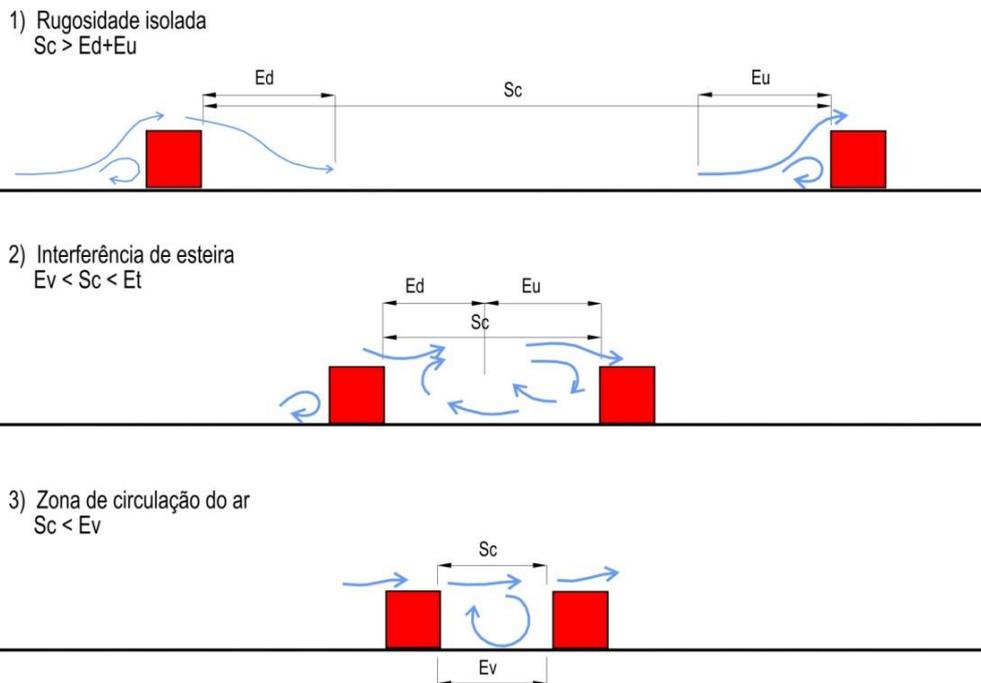


Ilustração 05: Efeito da densidade construída na circulação de vento entre as edificações

Fonte: Lee et al (1980) apud Torres (2006)

Em regiões de clima quente e úmido de baixa densidade, as dimensões dos lotes devem ser mais largas que compridas, e estar dispostos de modo que a ventilação possa

penetrar e atingir todos os edifícios (EVANS; SCHILLER, 1994; ROMERO, 2000; HIGUERAS, 2006).

Landsberg (1981) afirma que as condições de insolação e radiação nos cânions urbanos são alteradas devido à mudança do horizonte, que afeta a duração da luz do sol e da iluminação, como também pela interação das fachadas das edificações em ruas estreitas como também entre as edificações e a superfície das ruas.

O impacto da incidência de radiação solar próximo à superfície urbana é proporcional à altura das edificações ( $H$ ) e à distância entre eles ( $W$ ), isto é, à proporção  $W/H$  (ROMERO, 2001). Ludwig (1970 apud Romero, 2001) apresentou uma análise dos efeitos da relação  $W/H$  na radiação e na temperatura do ar próxima do solo. Constatou que áreas com densidade baixa, parte da radiação solar que incide é refletida ou emitida, para depois ser absorvida. Numa área de densidade média, com proporção  $W/H$  igual a 1, grande parte da radiação refletida incide em outros edifícios ou na superfície do solo. Já numa área de alta densidade, com  $W/H$  proporcional a 4 ou mais, a maior parte da absorção toma lugar muito acima do nível do solo (ilustração 06).

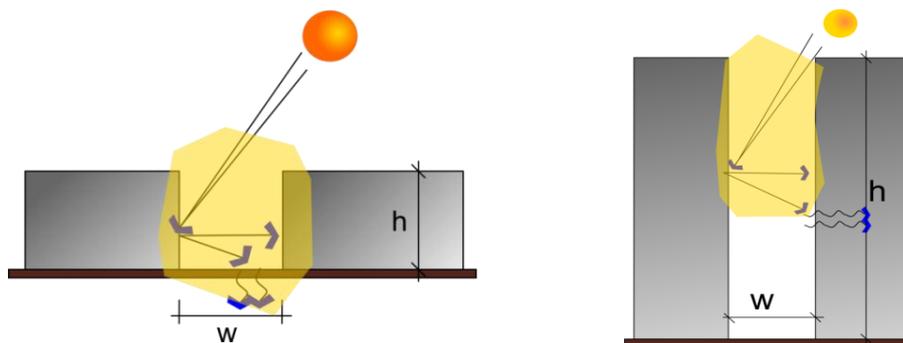
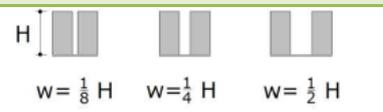
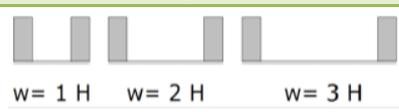
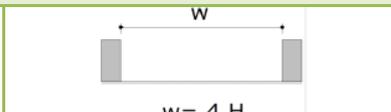


Ilustração 06: Impacto da radiação solar através da proporção  $W/H$  1 e 4  
Fonte: adaptado de Romero, 2001, p. 91

A relação  $W/H$  está diretamente ligada à quantidade de radiação solar absorvida pelas edificações, pois o edifício armazena radiação de ondas curtas, aumentando a energia solar absorvida, devido às várias reflexões (SILVA; ROMERO, 2010).

De modo esquemático, McCluskey (1985 apud Romero 2001) apresenta um quadro resultante dessa relação proporcional, o que possibilita a categorização dos espaços urbanos em três tipos, conforme mostra o quadro 05.

CATEGORIZAÇÃO DE ESPAÇOS		
Claustrofóbico	Recolhimento	Expansivo
Absorvem calor muito acima do nível do solo. Existe um amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável (calor ou frio) durante o dia e só é alterada por um fator extremo. Correspondem às áreas de alta densidade.	A absorção de calor se dá próxima ao nível do solo. Existe uma menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à da parte exterior. Correspondem às áreas de média densidade.	A maior parte da radiação é refletida. A possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior. Correspondem às áreas de baixa densidade.
Relação W/H		
 <p><math>w = \frac{1}{8} H</math>   <math>w = \frac{1}{4} H</math>   <math>w = \frac{1}{2} H</math></p>	 <p><math>w = 1 H</math>   <math>w = 2 H</math>   <math>w = 3 H</math></p>	 <p><math>w = 4 H</math></p>

Quadro 05 – Categorização de espaços segundo relação W/H  
 Fonte: Adaptado de Romero (2001, p. 91)

### 1.3.3. Tamanho da estrutura urbana

O tamanho da área urbana é determinado pelas dimensões verticais e horizontais, e apresenta uma forte relação com a quantidade de calor gerada e as altas temperaturas urbanas, além de influir na quantidade de fontes produtoras de calor e de poluentes.

As áreas com crescimento vertical intenso estão relacionadas às maiores médias de temperaturas urbanas, enquanto que as áreas com menores taxas de ocupação tendem a possuir as menores médias térmicas (SOMEKH, 1997).

Num estudo realizado por Bittencourt et al (1997) para a cidade de Maceió, constataram que a elevação da altura dos edifícios associados à redução na taxa de ocupação do solo permitiu uma melhor distribuição no fluxo de ar nos ambientes, tanto externamente quanto internamente.

Oliveira (1988) acrescenta que, quanto maior for o contraste de alturas da estrutura urbana, maior será a velocidade dos ventos em parte da massa edificada próxima dos volumes mais altos (se combinada à porosidade) e maiores as trocas térmicas com o ambiente atmosférico, ocasionando menores ganhos térmicos e, conseqüentemente, menores temperaturas do ar.

#### **1.3.4. O uso e a ocupação do solo**

O uso e a ocupação do solo são definidos em função da densificação, do regime de atividades, dos dispositivos de controle das edificações e do parcelamento do solo. Têm influência direta na distribuição das temperaturas dentro das estruturas urbanas, através da concentração/dispersão de atividades de acordo com o tempo (dias úteis / fins de semana), da centralização/descentralização de atividades (maior massa construída nos centros urbanos) além da proporção de áreas verdes (BARBIRATO et al, 2007).

De acordo com Oliveira (1988), contextualizar numa mesma área urbana usos industriais, comerciais e de prestações de serviços significa contextualizar também nessas áreas subprodutos dessas atividades, ou seja, maior transmissão de calor (radiação tanto solar quanto a produzida pelas atividades antrópicas) e poluentes atmosféricos, tendo como consequência maiores alterações climáticas. Já em parques e reservatórios, estudos apontam que a temperatura é menor (LOMBARDO, 1985).

Para SCHERER et al (s.d.) mudanças no uso do solo não causam mudanças diretas nos elementos climáticos, mas eventualmente instalam novos fatores. Alguns exemplos são mudanças no tamanho e distribuição da rugosidade, dos materiais de revestimento (com diferentes capacidades térmicas) e na composição dos emissores de poluição do ar.

### **1.3.5. Orientação**

A orientação está relacionada com o posicionamento dos elementos urbanos (edifícios e massas arbóreas) e da malha viária frente à insolação, ao regime dos ventos, às fontes de som e aos acidentes geográficos da área considerada. Nesta concepção, o traçado urbano é capaz de permitir uma melhor orientação dos lotes, aproveitando racionalmente a radiação solar e os ventos dominantes tanto no interior dos edifícios quanto nos espaços externos.

A largura das ruas determina a distância entre as edificações dos dois lados da rua, podendo causar impactos tanto na ventilação como na insolação. O layout das ruas também determina potencial ventilação dos edifícios, bem como as condições de ventilação externa.

Em cidades de clima quente e úmido, as ruas devem ser largas para permitir a ventilação do tecido urbano. A orientação das ruas deve possibilitar o sombreamento procurando oferecer aos pedestres caminhos sombreados. As dimensões dos lotes devem ser mais largas que compridas e perpendiculares aos ventos dominantes. O alinhamento das edificações não deve ser muito rígido, a fim de permitir a circulação do ar abundante (GIVONI, 1998). As elevações das massas edificadas devem estar posicionadas à barlavento, enquanto que as massas arbustivas e líquidas, devem estar à sotavento.

### **1.3.6. Permeabilidade do solo**

Refere-se às possibilidades de infiltração de água na superfície do solo, considerando suas características de permeabilidade (tipo de solo exposto, forragem da vegetação) e de impermeabilidade (tipo da pavimentação de revestimento ou edificações). Todos os solos apresentam características mais ou menos permeáveis. Em solos arenosos, por exemplo, a permeabilidade é alta, já em solos argilosos a permeabilidade é baixa. E em solos rochosos, cimentados, ruas asfaltadas, solos que ficam sob as casas e prédios, a permeabilidade é nula.

Com a permeabilidade quase zero, não há mais infiltração e toda a água da chuva é obrigada a correr pela superfície, isto é, pelas ruas e avenidas.

A impermeabilização das cidades acarreta também num rápido escoamento das águas pluviais, por haver poucas superfícies permeáveis (com solo natural ou vegetações), podendo ocasionar inundações.

A permeabilidade e o tipo de recobrimento do solo constituem-se num dos atributos morfológicos condicionantes do clima urbano e da melhoria das condições microclimáticas dos mais variados espaços urbanos.

Para Oliveira (1988), o processo de urbanização provoca a impermeabilização da superfície do solo urbano dependendo do grau da quantidade de:

- superfície de solo urbano edificado e construído;
- superfície do solo urbano pavimentada (passeios, ruas, avenidas);
- superfície de solo urbano nu, compactado (como ocorre nas áreas ainda desocupadas dentro do tecido urbano, provisoriamente utilizadas com a intensa atividade de veículos e/ou circulação constante de pedestres).

Os principais efeitos da impermeabilização do solo que repercutem no clima urbano são: a diminuição da umidade relativa do ar e da evaporação, devido a pouca absorção das águas pluviais, e a radiação térmica acumulada.

### **1.3.7. Propriedades termodinâmicas dos materiais**

O desempenho dos materiais urbanos é determinado pelas características térmicas, sendo o albedo<sup>12</sup> e a emissividade<sup>13</sup> fatores mais significantes.

---

<sup>12</sup> Coeficiente de refletância dos materiais a partir da radiação solar incidente.

<sup>13</sup> Capacidade de um objeto emitir energia infravermelha.

As características morfológicas e o albedo das superfícies diminuem as diferenças no balanço de energia entre o campo e a cidade. Com a urbanização, os materiais de construção utilizados, em substituição dos materiais naturais, provocam mudanças nos processos de absorção, transmissão e reflexão, apresentando geralmente menor valor de albedo, maior capacidade calorífica e valor elevado de condutividade térmica.

As variações nas características da superfície urbana alteram o clima local, levando a diferentes microclimas e influenciando, sobretudo, no aumento da temperatura e na redução da umidade do ar, o que pode prejudicar a qualidade bioclimática desses espaços (OFFERLE et al, 2005; COUTTS et al, 2007).

Materiais com baixo albedo e alta emissividade, aumentam a transferência de energia para o ar ambiente, aquecendo-o (PRADO; FERREIRA, 2005). Além disso, a parcela da radiação que é refletida sofre sucessivas reflexões devido à geometria das edificações urbanas. Como no ambiente urbano há uma grande heterogeneidade de materiais, como telhado, pintura, asfalto, calçada, concreto, grama e árvores, o albedo apresenta diversos valores. O quadro 06 mostra as variações de albedos e emissividades dos principais materiais encontrados numa área urbana:

Superfície	Albedo	Emissividade
<b>Rua com asfalto</b>	0,05 – 0,20	0,95
<b>Parede</b>		
concreto	0,10 – 0,35	0,71 – 0,90
tijolo	0,20 – 0,40	0,90 – 0,92
pedra	0,20 – 0,35	0,85 – 0,95
madeira	-	0,90
<b>Telhados</b>		
Piche e cascalho	0,08 – 0,18	0,92
telha	0,10 – 0,35	0,90
ardósia	0,10	0,90
sapê/palha/folhagem	0,15 – 0,20	-
chapa ondulada	0,10 – 0,16	0,13 – 0,28
<b>Janela - vidro claro zenit</b>		
Ângulo zenital menor que 40°	0,08	0,87 – 0,94
Ângulo zenital de 40° a 80°	0,09 – 0,52	0,87 – 0,92
<b>Pinturas</b>		
Branças, caiadas	0,50 – 0,90	0,85 – 0,95
vermelhas, marrom	0,10 – 0,35	-
verdes	0,20 – 0,35	0,85 – 0,95
pretas	0,02 – 0,15	0,90 – 0,98
<b>Áreas urbanas (latitudes médias)</b>		
variação	0,10 – 0,27	0,85 – 0,96
média	0,15	0,95

Quadro 06: Propriedades radiativas de alguns materiais presentes no ambiente urbano

Fonte: adaptado de Oke, 1987

### 1.3.8. As áreas verdes

Pela sua importância e influência no clima urbano, as massas de vegetação também são consideradas parte da forma urbana, uma vez que contribuem significativamente para resfriar nossas cidades e economizar energia, além de reduzir as temperaturas urbanas.

As áreas verdes urbanas trazem benefícios ambientais proporcionando a melhoria do microclima urbano, através do sombreamento e do controle do vento (SHASUA-BAR; HOFFMAN, 2000), além da redução da poluição do ar por absorção e redução de ruído.

Para Higuera (1997), as espécies arbóreas, como também os outros tipos de vegetação, são os elementos mais completos para adaptar e proteger os espaços livres, para manter o equilíbrio do ecossistema urbano, além de favorecer a composição atmosférica, a velocidade do ar ou a umidade ambiental.

Devido a sua função fisiológica, liberam umidade ao ambiente, através da água absorvida por suas raízes, sabendo-se que a umidade do ar diminui pela quase nulidade da evapotranspiração, já que as águas das chuvas escorrem rapidamente pelas superfícies impermeabilizadas, uma vez que quase não há vegetação ou solos para retenção da água (HIGUERAS, 2006). Os efeitos microclimáticos devidos à evapotranspiração são particularmente visíveis em áreas com pouco vento, mas expostas à forte radiação solar.

No período de verão, as áreas verdes chegam a reduzir as temperaturas no ambiente circundante à vegetação, em proporção equivalente ao calor latente necessário para evaporar a água transpirada. Por isso, a vegetação pode ser utilizada para controle direto da radiação solar incidente ou redução da quantidade de radiação refletida por determinadas superfícies que compõem os recintos urbanos.

Estudos analisados por Santamouris (2001) relacionaram áreas centrais de determinadas cidades propícias à ilha de calor, com áreas bastante vegetadas. Baseadas em

simulações numéricas, foram constatadas diferenças de até 5°C entre essas áreas centrais e as áreas vegetadas, recomendando-se assim, a importância das áreas verdes na distribuição do espaço construído, uma vez que apenas um parque urbano faz pouca diferença nas condições microclimáticas.

As áreas verdes, geralmente, tendem a permanecer mais resfriadas durante o período diurno. Durante o período noturno devido à menor perda de calor, permanecem mais mornas (ilustração 07).

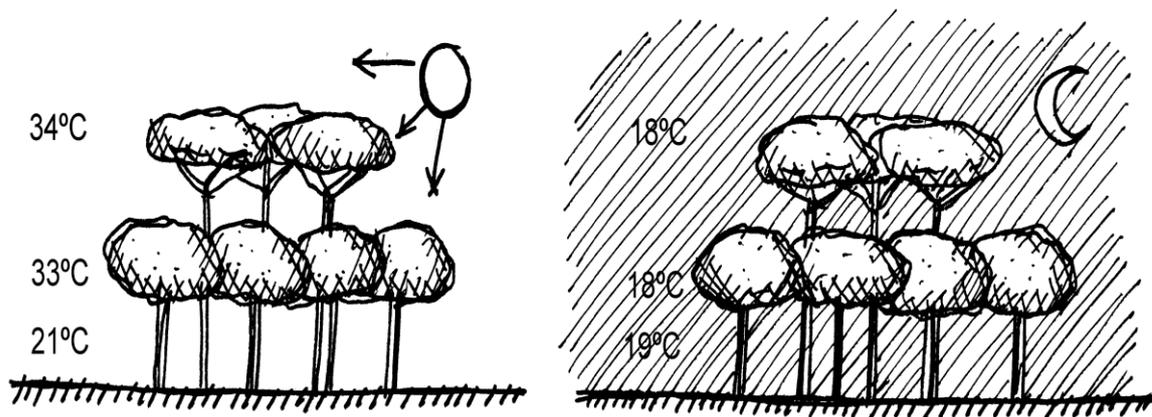


Ilustração 07: Diferenças de temperatura durante o dia e à noite devido ao efeito da vegetação  
Fonte: Romero (2000)

Segundo Oliveira (1988), quanto maior o índice de área verde na estrutura urbana, maior a troca térmica entre essas áreas e menor a temperatura do ar no espaço urbano.

Entretanto, além de contribuir de forma significativa no estabelecimento do microclima, as áreas verdes favorecem a renovação do ar através da absorção de energia, mantendo em equilíbrio o ciclo do oxigênio e gás carbônico (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003).

#### **1.4. A adequação bioclimática na configuração dos espaços urbanos**

O bom desempenho climático das áreas urbanas depende das características do clima local, da morfologia do tecido como também dos materiais de superfície do solo, que devem ser utilizados de acordo com o clima da região. Nesse contexto, o urbanismo bioclimático visa adequar os traçados urbanos às condições singulares do clima e do espaço, atendendo às particularidades de cada situação geográfica.

Higueras (2006) elencou princípios básicos do urbanismo bioclimático, que servem de parâmetros para o planejamento de espaços urbanos:

- Traçado viário estruturante que responda a critérios de insolação e ventilação local;
- Ruas adaptadas a topografia, buscando as orientações que otimizem a insolação e ventilação local;
- Áreas verdes adequadas às necessidades de umidade e evaporação ambiental (em superfície, deve haver uma conexão com espécies vegetais apropriadas);
- Morfologia urbana com parcelamentos que gerem edificações bem orientadas e uma adequada proporção com os espaços descobertos, seguindo o clima local;
- Tipologia da edificação diversa e adequada às condições de insolação e ventilação locais.

A ilustração 08 apresenta o esquema da metodologia proposta por Higueras (2006), servindo de guia para o processo de planejamento do urbanismo bioclimático. O método de Higueras foi utilizado como base para a investigação desta dissertação.



Ilustração 08: Metodologia do urbanismo bioclimático proposto por Higuera.

Fonte: adaptado de Higuera (2006, p.73)

De acordo com o esquema da ilustração anterior, a seqüência metodológica, portanto, é:



Ilustração 09: Esquema sintético da metodologia do urbanismo bioclimático de Higuera  
Fonte: adaptado de Higuera (2006)

Para o conhecimento de um meio urbano a intervir, é importante o conhecimento de uma série de variáveis e sua relação com o ambiente urbano. O estudo dessas variáveis e suas relações com o meio são importantes para identificar como os condicionantes climáticos locais podem modificar substancialmente as propostas gerais de um assentamento urbano.

As variáveis classificadas por Higuera (2006) em função das interações entre o meio ambiente natural e o meio urbano, são de dois tipos:

- Variáveis relacionadas com o meio ambiente natural: radiação solar, vento, vegetação, umidade do ar e geomorfologia;
- Variáveis relacionadas com o meio urbano: rede viária, espaços livres, morfologia dos parcelamentos (quarteirões, quadras), morfologia dos lotes e tipologia das edificações.

Essas variáveis geram uma matriz de interação, que é um instrumento capaz de determinar as linhas estratégicas de atuação, estabelecendo critérios adequados de otimização do meio ambiente, a fim de se obter um planejamento urbano adequado (HIGUERAS, 2006).

A matriz de interação (quadro 07) serve de auxílio para sintetizar o diagnóstico ambiental de todo e qualquer espaço urbano e em qualquer processo de planejamento, servindo de base metodológica para a formulação do quadro de caracterização bioclimática para o loteamento estudado nesta pesquisa.

	Critérios de otimização ambiental	VARIÁVEIS DO MEIO NATURAL				
		Sol	Vegetação	Vento	Água e umidade	Geomorfologia
VARIÁVEIS DO MEIO URBANO	<b>Rede viária</b>	Orientação Forma	Localização	Orientação Forma	Microclima externo	Condições do solo Adaptação da topografia
	<b>Espaços livres</b>	Orientação Forma	Espécie Densidade Localização	Orientação Forma	Microclima externo	Condições do solo
	<b>Condições dos parcelamentos</b>	Orientação Geometria Densidade	-	Orientação Geometria Densidade	-	-
	<b>Condições dos lotes</b>	Geometria Alturas Ocupação dos edifícios	-	Geometria Alturas Edificabilidade	-	-
	<b>Condições da edificação</b>	Controle solar Acondicionamento passivo	-	Ventilação interna; disposição dos espaços	Microclima interno	-

Quadro 07: Matriz de interação entre as variáveis naturais e as variáveis urbanas  
Fonte: adaptado de Higuera (2006)

Para cada situação geográfica, deve-se criar um traçado urbanístico característico e diferenciado com relação a outras regiões. Neste aspecto, Higuera utiliza o aporte teórico definido em Olgyay (1960)<sup>14</sup>, que propôs estratégias gerais para as quatro grandes regiões climáticas existentes: fria, temperada, quente-seca e quente-úmida, onde foram definidos os seguintes objetivos gerais (quadro 08):

REGIÃO CLIMÁTICA	OBJETIVOS
<b>Fria</b>	Aumentar a produção de calor; incrementar a absorção por radiação, reduzindo a perda de radiação solar por condução e evaporação.
<b>Temperada</b>	Estabelecer equilíbrio estacional pois, tanto o frio quanto o calor, representam uma parte substancial do ano. Portanto, propõe-se medidas que permitam ou reduzam a produção de calor por radiação e convecção.
<b>Quente-seca</b>	Reduzir a produção de calor e facilitar a perda de radiação, reduzir os ganhos por condução e impulsionar a evaporação.
<b>Quente-úmida</b>	Reduzir a produção de calor; reduzir os aumentos de radiação; potencializar a perda de evaporação.

Quadro 08: Estratégias gerais para as quatro grandes regiões climáticas  
Fonte: Olgyay, 1963 (apud Higuera, 2006)

<sup>14</sup> Extraído do “Resumen de las estrategias básicas” propostas por Olgyay em cada uma das quatro regiões climáticas por ele determinadas em Olgyay (2004) apud Higuera, 2006, p.71 e 72.

Para as regiões de clima quente e úmido, contexto climático da presente pesquisa, há uma peculiaridade: conforme se aumenta a temperatura do ar, aumenta-se também a capacidade do ar em reter vapor d'água, causando desconforto térmico. Com isso, o uso da ventilação natural representa uma melhor estratégia passiva de resfriamento uma vez que é capaz de remover o excesso de vapor d'água presente no ar.

Givoni (1998) propõe algumas estratégias de projeto para o desenho urbano, objetivando o conforto urbano em regiões de clima quente e úmido:

- Promover a ventilação natural e o aproveitamento da iluminação natural, a fim de minimizar o calor provocado pelas altas temperaturas;
- Proteger contra o sol e as chuvas promovendo o sombreando nas ruas e nos espaços de atividades externas;
- Orientar as ruas de forma que o traçado seja mais livre e disperso, promovendo o movimento do ar e buscando a sombra das árvores.

De acordo com Givoni (1998), a orientação das ruas pode afetar o clima urbano de várias formas: por meio das condições do vento na área urbana como um todo; através do sol e sombra nas ruas e calçadas e através da exposição solar dos edifícios.

### **1.5. O uso de simulações computacionais para análise do clima urbano: a ferramenta ENVI-met**

Na climatologia urbana, hoje, é de grande importância uma abordagem mais quantitativa dos fenômenos, para que as decisões tomadas no âmbito do planejamento urbano sejam baseadas em informações mensuráveis e, especificamente, mostrem-se mais imediatas através do uso de ferramentas computacionais para armazenamento e simulações de informações climáticas e ambientais.

Atualmente, uma das maiores dificuldades encontradas em estudos de simulação consiste na escassez de parâmetros de entrada físicos e meteorológicos, o que leva a estimativas ou suposições baseadas em informações disponíveis, muitas vezes não apropriadas para a realidade local, impedindo maior avanço no campo da simulação climatológica urbana.

As inovações tecnológicas, como o uso de computadores mais potentes, melhores parametrizações e uso de sensoriamento remoto, têm sido um aporte na determinação de parâmetros urbanos, contribuindo para o desenvolvimento de estudos que auxiliem o planejador urbano quanto à possibilidade de trabalhar com simulações que mostrem alternativas de organização dos espaços urbanos, fundamentadas em critérios ambientais.

Nesse contexto, o desenvolvimento da ferramenta ENVI-met como um *freeware* e a sua aplicação em diversos estudos, tem-se mostrado como uma ferramenta eficiente em simulações de desempenho ambiental, conferindo-lhe uma indicação como instrumento potencial para pesquisas. Esse programa é aplicado nas áreas da climatologia urbana, arquitetura, planejamento ambiental, além de outras relacionadas, simulando as relações entre a estrutura urbana e o meio ambiente. O ENVI-met trabalha juntamente com uma interface denominada Leonardo (BRUSE, 2004 e 2008), que tem a função de permitir uma visualização gráfica para a modelagem dos resultados, possibilitando a geração de mapas para cada parâmetro que foi simulado.

O modelo ENVI-met foi desenvolvido por Bruse e Fleer (1998) e Bruse (2004), na Alemanha. Atua na dimensão tridimensional do clima urbano, simulando a interação entre superfície – edifícios - vegetação – atmosfera no ambiente urbano e calculando o balanço de energia das variáveis climáticas, possibilitando a análise climática em diferentes escalas. Simula o fluxo de ar em torno dos edifícios e entre estes, os processos de troca de calor e vapor das superfícies do solo, das construções e das vegetações, turbulência, dispersão das

partículas e condições estimadas de conforto térmico. O programa tem uma característica diferencial dos demais programas existentes para simulação da ventilação urbana que consideram somente os princípios da mecânica dos fluidos. O ENVI-met, por sua vez baseia-se nesses princípios, além de se fundamentar nas leis da termodinâmica.

Como o programa encontra-se em constante desenvolvimento, sabe-se que há uma versão atualizada em 04 de outubro de 2010. Para esta pesquisa foi utilizado o modelo Envi-met versão 3.1. (BRUSE, 2008) que é uma versão experimental de março de 2008. Por se tratar de um *freeware*, o programa está disponível *on line* para *download*, bastando apenas o usuário cadastrar um e-mail válido com uma senha, que permitirá a participação num fórum de discussões do próprio programa. A lista de discussões é importante para acompanhar as pesquisas que vem sendo desenvolvidas com o uso do programa além das dificuldades e os principais erros de instabilidades que podem ocorrer no processo de simulações.

O ENVI-met tem sido utilizado em várias partes do mundo e, especificamente no Brasil, têm-se verificado um número crescente de pesquisas que o utilizam. Esse fato deve-se à diversidade dos parâmetros que podem ser simulados, possibilitando uma variedade de estudos e abordagens.

Dentro do cenário internacional, destacam-se as pesquisas Osmond (2004), Jusuf et al (2007), Jansson (2006), Chatzidimitriou et al (2006), Han et al (2007), Huntner et al. (2008) e Katschner e Thorsson (2009).

Osmond (2004) desenvolveu um estudo na área de alojamentos da Universidade de New South Wales, na cidade de Sydney (Austrália), para avaliar o microclima num complexo de edificações de alta densidade através do uso de telhados verdes. O ENVI-met foi utilizado para avaliar os efeitos microclimáticos na área reconstruída da universidade, em situações com e sem a vegetação nos telhados de dois projetos de dois edifícios. Verificou-se um aumento na temperatura do ar (0,2°C). Os mapas gráficos de temperaturas gerados pelo

programa apresentaram dados simplificados uma vez que o estudo não forneceu dados para a configuração básica do programa. Como não houve medições em campo, também não foi possível comparar os dados simulados com os dados reais.

Jusuf et al. (2007), realizaram uma pesquisa no campus da Universidade de Cingapura, utilizando pesquisa de campo e simulação computacional com o ENVI-met, para diagnosticar quatro cenários diferentes (um real, um substituindo as árvores densas por edificações, outro removendo toda área verde existente, e outro adicionando mais árvores), analisando as temperaturas resultantes. Como resultado, observou-se que os dados gerados no ENVI-met e os dados da pesquisa de campo revelaram uma diferença média de 3°C.

Jansson (2006) investigou o microclima urbano do centro de Estocolmo (Suécia), quanto às condições térmicas do ar e da água e dos processos de troca de calor em diferentes tipos de superfícies encontradas dentro do ambiente urbano. Os resultados mostraram que as condições climáticas simuladas com o ENVI-met concordaram bem com as observações de campo. No entanto, houve algumas discrepâncias entre as observações e as simulações quanto aos processos de armazenamento de calor e às condições do vento.

Chatzidimitriou et al. (2006) realizaram um estudo na cidade de Thessaloniki, (Grécia), observando as temperaturas do ar e das superfícies, a velocidade do vento e a umidade relativa, em cinco pontos diferentes. O programa ENVI-met foi utilizado para simular resultados para estes parâmetros. Foram feitas pesquisa de campo em espaços abertos envolvendo a radiação solar incidente e refletida, em dois dias de céu claro. Os resultados do ENVI-met foram comparados com os dados da pesquisa de campo. As comparações das temperaturas superficiais apresentaram diferenças de mais de 15%. Essas diferenças ocorreram em locais com grama e pavimentos de concreto, sendo atribuída à sombra causada pelo entorno.

Han et al (2007) investigaram as mudanças do microclima na escala urbana e a redução da temperatura através da revitalização do córrego Cheonggye, localizado em Seoul (Coreia do Sul). O córrego inicialmente localizava-se no centro da cidade e era coberto por pavimento e passarelas por cinquenta e oito anos. O ENVI-met ajudou na comparação da mudança climática no centro de Seul no período antes e depois da revitalização, quando a pesquisa revelou que o córrego Cheonggye contribui para amenização da temperatura média diária e para o aumento da média da umidade relativa, apresentando diferenças entre os dois momentos. Os resultados mostraram que houve uma diferença de 3° C entre os dados médios observados e os dados gerados nas simulações com o ENVI-met, sendo as temperaturas do programa mais altas que a maioria dos valores medidos em campo.

Huttner et al. (2008) utilizaram o ENVI-met através do sub-projeto KLIMES JGU do BMBF<sup>15</sup> (Ministério Federal da Educação e Pesquisa) para simular os efeitos do aquecimento global sobre o estresse de calor em cidades da Europa Central e avaliar possíveis medidas propostas pelos planejadores urbanos. O estudo mostrou que os espaços verdes, que são elementos normalmente considerados para ajudar a melhorar o conforto térmico humano, reduzindo a temperatura do ar e a radiação refletida, podem agir contrariamente, se não forem irrigados regularmente durante o dia. O resultado das simulações mostra que o programa respondeu favoravelmente à pesquisa.

Katzschner e Thorsson (2009) desenvolveram um estudo em um tecido da cidade de Kassel, na Alemanha, com o objetivo de analisar o efeito da geometria urbana e materiais de construção no microclima, de modo a desenvolver orientações para a concepção de espaços urbanos. Utilizaram o ENVI-met para comparar diferentes métodos para estimar a temperatura radiante média urbana, mostrando-se específico para as áreas onde é necessário intervir. Para descrever as condições térmicas, mostrou-se limitado, pois, não refletem a

---

<sup>15</sup> BMBF - Federal Ministry of Education and Research

situação real da percepção das pessoas sobre um determinado ponto. No entanto, para a finalidade do planejamento urbano, os valores médios e suas variações espaciais conduziram a decisões para mudanças dos materiais das superfícies.

No cenário brasileiro, o programa tem sido recentemente utilizado, podendo-se destacar os trabalhos de Brandão (2009), Castelo Branco (2009), Silva (2009), Nakata (2010), Silva, Zambrano e Castro (2010) e Dacanal, Pezzuto, Labaki e Matsumoto (2010).

Brandão (2009) objetivou gerar uma metodologia de avaliação da ambiência térmica urbana, a fim de orientar decisões de projeto e gestão nas cidades brasileiras. Os resultados da pesquisa indicaram que houve diferenças entre a temperatura e velocidade do vento simulada e os resultados medidos, principalmente quando comparados ao modelo analítico.

Castelo Branco (2009) estudou microclimas existentes na Superquadra 108 Sul do Plano Piloto de Brasília. A análise foi realizada através de pesquisa de campo e simulações computacionais com o uso do ENVI-met. Os resultados revelaram a relevância das áreas verdes pela amenização climática e criação de microclimas agradáveis, contribuindo de forma significativa para a relevância do programa em pesquisas microclimáticas, embora vale reforçar a necessidade de realizar medições de campo para que a análise não seja apenas visual.

Silva (2009) avaliou o desempenho ambiental da arborização urbana de três avenidas na cidade de Teresina (Piauí). Os resultados obtidos nas simulações computacionais com o programa ENVI-met mostraram-se eficientes e adequadas para os casos estudados.

Nakata (2010) avaliou a influência do ambiente térmico urbano no comportamento do pedestre. Para isso realizou medições microclimáticas e levantamentos com pedestres em áreas externas de um bairro residencial na cidade de Bauru (São Paulo). Foram realizadas simulações com o ENVI-met, além de posterior simulação do comportamento do pedestre

com o software BOTworld, interface do programa na sua versão 3.0, que corresponde a um sistema *multi-agent* de simulação computacional de sensações e comportamentos de pedestres. A metodologia permitiu comparações entre os dados reais e simulados. Os resultados obtidos nas simulações, no período da madrugada e da manhã (de 1h às 12h), mostraram-se próximos aos monitorados na pesquisa de campo. Portanto, o ENVI-met mostrou-se adequado para simular e prever ambientes térmicos externos, uma vez que permitiu identificar as diferentes características térmicas geradas pelo desenho urbano da área de estudo e o comportamento do pedestre.

Silva, Zambrano e Castro (2010) realizaram um estudo em uma região central da cidade de Juiz de Fora (Minas Gerais), através de simulações computacionais considerando o comportamento das variáveis térmicas na mesoescala. Discutiu-se a exequibilidade do uso de ferramentas de simulação para o estudo da qualidade de conforto térmico em centros urbanos. Foram utilizados os programas computacionais SketchUp (GOOGLE, 2010), CityZoom (GRAZZIOTIN, 2009) e ENVI-met® (BRUSE, 2008) para o estudo da qualidade de conforto térmico no centro urbano. Concluiu-se que, através de simulações, pode-se obter maior clareza no entendimento dos aspectos que afetam o conforto ambiental e as relações e proporções a serem trabalhadas nas diversas etapas de um projeto urbano em que se deseje considerar uma abordagem bioclimática.

Dacanal, Pezzuto, Labaki e Matsumoto (2010) utilizaram o ENVI-met como ferramenta de análise e suporte do clima urbano num bairro da cidade de Campinas, São Paulo. O objetivo foi comparar os dados de saída do programa às variáveis monitoradas na pesquisa de campo. No entanto, foram apontadas sugestões de melhorias a ser incorporadas ao modelo computacional. Observou-se que o comportamento de temperatura potencial simulada e a temperatura do ar observada em campo se assemelharam, mas existe certa diferença na amplitude térmica diária. Para o caso estudado, o valor médio de temperatura do ar, no ENVI-

met, foi de 7,3° C e no monitoramento dos dados reais, o valor médio foi de 9,5°C. Quanto ao comportamento térmico da vegetação, este não correspondeu à realidade observada uma vez que as áreas verdes apresentam, na realidade, maior estabilidade térmica diária com grande potencial de resfriamento noturno das áreas adjacentes, no entanto, apresentam-se mais aquecidas à noite, do que as áreas construídas próximas. De toda forma, o modelo ENVI-met apresentou-se na pesquisa como uma ferramenta promissora para avaliação do clima urbano.

## 2. CONTEXTO REGIONAL: A CIDADE DE MACEIÓ – ALAGOAS

Maceió, capital do Estado de Alagoas e região de estudo da presente pesquisa, situa-se na costa litorânea da região nordeste do Brasil, entre os Estados de Pernambuco, a norte, e Sergipe, ao sul, e a leste, às margens do Oceano Atlântico (ilustrações 10 e 11). Geograficamente, localiza-se entre a latitude  $9^{\circ}39'57''$  Sul e longitude  $35^{\circ}44'07''$  Oeste.



Ilustração 10: Localização do estado de Alagoas no Brasil

Fonte: [www.google.com.br](http://www.google.com.br). Acesso em 22/12/2010



Ilustração 11: Mapa do estado de Alagoas com a localização da cidade de Maceió

Fonte: [www.icbs.ufal.br](http://www.icbs.ufal.br). Acesso em: 22/12/2010

Ocupando uma área de superfície de 511 Km<sup>2</sup>, a cidade de Maceió (ilustração 12) apresenta uma divisão territorial composta por 50 bairros, possuindo uma estimativa populacional de 936.314 habitantes, em 2009<sup>16</sup>.



Ilustração 12: Imagem de satélite da cidade de Maceió  
Fonte: SMCCU – Secretaria Municipal de Controle e Convívio Urbano de Maceió

## 2.1. Morfologia urbana e perfil climático de Maceió-AL

Maceió é uma cidade construída a partir de um “terraço de erosão marinha”, esculpida na extremidade do tabuleiro, saliente na parte oriental da “calha” aberta para o mar, que se estende, continuando por uma faixa arenosa, a cruzar a “boca” de um rio, na direção sudeste. Apresenta do lado leste a praia em forma de “crescente”, e do lado da lagoa, a oeste, uma ponta arenosa e vasa de ilhas de mangues (LIMA, 1990, p.27).

Com relação à morfologia natural, Maceió ocupa um terraço originário de um acidente geográfico formado pela erosão do mar. Esse processo natural provocou o fechamento do estuário do rio Mundaú com a formação de uma faixa alongada arenosa denominada *restinga*<sup>17</sup>, formando a lagoa Mundaú.

A cidade se caracteriza por topografia plana e de baixa altitude, composta por duas formas tipológicas principais: planalto sedimentar dos tabuleiros e planície marinha (costeira) e lagunar. Essas duas formas tipológicas, conferem três planos de relevo (LIMA, 1990):

- 1- Planície ou baixada litorânea e lagunar (de origem quaternária), constitui a forma mais baixa do relevo, com altitudes que variam de 2 a 4 metros acima do nível do mar, predominando as formas de acumulação marinha, fluvial,

<sup>16</sup> Dado obtido através do site [www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm), acessado em 24 de setembro de 2010.

<sup>17</sup> Termo dado à faixa arenosa que transformou um estuário em lagoa (LIMA, 1990).

fluviomarinha, fluviolacustre e eólica, representadas por terraços, pontas arenosas, restingas, cordões litorâneos, ilhas fluviomarinhas, recifes e lagunas.

- 2- Terraço estrutural do centro, cortado na base do tabuleiro também conhecido como a região de encosta, com alturas variando em torno de 8 a 10m (acima do nível do mar), onde está localizado o Centro da cidade;
- 3- Planalto sedimentar de tabuleiros terciários, variando de 40 a 80m de altura em relação ao nível do mar, com topografia irregular. É formado por extensas áreas com declives oscilando de 0% e 5%, separando-se da planície costeira por falésias e ribanceiras (encostas).

Esses três planos tipológicos de relevo podem ser visualizados no esquema da ilustração 13.

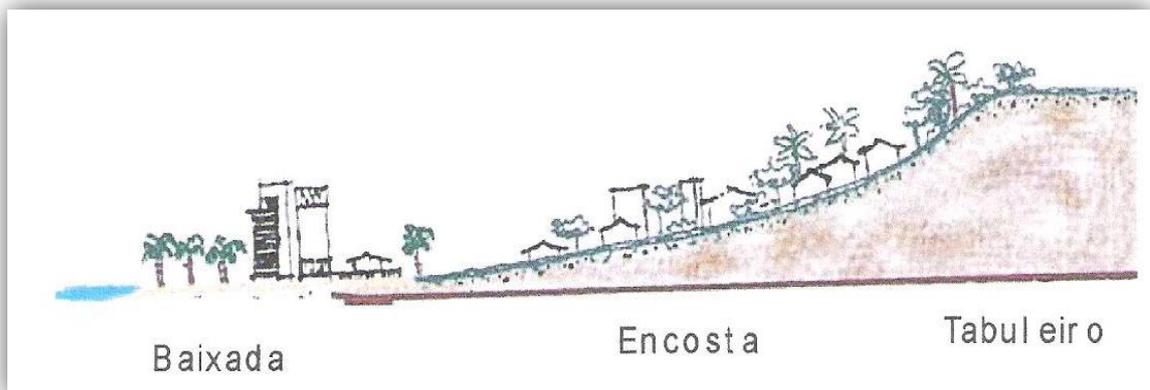


Ilustração 13: Esquema dos planos de relevo da cidade de Maceió em relação ao nível do mar  
Fonte: Marroquim, 2007

A inexistência de um plano urbanístico para Maceió que agisse como um instrumento estruturador do espaço urbano criou uma configuração espacial problemática (MACEIÓ, 2005). O processo de crescimento da cidade de Maceió aconteceu de forma desordenada, caracterizado principalmente pelo aumento do tráfego e pela concentração da massa edificatória, fazendo com que as condições da qualidade climática do espaço urbano fossem comprometidas.

O clima que se caracteriza na cidade é o quente e úmido, possuindo duas estações bem definidas: verão (normalmente entre os meses de outubro a março) com temperaturas médias mais elevadas (na faixa de 27,9°C) e pouca pluviosidade, e “inverno” (normalmente entre os meses de abril e setembro), caracterizado por temperaturas médias um pouco amenas e alta pluviosidade.

Devido à baixa latitude, apresenta uma forte incidência de radiação solar, com pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura. A condição típica de céu é parcialmente nublado, sendo uma média de 4,5% para condições de céu claro, e de 15% para condições de céu parcialmente nublado. De acordo com a análise das Normais Climatológicas de 1961-1990 do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (BRASIL,1992), Maceió apresenta temperatura média anual de 24,8 °C, oscilando entre 26,3 °C, em fevereiro, a 23,5 °C, em agosto (ilustração 14).

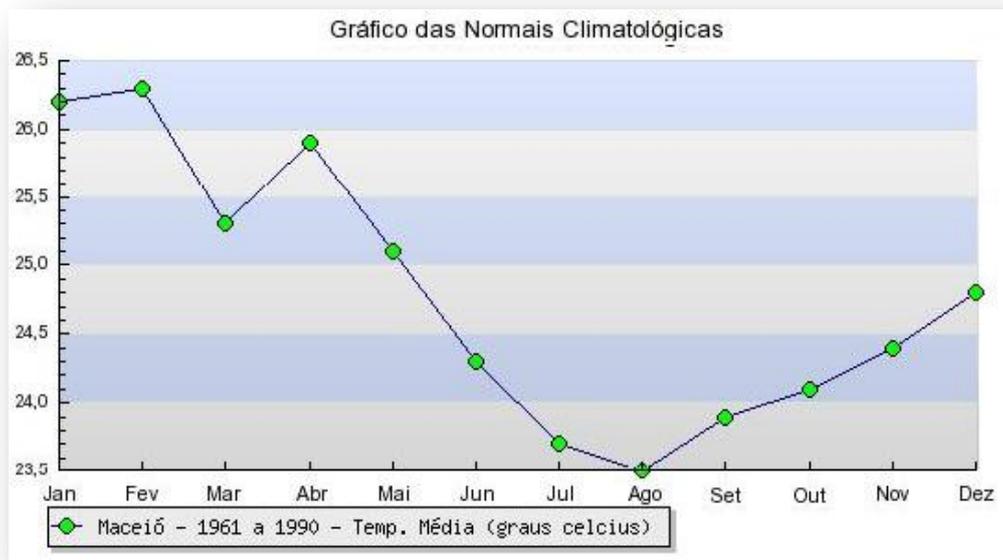


Ilustração 14: Gráfico da temperatura média da cidade de Maceió entre o período de 1961 a 1990  
Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – Normais Climatológicas (BRASIL, 1992)

Devido à influência das massas d'água provindas do Oceano Atlântico, do Complexo Estuarino Mundaú-Manguaba e da vegetação de encosta, a região apresenta uma alta umidade

relativa do ar com média anual de 78,3%. A ilustração 15 retrata o comportamento médio dessa variável, entre os anos de 1961 a 1990.

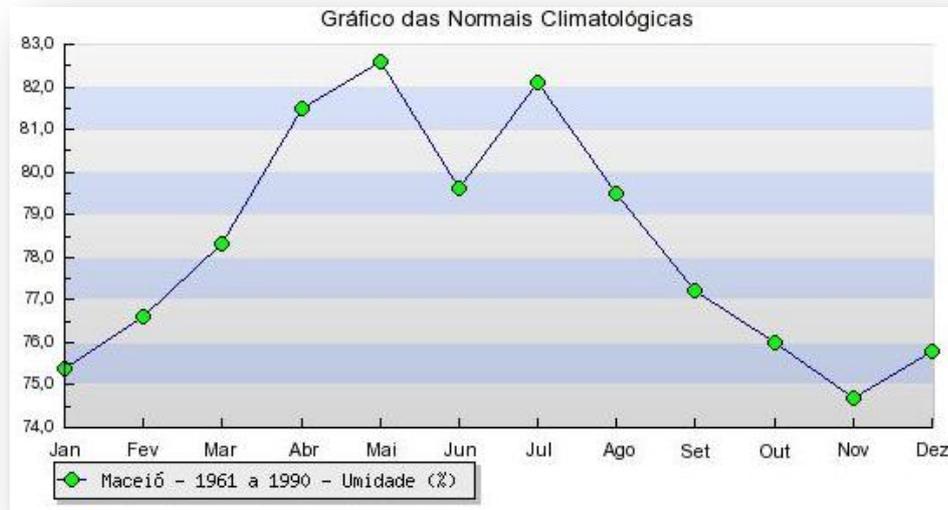


Ilustração 15: Gráfico da umidade do ar média da cidade de Maceió entre o período de 1961 a 1990  
Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – Normais Climatológicas (BRASIL, 1992)

O índice pluviométrico médio anual é de 2.167,7mm, ocorrendo os maiores valores de precipitação entre os meses de abril a julho, conforme indicam os dados do INMET (ilustração 16).

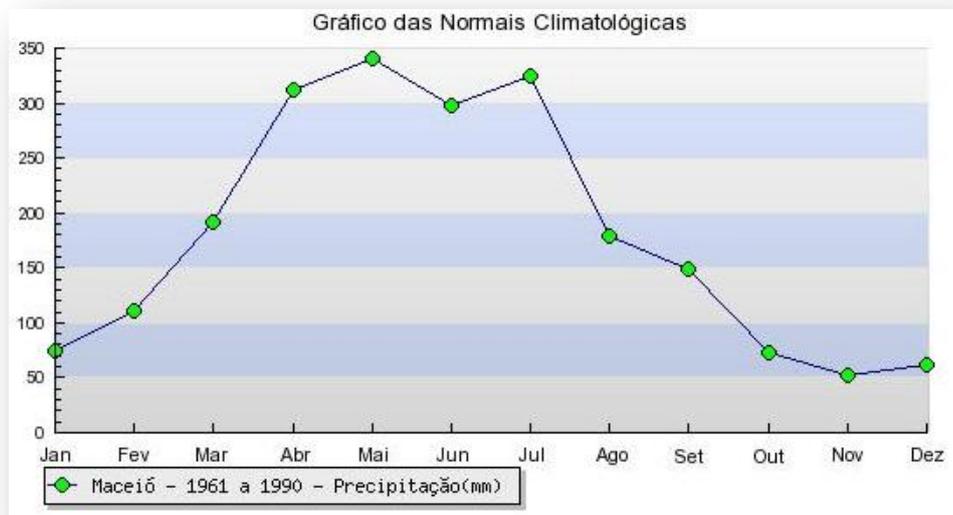


Ilustração 16: Gráfico da precipitação média da cidade de Maceió entre o período de 1961 a 1990  
Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – Normais Climatológicas (BRASIL, 1992)

O padrão de ventos na cidade sofre influência dos alísios originários do quadrante leste, sendo os ventos Sudeste, Leste e Sul os mais frequentes (ilustração 17). O primeiro é mais constante o ano inteiro.

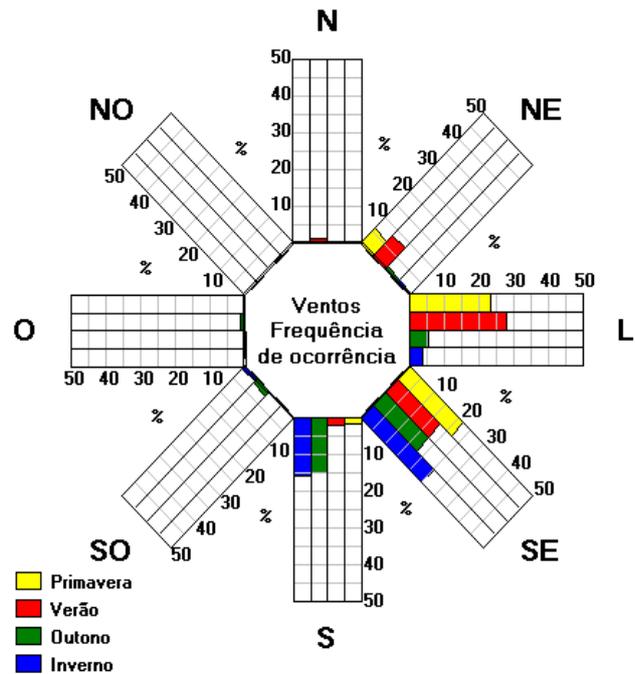


Ilustração 17: Rosa dos ventos – frequência de ocorrência para a cidade de Maceió  
 Fonte: Programa SOL-AR 6.2, disponível em: www.labee.ufsc.br. Acesso em 10 de fevereiro de 2011

Os ventos Sudeste, Leste e Sul, possuem velocidades mais intensas o ano todo, sendo o vento Nordeste mais constante. (ilustração 18). O regime dos ventos é regular e as velocidades são dentro dos limites desejáveis para o seu aproveitamento. A velocidade média dos ventos é de 2,8m/s, podendo chegar a 6m/s no verão (vento Leste), na primavera (ventos Leste, Sudeste e Sul), outono e inverno (ventos Sudeste e Sul).

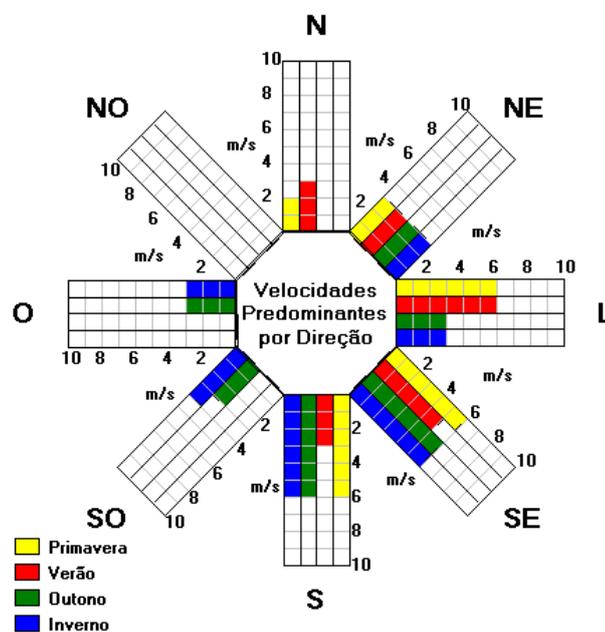


Ilustração 18: Rosa dos ventos – velocidades predominantes para a cidade de Maceió  
 Fonte: Programa SOL-AR 6.2, disponível em: www.labee.ufsc.br. Acesso em 10 de fevereiro de 2011

### 3. METODOLOGIA DA PESQUISA

---

A metodologia adotada baseia-se fundamentalmente em: a) análise qualitativa, através de procedimentos metodológicos descritos em Higuera (2006), Oliveira (1988) e Silveira (2007) e análise de condições de insolação das áreas externas do loteamento, através da simulação computacional com o uso do Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010); b) análise quantitativa, na forma de medições de dados microclimáticos e estudos paramétricos reproduzindo as condições climáticas do cenário atual da fração urbana escolhida, como também de um cenário futuro da mesma, considerando-se as prescrições urbanísticas para a área, através do programa ENVI-met 3.1 (BRUSE, 2008). Os dados quantitativos foram ilustrados em mapas e cortes elaborados no programa Leonardo 3.75, interface do ENVI-met, e descritos em tabelas e gráficos, a fim de analisá-los comparativamente.

A seguir, descrevem-se os procedimentos metodológicos aplicados para o desenvolvimento da metodologia proposta.

#### 3.1. A escolha do objeto de estudo

Os critérios elencados para seleção do objeto de estudo empírico desta pesquisa foram os seguintes:

- 1- Área situada em loteamento fechado desde o lançamento;
- 2- Tipologia construtiva horizontal e uso exclusivamente residencial;
- 3- Representação na base cartográfica do município de Maceió-AL;
- 4- Localizar-se na zona de expansão<sup>18</sup> do tecido urbano circundado por barreiras naturais (grotas);

---

<sup>18</sup> Ver mapa do zoneamento urbano do município de Maceió no anexo A.

Esses critérios reforçam a importância de se estudar como esses empreendimentos estão sendo configurados quanto à adequação climática no interior desses espaços urbanos, uma vez que as prescrições urbanísticas previstas para a construção desses empreendimentos parecem desconsiderar os critérios climáticos.

Becker (2005) classificou os condomínios fechados de maneira geral, segundo a tipologia habitacional e o tipo de uso (quadro 09). Essa classificação auxiliou na escolha do objeto empírico de trabalho.

TIPOS DE CONDOMÍNIOS	TIPOS DE USO	TIPOLOGIA HABITACIONAL	PORTE	LOCALIZAÇÃO NA MALHA URBANA	CLASSES
Horizontal de uso misto	Residencial, comércio e serviços	Residências	Pequeno, médio ou grande	Malha urbana ou zonas periféricas	Alta e média
Horizontal de uso residencial	Residencial	Residências	Pequeno, médio ou grande	Malha urbana ou zonas periféricas	Alta, média e baixa
Vertical de uso misto	Residencial, comércio e serviços	Edifícios de apartamentos	Pequeno, médio ou grande	Malha urbana ou zonas periféricas	Alta e média
Vertical de uso residencial	Residencial	Residência, lojas, escritórios	Pequeno, médio ou grande	Malha urbana ou zonas periféricas	Alta média e baixa
Mistos – megacondomínios	Residencial, comércio e serviços	Casas e edifícios	Grande	Zonas Periféricas	Alta

Quadro 09: Tipos de condomínios

Fonte: adaptado de BECKER, 2005



Tipologia habitacional selecionada nesta dissertação

Para identificação dos condomínios e loteamentos horizontais fechados existentes na cidade de Maceió-AL, inicialmente realizou-se uma leitura do levantamento de todas as áreas residenciais horizontais fechadas, sejam elas condomínios, ruas fechadas e loteamentos que posteriormente foram fechados. Esse levantamento foi elaborado por Corrêa (2010), que classifica também os tipos de áreas residenciais fechadas identificadas especificamente na cidade de Maceió. O quadro 10 apresenta as quatro diferentes tipologias encontradas:

TIPOLOGIA	CARACTERÍSTICAS
Loteamentos fechados desde o início	É aprovado como um loteamento “aberto”, mas é fechado antes de sua ocupação, pela construtora responsável pelo empreendimento. A campanha publicitária desses loteamentos já enfatiza a característica de ser fechado, indicando que na fase projetual esse fechamento já é previsto;
Loteamentos ou ruas consolidados	Fechados posteriormente a sua ocupação por iniciativa dos moradores;
Condomínio horizontal	Possui casas seriadas e a venda é de uma fração ideal do terreno total vinculada a uma unidade habitacional;
Conjunto de edifícios verticais com área comum fechada	Implantados em áreas já loteadas, ocupando no máximo uma quadra, não havendo apropriação do espaço público.

Quadro 10: Tipologias habitacionais de loteamentos e condomínios no município de Maceió  
Fonte: Adaptado de Corrêa (2010)

 Tipologia selecionada para essa dissertação

A ilustração 19 apresenta o mapa do levantamento, adaptado de Corrêa (2010), localizando todos os condomínios e loteamentos horizontais (fechados desde o seu lançamento), independente do tamanho, inclusive os que ainda estão em construção. Este mapeamento serviu de subsídio à seleção do objeto de estudo avaliado nesta pesquisa.

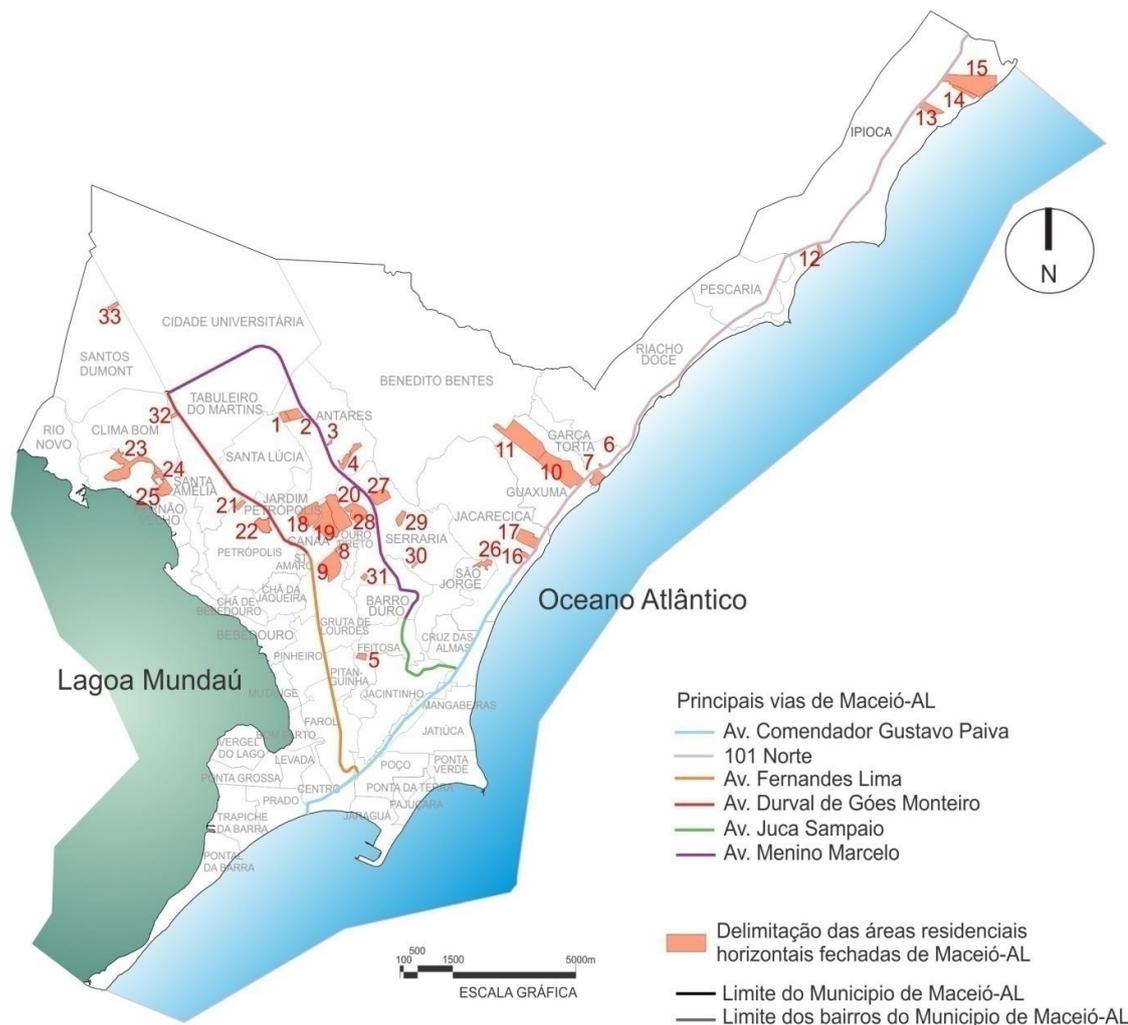


Ilustração 19 – Mapa de Maceió com a localização das áreas residenciais horizontais fechadas desde o lançamento e das vias principais.  
 Fonte: adaptado de Corrêa (2010)

O quadro 11, a seguir, mostra a listagem das áreas numeradas na ilustração 19.

Nome do empreendimento	Situação geral
1- Loteamento Cidadela	1
2- Loteamento Jardim Europa	-
3- Rua em projeto B, C, e D	1
4- Vert Paradiso I e II	-
5- Condomínio Esperança II	-
6- Loteamento Atlantis	1/2
7- Morada da Garça	-
8- Milano	-
9- Jardim do Horto I e II	-
10- Green Park I	1
11- Green Park II	1
12- Costa dos Corais	2
13- Angra de Ipioca	-
14- Condomínio Jeune Ville	-
15- Condomínio Park Rio Sauaçuhy	-
16- Horizonte Fênix	2

17- Ocean View	-
18- Aldebaran Alfa	-
19- Aldebaran Beta	-
20- Aldebaran Ômega	-
21- Village do Farol	2
22- Alamedas do Horto	-
23- Chácaras da Lagoa	-
24- Melville	-
25- Jardins de La Reina	-
26- Oceanis	-
27- Reservas do Vale	-
28- San Nicolas	-
29- Bosque das Bromélias	-
30- Loteamento Orion Residence	1/2
31- Aldeia do Vale	-
32- Condomínio Village Planalto	2
33- Jardim Planalto	-

**LEGENDA:**

- 
- (-) – Construído e representado na base cartográfica do município de Maceió-AL  
**1** - Em construção  
**2** - Não está representado na base cartográfica do município de Maceió-AL
- 

Quadro 11 – Listagem das áreas residenciais horizontais fechadas em Maceió desde o lançamento  
 Fonte: adaptado de Corrêa (2010)

Entre condomínios e loteamentos fechados, identificaram-se 33 empreendimentos. Desses, 06 estão em fase de construção, até o presente momento desta pesquisa. A análise do mapa de distribuição desses espaços revela que a maioria desses empreendimentos estão localizados nas áreas de expansão da cidade, principalmente nos bairros Antares, Serraria e Jardim Petrópolis, porções da cidade onde se encontram as maiores áreas com vegetação nativa, fazendo com que estes empreendimentos tenham em seus limites grandes áreas de preservação ambiental, constituindo, assim, uma forma desejada de morar, fruto de especulação pelo mercado imobiliário.

No litoral norte do município, onde ainda existem grandes glebas desocupadas devido à restrição da antiga legislação, observa-se a implantação de loteamentos horizontais fechados, excepcionalmente nos bairros de Guaxuma, Garça Torta e Ipioca. Isso tem ocorrido devido à mudança na legislação municipal através do novo código de urbanismo e edificações do município de Maceió ocorrido em 2007, definindo mudanças consideráveis nessa região,

permitindo a construção de edifícios residenciais verticais e empreendimentos turísticos na faixa litorânea, além de loteamentos fechados nas encostas.

Dentre os loteamentos e condomínios listados no mapeamento da ilustração 19 (página 71), selecionou-se 01 loteamento horizontal fechado, uma vez que esses empreendimentos em Maceió-AL apresentam características físicas semelhantes, além de dotados de boa infra-estrutura.

O loteamento selecionado foi o residencial San Nicolas, localizado no bairro Serraria (ilustração 20), nas proximidades da Av. Menino Marcelo; de acordo com o de zoneamento urbano estabelecido no Plano Diretor (MACEIÓ, 2005) da cidade de Maceió, pertence à Zona de Expansão-2 (ZE-2), (ver anexo A). A ilustração 21 situa o loteamento San Nicolas no bairro da Serraria como também apresenta o traçado urbanístico do mesmo.



Ilustração 20: Mapa de localização do bairro da Serraria no município de Maceió-AL

Fonte: www.google.com.br. Acesso em 23 de agosto de 2010



--- Delimitação área condomínio

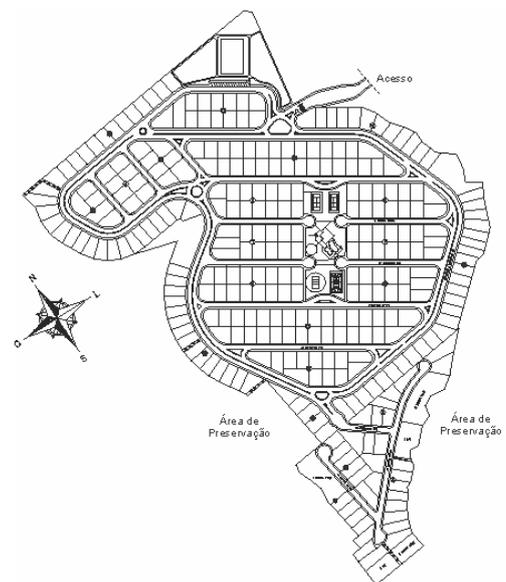


Ilustração 21: Vista aérea do loteamento selecionado e da Avenida Menino Marcelo (à esquerda). Planta baixa do traçado urbano do loteamento San Nicolas (à direita). Fonte: Hugo Hosch (fotógrafo), em janeiro de 2010.

### 3.1.1. Descrição geral do loteamento selecionado

O loteamento San Nicolas, apresentado na ilustração 22, construído no ano de 2002, está circundado por barreiras naturais (encostas, vales), popularmente denominadas grotas. Ocupa uma área total de 244.000m<sup>2</sup>, sendo destes, 15.725m<sup>2</sup> (aproximadamente 10%) de área verde e 149.856m<sup>2</sup> (aproximadamente 62%) de área loteada. Seu entorno compõe-se de 66.695,67 m<sup>2</sup> de área de Mata Atlântica, sendo considerada pelo Instituto do Meio Ambiente (IMA) e pela Secretaria Municipal de Proteção ao Meio Ambiente (SEMPMA), como uma Área de Preservação Permanente (APP).



Ilustração 22: Vista aérea do loteamento San Nicolas  
Fonte: [www.residencialsannicolos.com.br](http://www.residencialsannicolos.com.br). Acesso em 24 de agosto de 2010.

O loteamento é composto por 312 lotes, distribuídos em 22 quadras, apresentando 14 ruas com meio fio em concreto, pavimentação em asfalto (ilustração 23) e passeios públicos com rampas para portadores de necessidades especiais. O traçado urbano configura-se em quadras de formato ortogonal e apenas algumas ruas tipo “cul-de-sac”.



Ilustração 23: Vista das vias internas asfaltadas do loteamento San Nicolas (à esquerda rua com canteiro central; à direita, rua sem canteiro central).

Fonte: da autora, em 24 de agosto de 2010

Para iniciar a construção de uma edificação no loteamento San Nicolas, os proprietários dos terrenos devem submeter os projetos arquitetônicos ao conselho de análise de projetos e fiscalização de obras, para manter os padrões previamente estabelecidos ao residencial. O regimento interno do loteamento estabelece alguns critérios para a implantação das edificações no lote (quadro 12):

Requisitos Técnicos para construção no loteamento San Nicolas	
Recuos laterais	Mínimo de 2,00 m (dois metros), não sendo permitido qualquer avanço, salvo através de beiral, limitado a 1,00 m (um metro);
Recuos frontais	Mínimo de 5,00 m (cinco metros), não sendo permitido qualquer avanço, salvo através de beiral, limitado a 1,00 m (um metro);
Recuos fundos	Mínimo de 3,00 m (três metros), não sendo permitido qualquer avanço, salvo através de beiral, limitado a 1,00 m (um metro);
Muros laterais	50% (cinquenta por cento) da medida da lateral do lote, não sendo permitido qualquer avanço, salvo observações contidas no contrato de compra e venda;
A altura da construção (incluindo cobertura)	Não deve ser superior a 8,00 m (oito metros), acima do nível do meio fio;
Altura do muro	2,00 m (dois metros);
Muro frontal	Não permitido. Embora não conste no regimento interno do loteamento, existem algumas casas com muro vegetado (vegetação arbustiva) não ultrapassando 1,00m de altura.

Quadro 12: Requisitos técnicos para construção no loteamento San Nicolas

Fonte: Adaptado da administração do loteamento San Nicolas

## **3.2. A avaliação qualitativa da pesquisa**

### **3.2.1. O método adotado**

A avaliação qualitativa da pesquisa baseia-se na metodologia descrita em Higuera (2006), que sugere critérios de avaliação bioclimática, analisando as condições do clima urbano através de uma descrição qualitativa de variáveis relacionadas com o meio natural e com o meio urbano; na metodologia de Oliveira (1988), que analisa as características da forma urbana que são condicionantes do clima urbano; e na metodologia de Silveira (2007), que propõe parâmetros bioclimáticos para avaliação do microclima gerado no interior de conjuntos habitacionais em função de sua morfologia. Essas metodologias auxiliaram na construção de um diagnóstico bioclimático de adequação ambiental que caracterizou o loteamento em estudo.

### **3.2.2. Caracterização bioclimática do loteamento estudado**

A caracterização bioclimática do loteamento foi realizada a partir de levantamentos *in loco*, analisando:

- Atributos bioclimatizantes relativos à forma urbana, conforme Oliveira (1988): rugosidade e porosidade, densidade construída, tamanho da estrutura urbana (horizontal e vertical), uso e ocupação do solo, orientação, permeabilidade do solo, propriedades termodinâmicas dos materiais e as áreas verdes.
- Os componentes espaciais do loteamento estudado, tomando-se como base a matriz de interação propostas por Higuera (2006), citadas no item 1.4, e o indicador de sustentabilidade ambiental adotado por Silveira (2007). O

embasamento dessas metodologias possibilitou a construção de um diagnóstico bioclimático para adequação ambiental.

### **3.2.3. O estudo da insolação**

A análise qualitativa da insolação foi realizada através de simulações computacionais com o auxílio do programa Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010). O programa trabalha as sombras projetadas da insolação a partir de uma modelagem tridimensional de objetos (edificações), considerando como dados de entrada: o dia do ano e a hora, e localização geográfica (latitude do local). Devido à grande quantidade de imagens que o programa permite gerar, foram escolhidos como representativos os seguintes horários: 8h, 12h e 16h, nos períodos referentes aos solstícios de verão e de inverno e equinócios, este último corresponde ao período de realização das medições microclimáticas (outubro).

Para a realização do estudo da insolação no loteamento, considerou-se o loteamento com a situação de ocupação atual das áreas edificadas (cenário atual), como também foi feita uma previsão de cenário futuro, considerando o loteamento com a ocupação máxima edificada, respeitando as prescrições urbanísticas estabelecidas para o local.

## **3.3. A avaliação quantitativa da pesquisa**

### **3.3.1. A pesquisa de campo: medição das variáveis microclimáticas**

Para análise microclimática dos espaços externos do loteamento em estudo, foram realizadas medições de campo das variáveis temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) e velocidade e direção dos ventos (m/s).

As medições móveis foram realizadas nos horários recomendados pela Organização Meteorológica Mundial - OMM, para às 9h, 15h e 21h, em uma série de três dias consecutivos, durante o mês de outubro do ano de 2010. Essa definição justifica-se pelo

cronograma proposto para esta dissertação como também pelo fato de o mês de outubro poder representar um período já quente para a cidade de Maceió-AL. Durante a pesquisa de campo utilizou-se equipamentos portáteis posicionados a 1,10m da altura do terreno, conforme recomendação de Mayer e Höpe (1987) que afirmam que a altura de 1,10m acima do solo corresponde à altura média do centro de gravidade para adultos, sendo freqüentemente utilizada na quantificação biometeorológica para diferentes climas.

O equipamento utilizado para coleta de dados de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento, foi um termo-higro-anemômetro digital com ventoinha, da INSTRUTHERM – THA-185 (ilustração 24).

Segundo os dados técnicos presentes no manual do equipamento, a precisão deste aparelho é de aproximadamente  $\pm 0,8$  °C para temperatura do ar,  $\pm 3\%$  para umidade do ar e de  $\pm 2\%$  para velocidade do vento. Os sensores chegam a operar entre 0 °C e 50 °C para temperatura, 10% e 95% para umidade relativa, e 0,4 e 25m/s para a velocidade do vento. O equipamento utilizado tinha certificado de calibração fornecido pela INSTRUTHERM.



Ilustração 24: Termo-higro anemômetro digital com ventoinha.

Fonte: acervo próprio

Houve o cuidado com o sombreamento dos sensores no momento das medições, nos pontos onde havia radiação solar direta, de modo a proteger os equipamentos e se evitar possíveis erros na análise dos dados. Nesses pontos expostos, foi utilizada uma sombrinha.

Para direção dos ventos foi utilizada uma bússola e uma haste de metal com uma fita amarrada. Durante a pesquisa de campo, a bússola foi posicionada sobre um banco de 50cm de altura e orientada de acordo com o norte magnético. Logo em seguida, foi sobreposta à

bússola, a haste com a fita indicando o posicionamento da ventilação local, ou seja, a direção pôde ser analisada de maneira aproximada, por quadrante (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste, noroeste).

Além das medições climáticas, também foram anotados dados de nebulosidade, insolação e material de revestimento do solo. Os dados da nebulosidade foram analisados qualitativamente tendo como referência o critério utilizado por Silveira (2007, p.155):

- Céu claro – abóboda celeste coberta com nuvens em menos de 1/3 de sua superfície;
- Céu parcialmente nublado - abóboda celeste coberta com nuvens entre 1/3 e 2/3 de sua extensão;
- Céu nublado - abóboda celeste coberta com nuvens em mais de 2/3 de sua extensão;
- Céu encoberto - abóboda celeste totalmente coberta por nuvens.

Para descrever as condições de insolação durante a pesquisa de campo, foram considerados interpretações e julgamentos subjetivos da pesquisadora, registrando a situação real do sol em cada ponto de medição: se está sol pleno, com sombra ou se é noite. A mesma observação foi considerada para o registro do tipo de revestimento do solo.

Os dados coletados na pesquisa de campo foram registrados em tabelas e gráficos, nos quais foram apresentados os valores de temperatura e umidade relativa do ar, velocidades do vento (mínima e máxima), além da análise subjetiva do grau de nebulosidade e da insolação e a descrição do material de revestimento do solo. As planilhas com os dados da pesquisa de campo constam no apêndice A.

Os dados monitorados pela estação de referência INMET, para os mesmos dias da pesquisa de campo, constam no anexo C. Vale ressaltar que as temperaturas registradas pelo

INMET, estão em unidade UTC<sup>19</sup>. A análise da medição de campo das variáveis microclimáticas permitiu:

- Um estudo comparativo das temperaturas obtidas nos pontos especificados, com os dados médios de temperatura da estação meteorológica de referência INMET (estação automática), durante os 03 dias no mesmo horário de observação (9h, 15h e 21h), de modo a definir um dia representativo para a análise comparativa nas simulações computacionais.
- Uma análise comparativa dos dados obtidos da pesquisa de campo do dia representativo escolhido, com os dados monitorados pelo INMET para o mesmo dia;
- Um estudo comparativo dos dados do dia representativo da pesquisa de campo com os resultados das simulações no programa ENVI-met para o cenário atual do loteamento, com vistas à avaliação de fidelidade dos dados de saída do programa ENVI-met.

### **3.3.1.1. Definição dos pontos para a medição**

Para realização das medições microclimáticas foram selecionados diferentes pontos com características específicas no loteamento estudado, para o posicionamento da instrumentação.

A escolha dos pontos procurou contemplar os diferentes tipos de revestimentos do solo que pudessem ser encontrados, como também uma variedade das situações encontradas (local aberto sem barreiras, entre edificações, sem edificações, entre outros). Dessa forma, foram utilizados parâmetros bioclimáticos de escolha definido em Kallas (2008), que considera:

- A. Ponto que esteja localizado em local sem barreiras no cruzamento de ruas;

---

<sup>19</sup> UTC é o padrão internacional de tempo usado atualmente e mantido pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas. Zero hora UTC corresponde, aproximadamente, à meia-noite no meridiano de Greenwich, Inglaterra ([www.zenite.nu](http://www.zenite.nu). Acesso em 12/05/2011). Para saber qual a hora UTC equivale aos horários determinados nesta pesquisa, basta subtrair 3 do número UTC da planilha, por exemplo, 12 horas UTC, equivale a 9 horas no Brasil (horário de Brasília).

- B. Ponto em local de maior incidência da insolação;
- C. Ponto em local sem barreiras, no centro da rua;
- D. Ponto com barreiras, localizado no centro da rua entre edificações;
- E. Mesma situação do ponto D;
- F. Ponto com poucas barreiras e sombreado (sob sombra de uma árvore).

Foi considerado também o tempo necessário para percorrer todos os pontos e realizar as medições durante a pesquisa de campo. Esse fator foi importante para limitação da quantidade de pontos. O percurso para as medições foi feito com auxílio de um automóvel. O tempo para as medições e o percurso entre todos os pontos foi de aproximadamente 1 hora. Desse modo, foram selecionados 06 pontos no loteamento San Nicolas (pontos A, B, C, D, E e F) distribuídos e identificados conforme mostra a ilustração 25.



Ilustração 25: Localização pontos escolhidos para medição das variáveis microclimáticas no loteamento San Nicolas. Foto aérea (à esquerda) e planta baixa (à direita)  
Fonte: Foto aérea e planta baixa do loteamento adaptadas pela autora

### **3.3.2. Simulações computacionais das variáveis microclimáticas**

As simulações das condições microclimáticas do loteamento San Nicolas foram realizadas através do programa ENVI-met 3.1 (BRUSE, 2008). Para as simulações computacionais foram configurados dados de entrada, que devem ser cuidadosamente preparados para que os resultados sejam bem sucedidos. Essa preparação é uma fase importante da pesquisa, pois determina os parâmetros que serão trabalhados pelo programa computacional.

A seguir, foram detalhados os procedimentos para configuração e preparação dos arquivos necessários para as simulações computacionais.

#### **3.3.2.1. Configuração de áreas, escalas, versões e dados meteorológicos no programa ENVI-met 3.1**

Para a realização das simulações, primeiramente devem ser alimentados 02 arquivos que contém informações para as condições iniciais de simulação: no primeiro arquivo deve constar o desenho da área (arquivo de extensão .IN) e no segundo, a configuração dos dados climáticos (arquivo de extensão .CF), com a determinação dos parâmetros a serem simulados.

A ilustração 26 mostra um quadro esquemático sobre o sistema de simulação no ENVI-met 3.1:

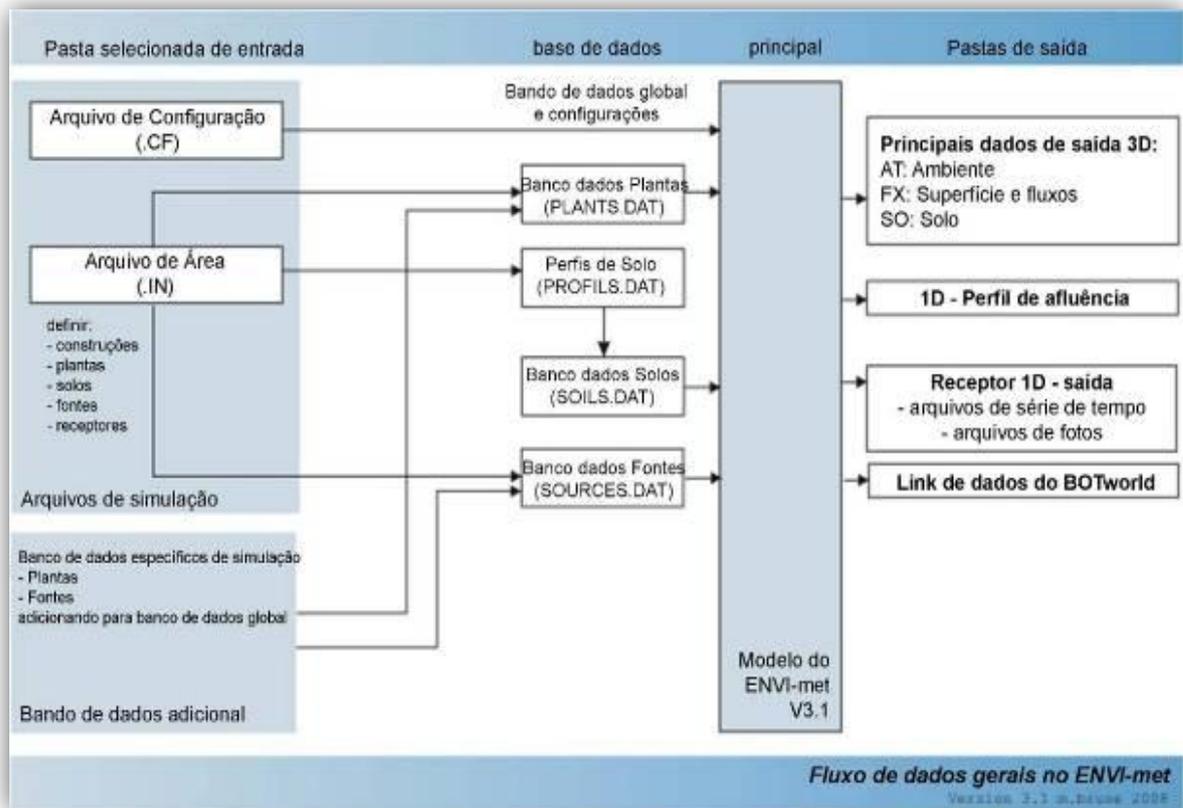


Ilustração 26 – Esquema do sistema de simulação do modelo ENVI-met 3.1 Fonte: Adaptado de [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com). Acesso em: 13 de outubro de 2010

A tela inicial do ENVI-met corresponde ao arquivo de configuração da área, onde são primeiramente editados dados sobre os elementos básicos da área que será simulada, como: o tipo de vegetação, o tipo de revestimento da superfície (calçamento, asfalto, argiloso, arenoso, entre outros), o gabarito das edificações e os receptores (opcional). Os receptores são pontos específicos através do qual são gerados arquivos de dados separadamente. Nesta área é possível importar uma imagem em arquivo de extensão BMP, que servirá apenas de fundo (base), pois o ENVI-met edita sobre esta base as suas configurações (edificações, materiais de revestimentos do solo, vegetação). A ilustração 27, a seguir, mostra a página inicial de configuração de área do programa.

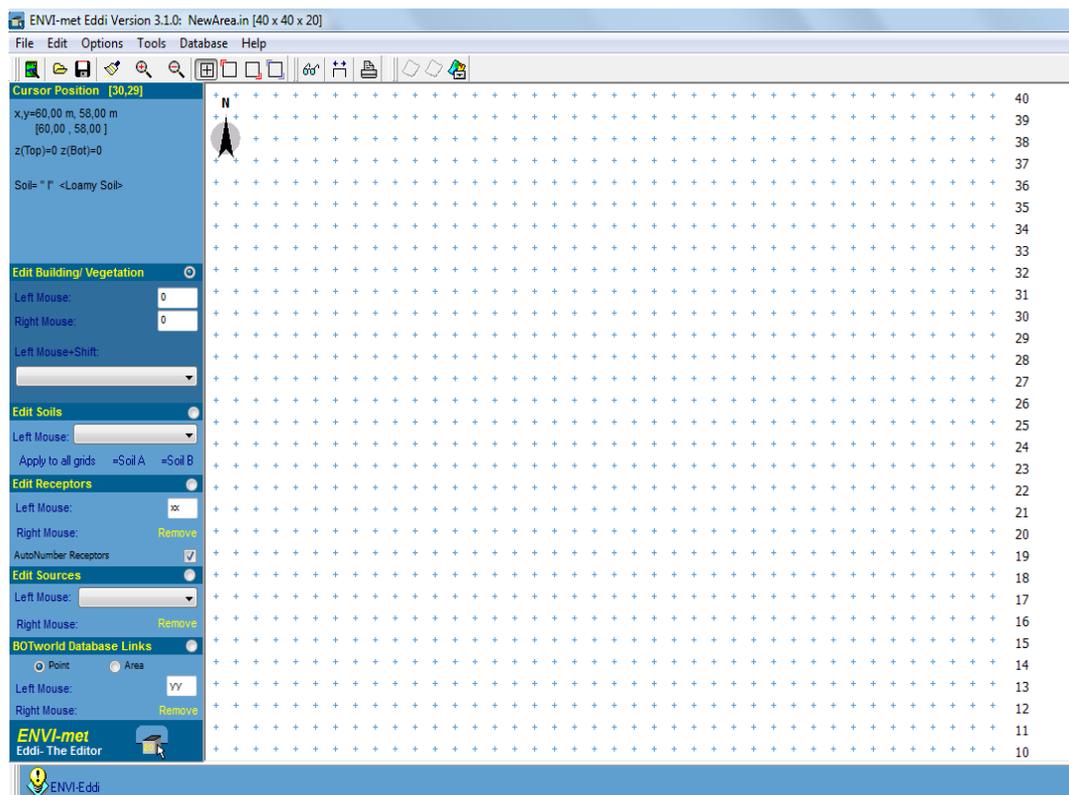


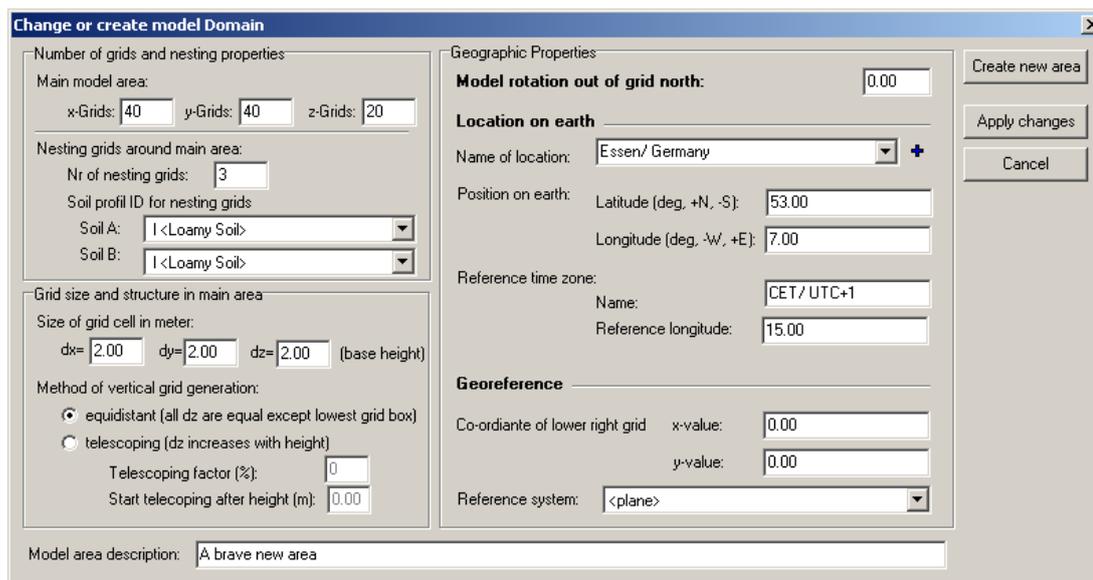
Ilustração 27 – Tela inicial do editor de arquivo de área do programa ENVI-met 3.1

Fonte: BRUSE, 2010

Ainda no arquivo de configuração de área serão definidos o tamanho da área e a altura das edificações a partir do número de *grids*<sup>20</sup> (eixos x, y e z), através da janela de domínio do modelo. O ENVI-met 3.1 possibilita simulações em 03 diferentes versões de *grids*: 100x100x30, 180x180x30 e 250x250x30, que representam largura x comprimento x altura, embora permita a configuração de versões e escalas adequadas para cada situação, não ultrapassando a capacidade máxima de 250x250x30, já considerando os *nesting grids*<sup>21</sup>. Quanto maior a área, melhor terá que ser a versão, a velocidade e a memória do computador, conseqüentemente, levará mais tempo para a geração dos resultados. Neste campo também podem ser determinados o ângulo de rotação do Norte, as propriedades geográficas da área de estudo (latitude e longitude) e a referência horária (ilustração 28).

<sup>20</sup> Termo utilizado no ENVI-met para grades (malha), onde podem ser dimensionadas a largura, o comprimento e a altura.

<sup>21</sup> Grades de nidificação; grades de “sobra” para dar uma margem de confiabilidade ao programa.



Ilustrações 28: Arquivo para edição da configuração de versão, escala e propriedades geográficas da área  
Fonte: BRUSE, 2010

Para a calibração do arquivo de configuração dos dados climáticos, são necessários os seguintes dados: temperatura atmosférica (K), umidade absoluta (g água/kg ar) a 2500m (dado fornecido por balões meteorológicos), umidade relativa a 2m (%), velocidade do vento (m/s) a 10m, direção do vento (0:N., 90:E., 180:S., 270:W.) e o coeficiente de rugosidade.

O programa ENVI-met permite a simulação de diversos parâmetros ambientais com resoluções (*grids*) entre 0,50m x 0,50m a 10m x 10m. Dentre os parâmetros que podem ser simulados, foram listados alguns conforme mostra o quadro 13:

Parâmetro simulado no ENVI-met	Unidade	Parâmetro simulado no ENVI-met	Unidade
Fluxos u, v e w	m/s	Fator de visão do céu (somente construções)	-
Velocidade do vento	m/s	Água em folhagens	g/m <sup>2</sup>
Mudança de velocidade do vento	%	Temperatura de fluxo	K/m <sup>2</sup>
Direção do vento	deg	PPD <sup>22</sup> (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas)	%
Perturbação de pressão	Diff	PMV <sup>23</sup> (Voto Médio Predito)	-
Temperatura Potencial	K	Temperatura Radiante Média (K)	K
Mudança de Temperatura superficial	K/h	CO <sup>2</sup>	mg/m <sup>3</sup>
Umidade Específica	g/Kg	Dissipação	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Umidade Relativa	%	TKE	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Fator de visão do céu (construções e vegetações)	-	Radiação Direta Sw	W/m <sup>2</sup>
Radiação Difusa Sw	W/m <sup>2</sup>	Vapor de fluxo	g/Kg/m <sup>2</sup>
Radiação Refletida Sw	W/m <sup>2</sup>	Temperatura radiante baixa	K
Radiação Ambiental Lw	W/m <sup>2</sup>	Gás/Concentração de partícula	µg/m <sup>2</sup>

Quadro 13 – Alguns parâmetros que podem ser simulados no programa ENVI-met 3.1  
Fonte: Adaptado de www.envi-met.com. Acesso em: 13 de outubro de 2010

<sup>22</sup> Predicted Percentage Dissatisfied

<sup>23</sup> Predicted Mean Vote

As curvas de temperaturas diárias simuladas pelo programa foram geradas a partir de um impulso inicial em um processo de iteração, ou seja, nesse processo é necessário um tempo inicial para que os resultados possam se estabilizar, gerando dados mais precisos (NAKATA, 2010). No entanto, é necessário que o programa simule várias vezes o mesmo dia ininterruptamente, a fim de se obter uma curva de melhor desempenho. Vale ressaltar que quanto maior a complexidade e o tamanho do modelo a ser simulado, maior será também o tempo de processamento devido ao maior período de simulação.

Para a finalidade desta pesquisa, o programa ENVI-met foi utilizado para simular a temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Foram necessários testes preliminares com a versão anterior, o ENVI-met 3.0, como também com a versão 3.1, em fase Beta 5, que permitiram o treinamento prévio do programa, como também o ajuste de suas potencialidades na obtenção dos resultados.

As simulações foram organizadas obedecendo a uma seqüência de horários. O dia e os horários de simulação foram definidos de acordo com o dia estabelecido como representativo na pesquisa de campo. Os dados dos resultados obtidos no ENVI-met foram transferidos para a interface Leonardo, a fim de gerar mapas de visualização para cada parâmetro simulado. Foram gerados os mapas de simulações correspondentes às 9h, 15h e 21h.

Foram realizadas as simulações para o cenário atual de ocupação, apresentando os resultados para cada horário especificado, além de uma simulação para um cenário futuro, considerando o loteamento com a ocupação máxima edificada dos lotes, respeitando as prescrições urbanísticas permitidas para a ocupação, de acordo com o regimento interno estabelecido para o loteamento.

O instrumento utilizado para as simulações com o programa ENVI-met 3.1 foi um computador Intel Core i5 processador 480M (2.67 GHz), 3GB de memória RAM e HD de 640GB, com sistema operacional de 64 bits. O tempo de simulação médio foi de aproximadamente 6 dias para cada cenário.

### **3.3.2.2 Preparação para as simulações computacionais: configuração dos dados de entrada no programa ENVI-met 3.1**

Para a modelagem dos 02 arquivos de configuração básica do programa ENVI-met 3.1, levantou-se dados físicos-espaciais da área de estudo, e utilizou-se os dados da estação de referência INMET, além dos dados obtidos na pesquisa de campo para o dia representativo escolhido.

O primeiro arquivo configurado no programa foi a modelagem da área. Devido à complexidade da mesma, houve dificuldades para modelá-la em sua totalidade, pois o loteamento apresenta em seu eixo “x” aproximadamente 818m e no eixo “y” 655m. Sabendo que o ENVI-met 3.1 dispõe de 03 versões de *grids* para partida da simulação (100x100x30, 180x180x30 e 250x250x30), para o loteamento em estudo, abrangeria uma versão de 250x250 *grids* (versão capaz de trabalhar a maior área), na escala 4x4 *grids*. No entanto, quanto maior é a versão, maior é a capacidade dos *grids* e, conseqüentemente, maior a capacidade computacional requerida e o tempo de simulação.

De acordo com Silveira e Assis (2008), não é recomendado utilizar escala de *grids* muito grande, porque simplifica os resultados. Portanto, para que se obtivessem resultados mais fidedignos, foi necessário selecionar um fragmento no loteamento em estudo. A escolha do fragmento foi determinada de acordo com alguns critérios:

- A área selecionada deveria ser plana, visando facilitar a entrada dos dados no programa ENVI-met, uma vez que o programa não oferece a possibilidade de inserção de área com diferenças topográficas em sua extensão;
- A área deveria abranger um local com maior complexidade de residências construídas, ou seja, área mais “densa” do loteamento e que pudesse melhor representar sua configuração espacial.

Atendendo aos critérios pré-determinados, foi então selecionado o recorte de estudo no loteamento San Nicolas, conforme mostra a ilustração 29:

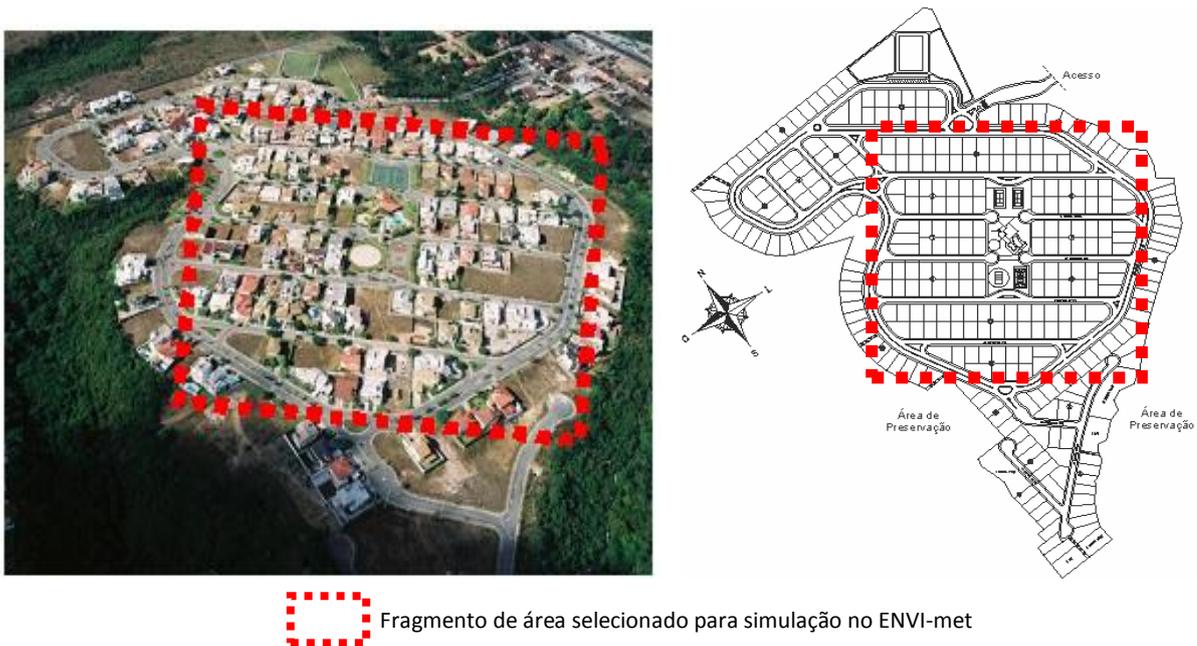


Ilustração 29: Delimitação do recorte de estudo no loteamento San Nicolas para simulações no ENVI-met. Vista aérea (à esquerda) e planta baixa (à direita)

Fonte: fotografia aérea (Hugo Hosch), adaptada pela autora

O recorte de estudo do loteamento possui uma área de 330m x 330m (x e y), que corresponde a 108.900m<sup>2</sup>. Para a escolha da escala do *grid*, adotou-se a escala 1.50 x 1.50 *grids* (x e y). Em outras palavras, cada *grid* ocupa uma área de 1,50m x 1,50m na área do loteamento em estudo. O mesmo valor foi adotado para o *grid* “z”, pois esse valor gera dados com alturas múltiplas de 1,50m, que possibilitou a comparação com os dados da pesquisa de campo.

Nesse sentido, a área de simulação desta dissertação corresponde a versão de 220 x 220 x 15 *grids* (x,y e z), na escala 1.50 x 1.50 x 1.50 *grids*, ou seja, essa versão foi capaz de simular o microclima para uma área real de 330m x 330m x 22,50m (x,y e z). No entanto, considerando os *nesting grids*, utilizou-se a versão de 250 x 250 x 30 para partida de simulação (o ENVI-met pede uma versão já determinada para partida; as versões de partida são as três versões do programa citadas anteriormente). O quadro 14 traz uma síntese da configuração das versões utilizadas nesta pesquisa:

Cenário	Fragmento da área real (m)	Versão em <i>grids</i>	Escala dos <i>grids</i> (x, y e z)	Versão dos <i>grids</i> utilizada para partida da simulação
<b>Atual</b>	330m x 330m	220 x 220 x 15	1.50 x 1.50 x 1.50	250 x 250 x 30
<b>Futuro</b>	330m x 330m	220 x 220 x 15	1.50 x 1.50 x 1.50	250 x 250 x 30

Quadro 14: Configuração da versão e escala adotada nesta pesquisa

A base cartográfica digital (planta baixa) contendo o traçado urbanístico da área de estudo foi adquirida junto à administração do loteamento San Nicolas. Com a planta baixa foi possível demarcar, a partir de levantamento *in loco*, as áreas construídas (e em construção) existentes, a vegetação e os tipos de recobrimento do solo, dados fundamentais para modelação no programa ENVI-met.

As ilustrações 30 e 31, que seguem, apresentam as imagens em extensão BMP dos cenários atual e futuro como também a modelagem dos dados de entrada no programa ENVI-met 3.1, referentes aos recortes da área do loteamento, também para os dois cenários.

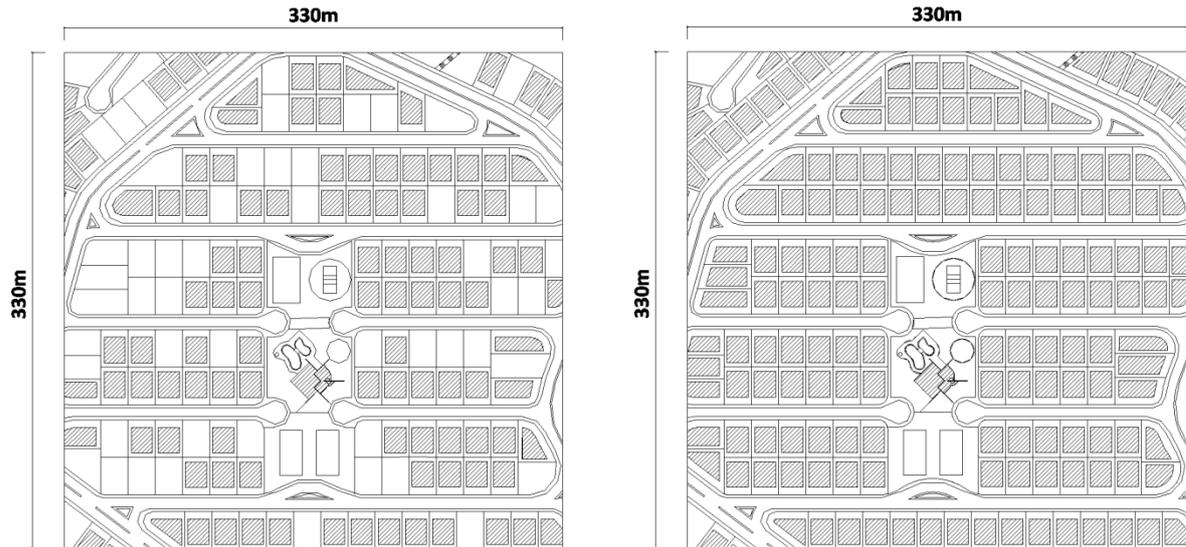


Ilustração 30: Planta baixa em extensão BMP do fragmento de 330mx330m selecionado. À esquerda, cenário atual; à direita, cenário futuro.

Fonte: da autora

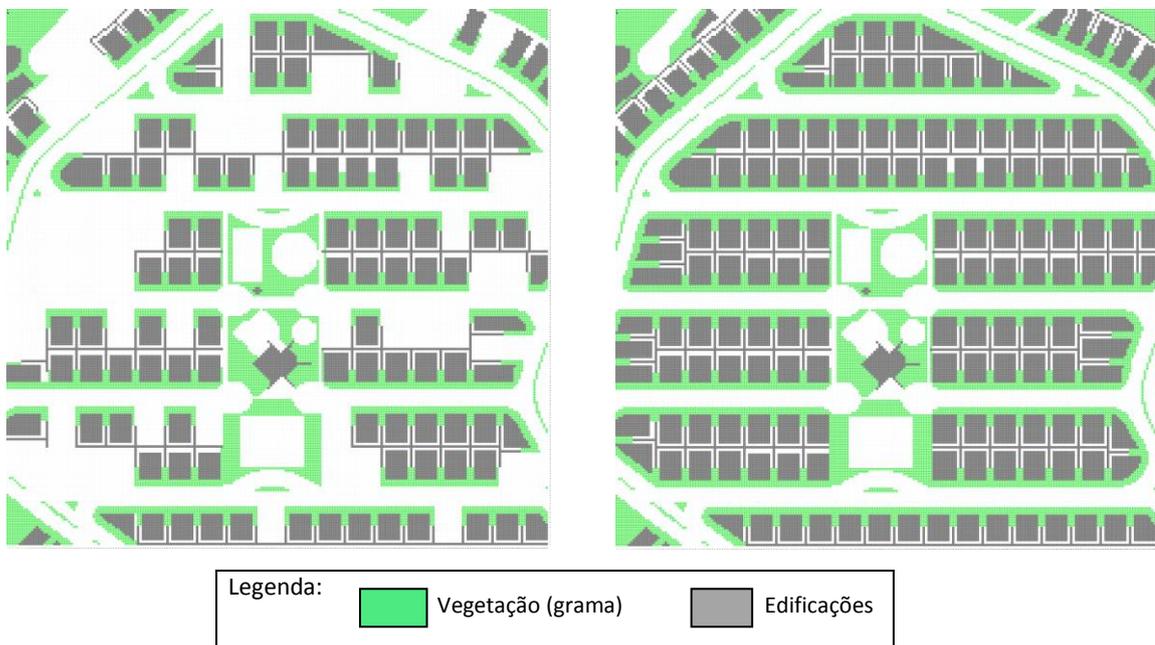


Ilustração 31: Modelação da área de 220 x 220 grids no ENVI-met 3.1 (arquivo de extensão .IN) do fragmento selecionado de 330mx330m para o cenário atual (esquerda) e para o cenário futuro (direita)

Fonte: da autora

A ilustração 32 mostra a imagem de tela dos dados do arquivo para configuração de área utilizada nesta dissertação para os dois cenários.

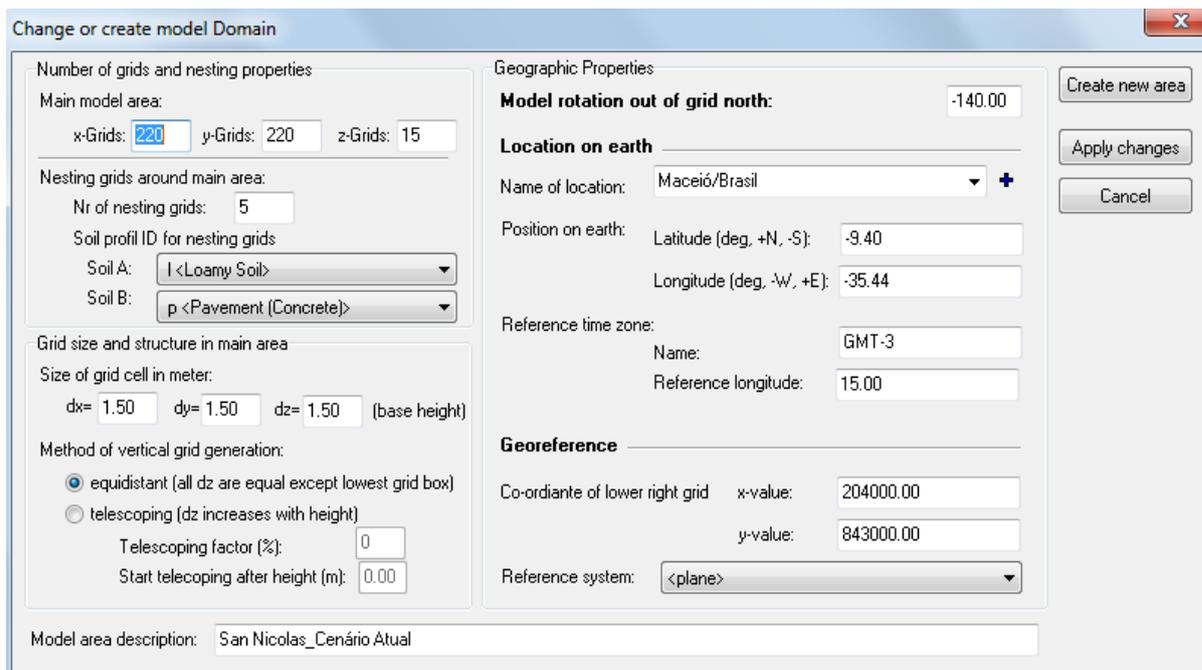


Ilustração 32: Imagem do arquivo de dados para configuração da área no programa ENVI-met 3.1(arquivo de extensão .IN), para os dois cenários desta pesquisa

Fonte: ENVI-met 3.1

O segundo passo foi a edição do arquivo de configuração dos dados climatológicos (arquivo de extensão .CF) para a cidade de Maceió. Os dados de temperatura, velocidade e direção dos ventos e umidade relativa, da estação meteorológica do INMET, para um dia representativo do mês de outubro.

Para o valor da umidade específica do ar<sup>24</sup> (g/Kg) a 2.500m, houve dificuldades na obtenção desse dado para a cidade de Maceió, pois esses não são fornecidos pelo INMET, nem mesmo pela Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET). A unidade acadêmica do curso de Meteorologia da UFAL também não dispunha (até o momento desta pesquisa) desse dado. Com isso, buscou-se em pesquisas que utilizaram o programa ENVI-met, dados de umidade específica, pois, este é um dos requisitos mínimos exigidos para a simulação no programa. O quadro 15 traz uma relação das pesquisas encontradas com seus devidos valores de umidade específica para cada contexto regional:

<sup>24</sup> Relação entre a massa do vapor de água presente e a massa unitária de ar seco

Referência pesquisada	Contexto de estudo	Umidade específica utilizada	Fonte de obtenção do dado meteorológico
NAKATA (2010)	Bauru-SP	6,8 g/Kg	IPMET – UNESP – Bauru
SILVA (2009)	Teresina-PI	6,0 g/Kg	INMET e dados do aeroporto de Natal-RN (quando não encontrados em Teresina)
BRANDÃO (2009)	São Paulo	7,88 g/Kg	Não informado
CASTELO BRANCO (2009)	Brasília-DF	5,05 g/Kg	Radiossondagens <sup>25</sup> realizadas no aeroporto de Brasília

Quadro 15: Pesquisas que utilizaram umidade específica na configuração do programa ENVI-met  
Fonte: autora

Dessa forma, devido à dificuldade encontrada, foi adotado um valor de umidade específica da cidade mais próxima à latitude da cidade de Maceió. Esse procedimento também foi adotado por Silva (2009), que utilizou o valor de umidade específica da cidade de Natal-RN como referência, devido à escassez desse dado para a cidade de Teresina-PI. Além disso, a cidade de Natal situa-se em latitude muito próxima à cidade de Teresina, que foi contexto regional da referenciada pesquisa.

Portanto, quanto aos dados pesquisados, verificou-se que a cidade de Natal possui latitude (5°47'42''Sul) mais próxima à cidade de Maceió (9°39'57''Sul) do que às demais cidades. Com isso, o valor de umidade específica utilizado nesta pesquisa foi de 6,0 g/Kg (referenciado à cidade de Natal-RN). O quadro 16 sintetiza os dados necessários para configuração básica no arquivo .CF do programa ENVI-met.

Data do início da simulação		25.10.2010	
Hora do início da simulação	06:00:00h	Umidade específica (g água/Kg ar)	6,0
Total de horas simuladas	24	Umidade relativa (%)	75
Intervalo de tempo para geração de arquivo de dados (min)	60	Temperatura interna das edificações (K)	299
Velocidade do vento a 10m (m/s)	3,5	Transmitância de paredes (W/m <sup>2</sup> K)	2,3
Direção do vento (0:N; 90:E.; 180:S.; 270:W.)	90° (Leste)	Transmitância de telhados (W/m <sup>2</sup> K)	2,0
Rugosidade Z0 (default do programa)	0.1	Albedo de parede	0,6
Temperatura Atmosférica (K)	302	Albedo de telhado	0,5

Quadro 16: Dados para configuração básica do programa ENVI-met.  
Fonte: da autora

<sup>25</sup> A radiossondagem é realizada por meio de lançamentos de balões meteorológicos sendo a principal fonte de obtenção de dados de meso e macroescalas. Compreende a medição de elementos meteorológicos, especialmente a temperatura, a umidade e a pressão, desde a superfície até o nível em que o balão se rompe.

## **4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

---

Neste capítulo são apresentados as análises e resultados obtidos nas avaliações qualitativa e quantitativa da pesquisa.

### **4.1. Análise qualitativa do loteamento San Nicolas**

#### **4.1.1. Caracterização bioclimática do loteamento**

Este item engloba a análise das características da forma urbana e o diagnóstico bioclimático de adequação ambiental do loteamento, conforme metodologia proposta.

São apresentadas, a seguir, as características verificadas no loteamento, referentes aos atributos da forma urbana, propostos por Oliveira (1988): rugosidade e porosidade, densidade construída, tamanho da estrutura urbana (horizontal e vertical), uso e ocupação do solo, orientação, permeabilidade do solo, propriedades termodinâmicas dos materiais e as áreas verdes.

##### **4.1.1.1 Análise dos atributos bioclimatizantes da forma urbana**

- **Rugosidade e porosidade:**

Identificou-se que existe pouca rugosidade no loteamento, por se tratar de uma área composta por edificações com gabarito máximo de dois pavimentos, não existindo diversidade de altura, como mostra o perfil das construções na ilustração 33. A tipologia mais recorrente das edificações existentes (até o presente momento desta pesquisa) é a de residência de dois pavimentos (ilustração 34). Segundo o regimento interno do loteamento, o gabarito das edificações não deve ultrapassar 8 metros.

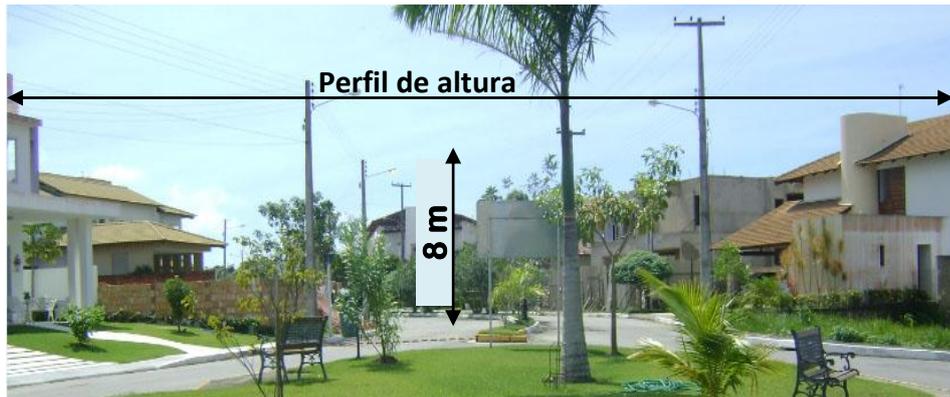


Ilustração 33: Perfil da altura das edificações no loteamento San Nicolas  
Fonte: autora



Ilustração 34: Tipologia morfológica das casas existentes no loteamento San Nicolas – predominância de 02 pavimentos

Fonte: [www.imoveismaceio.com.br](http://www.imoveismaceio.com.br). Acesso em 23 de agosto de 2010

Quanto à porosidade, as edificações existentes apresentam espaçamentos externos (recuos) que atendem às recomendações dos parâmetros urbanísticos do município de Maceió (para a Zona ZE-2, ver anexo B) e aos requisitos técnicos para construção no loteamento (apresentados no quadro 12, página 78), nos quais são exigidos recuos de 5 metros na parte frontal do lote, 2 metros na lateral esquerda e direita e 3 metros ao fundo, além de não possuírem muros em todo o perímetro do lote - só permitido no fundo do lote e até 50% nas laterais no sentido fundo-frente, numa altura máxima de 2 metros (ilustração 35). Isso contribui para que haja permeabilidade na estrutura urbana, o que é favorável à passagem dos ventos.

Vale ressaltar que o loteamento ainda dispõe de vários lotes desocupados, apresentando comportamento favorável à penetração das massas de ar. Em cenário futuro, quando todos os lotes estiverem ocupados com edificações, esse cenário poderá ser comprometido, tornando o loteamento menos poroso.

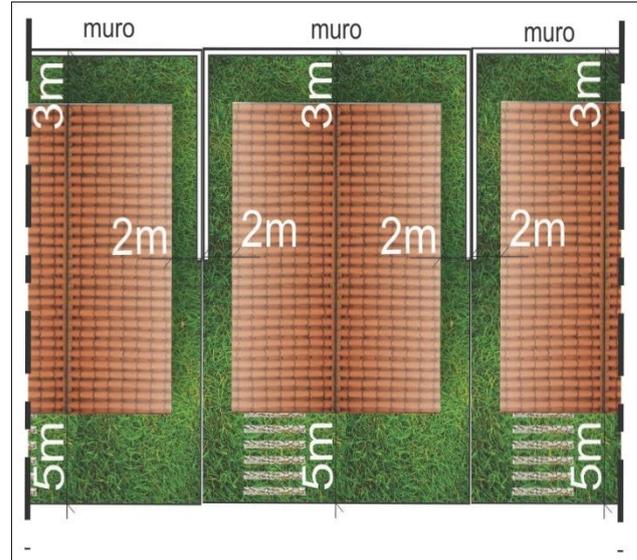


Ilustração 35: Exemplo de lotes com os recuos permitidos pelo regulamento interno do loteamento  
Fonte: a autora

#### ▪ Densidade construída

O loteamento possui uma ocupação de 55% dos lotes (cenário atual até o momento desta pesquisa). A taxa de ocupação máxima permitida do lote, atendendo aos requisitos técnicos do loteamento, é de aproximadamente 53%, embora o Código de Urbanismo e Edificações do município de Maceió (MACEIÓ, 2007) permita uma taxa de ocupação de até 60% para a Zona ZE-2 (ver anexo B). A ilustração 36 apresenta o gráfico com o percentual da área de ocupação atual dos lotes no loteamento em questão:

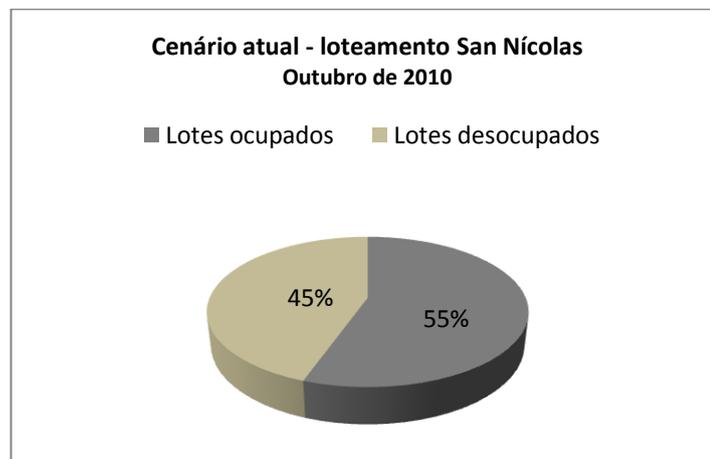


Ilustração 36: Gráfico dos lotes ocupados e desocupados  
Fonte: a autora

De acordo com Oke (2004), a relação entre a altura da edificação (H) e a largura da caixa viária (W), proporção H/W, permite categorizar a densidade de uma zona climática urbana. No entanto, no loteamento em estudo, essa relação varia de 0,40 (em ruas mais estreitas) a 0,31 (em ruas mais largas). Com isso verifica-se que o loteamento apresenta uma baixa densidade construída. Segundo a classificação de Romero (2001), o loteamento apresenta uma relação W/H que varia de 3,37 e 2,5 representando um espaço urbano de recolhimento (quadro 05, página 46).

#### ▪ Tamanho da estrutura urbana (horizontal e vertical)

O formato predominante do loteamento é horizontal, devido à tipologia de suas edificações, com no máximo dois pavimentos. Essa característica tem grande influência na quantidade de produção de calor, uma vez que padrões de ocupação com baixa densidade (como é o caso do loteamento em estudo) tendem a apresentar menores médias de temperaturas urbanas.

#### ▪ Uso e ocupação do solo

A área analisada compreende um loteamento fechado, cuja predominância do uso é residencial e ocupação parcial do lote, sendo aproximadamente 47% a área livre do lote. A ilustração 37 apresenta o percentual de usos encontrados no loteamento. A ilustração 38 mostra a evolução da ocupação do loteamento em 05 anos.

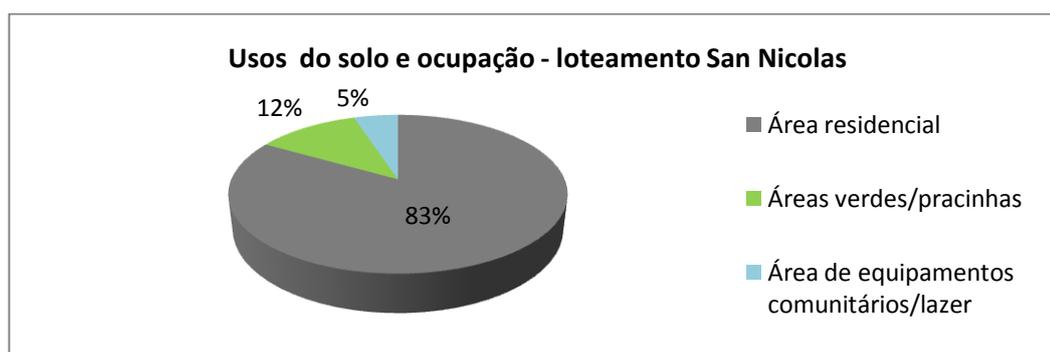


Ilustração 37: Gráfico das áreas de usos do loteamento San Nicolas  
Fonte: Levantamentos realizados pela autora



Ilustração 38: Loteamento San Nicolas no ano de 2005 (à esquerda). Ocupação no ano de 2010 (à direita)  
Fonte: Fotografias dos arquivos da Administração do loteamento San Nicolas

#### ▪ Orientação das quadras, lotes e do traçado viário

Quanto às quadras, observa-se que, como o loteamento está circundado por barreiras naturais (áreas de preservação), existem quadras que tangenciam todo perímetro do loteamento formando uma “barreira” de edificações, como também existem quadras internas (em maior frequência) com formato de malha ortogonal retangulares.

Os lotes apresentam formato mais estreito. No entanto, para regiões de clima quente e úmido, o formato dos lotes deve ser mais alargado que comprido (HIGUERAS, 2006). A orientação dos lotes é apresentada na ilustração 39:

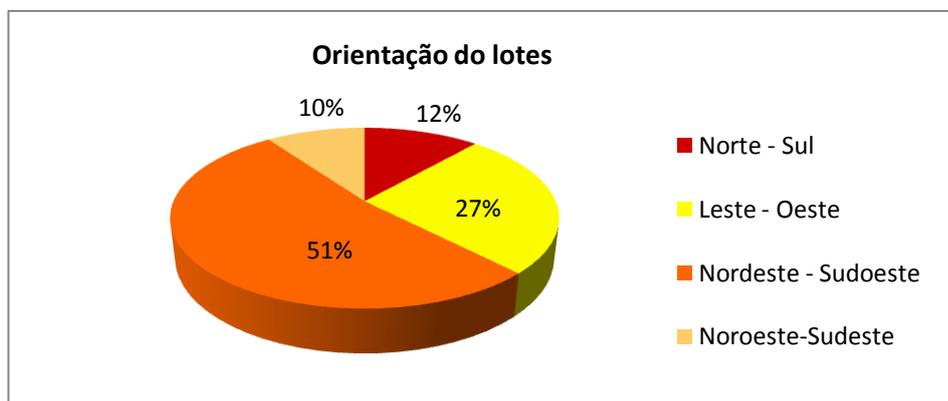


Ilustração 39: Gráfico da orientação predominante dos lotes no loteamento San Nicolas  
Fonte: Levantamentos realizados pela autora

Nota-se que, devido à orientação, grande parte das edificações, que seguem a orientação do lote, possui fachadas que recebem uma maior área de exposição à radiação

solar, sendo considerada desfavorável, pois, de acordo com Givoni (1998), a orientação mais adequada para a região de estudo são fachadas maiores orientadas no sentido Norte – Sul.

O traçado viário do loteamento caracteriza-se por ruas largas com canteiro central, que delimitam todo o seu perímetro, e ruas mais estreitas, em sua maioria do tipo *cul de sac*, que contornam as quadras ortogonais, conforme o partido urbanístico do loteamento. A ilustração 40 mostra, em porcentagem, a orientação das ruas do loteamento, na qual pode-se observar a predominância das ruas no sentido Sudeste – Noroeste. Sob o ponto de vista da insolação, Givoni (1998) aponta que, para o clima quente e úmido, são preferíveis ruas com orientação Leste – Oeste, pois assim, as edificações provavelmente estarão orientadas a Norte – Sul, sendo favorável para a insolação.

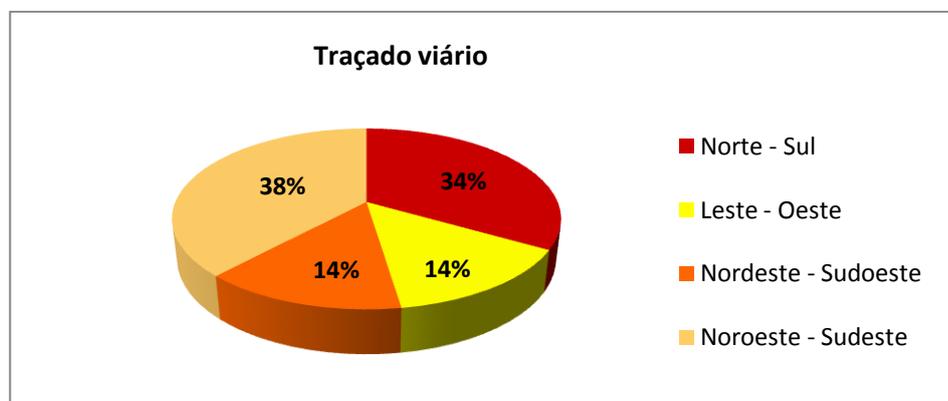


Ilustração 40: Gráfico da orientação predominante das ruas no loteamento San Nicolas  
Fonte: Levantamentos realizados pela autora

O fato de as edificações apresentarem no máximo dois pavimentos e recuo frontal de 5 metros, associado à ausência de arborização considerável, permite que as ruas e calçadas estejam integralmente expostas à incidência direta de radiação solar, devido à inexistência de áreas sombreadas, o que torna esses espaços desconfortáveis, principalmente os passeios dos pedestres e nas áreas destinadas ao lazer, como as pracinhas e os equipamentos infantis de recreação (ilustração 41).



Ilustração 41: Fotografias de passeios e áreas verdes com mobiliários urbanos desprovidos de sombreamento  
Fonte: da autora

Quanto ao regime de ventos na configuração urbana do loteamento San Nicolas, os mais frequentes para a região de estudo, na escala macro e mesoclimática, são de direção Leste, Sudeste e Sul. Os ventos Leste (de maior velocidade e frequência no período mais quente) e Sul (de maior frequência e velocidade no período mais frio) atingem as edificações e as ruas de forma oblíqua em sua extensão. O vento Sudeste (frequente o ano todo, com velocidades mais altas registradas no outono e inverno), por sua vez, incide paralelamente às ruas, podendo fluir ao longo das mesmas. É importante observar que, as quadras de gruta, situadas na extremidade do loteamento, podem funcionar como barreiras para o vento Sudeste e Leste. No cenário atual estas se encontram parcialmente edificadas. A ilustração 42 apresenta uma imagem tridimensional do loteamento com o esquema dos condicionantes ambientais predominantes.

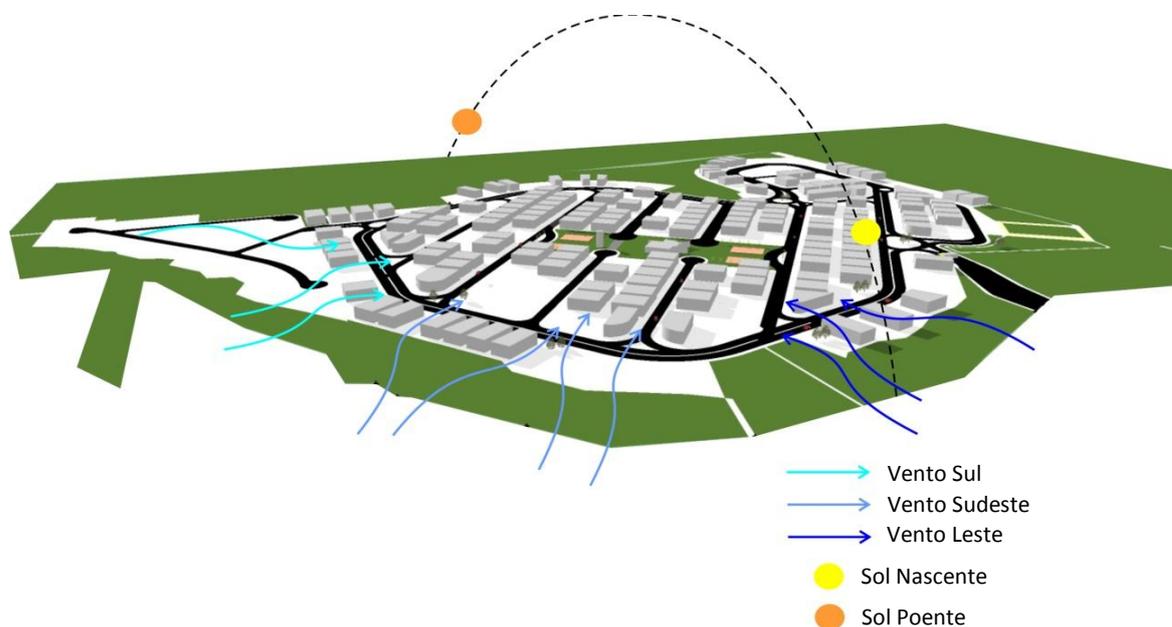


Ilustração 42: Imagem tridimensional do loteamento San Nicolas com os condicionantes ambientais predominantes. Fonte: da autora

As edificações obedecem aos recuos permitidos, conforme determina o regulamento interno do loteamento. Nas ruas mais largas, menor é a resistência encontrada nas construções pelas correntes de ar, aperfeiçoando o nível de ventilação urbana e potencializando as perdas por convecção.

#### ▪ Permeabilidade do solo

O loteamento apresenta grande parte do solo revestido por material impermeável, que incluem tanto as edificações existentes e em obras, quanto os materiais de superfície do solo presentes no traçado viário e nos passeios de pedestre (asfalto e cimentado, respectivamente). A ilustração 43 apresenta o percentual das áreas permeáveis e impermeáveis existentes, como também a previsão dessas áreas para um cenário futuro de máxima ocupação dos lotes, quando se pode observar uma alta taxa de impermeabilização do solo. Nessa situação, as condições ambientais levam a uma menor umidade do ar e ao maior acúmulo de radiação solar, o que pode acarretar em altas temperaturas do ar.

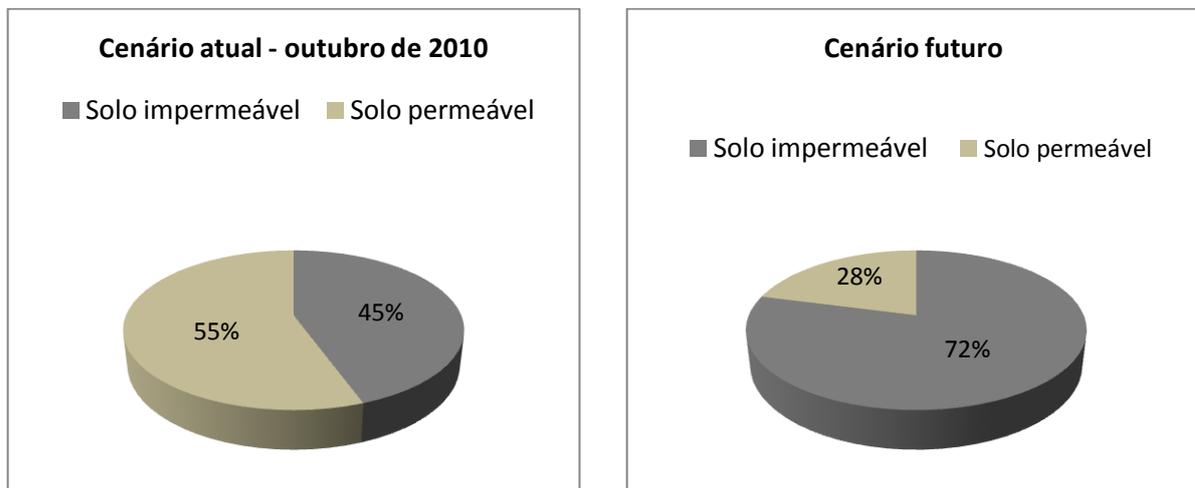


Ilustração 43: Gráficos das áreas permeáveis e impermeáveis do loteamento San Nicolas nos cenários atual e futuro  
Fonte: a autora

Vale ressaltar que, o solo exposto (solo nu) está incluído no percentual de solo permeável dos gráficos acima, embora apresentem menor permeabilidade devido à sua compactação.

### ▪ **Propriedades termodinâmicas dos materiais das superfícies externas**

Observando-se os materiais existentes nas fachadas das edificações, nota-se que a predominância por cores claras e em tons pastéis estão presentes em quase todas as edificações existentes o que, termicamente, significa uma maior refletividade das superfícies, além de maior emissividade, variando de 0,85 a 0,90. Os telhados são, em sua maioria, compostos de telhas nos tons terra e pastéis, com telha cerâmica nos telhados aparentes e telha do tipo ecológica e fibrocimento, nos telhados ocultados pelas platibandas. Esses materiais também possuem baixa refletividade, porém, maior emissividade (em torno de 0,90).

O material adotado em todo traçado viário é o asfalto e os passeios destinados à circulação de pedestres são pavimentados com concreto. Ambos são materiais de alta condutividade térmica e baixo albedo (de 0,05 a 0,35), além de impermeáveis às águas pluviais. Esses revestimentos externos, embora ocupem pequenas porções no espaço do loteamento, contribuem para o aumento da absorção e produção de calor no nível microclimático. A distribuição dos materiais das superfícies externas encontradas no loteamento San Nicolas, no cenário atual, é mostrada na ilustração 44. Para um cenário futuro de máxima ocupação, os percentuais são mostrados na ilustração 45. Para efeito desta dissertação, considerou-se o solo de dentro dos lotes (subtraído à edificação do lote) como solo semi-coberto ou semi-permeável, uma vez que estes encontram-se revestidos, de alguma forma, por algum tipo de recobrimento, permeável ou não.

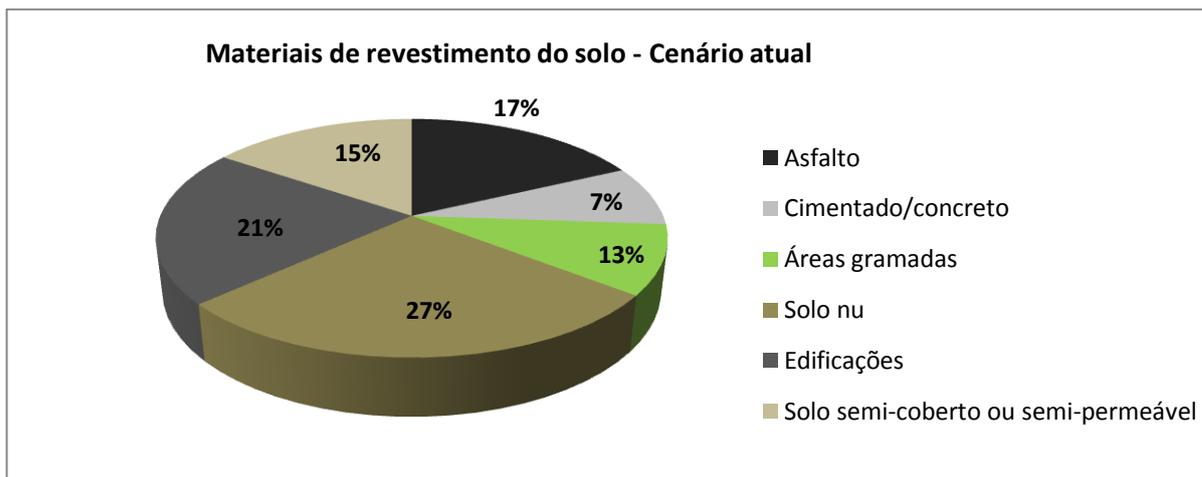


Ilustração 44: Gráfico dos materiais de revestimento do solo encontrados no loteamento San Nicolas no cenário atual

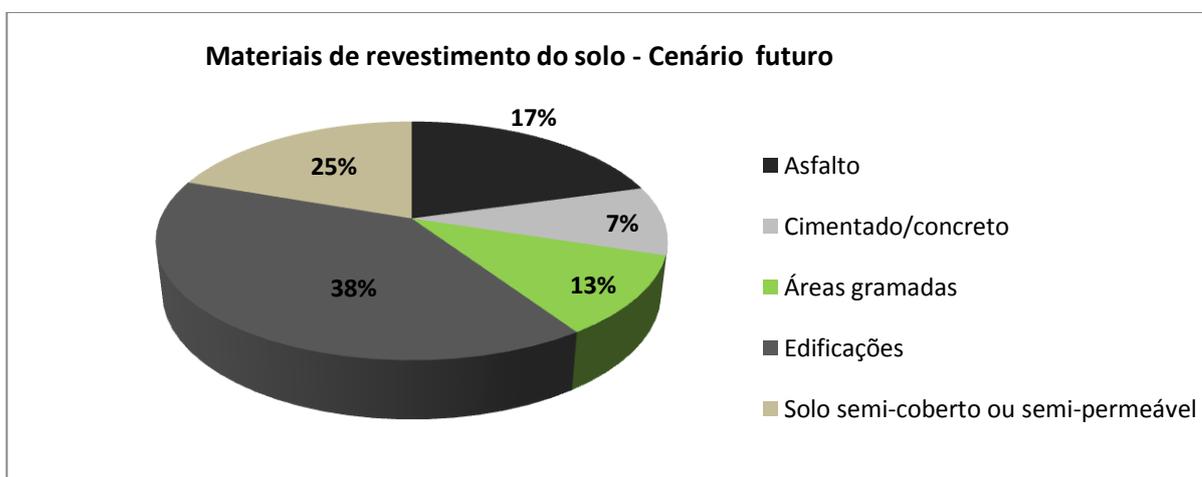


Ilustração 45: Gráfico dos materiais de revestimento do solo no loteamento San Nicolas para o cenário futuro

Verificou-se que, num cenário futuro de ocupação máxima, o loteamento apresentará cerca de 62% de materiais impermeáveis, sendo destes, aproximadamente 24% materiais de baixo albedo e alta emissividade. Esses valores podem contribuir para o aumento da temperatura do ar e redução na taxa de umidade relativa do ar no loteamento.

- **As áreas verdes e livres**

O percentual de áreas verdes do loteamento é baixo (em torno de 13%) e sua localização se restringe a pequenos espaços, ou lotes maiores, nas extremidades do loteamento integrando-se à área de preservação, como também em canteiros ao longo das

ruas. A quantidade de espécies vegetais é considerada pequena. Em geral são espécies de pequeno porte observando-se ainda que se encontram, na maioria, em fase de crescimento e suas características não contribuem para a criação de microclimas favoráveis, de atenuação das condições de conforto térmico nos espaços externos. A ilustração 46 mostra a distribuição das áreas verdes existentes no loteamento.

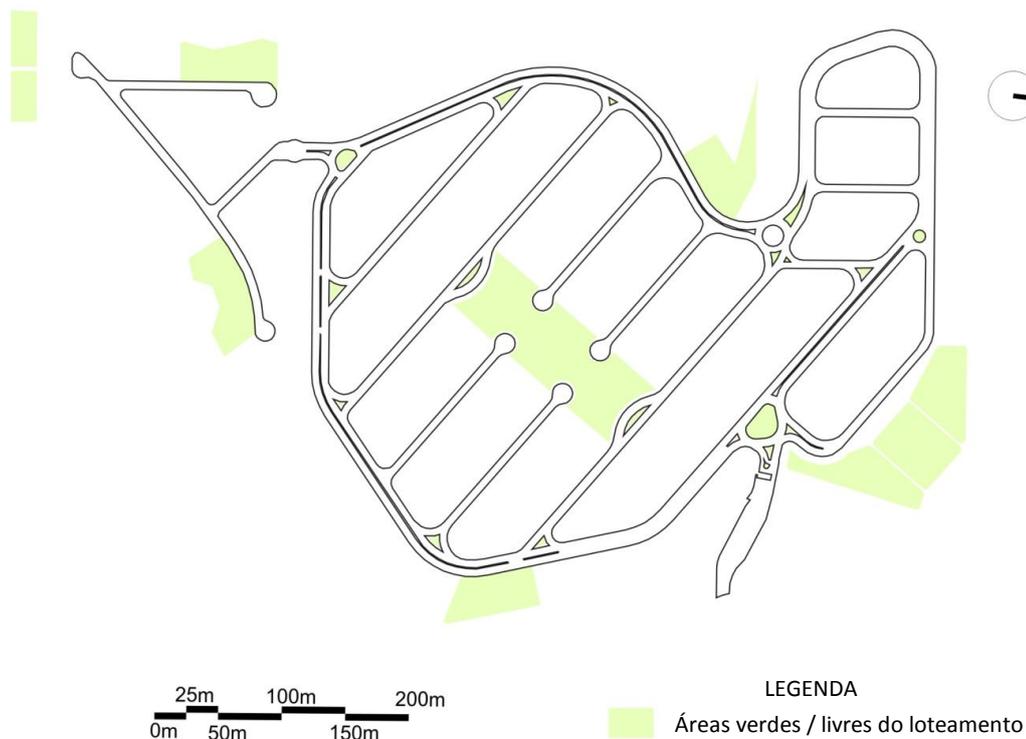


Ilustração 46: Levantamento das áreas verdes no loteamento San Nicolas

Fonte: A autora

Foi observado também, que existem algumas pequenas áreas destinadas ao uso de lazer, no loteamento, na forma de praças, que não apresentam um projeto paisagístico adequado ao uso. Nesses espaços, o mobiliário urbano locado encontra-se desprotegido da radiação solar direta, tanto no horário da manhã quanto no horário da tarde (ilustração 47). Esse fator, juntamente com uso de materiais de propriedades termodinâmicas inadequados (de baixo albedo e alta emissividade), pode contribuir para o aumento da temperatura nestes espaços externos. Não obstante, são espaços externos pouco utilizados pelos usuários.

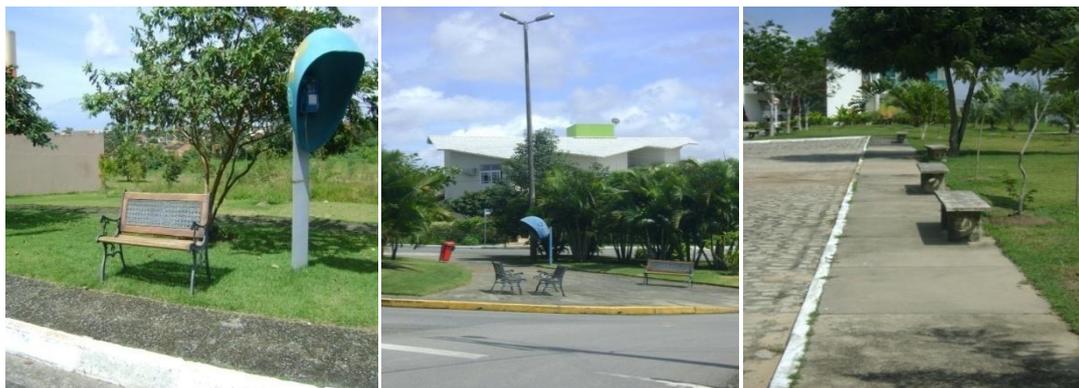


Ilustração 47: Fotografias de algumas das áreas verdes do loteamento San Nicolás  
Fonte: da autora, em 24 de agosto de 2010

#### 4.1.1.2 Diagnóstico bioclimático de adequação ambiental

A matriz de interação entre os parâmetros bioclimáticos (características morfológicas do espaço urbano), que podem interferir no desempenho das variáveis ambientais, e entre os parâmetros ambientais (representados pelos elementos climáticos), que são indicadores do microclima urbano, é apresentada no quadro 17.

DIAGNÓSTICO BIOCLIMÁTICO DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL					
ESCALA	ESPAÇO	Variável bioclimática	Parâmetro bioclimático a ser analisado	Descrição	Resultado Encontrado
LOCAL	O BAIRRO	Morfologia urbana	Topografia	Declividade (em %)	0 a 5% (MELO,2009)
			Altitude média	Altura do relevo (em metros)	40 a 80m (MELO,2009)
			Uso do solo (predominante)	Residencial, comercial, industrial,	Residencial e comercial
			Zona climática urbana (densidade)	Classificação de acordo com Oke (de 1 a 7) – ver tabela 01, pág. 39	Zona 5: área urbana com médio desenvolvimento - densidade baixa
MICROESCALA	O LOTEAMENTO	Traçado viário	Orientação solar	Eixo predominante em %	N – S = 34% NO – SE = 38% NE – SO = 14% L – O = 14%
			Orientação aos ventos predominantes	% de ruas paralelas à direção dos ventos predominantes	Sudeste = 40% Nordeste = 15% Leste = 15 %
			Material de revestimento	Tipo do material de revestimento (em %)	Asfalto = 66% Cimentado/Concreto =34%

	Albedo	De acordo com a tabela de Oke (1987) – ver quadro 07	Asfalto = 0.05 – 0.20
	Emissividade	De acordo com a tabela de Oke (1987) – ver quadro 06, pág. 51	Asfalto = 0.95
	Material de revestimento	Material(s) predominante(s)	Grama, areia e cimentado nos passeios de pedestre
<b>Áreas verdes/áreas livres</b>	Tipologia vegetal	Tipologia predominante (rasteira, arbustiva, arbórea)	Rasteiras, arbustivas, ornamentais. Espécies arbóreas quase que inexistentes. As poucas que existem, são pequenas
	Permeabilidade	% de materiais permeáveis	Em torno de 90%
	Orientação solar	Eixo predominante em %	N – S = 12% NO – SE = 10% NE – SO = 51% L – O = 27%
<b>Morfologia do conjunto (parcelamento de quadras e lotes)</b>	Orientação aos ventos predominantes	Direção e incidência nas quadras e lotes em %	Sudeste – 80% paralelo e 20% perpendicular Nordeste – 90% perpendicular e 10% oblíquo Leste – 80% oblíquo e 20% perpendicular
	Taxa de ocupação	Quantidade de área construída por m <sup>2</sup> (%)	53%
	Geometria do cânion (H/W)	Relação da altura das edificações/largura das ruas (H/W)	H/W (maior) = 0,40 H/W (menor) = 0,30
	Área permeável	Em %	Atual = 55% Futura = 35%
	Área impermeável	Em %	Atual = 45% Futura = 65%
	Rugosidade	De acordo com Davempport (de 4 a 8) - ver tabela 01, pág. 39	6
	Altura Média	Altura média das edificações (em	8m
<b>Tipologia edificatória</b>	Materiais predominantes dos telhados	Material(s) predominante(s)	Telha cerâmica, chapas onduladas (ecológica e fibrocimento)
	Materiais predominantes das paredes	Tipo de material(s) predominante(s)	Paredes de concreto com cores claras

Quadro 17: Diagnóstico bioclimático de adequação ambiental

Fonte: Elaborado pela autora a partir das contribuições de Higuera (2006) e Silveira (2007)

#### 4.2.1 Análise da insolação das áreas externas

O estudo qualitativo da insolação no loteamento evidenciou a estreita relação desta com a orientação do traçado viário, a morfologia das quadras e a orientação das fachadas das edificações. Esses estudos da insolação foram realizados com o programa Sketch Up (GOOGLE, 2010), a partir da modelagem tridimensional do cenário atual e de um cenário futuro do loteamento em estudo, com a sua ocupação máxima, para três horários (8h, 12h e 16h) e em três épocas do ano: solstícios de verão (21 de dezembro) e inverno (21 de junho) e equinócios (23 de setembro e 22 de março).

Em todas as simulações verificou-se que a radiação solar atinge as edificações tanto perpendicular à sua diagonal, quanto obliquamente, resultando em duas fachadas ensolaradas ao mesmo tempo (algumas mais a Norte e outras mais a Sul), conforme a época do ano. Essas situações foram esquematizadas na ilustração 48, a seguir:

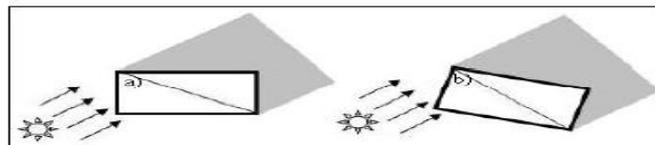


Ilustração 48: Esquema da projeção da sombra nas edificações do loteamento: a) situação perpendicular à diagonal; b) situação oblíqua à diagonal

As discussões dos resultados desses estudos são descritas a seguir.

- **Análises para o solstício de verão (21 de dezembro)**

No solstício de verão, a trajetória solar percorre os quadrantes SE e SO, posicionando-se mais ao Sul. Observa-se que no período da manhã, às 8 horas (ilustração 49), as calçadas de passeio do pedestre como também todo o traçado viário do loteamento em geral, encontram-se desprotegidas da insolação.

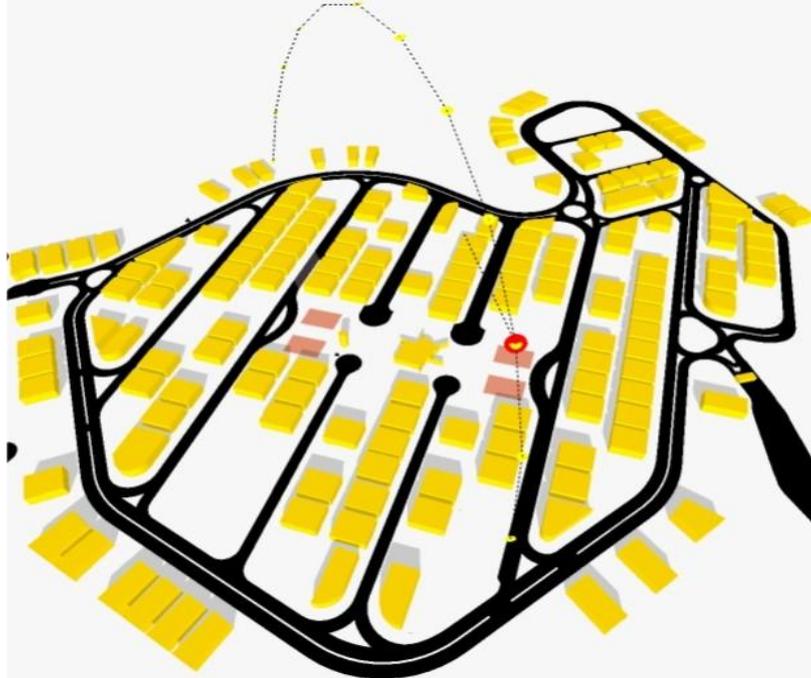


Ilustração 49: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 8 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

No cenário futuro (ilustração 50), por sua vez, a projeção diagonal da sombra neste período do ano permite um discreto sombreamento entre as edificações.

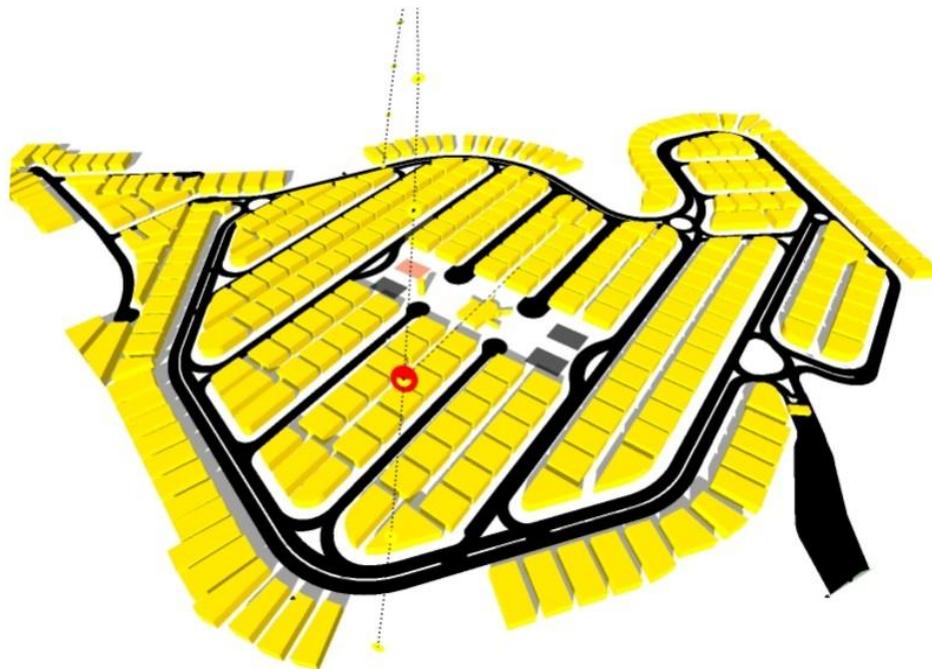


Ilustração 50: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 8 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

Considerando que o loteamento possui baixa densidade construída e uma faixa de recuo frontal (5 metros), observa-se uma menor projeção de sombra dos espaços externos que, associada principalmente à falta de arborização, expõem o traçado viário e as calçadas de passeio à radiação solar direta e, conseqüentemente, possibilitam o aumento da temperatura do ar nestes espaços.

Quanto à orientação das quadras e lotes, verificou-se que as quadras de traçado ortogonal, estão orientadas em sua maioria, no sentido Nordeste–Sudoeste, que tendem a gerar edificações também orientadas neste mesmo sentido. Devido ao formato predominantemente retangular das edificações destas quadras (mais estreitas que largas), esta orientação permite que o sol incida perpendicular à diagonal formada pelos vértices da edificação, recebendo sol em duas fachadas ao mesmo tempo.

As quadras de grota apresentam lotes com orientações mais diferenciadas (Norte-Sul e Leste-Oeste predominam), devido à irregularidade no perímetro do traçado urbano, pois estas quadras acompanham a forma orgânica da área de preservação ambiental. No entanto, a sombra ora está projetada para a área de preservação, ora está posicionada na frente destes lotes. Porém, quando projetada para o sentido da rua, sua trajetória não atinge a calçada do pedestre e a rua, deixando estes espaços desprotegidos. O loteamento apresenta edificações mais expostas à insolação devido aos lotes ainda desocupados.

Às 12 horas, nas ilustrações 51 e 52, é possível verificar uma maior exposição da insolação em todo o espaço externo do loteamento e, principalmente entre as edificações, pois a incidência ocorre quase perpendicular às mesmas com uma discreta inclinação a Norte. Esse fator, associado ao tipo de material de revestimento do telhado, podem contribuir para o aumento da temperatura do ar, uma vez que, grande parte da radiação solar incidente pode ser absorvida e transformada em calor, reemitindo para o ambiente como também para o interior

das edificações, necessitando de artifícios que promovam a perda de calor. Desse modo, evidencia-se a importância da utilização de materiais com tal propriedade.

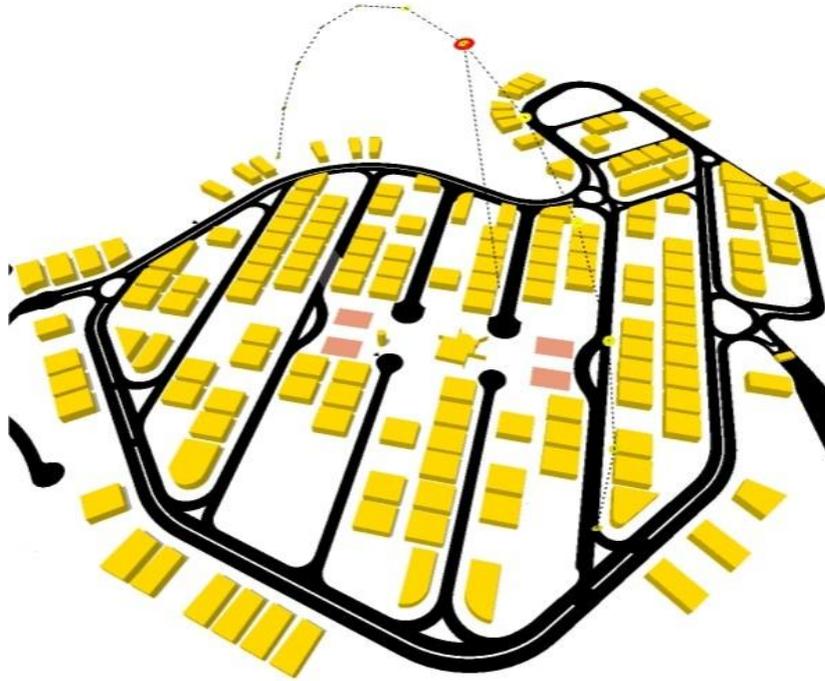


Ilustração 51: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 12 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

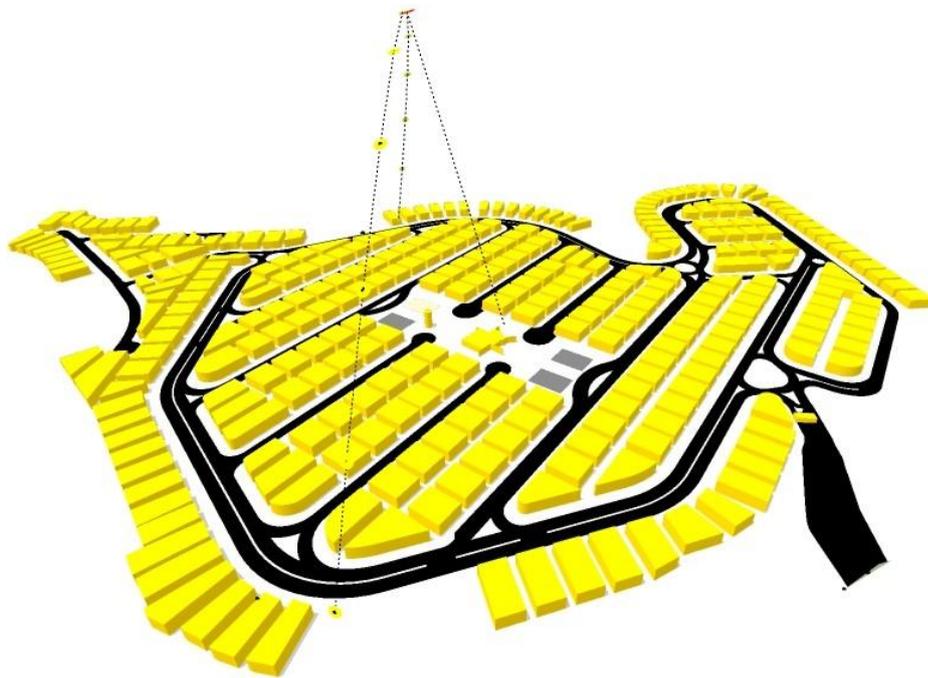


Ilustração 52: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 12 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

Ao entardecer, às 16 horas (ilustração 53), pode-se observar um discreto sombreamento provocado pelas edificações em um dos lados das ruas das quadras ortogonais, porém, não suficiente para o sombreamento total da rua (a sombra está no limite do perímetro da calçada, projetando-se por todo recuo frontal dos lotes). Além disso, observa-se “penetração” de raios solares ao longo do percurso, devido aos lotes ainda desocupados.

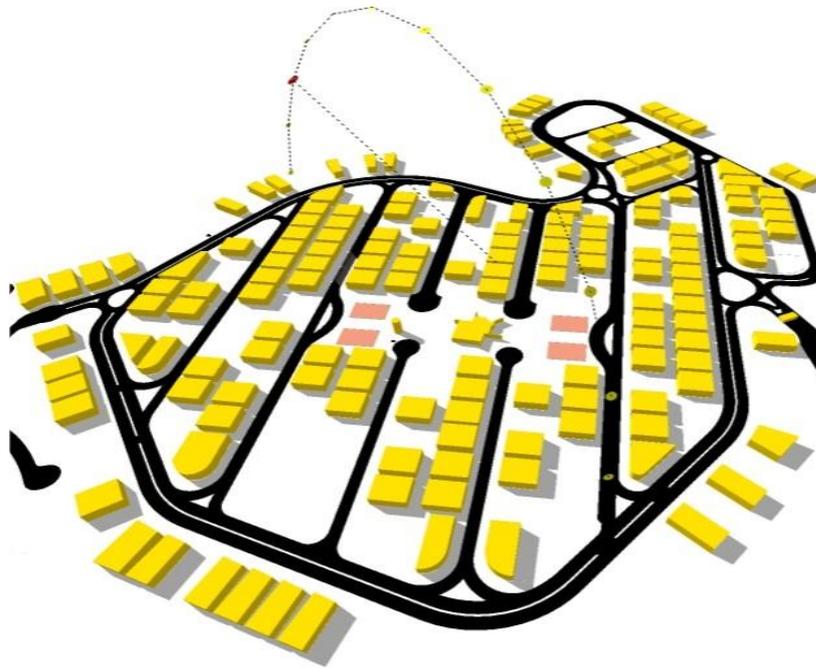


Ilustração 53: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 16 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

No cenário futuro (ilustração 54), a sombra projetada é mais uniforme devido à ocupação total dos lotes, que formam uma “barreira” de proteção mais contínua. Nas quadras de grota, que apresentam uma maior extensão de fachadas frontais expostas à incidência direta da insolação à Oeste, em seu eixo maior, é possível observar a uniformidade da sombra projetada tanto lateralmente quanto para a área de preservação ambiental. No sentido oposto às fachadas frontais destas quadras de grota, observa-se também uma discreta projeção de sombra nas calçadas, embora em pequena parte das ruas.

Vale ressaltar que, tanto as quadras de grota quanto as demais, necessitam de proteção contra a insolação. Outro fato importante refere-se ao posicionamento das quadras de tênis e poliesportivas, que estão orientadas a Nordeste-Sudoeste. Essa locação dificulta a visibilidade do usuário devido ao posicionamento não estratégico da mesma à trajetória solar.

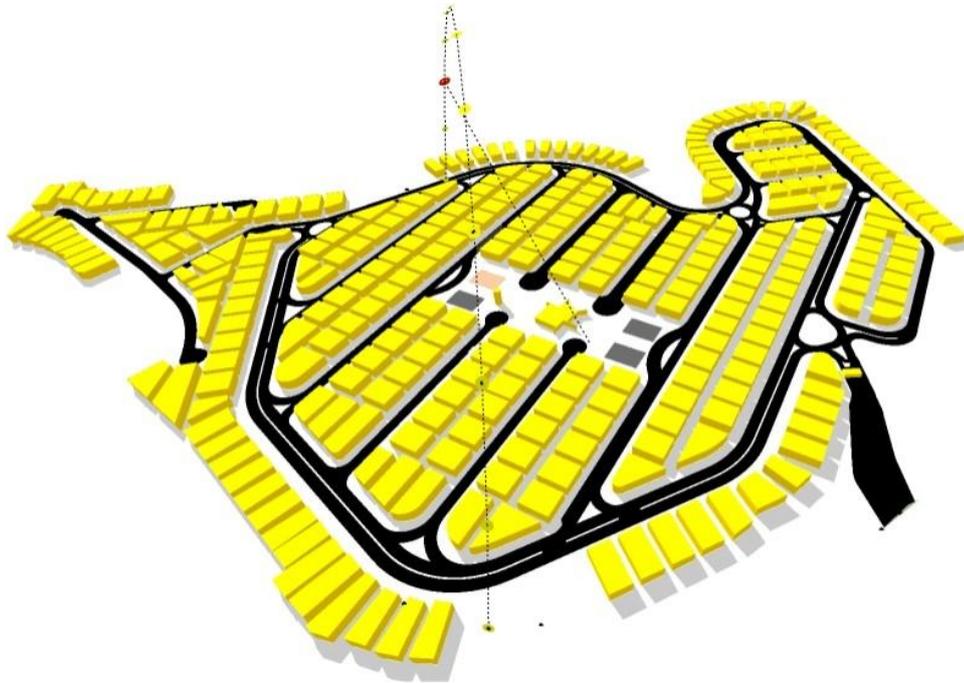


Ilustração 54: Insolação no solstício de verão (21 de dezembro) às 16 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

- **Simulações para o solstício de inverno (21 de junho)**

No inverno, a trajetória solar percorre os quadrantes NE e NO, posicionando-se nesse período mais a Norte. Pela manhã, às 8 horas, observa-se na ilustração 55 que as calçadas de passeio do pedestre, como também todo o traçado viário do loteamento encontram-se mais protegidos da insolação. Quanto à orientação das quadras e lotes, verifica-se que, como a maioria das quadras com traçado ortogonal possui edificações com fachadas no sentido Nordeste-Sudoeste, permite que o sol atinja as edificações obliquamente.

Já uma pequena parte destas quadras possui edificações com orientações a Leste-Oeste, recebendo insolação nas menores fachadas. Percebe-se que o posicionamento solar no

inverno (mais a Norte) contribui para formação de sombras maiores nas ruas e calçadas do loteamento, em ambos os lados. Nas edificações das quadras de grota, as orientações no sentido Leste-Oeste sombreiam as edificações vizinhas. Apenas em uma menor parte de edificações de orientação Norte-Sul, pode-se observar projeção de sombra para ruas e calçadas.

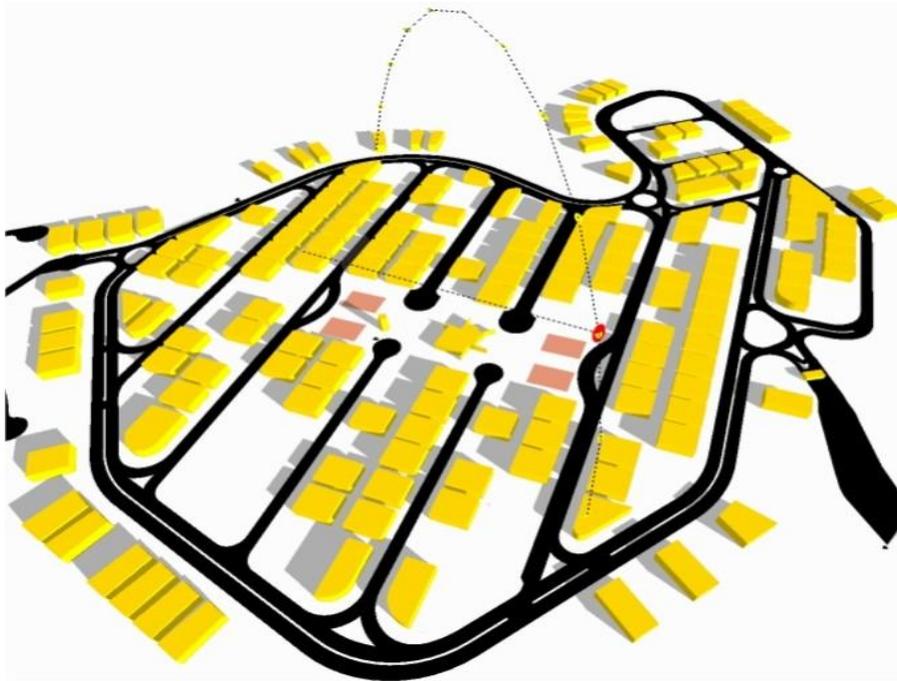


Ilustração 55: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 8 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

No cenário futuro (ilustração 56), a situação é mais favorável, pois parte das ruas e calçadas estão mais protegidas pela projeção da sombra, neste horário, devido à ocupação total dos lotes pelas edificações.

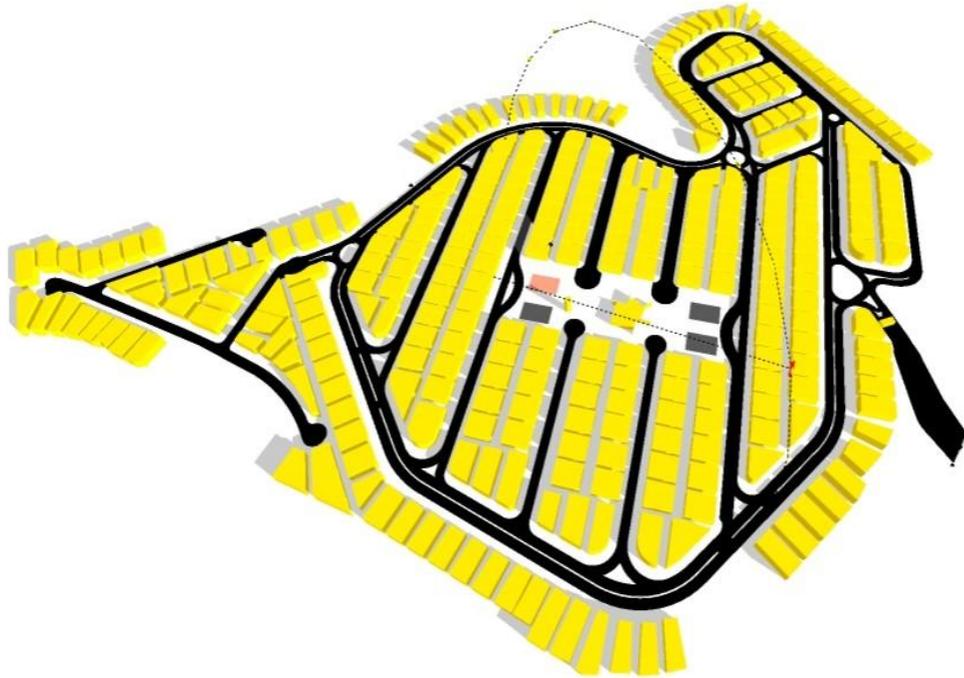


Ilustração 56: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 8 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

Às 12 horas, nas ilustrações 57e 58, percebe-se que há exposição direta da insolação em todo o espaço externo do loteamento (ruas e passeios de pedestre), devido à incidência nas superfícies mais expostas das edificações, a cobertura.

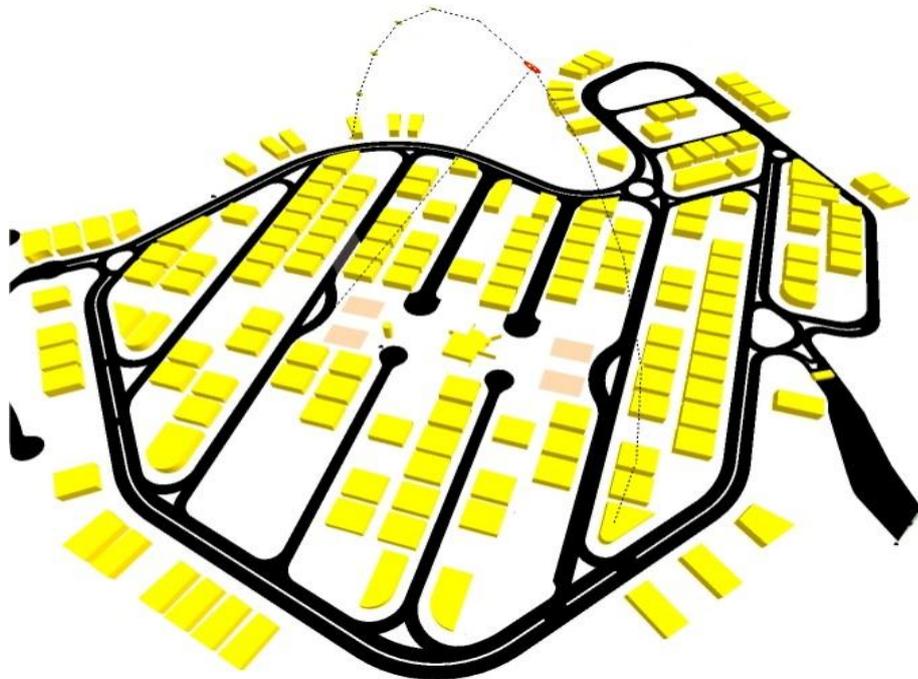


Ilustração 57: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 12 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

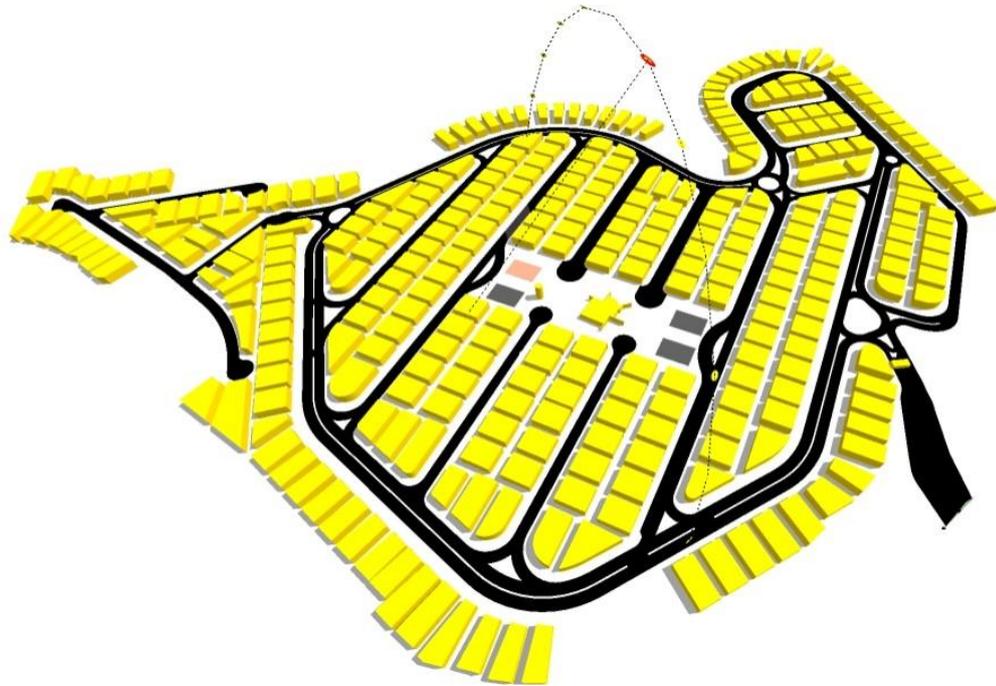


Ilustração 58: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 12 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

Às 16 horas nas ilustrações 59 e 60, as calçadas de passeio do pedestre, como também todo o traçado viário do loteamento, carecem de proteção da incidência solar. Na maioria das quadras ortogonais, a insolação atinge as edificações quase perpendicularmente ao seu eixo maior. Apenas em poucas quadras, há incidência de frente a fundo do lote, sombreando as calçadas e ruas.

As quadras de grota apresentam uma maior extensão de fachadas principais expostas à incidência direta da radiação solar a Oeste, formando sombras para a área de preservação ambiental (grotas). Quanto ao posicionamento da quadras de tênis e poliesportivas, neste período do ano, o sol está incidindo obliquamente ao eixo maior, otimizando em parte, à situação encontrada no solstício de verão.

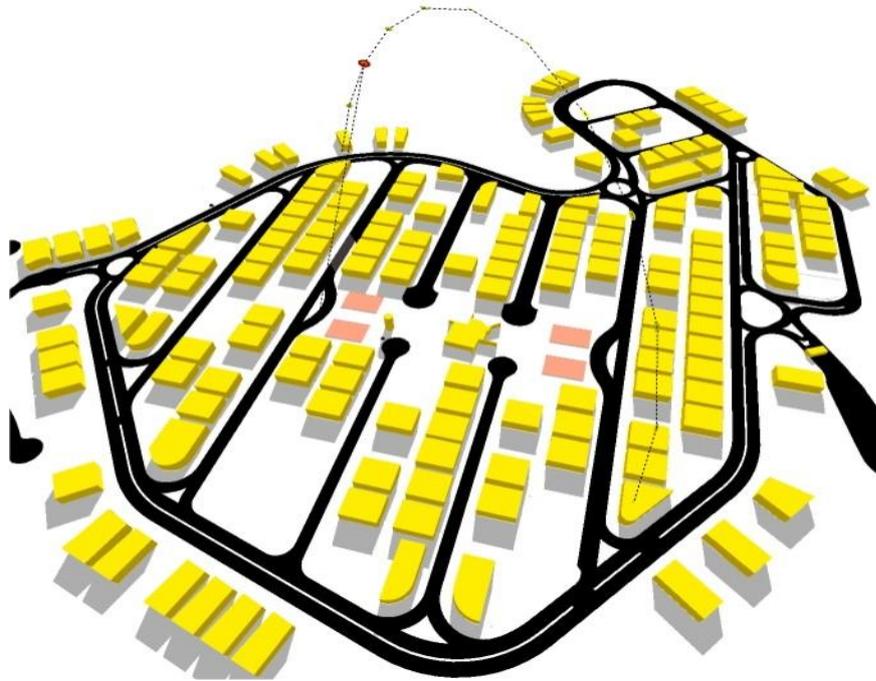


Ilustração 59: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 16 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

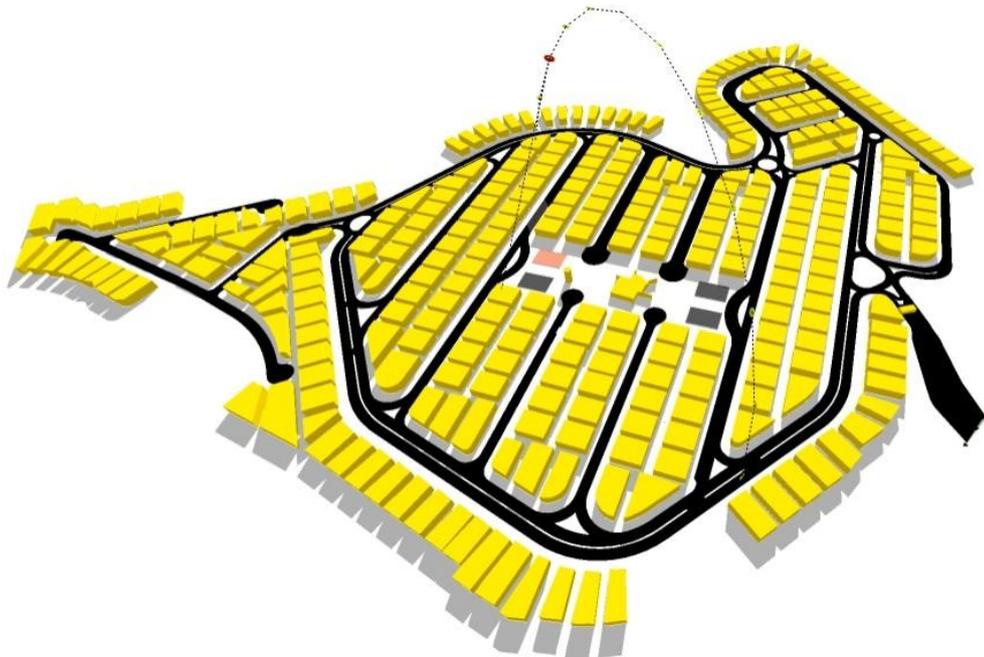


Ilustração 60: Insolação no solstício de inverno (21 de junho) às 16 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas

Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

- **Simulações e análises para os equinócios (23 de setembro e 22 de março)**

Às 8 horas, as manchas de sombra mostram que a maior parte das ruas e calçadas de passeios é sombreada pelas edificações nas quadras ortogonais. A incidência se dá na maior

parte das edificações de forma perpendicular à diagonal formada pelos vértices das edificações, em duas fachadas simultaneamente, conforme ilustração 61.

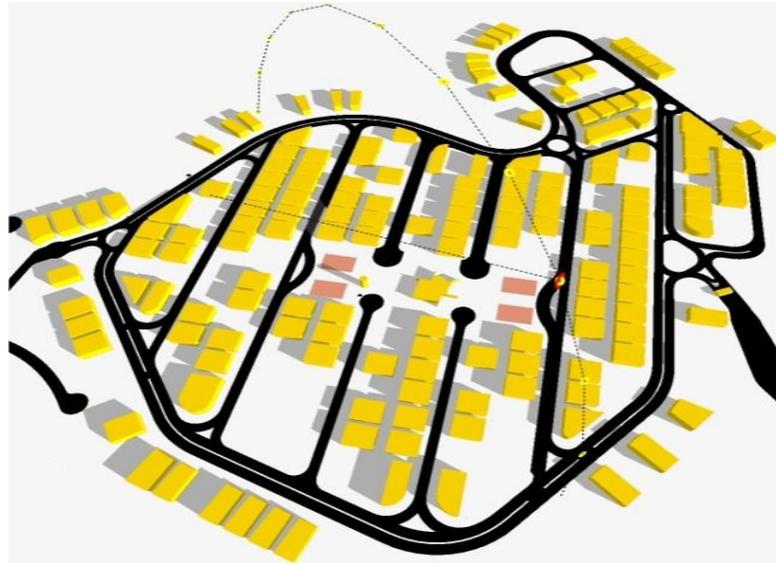


Ilustração 61: Insolação para os equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 8 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

Os raios solares penetram internamente em algumas quadras devido, aos lotes ainda desocupados. Esse sombreamento é mais uniforme no cenário futuro (ilustração 62).

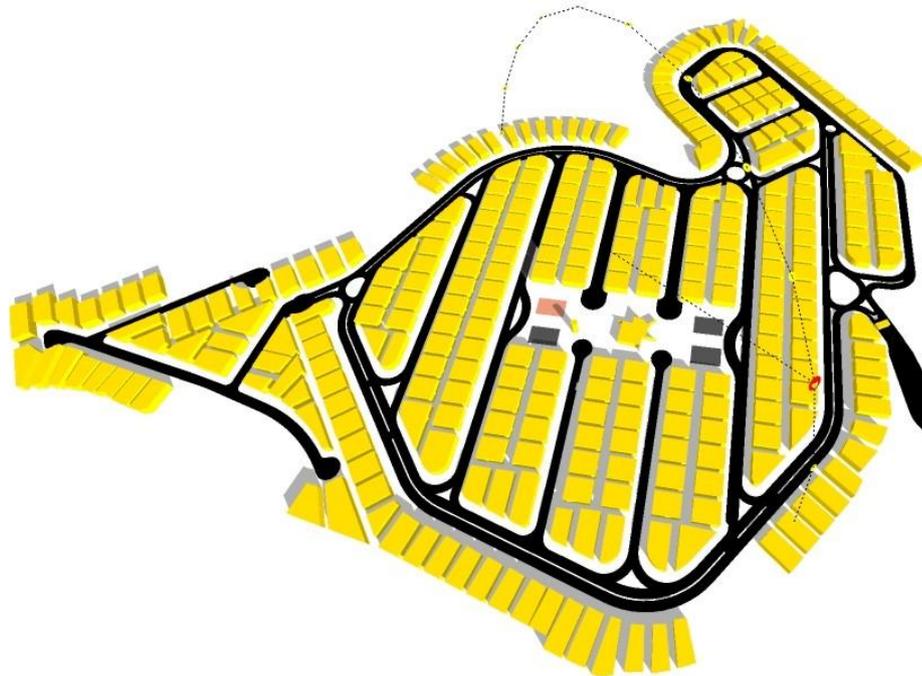


Ilustração 62: Insolação para os equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 8 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

Nas quadras de grotas, por sua vez, as edificações recebem insolação tanto na lateral (edificações com orientação Norte-Sul), quanto na fachada frontal (edificações com orientação Leste-Oeste), projetando sombras tanto para a área de preservação das grotas quanto para a porção lateral entres as mesmas. Quanto às quadras de tênis e poliesportivas, que apresentam orientação nordeste – sudoeste, neste período do ano, a trajetória solar também compromete o desempenho funcional da mesma, situação semelhante às demais épocas do ano.

Às 12 horas (ilustrações 63 e 64), a situação da insolação é semelhante ao solstício de verão e de inverno, onde o fator mais preocupante ocorre com a exposição direta da insolação em todo o espaço externo do loteamento, devido à incidência ocorrer sobre o topo da cobertura das edificações.

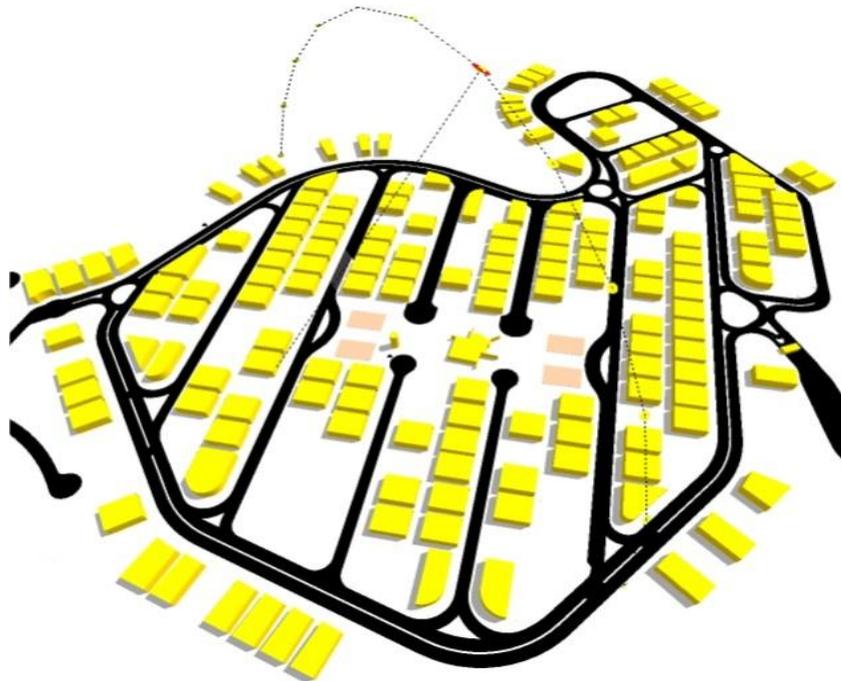


Ilustração 63: Insolação para os equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 12 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

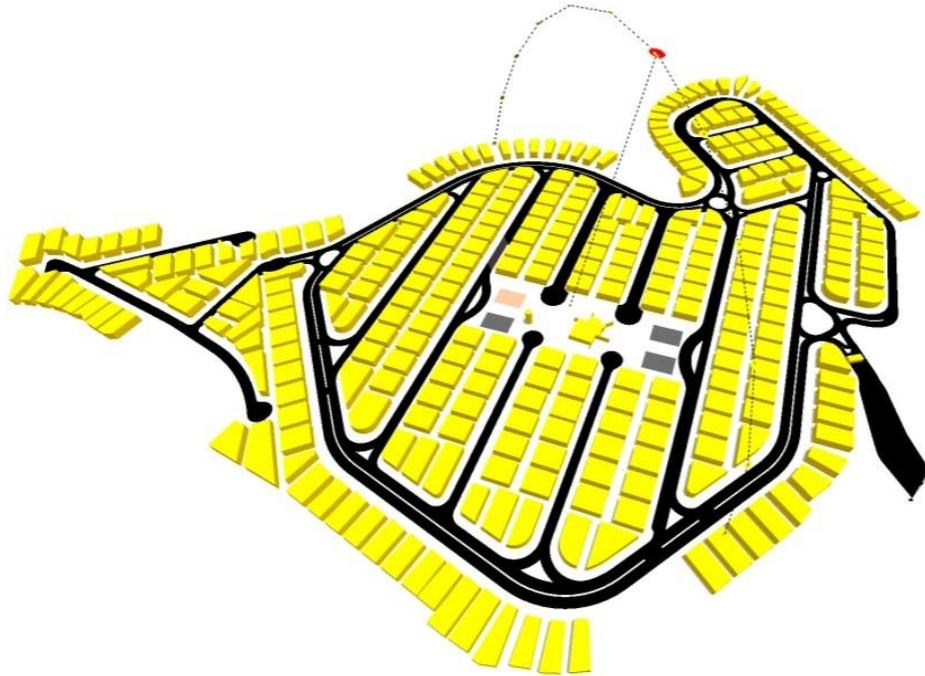


Ilustração 64: Insolação para os equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 12 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

Às 16 horas (ilustrações 65 e 66), os espaços urbanos encontram-se expostos. As sombras são mais projetadas para a lateral das edificações, tornando as edificações mais expostas à insolação em seu eixo maior, devido ao formato retangular dos lotes. As sombras nas quadras ortogonais projetam-se lateralmente entre a maioria das edificações. Portanto, poucas ruas se beneficiam de sombra. Já as quadras de grota projetam sombra ora para a área de preservação, ora para a lateral entre edificações.

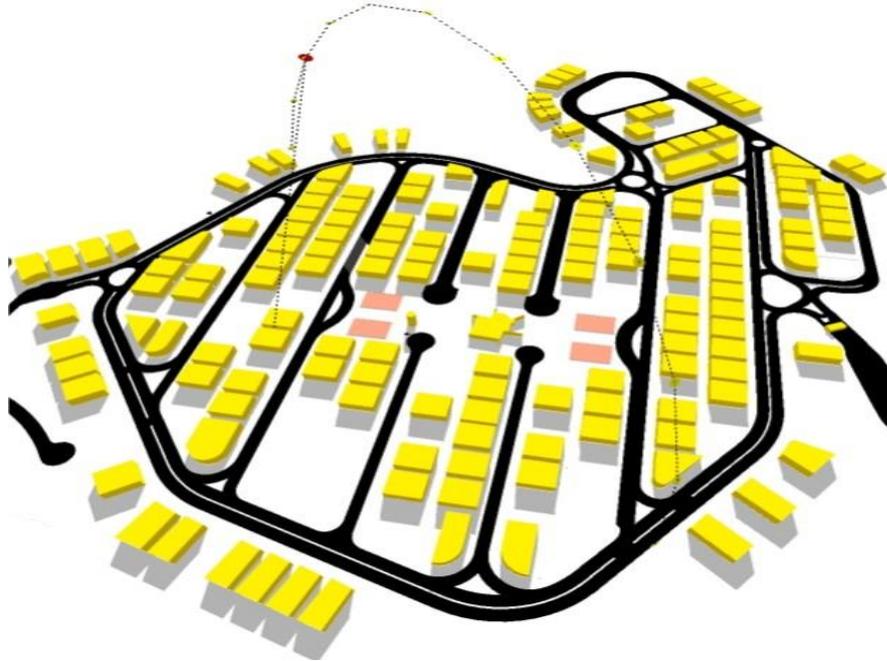


Ilustração 65: Insolação para os equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 16 horas - cenário atual do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

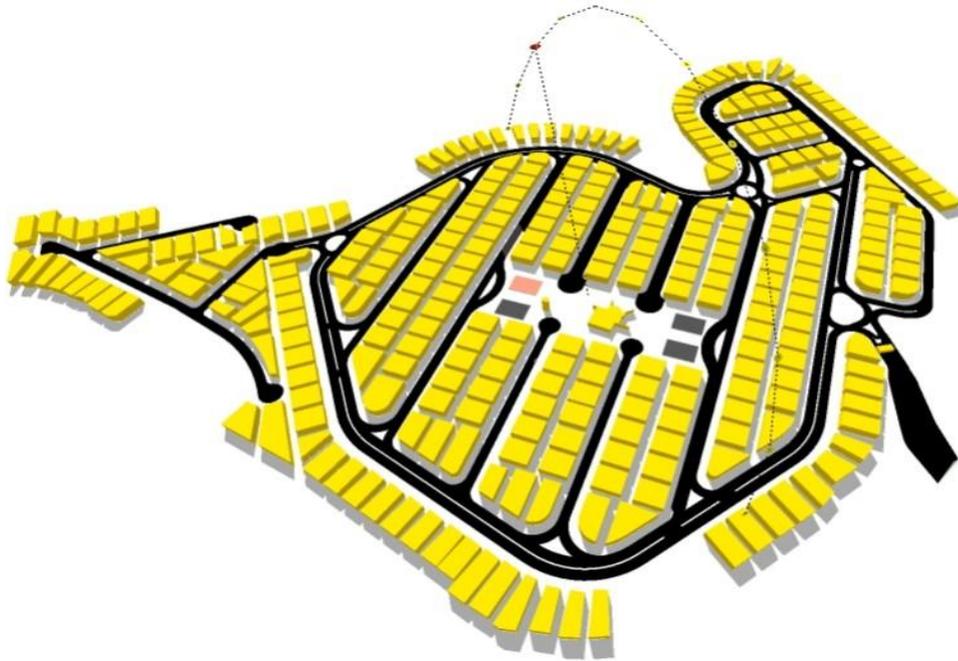


Ilustração 66: Insolação para os equinócios (23 de setembro e 22 de março) às 16 horas - cenário futuro do loteamento San Nicolas  
Fonte: Sketch Up 7.0 (GOOGLE, 2010)

## 4.2 Análise quantitativa do loteamento San Nicolas

A análise quantitativa corresponde à pesquisa de campo e simulações computacionais com o programa ENVI-met 3.1., evidenciando-se a relação da morfologia urbana do loteamento com o microclima urbano identificado.

### 4.2.1 Resultados da pesquisa de campo e estação meteorológica de referência INMET

Os dados da pesquisa de campo foram coletados durante os dias 25, 26 e 27 de outubro do ano de 2010, em 06 (seis) pontos distintos. As características dos pontos de medição são mostradas no quadro 18.

Características dos pontos de medição		
Ponto	Descrição do local	Fotografia
<b>A</b>	Ponto localizado no cruzamento de ruas em asfalto, sem barreiras construtivas. No local existe um pequeno canteiro com pouca vegetação. O local recebe radiação solar direta durante o ano todo.	
<b>B</b>	Ponto localizado na quadra de esportes, local onde recebe grande incidência de radiação solar durante todo o dia. O piso do revestimento é cimentado com pintura na cor verde.	
<b>C</b>	Ponto localizado no centro de uma rua asfaltada, sem a presença de barreiras (casas). Neste ponto, os lotes que se encontram margeando a rua possuem o revestimento do solo em terra (solo nu).	
<b>D</b>	Ponto localizado no centro de uma rua asfaltada entre casas sem muro de alvenaria, mas com presença de muro vegetado (arbustivo) em algumas residências (não variando mais que 1m de altura) e poucas árvores no decorrer da rua. O acesso a rua está orientada no sentido noroeste. Neste ponto há incidência direta de radiação solar durante o dia.	

<p><b>E</b></p>	<p>Ponto localizado no centro de uma rua asfaltada entre casas sem muro de alvenaria, mas com presença de muro vegetado (arbustiva) em algumas residências (não variando mais que 1m de altura) e poucas árvores no decorrer da rua. O acesso a rua está orientada no sentido noroeste. Neste ponto há incidência direta de radiação solar durante o dia. Obs.: Mesmas características do ponto D.</p>	
<p><b>F</b></p>	<p>Ponto localizado sob a sombra de uma árvore. Não há barreiras construtivas próximas a este ponto. A superfície do solo no local de medição é revestida por grama e uma parte de calçamento (passeio).</p>	

Quadro 18: Descrição dos pontos de medição no loteamento San Nicolas

Fonte: da autora

O banco de dados com os resultados da medição de campo no loteamento San Nicolas, constam no apêndice A. A pesquisa de campo das variáveis microclimáticas dos pontos do loteamento estudado teve como objetivo a escolha de um dia “representativo” para configuração das simulações computacionais com o programa ENVI-met. Dos três dias monitorados, apenas 01 foi descartado da análise, o dia 27/10/2010, porque apresentou céu totalmente nublado, diferindo das características dos demais, que apresentaram dias de céu claro e pouca nebulosidade. Os gráficos da ilustração 67 apresentam os dados da temperatura média do ar obtidas para os dias 25/10/2010 e 26/10/2010.

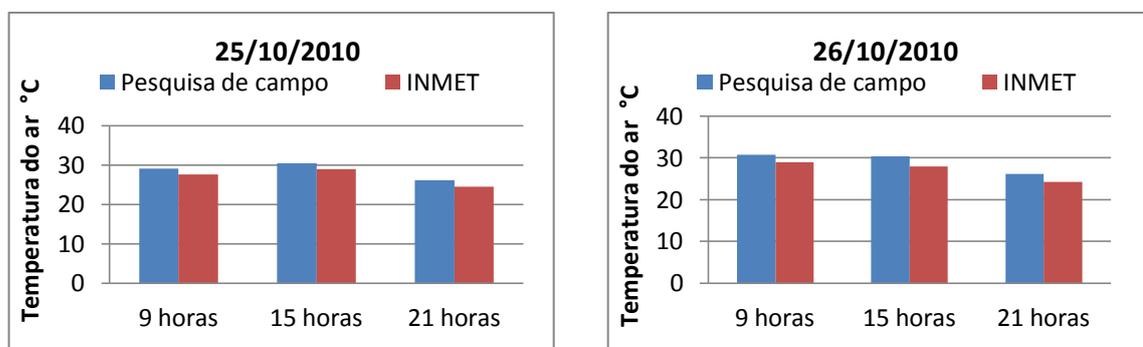


Ilustração 67: Gráfico comparativo das médias de temperatura do ar para o dia 25/10/2010 e 26/10/2010 obtidos na pesquisa de campo e no INMET

Com base nos dados obtidos nos gráficos acima, pode-se notar que o dia 25/10/2010 apresentou a menor variação entre as médias de temperatura do ar durante os três horários monitorados. As diferenças variaram entre 1,4°C a 1,6°C para o dia 25/10, e entre 1,3°C a 1,9°C, para o dia 26/10. Portanto, o dia 25/10/2010 foi o dia representativo selecionado para a investigação do microclima no loteamento selecionado. Esta etapa foi importante para representar o comportamento da situação pontual desses dados meteorológicos, na microescala do loteamento estudado.

O comportamento das variáveis microclimáticas analisadas no loteamento foram os dados da temperatura e umidade relativa do ar, além do fluxo do vento (velocidade e direção), conforme seguem:

- **Temperatura do ar**

As ilustrações 68 a 70 apresentam o comportamento térmico da variável temperatura do ar (°C) comparado pela estação de referência, INMET.

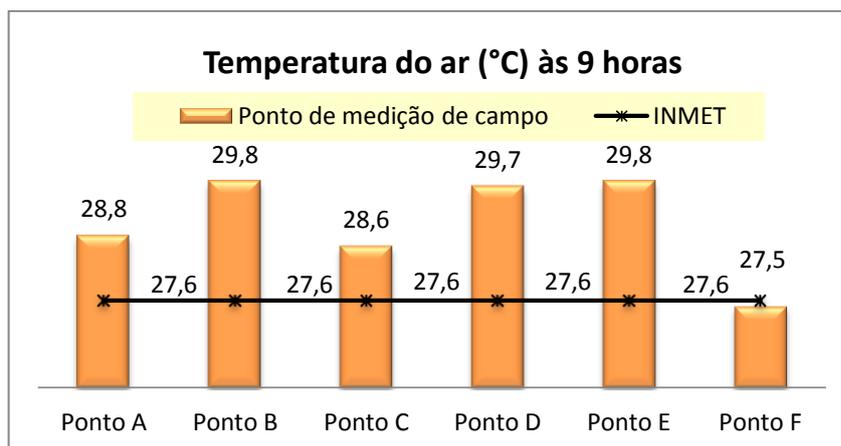


Ilustração 68: Perfil do comportamento da temperatura do ar para o dia 25/10/2010 às 9 horas

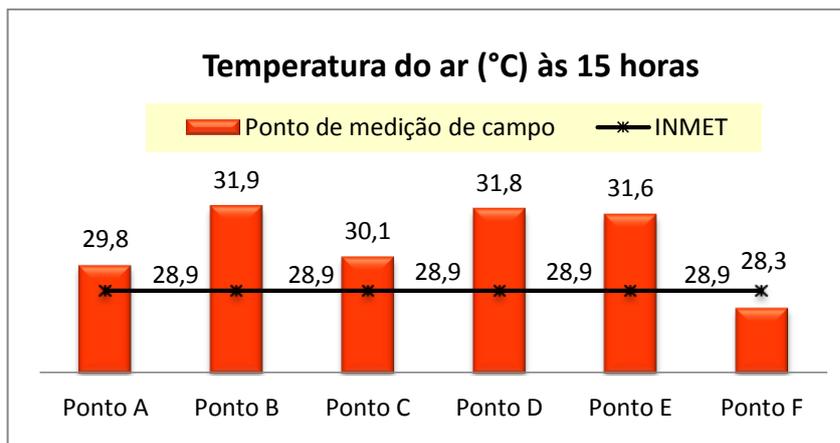


Ilustração 69: Perfil do comportamento da temperatura do ar para o dia 25/10/2010 às 15 horas

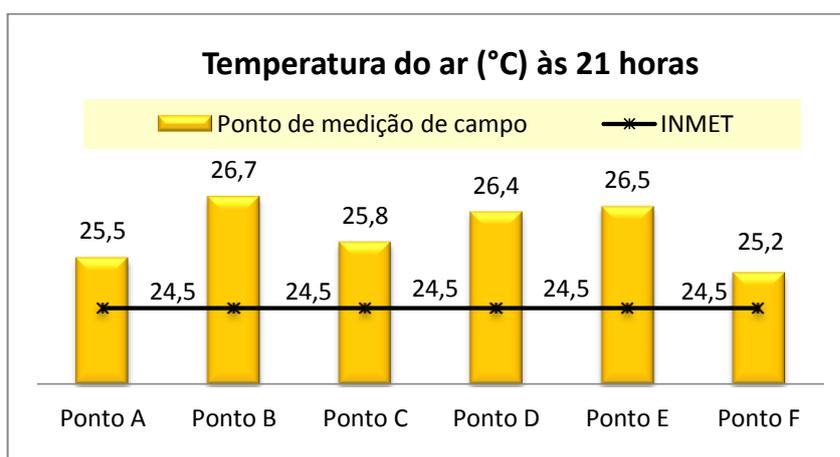


Ilustração 70: Perfil do comportamento da temperatura do ar para o dia 25/10/2010 às 21 horas

A maior magnitude térmica registrada nos pontos de medição durante o período das 9h, 15h e 21h foi de 5,4°C no ponto D, enquanto que a magnitude do INMET chegou a 3,1°C entre esses mesmos horários, e 7,7°C entre as 24h do dia.

Dentre os pontos analisados, apenas o ponto F apresentou valores de temperatura inferiores ao registrado pelo INMET, com uma diferença de até 0,6°C, especificamente no período da manhã e da tarde, além dos menores valores de temperatura entre os demais pontos de medição. Este ponto possuía sombra projetada pela copa das árvores em todos os horários do dia, além de estar isento de barreiras construtivas, margeando entre uma grande área encoberta por vegetação rasteira (campo de futebol gramado) e uma rua asfaltada. À noite o ponto F obteve temperatura maior que a temperatura registrada pelo INMET, com uma

diferença de  $0,7^{\circ}\text{C}$ , o que pode ser explicado devido ao fato da estação de referência estar localizada numa área mais aberta, podendo esfriar-se mais rapidamente que na área mais urbanizada.

Em todos os horários, os pontos B, D e E registraram os maiores valores de temperatura do ar e, conseqüentemente, as maiores diferenças térmicas em relação ao INMET, chegando a  $3^{\circ}\text{C}$ . As diferenças de temperatura entre estes pontos variam de  $0,1^{\circ}\text{C}$  a  $0,3^{\circ}\text{C}$ .

O ponto B, por estar totalmente exposto à radiação solar direta durante o período matutino e vespertino, apresentou os maiores valores de temperatura do ar e uma diferença de até  $3^{\circ}\text{C}$ , no período da tarde, em relação ao INMET. Isso é justificado devido ao armazenamento de calor provocado pelo tipo de material de revestimento da superfície (concreto pintado na cor verde escura), por possuir baixo albedo, contribuindo para o aumento da temperatura do ar.

Em seguida os pontos D e E, com configurações urbanas semelhantes, registraram diferenças de até  $2,9^{\circ}\text{C}$  em relação à estação de referência. Esses valores podem ser explicados pelas maiores densidades de áreas construídas nos locais destes pontos, pelo armazenamento de calor através das superfícies impermeabilizadas pelo material de baixo albedo (asfalto), além de estes pontos estarem desprotegidos da radiação solar durante o período da tarde, conforme mostrou o estudo da insolação para o período da tarde.

O ponto A, por sua vez, por situar-se no cruzamento de ruas asfaltadas, locado no centro de uma pequena área verde do loteamento, apresentou uma diferença de temperatura máxima de  $1,2^{\circ}\text{C}$  em relação ao INMET, no período da manhã. Neste ponto centrado entre quadras, a temperatura do ar elevada pode ser explicada devido à configuração das áreas construídas, obstruindo a passagem do vento Sudeste neste ponto, além da contribuição da

carga térmica do material de revestimento da malha urbana e da falta de arborização nesta pequena área verde.

O ponto C também registrou temperatura acima da temperatura da estação de referência, chegando a uma diferença de até 1,3°C à noite. Este ponto está situado no centro de uma rua sem barreiras construtivas, pois os lotes que a margeiam, na situação atual do loteamento, encontram-se desocupados. A radiação solar direta ao longo do dia, o solo exposto (solo nu) encontrados nos lotes desocupados além do revestimento em asfalto, podem contribuir para o armazenamento de calor neste ponto, devido ao baixo albedo, contribuindo para o aumento da temperatura do ar, retardando o resfriamento da temperatura à noite, onde foi registrada a maior diferença térmica.

#### ▪ Umidade relativa do ar

Os valores de umidade relativa do ar dos pontos e da estação de referência são apresentados nas ilustrações 71 a 73.

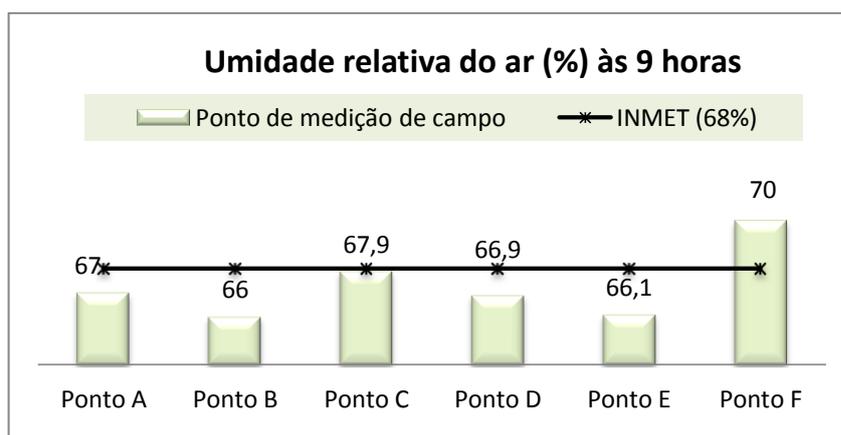


Ilustração 71: Perfil do comportamento da umidade do ar para o dia 25/10/2010 às 9 horas

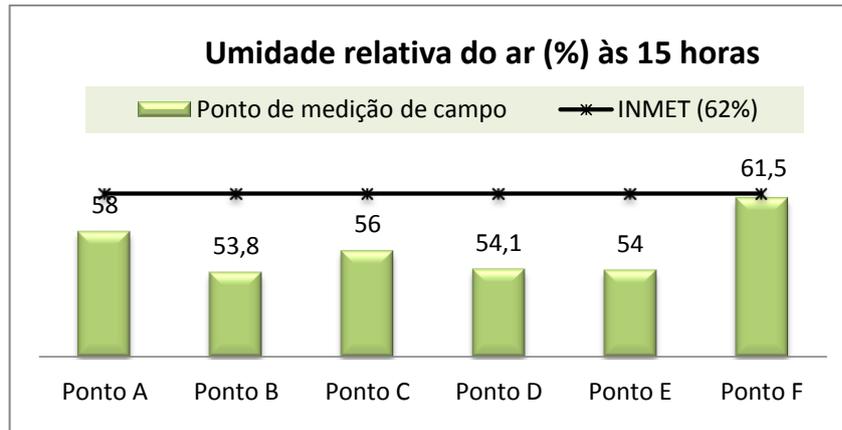


Ilustração 72: Perfil do comportamento da umidade do ar para o dia 25/10/2010 às 15 horas

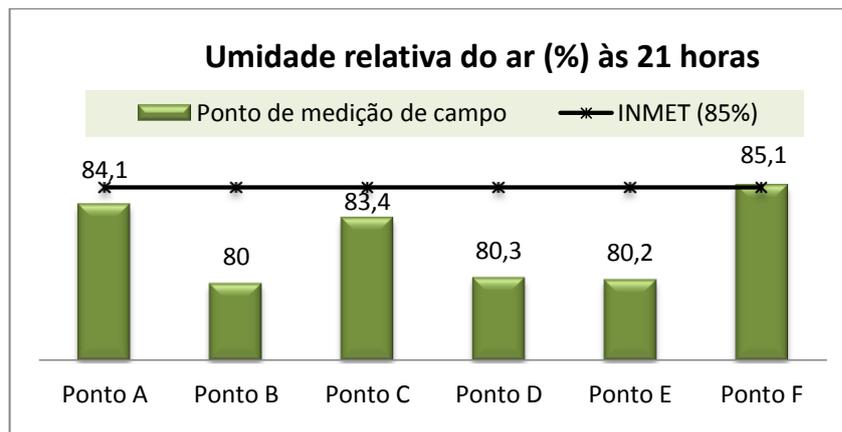


Ilustração 73: Perfil do comportamento da umidade do ar para o dia 25/10/2010 às 21 horas

Como era de se esperar, os valores de umidade relativa do ar registrados nos pontos de medição são inferiores aos valores registrados pela estação meteorológica de referência, com exceção do ponto F. Esse ponto está localizado sobre a copa de uma árvore de médio porte, margeado por uma grande extensão gramada que, durante todas as manhãs são aguadas por um caminhão-pipa do próprio loteamento, o que pode ter causado o aumento da umidade relativa do ar às 9 horas, superando o valor registrado no INMET em 2%. Neste mesmo horário, os demais pontos apresentam menores diferenças de taxas de umidade quando comparadas ao INMET, com variações de até 2%.

Os valores mais baixos de umidade relativa do ar são registrados no período da tarde, principalmente nos pontos B, D e E, nos quais observou-se também valores de temperatura mais altos.

A variação máxima da umidade relativa do ar em cada ponto do loteamento entre os horários observados foi de 27,4% no ponto E, e mínima de 23,6% no ponto F, enquanto que a variação do INMET foi de 23% para os horários analisados e de 34% ao longo das 24h do dia. Já a diferença máxima de umidade encontrada entre a medição de campo e o INMET chegou a 8,2% no ponto B às 15 horas, que é caracterizado como ponto de maior taxa de impermeabilização do solo e grande incidência de radiação solar.

#### ▪ Fluxo de vento

As ilustrações 74 a 76 apresentam os registros gráficos da velocidade do vento nos pontos de medição do loteamento e na estação meteorológica INMET. A análise da ventilação foi feita pela média da velocidade calculada para os dois valores registrados na medição de campo (mínima e máxima), nos seis pontos do loteamento. Para esta análise, registrou-se também a direção do vento com auxílio de uma bússola, conforme foi mostrado na metodologia.

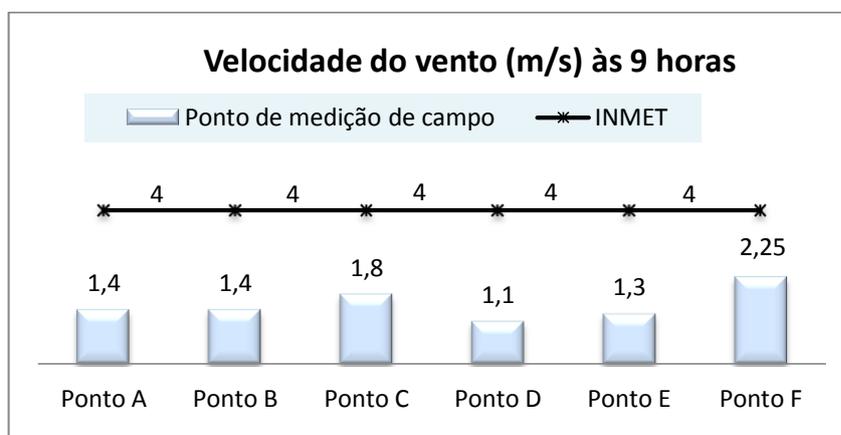


Ilustração 74: Perfil do comportamento da velocidade do vento para o dia 25/10/2010 às 9 horas

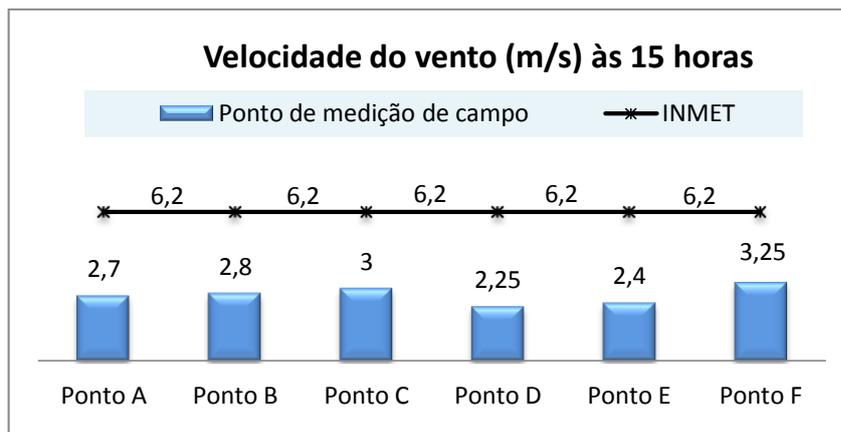


Ilustração 75: Perfil do comportamento da velocidade do vento para o dia 25/10/2010 às 15 horas

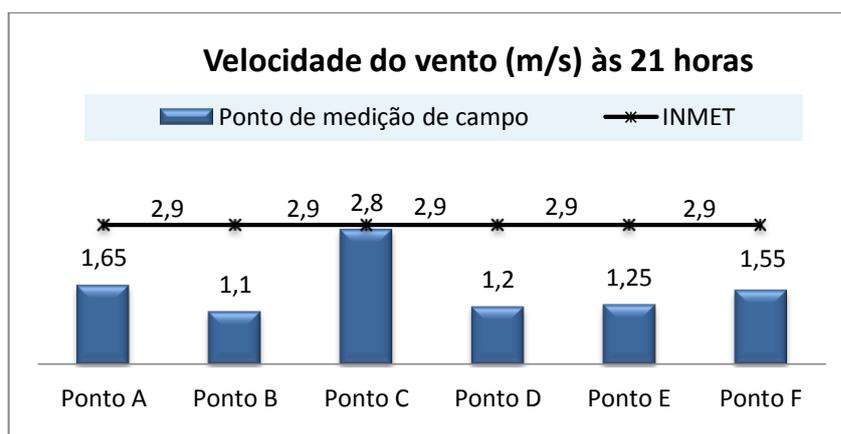


Ilustração 76: Perfil do comportamento da velocidade do vento para o dia 25/10/2010 às 21 horas

Verificou-se que a velocidade do vento em todos os horários e pontos de medição do loteamento foi menor que o valor registrado pela estação de referência, comprovando a influência da morfologia urbana do loteamento na velocidade do vento, pois, nos pontos localizados em áreas com maior densidade de construções, apresentaram as menores velocidades do ar; as áreas mais abertas são as que apresentam os maiores valores de velocidades.

No período da manhã e da tarde, a direção predominante observada foi no quadrante Nordeste-Leste; à noite, predominou a direção no quadrante Leste-Sudeste. Esses aspectos repercutem nos valores encontrados nos pontos de monitoramento às 9 e 15 horas, que

obedecem a uma mesma hierarquia e ordem de velocidades, e às 21 horas essa ordem é alterada devido à mudança de direção do vento registrado neste horário.

A partir da escala de classe da velocidade média de Beaufort (quadro 19), foi possível estabelecer também uma classificação para os valores médios observados, que variaram de condição calma a brisa fraca e moderada.

CLASSE	CONDIÇÃO	VALOR	EFEITOS
1	Calma	0,00 a 0,30 m/s	Nada se move com o vento; fumaça sobe verticalmente.
2	Aragem leve	0,31 a 0,80 m/s	Direção do vento dada pela fumaça.
3	Aragem fraca	0,81 a 1,50 m/s	Direção do vento dada pela fumaça; sente-se o vento no rosto.
4	Brisa leve	1,51 a 3,30 m/s	Sente-se o vento no rosto; folhas e pequenos arbustos movendo-se.
5	Brisa fraca a moderada	3,31 a 7,30 m/s	Pequenos galhos em movimento; poeira e papéis levantados.

Quadro 19: Classificação da velocidade média de acordo com Beaufort  
Fonte: SILVEIRA (2007)

No período da manhã e à tarde, às 9 e às 15 horas, os ventos registrados foram de direção Nordeste-Leste, situando-se numa faixa de velocidade de 1,1 m/s a 2,25 m/s pela manhã, sendo considerados de aragem fraca a brisa leve, e de 2,25 m/s a 3,25 m/s pela tarde classificados de brisa leve a fraca. As maiores diferenças em relação ao INMET foram de 2,9 m/s pela manhã no ponto D, e de 3,95 m/s pela tarde também no ponto D, por estar localizado mais próximo a edificações. A maior velocidade e, conseqüentemente, a menor diferença de velocidade em relação ao INMET foi encontrada no ponto F, por se localizar em uma área mais aberta e livre de obstáculos; já as menores velocidades, nos demais pontos, diminuindo conforme a configuração urbana encontrada. À tarde observaram-se valores bem mais altos de velocidade em todos os pontos quando comparados aos demais horários, sendo confirmado também pelos dados obtidos da estação de referência INMET (Anexo C).

À noite, observou-se os menores valores de velocidades situando-se na faixa de 1,1 m/s a 2,8 m/s, classificando-se de aragem fraca a brisa leve. Houve uma variação na

velocidade encontrada nos pontos em relação aos demais horários devido à direção registrada ser de Leste-Sudeste, sendo a maior velocidade encontrada no ponto C, por situar-se em local aberto e, devido a ainda desocupação de alguns lotes, favorecendo o aumento da velocidade do ar. No ponto C também constatou-se a menor diferença em relação aos dados do INMET, sendo de apenas 0,1 m/s. A maior diferença em relação ao INMET foi de 1,8 m/s no ponto B, por estar situado numa área circundada por edificações, “bloqueando” os fluxos dos ventos predominantes.

#### 4.2.2 Cenário atual: comparação dos dados simulados com os dados observados

Para a análise do cenário atual do loteamento, realizaram-se simulações com o programa ENVI-met, onde os dados registrados na pesquisa de campo foram destinados à avaliação de fidelidade dos dados de saída do programa ENVI-met, para a área em estudo. A ilustração 77 mostra a imagem tridimensional do cenário atual do loteamento San Nicolas.



Ilustração 77: Imagem tridimensional do cenário atual do loteamento San Nicolas

As simulações computacionais da área de estudo foram realizadas a partir de um fragmento selecionado do loteamento, respeitando-se as limitações do programa como, por exemplo, as diferenciações topográficas. A área selecionada abrangeu uma área plana e mais

adensada do loteamento, englobando os pontos A, B, C, D e E, monitorados na medição de campo. Apenas o ponto F foi excluído desta análise por estar fora do recorte selecionado.

Foram simulados no ENVI-met os seguintes parâmetros microclimáticos: temperatura (dado no programa em *pot temperature*<sup>26</sup>), direção e velocidade do vento, a uma altura de 1,50m do piso correspondendo ao comportamento das variáveis microclimáticas no nível do pedestre. Foram locados os pontos de medição da pesquisa de campo, necessária para o estudo comparativo com os resultados de saída do programa. Essa localização dos pontos com o endereço do *grid* específico (abscissa, ordenada) é importante porque o ENVI-met gera dados numéricos para cada parâmetro climatológico em cada célula do *grid*. O quadro 20 mostra o endereço dos *grids* para os pontos monitorados na pesquisa de campo.

PONTO	ENDEREÇO DO GRID (abscissa, ordenada)
A	49; 184
B	107; 43
C	21; 205
D	159; 61
E	149; 141

Quadro 20: Localização dos pontos de medição da pesquisa de campo no *grid* do programa ENVI-met

São apresentados, a seguir, os resultados dos parâmetros simulados, para o recorte do loteamento selecionado.

- **Temperatura do ar**

Para os resultados de temperatura do ar foram gerados 03 mapas com as manchas térmicas para os horários de 9h, 15h e 21h. A gradação de cores resultante, corresponde a gradação de temperaturas nas quais as cores mais quentes dos mapas representam as temperaturas mais altas, e as cores mais frias, as mais baixas. O programa determina uma

<sup>26</sup> “A temperatura potencial de uma parcela de ar é definida como a temperatura que a parcela teria se fosse expandida ou comprimida adiabaticamente de seu estado real de pressão e temperatura para uma pressão padrão (geralmente 1000mb)”.  
Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-6-3.html>, 2011. Acesso em: maio/2011

escala de temperatura para cada horário, por isso, é importante observar a legenda de graduações de temperaturas geradas para cada mapa. Vale ressaltar que os valores de temperaturas estão em Kelvin (K), sendo necessário subtrair desses valores 273, para se obter o valor em °C. A ilustração 78 corresponde à simulação da temperatura às 9 horas, para o cenário atual:

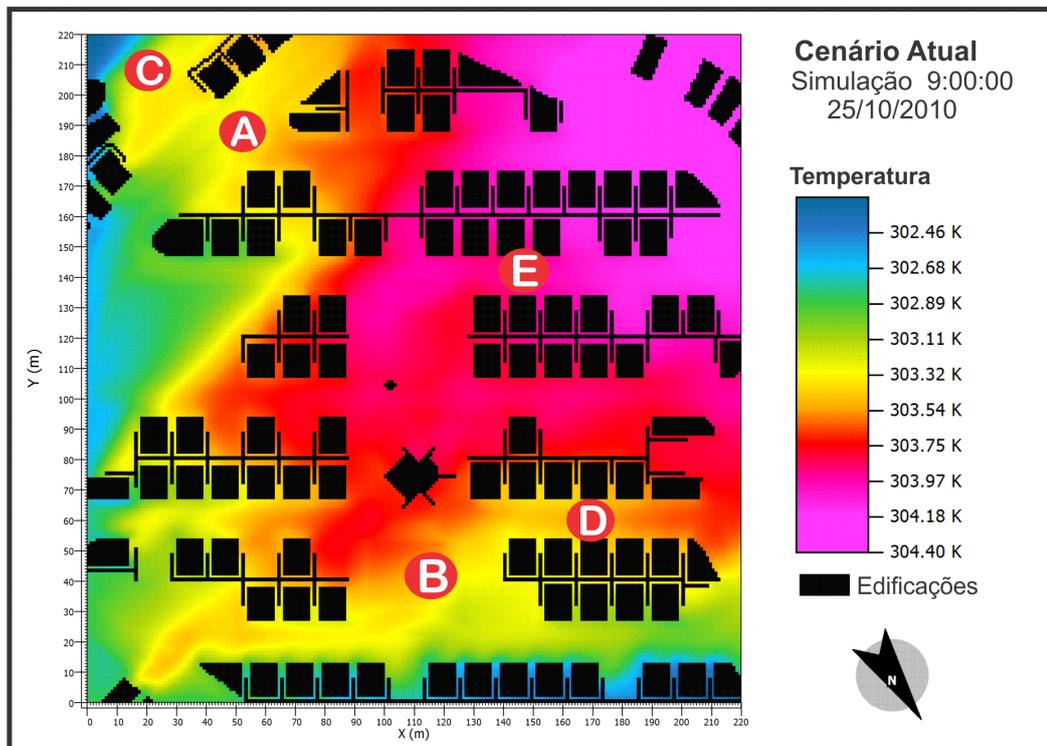


Ilustração 78: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 9 horas

Às 9 horas, as manchas térmicas variaram de 29,4°C a 31°C podendo-se observar uma variação em torno de 1,9°C, enquanto que na pesquisa de campo essa variação foi de 1,2°C entre os pontos. A tabela 02, apresenta as diferenças dos valores da temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional. A menor diferença foi de 0,6°C no ponto B, e a maior chegou a 1,8°C no ponto E.

Tabela 02: Comparação dos valores de temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para as 9 horas

Ponto	Pesquisa de campo	ENVI-met	Diferença Campo X ENVI-met
A	28,8°C	302,7 K = 29,7°C	0,9°C
B	29,8°C	303,4 K = 30,4°C	0,6°C
C	28,6°C	302,6 K = 29,6°C	1,0°C
D	29,7°C	303,6 K = 30,6°C	0,9°C
E	29,8°C	304,6 K = 31,6°C	1,8°C

No corte da ilustração 79, foi possível analisar o comportamento da temperatura do ar sobre as edificações no período da manhã, que apresentaram temperaturas maiores, como também se analisou o comportamento no nível do pedestre, que apresentam os menores valores. Ressalta-se que as diferenças entre as temperaturas da escala do pedestre e da camada sobre as edificações, chegam a atingir aproximadamente 1,6°C. Nas áreas mais adensadas nota-se maiores valores de temperatura do ar; conforme vão se afastando, esse valor é reduzido (linhas tracejadas na ilustração 79) o que pode evidenciar a influência da densidade das edificações no microclima urbano.

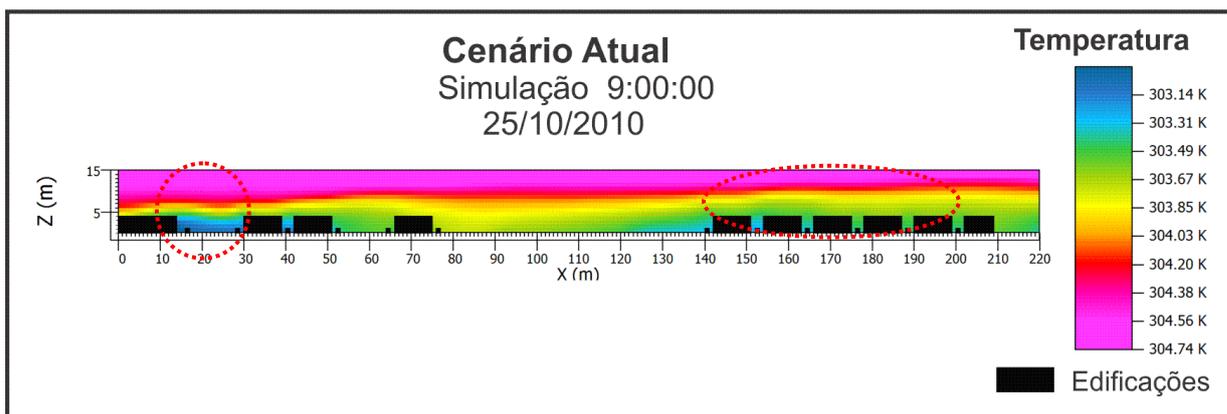


Ilustração 79: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 9 horas

A ilustração 80 apresenta o mapa de simulação da temperatura do ar, às 15 horas:

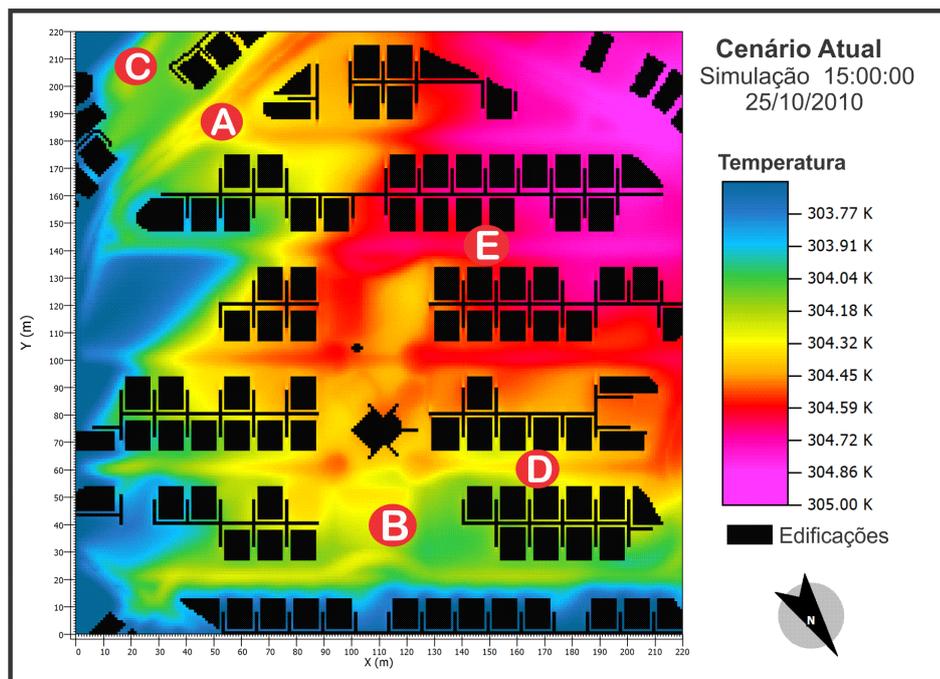


Ilustração 80: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 15 horas

Para às 15 horas, as manchas térmicas oscilaram de 30,7°C a 32°C podendo-se observar uma variação em torno de 1,2°C entre os pontos, enquanto que na pesquisa de campo essa variação foi de 2,1°C entre os mesmos. As diferenças dos valores da temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional são apresentadas na tabela 03, onde se observa menores diferenças no ponto E, e a maior chega a atingir 0,9°C no ponto C.

Tabela 03: Comparação dos valores de temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para as 15 horas

Ponto	Pesquisa de campo	ENVI-met	Diferença Campo X ENVI-met
A	29,8°C	304,1 K = 31,1°C	1,3°C
B	31,9°C	304,4 K = 31,4°C	0,5°C
C	30,1°C	304 K = 31°C	0,9°C
D	31,8°C	304,5 K = 31,5°C	0,3°C
E	31,6°C	304,8 K = 31,8°C	0,2°C

O corte simulado para as 15 horas (ilustração 81) segue a mesma discussão do corte analisado anteriormente (9 horas). Nesse horário, as temperaturas são mais altas, variando de 30,92°C a 31,91°C, aproximadamente 1°C.

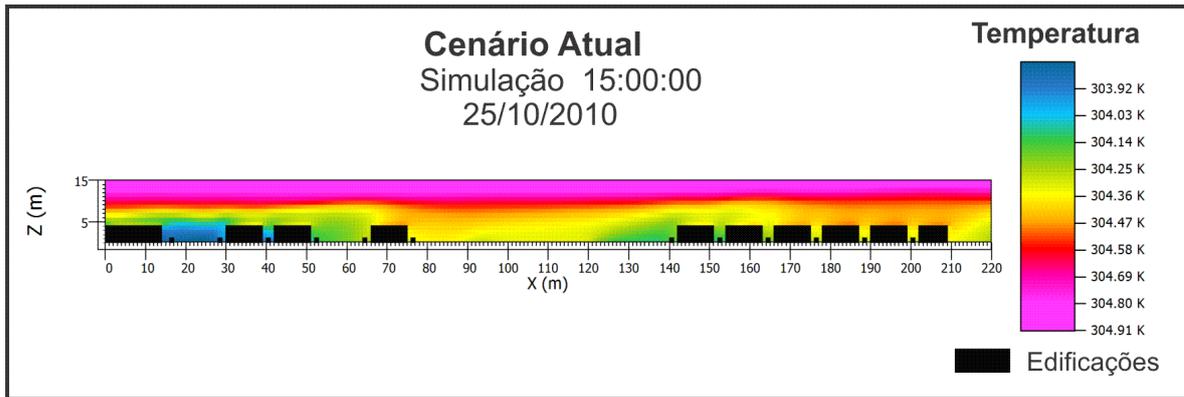


Ilustração 81: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 15 horas

A ilustração 82 corresponde à simulação da temperatura às 21 horas:

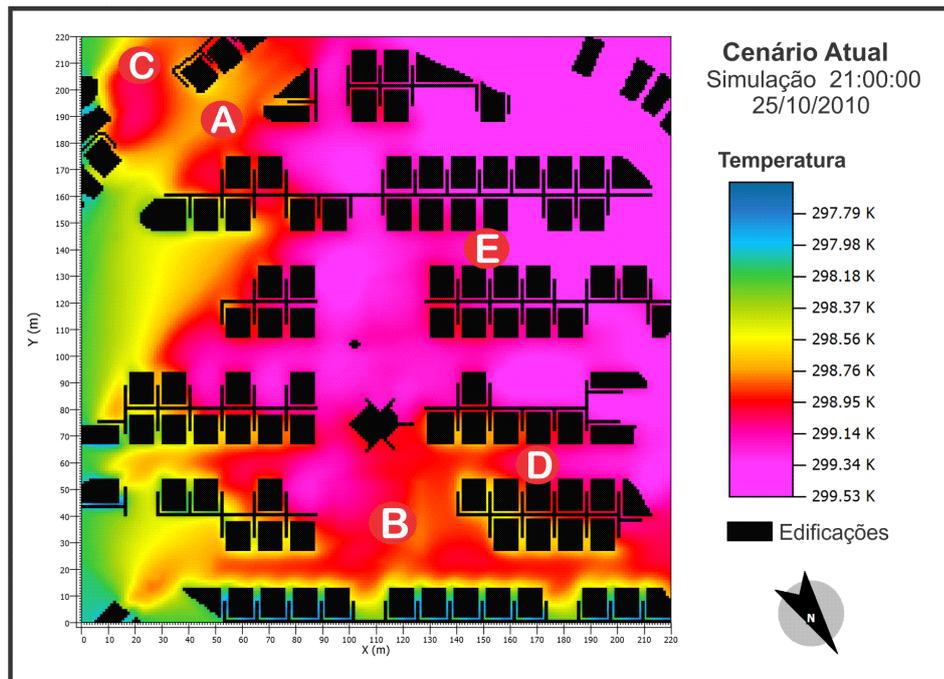


Ilustração 82: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 21 horas

À noite, às 21 horas, as manchas térmicas oscilaram de  $24,7^{\circ}\text{C}$  a  $26,5^{\circ}\text{C}$  com uma variação em torno de  $1,7^{\circ}\text{C}$ , enquanto que na pesquisa de campo essa variação térmica foi de  $1,2^{\circ}\text{C}$  entre os pontos. A tabela 04 mostra uma comparação entre as diferenças térmicas dos valores encontrados na pesquisa de campo e na simulação computacional. Pode-se observar que as temperaturas do ar, observada e simulada, chegaram a se igualar nos pontos C e E. A maior diferença foi de  $0,8^{\circ}\text{C}$  no ponto B.

Tabela 04: Comparação dos valores de temperatura do ar entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para as 21 horas

Ponto	Pesquisa de campo	ENVI-met	Diferença Campo X ENVI-met
A	25,5°C	298,7 K = 25,7°C	0,2°C
B	26,7°C	298,9 K = 25,9°C	0,8°C
C	25,8°C	298,8 K = 25,8°C	0°C
D	26,4°C	299,3 K = 26,3°C	0,1°C
E	26,5°C	299,5 K = 26,5 °C	0°C

No corte simulado para às 21 horas (ilustração 83), também se observa que as temperaturas sobre as edificações são maiores do que no nível do pedestre. A variação deste horário oscila entre 25,3°C a 27,29°C, representando 1,9°C entre os planos.

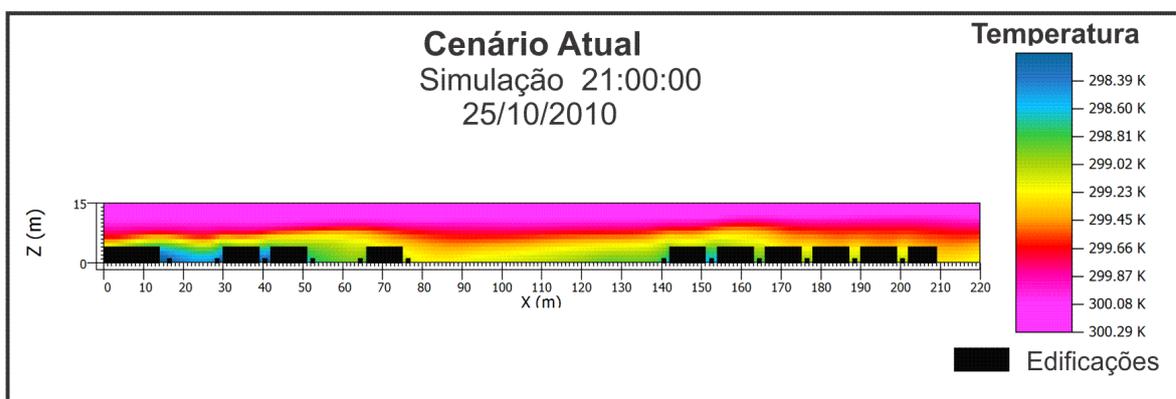


Ilustração 83: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário atual às 21 horas

Em todos os mapas de temperatura gerados, as manchas térmicas mostraram que as maiores temperaturas situam-se nas áreas mais adensadas, fator esse também observado nos valores registrados na pesquisa de campo. Os valores mais baixos de temperaturas foram encontrados nas áreas que são favorecidas pela ventilação Leste. Outro fator relevante também observado foi a relação com o tipo de material da superfície horizontal, demonstrando a sensibilidade do programa ao albedo e consequentemente, ocupação do solo. Isso pode ser claramente percebido na imagem 80, referente às 15 horas, que apresentou as maiores temperaturas, na qual as manchas térmicas chegam a demarcar o contorno das ruas asfaltadas (material de baixo albedo).

De fato, quanto ao comportamento das temperaturas, pode-se afirmar que o programa ENVI-met mostrou boa correspondência das condições térmicas do loteamento, apresentando uma diferença máxima de 1,8°C e mínima de 0,1°C, em relação às temperaturas observadas em campo.

#### ▪ Fluxo de vento

Foram simulados a velocidade e direção do vento, para o horário das 9h, 15h e 21h. O gradiente de cores segue a mesma lógica dos mapas gerados para a temperatura, onde as cores quentes representam áreas de maiores velocidades, e as mais frias, as áreas de menores velocidades. Os vetores apresentados nos mapas representam o percurso da direção do vento predominante, que foi configurado no ENVI-met. O vento representado foi o Leste (para o mês de outubro). Cada mapa possui uma legenda específica (a gradação das cores segue a gradação da velocidade registrada).

A ilustração 84, apresenta o mapa de direção e velocidade do vento para às 9 horas:

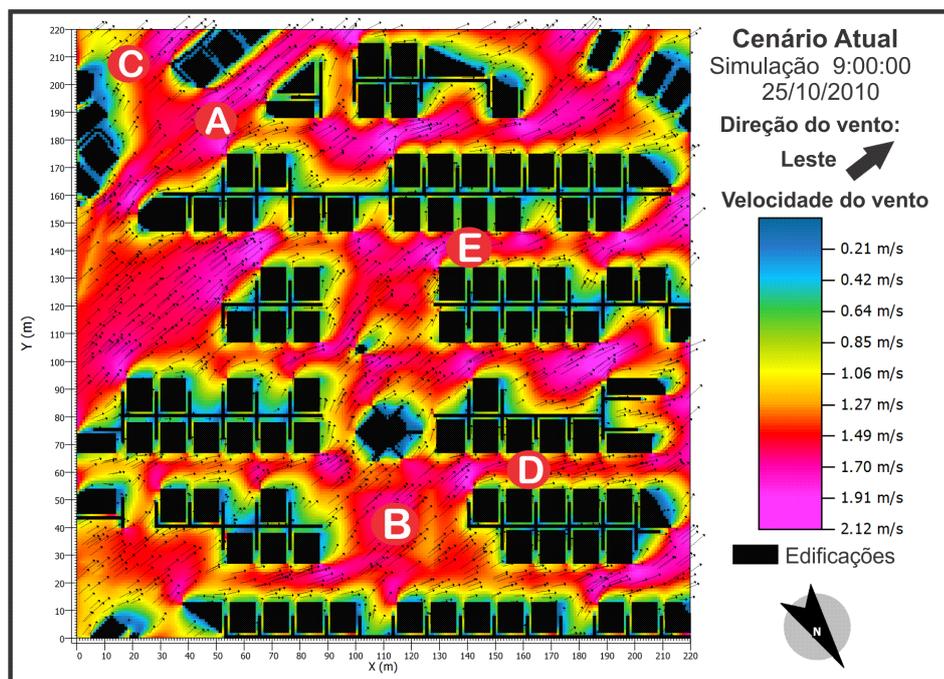


Ilustração 84: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário atual às 9 horas

Os resultados para às 9 horas demonstram velocidades de 0,21 m/s a 2,10m/s, sendo a brisa leve a que mais predomina. Nota-se que as velocidades entre as edificações são mais fracas, embora a maioria das quadras esteja a barlavento, o que pode ser justificado pela baixa rugosidade do loteamento. A tabela 05 apresenta as diferenciações entre os valores de velocidade do vento obtidos na pesquisa de campo e na simulação computacional com o ENVI-met.

Tabela 05: Comparação dos valores da velocidade do vento entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para às 9 horas

Ponto	Pesquisa de campo	ENVI-met	Diferença Campo X ENVI-met
A	1,4 m/s	1,6 m/s	0,2 m/s
B	1,4 m/s	1,45 m/s	0,05 m/s
C	1,8 m/s	1,4 m/s	0,4 m/s
D	1,1 m/s	1,3 m/s	0,2 m/s
E	1,3 m/s	1,5 m/s	0,2 m/s

O corte representado na ilustração 85 apresenta velocidades maiores acima do nível das edificações, e menores entre as mesmas, observando-se a interferência da geometria do tecido urbano no fluxo do vento. As velocidades variam de 0,61 m/s a 2,49 m/s entre os planos das edificações e do pedestre. É encontrado também o efeito de rugosidade isolada, de acordo com Oke (1987) e Lee et al (1980), em destaque tracejado na ilustração 85.

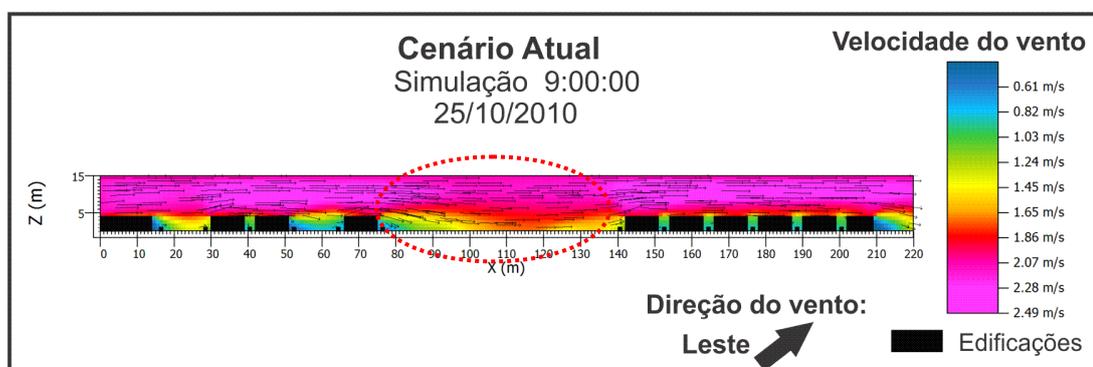


Ilustração 85: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário atual às 9 horas

A ilustração 86, que segue, mostra o mapa de direção e velocidade do vento para as 15 horas.

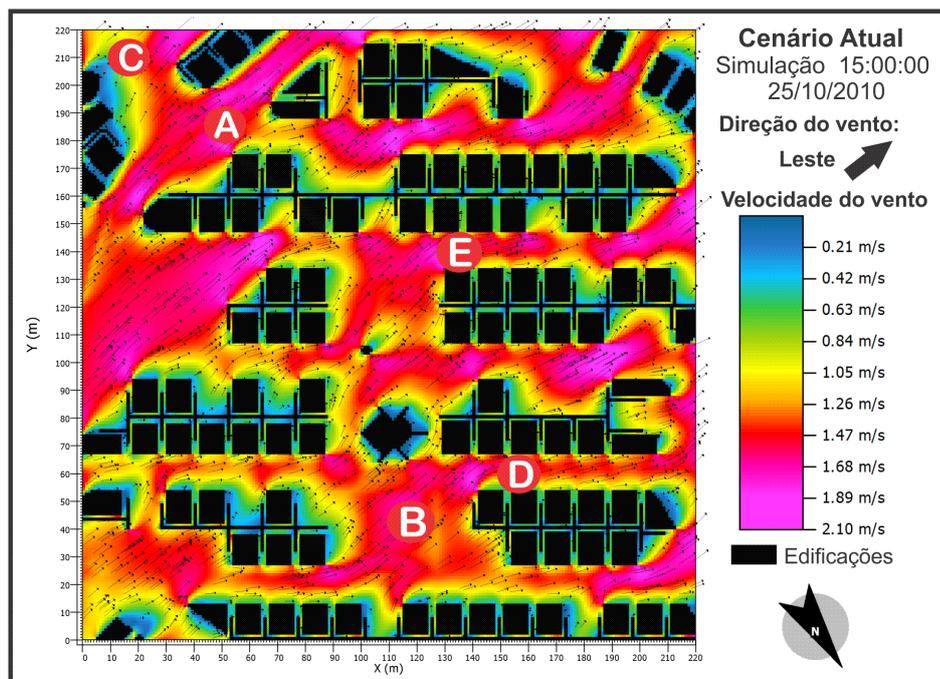


Ilustração 86: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário atual às 15 horas

Às 15 horas, as velocidades variam de 0,21 m/s a 2,10 m/s (brisa leve), situação muito próxima ao horário anterior. O comportamento dos vetores de velocidade também é semelhante ao horário da manhã. A tabela 06 mostra as diferenciações entre os valores de velocidade do vento obtidos na pesquisa de campo e na simulação computacional.

Tabela 06: Comparação dos valores da velocidade do vento entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para às 15 horas

Ponto	Pesquisa de campo	ENVI-met	Diferença Campo X ENVI-met
A	2,7 m/s	1,6 m/s	1,1 m/s
B	2,8 m/s	1,65 m/s	1,15 m/s
C	3 m/s	1,05 m/s	1,95 m/s
D	2,25 m/s	1,45 m/s	0,8 m/s
E	2,4 m/s	1,55 m/s	0,85 m/s

No corte simulado para às 15 horas (ilustração 87), a velocidade do vento é menor em relação ao horário anterior com velocidades médias variando de 0,36 a 2,55 m/s, sendo as maiores registradas sobre as edificações, não havendo a presença de vetores significativos entre as mesmas. O destaque na ilustração 87 ressalta o efeito da rugosidade isolada, encontrada no loteamento em questão.

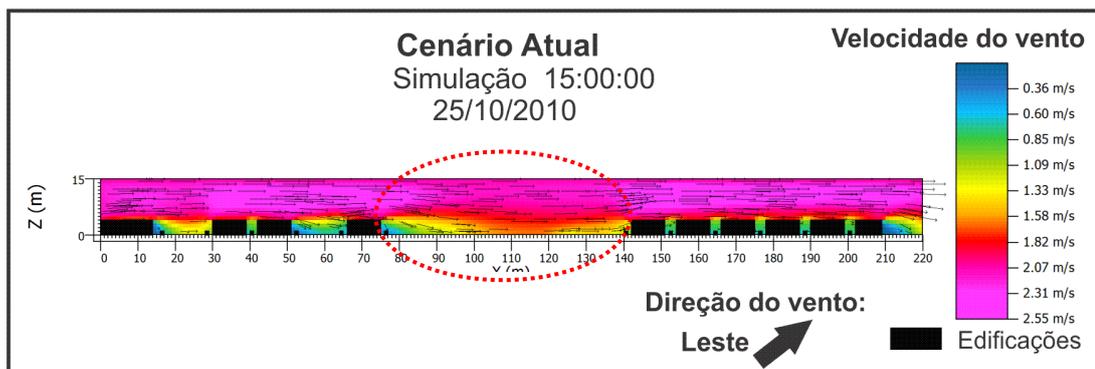


Ilustração 87: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário atual às 15 horas

A ilustração 88 apresenta o mapa de direção e velocidade do vento para as 21 horas:

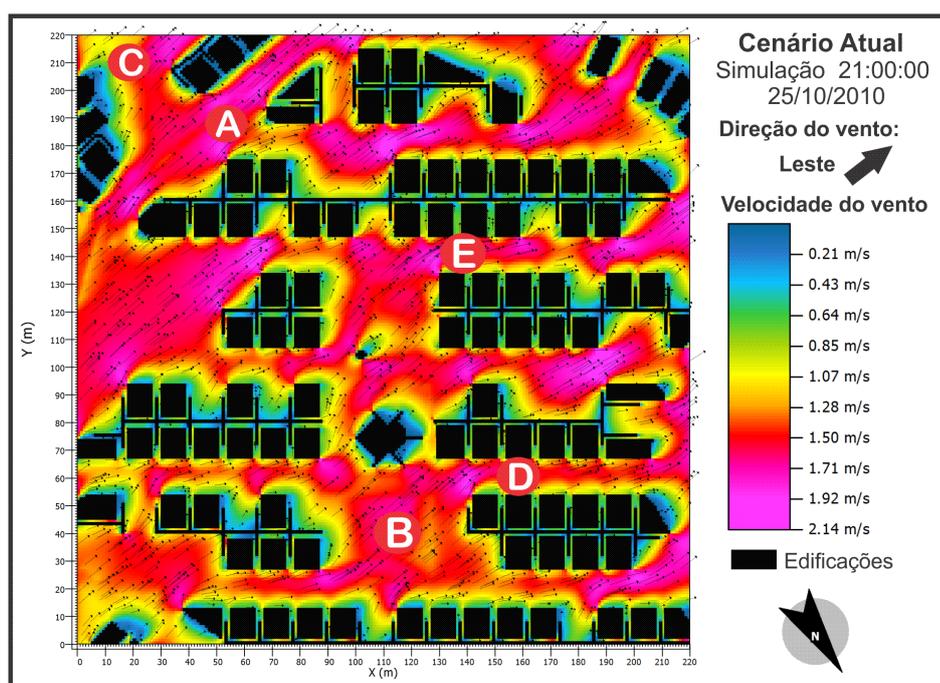


Ilustração 88: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário atual às 21 horas

À noite, verifica-se que as manchas de velocidade do vento comportaram-se de maneira semelhante ao período da manhã e da tarde. As velocidades médias registram de 0,21m/s a 2,14 m/s, apresentando pouca oscilação em relação aos demais horários. A tabela 07 compara os registros da velocidade média coletados na pesquisa de campo com os dados de saída para a velocidade do vento gerados a partir da simulação computacional, para às 21 horas.

Tabela 07: Comparação dos valores da velocidade do vento entre a pesquisa de campo e a simulação computacional para às 21 horas

Ponto	Pesquisa de campo	ENVI-met	Diferença Campo X ENVI-met
A	1,65 m/s	1,7 m/s	0,05 m/s
B	1,1 m/s	1,6 m/s	0,5 m/s
C	2,8 m/s	1,4 m/s	1,4 m/s
D	1,2 m/s	1,5 m/s	0,3 m/s
E	1,25 m/s	1,6 m/s	0,35 m/s

Observando-se o corte da ilustração 89, a situação também é bastante semelhante: em todos os horários a velocidade entre as edificações são quase nulas. As áreas acima das edificações obtiveram as maiores velocidades às 21 horas do que nas demais horas do dia.

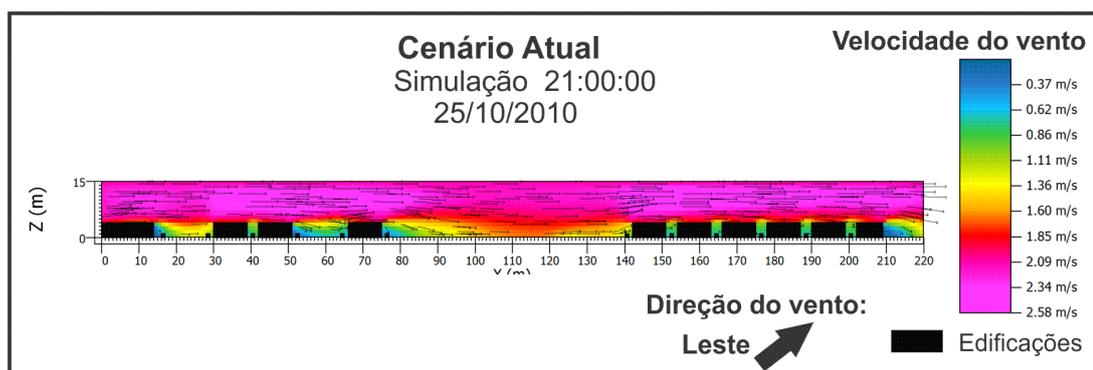


Ilustração 89: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário atual às 21 horas

Na análise do fluxo de vento das simulações computacionais, foi possível identificar que os valores da velocidade para os três horários selecionados são bastante similares. No contorno das quadras e das edificações, as manchas apresentam as menores velocidades, enquanto que poucas ruas canalizam o seu efeito e, conseqüentemente aumentando sua velocidade. O loteamento ainda se encontra com alguns lotes desocupados por todas as quadras, o que permite a penetração da ventilação, por entre as mesmas.

Os valores apurados nas simulações computacionais e na pesquisa de campo para a dinâmica do vento, apresentaram diferenças entre 0,05 a 1,95 m/s. Apesar desses desvios encontrados, é importante salientar que diversas condições climáticas podem interferir neste parâmetro, o que não é possível de ser previsto pelo programa ENVI-met.

### 4.2.3 Análise do comportamento das variáveis microclimáticas do loteamento para o cenário futuro

Um cenário futuro do loteamento foi simulado no programa ENVI-met, uma vez que a ferramenta respondeu de forma positiva e eficiente nos resultados para o cenário atual. Através desta ferramenta, foi possível identificar os efeitos térmicos e dinâmicos em função da morfologia urbana, além da sua urbanização. Os dados configurados para estas simulações correspondem aos mesmos dados utilizados para simulação do cenário atual, referente ao dia 25/10/2010. As edificações preenchidas atendem às prescrições exigidas para construção no loteamento (recuos, gabaritos, muros), podendo representar mais fielmente a realidade futura do loteamento, o que não confere a esta simulação um caráter hipotético, e sim, de previsão. A ilustração 90 mostra, tridimensionalmente, o cenário futuro do loteamento San Nicolas.



Ilustração 90: Imagem tridimensional ilustrativa do cenário futuro do loteamento San Nicolas

Os parâmetros simulados para o cenário futuro do loteamento correspondem aos mesmos parâmetros simulados para a situação atual: temperatura do ar, direção e velocidade do vento, que são mostrados a seguir.

#### ▪ Temperatura do ar

Foram elaborados 03 mapas com as manchas térmicas para as 9h, 15h e 21h, respectivamente. A ilustração 91 corresponde à simulação da temperatura para as 9 horas.

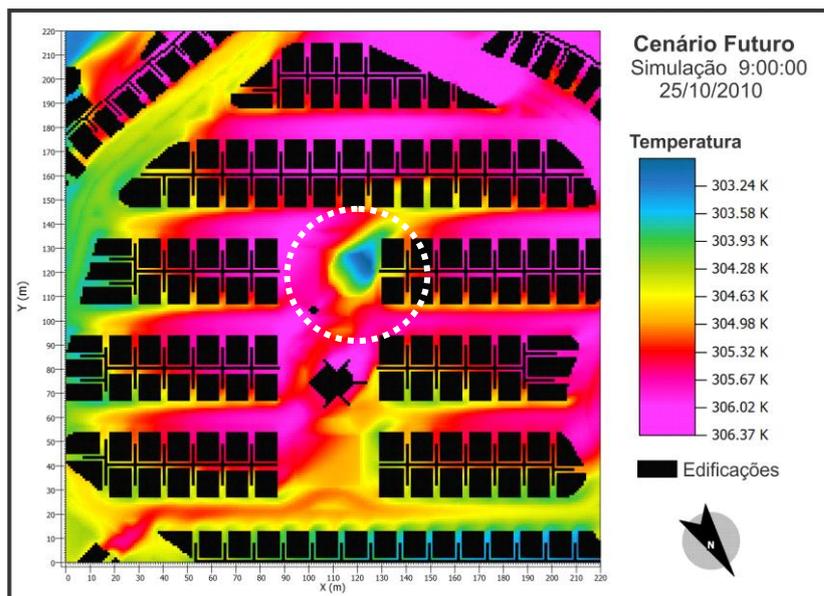


Ilustração 91: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 9 horas

No mapa gerado para o horário da manhã (ilustração 91), as temperaturas variaram em torno de  $3,1^{\circ}\text{C}$  ( $30,2^{\circ}\text{C}$  a  $33,3^{\circ}\text{C}$ ). Pode-se observar um maior incremento da temperatura do ar no contorno das quadras e edificações, com temperaturas chegando a atingir o valor máximo do horário ( $33,3^{\circ}\text{C}$ ). As áreas de temperaturas mais amenas encontram-se nas áreas favorecidas pelo vento Leste. Na área demarcada no mapa da ilustração 91, nota-se uma variação grande de temperaturas, que pode ter sido ocasionado por um erro de instabilidade numérica do programa ENVI-met, que pode ocorrer ao longo das simulações. É notória a sensibilidade do programa ao albedo, pois nas ruas asfaltadas é possível visualizar o contorno até mesmo dos canteiros que as compõe. A maioria das ruas asfaltadas apresentam temperaturas mais elevadas, com exceção da rua com manchada na cor verde (rua da lateral esquerda da ilustração 91). Sua amenização térmica pode ser justificada pela direção e canalização do vento Leste.

O corte da ilustração 92 apresenta as manchas térmicas no nível do pedestre e das edificações. Entre as edificações, as temperaturas são mais amenas, aumentando o valor conforme aumenta-se a camada limite. As temperaturas entre as camadas de nível oscilam entre  $31,2^{\circ}\text{C}$  a  $34,7^{\circ}\text{C}$ .

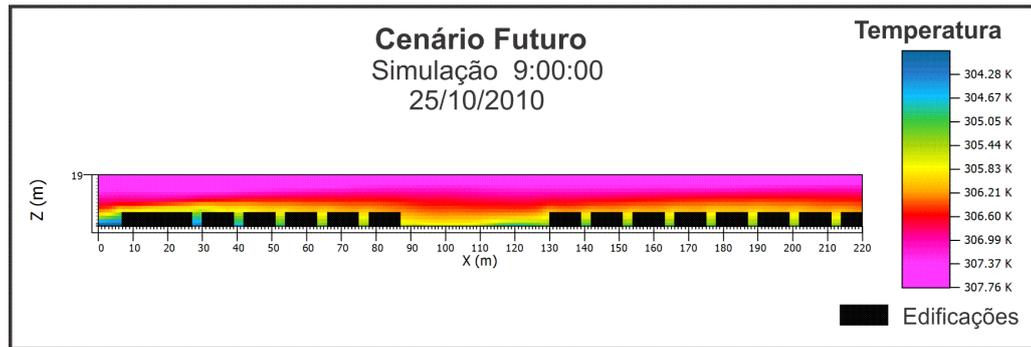


Ilustração 92: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 9 horas

Pela tarde, às 15 horas (ilustração 93), as temperaturas são mais altas. As diferenças térmicas entre as áreas chegam a atingir 2,8°C. A temperatura do ar máxima chega a 35,1°C e ocupa cerca de 70% da área simulada, partindo da orientação Oeste (superior direita da ilustração 92) em direção ao centro da imagem. De certa forma, apesar de o horário apresentar um incremento na temperatura do ar, é possível visualizar que a porção tomada pelo vento Leste, é a que apresenta temperatura mais baixa, em torno de 33,5°C.

O aumento nos valores de temperatura nas ruas pode estar associado ao tipo de material utilizado (de baixo albedo) como também pela inexistência de estratégias e dispositivos de proteção solar, ao longo do dia. O posicionamento das quadras podem contribuir para o aumento da temperatura do ar uma vez que funcionam como barreiras construtivas para a penetração do vento na porção oeste do loteamento.

A ilustração 93 a seguir mostra o mapa de simulação da temperatura para as 15 horas.

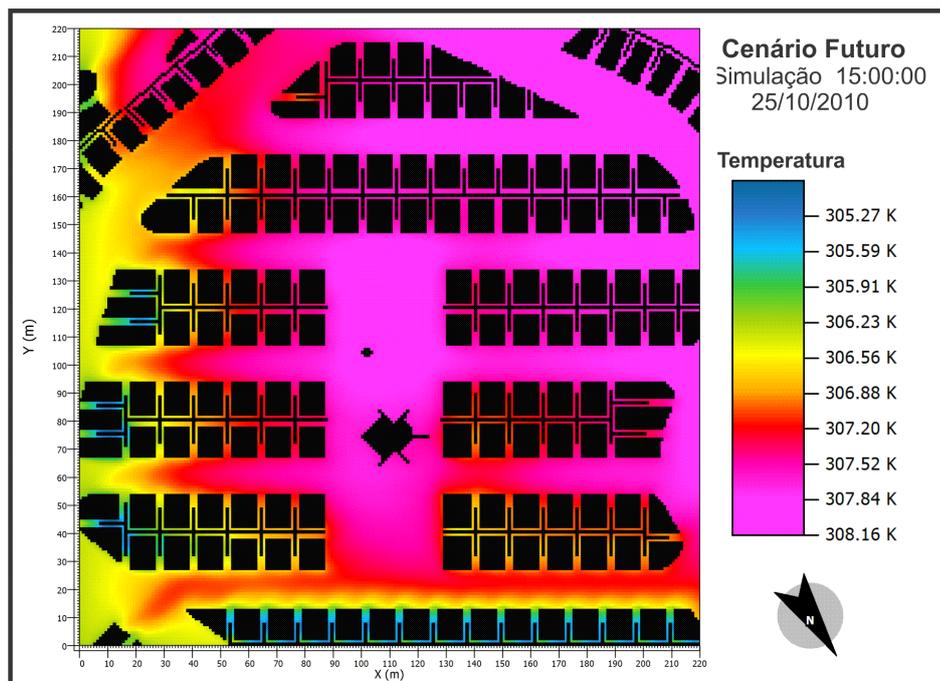


Ilustração 93: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 15 horas

A ilustração 94 apresenta, em corte, as manchas térmicas no nível do pedestre e das edificações. As temperaturas entre as camadas de nível do pedestre e das edificações oscilam entre 33,6°C a 35,9°C, que representa uma diferença de 2,3°C de um nível para outro.

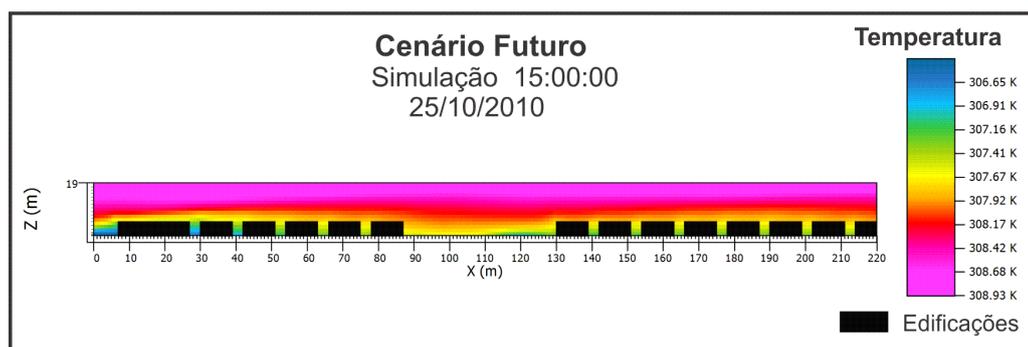


Ilustração 94: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 15 horas

À noite, as manchas térmicas se assemelham ao horário anterior, sendo importante observar a legenda de gradação de temperaturas (ilustração 95). As temperaturas nesse horário variaram de 30,5°C a 33,1°C, com diferença em torno de 2,6°C. A porção oeste como também a demarcação das ruas, são as áreas com temperaturas mais elevadas. A explicação para esse incremento térmico é justificado pelo uso de materiais de baixo albedo, pela falta de estratégias de proteção solar ao longo das ruas (principalmente pela falta de arborização),

como também pela barreira de vento que as quadras formam, chegando a manter um campo térmico praticamente constante nas áreas mais aprisionadas ao vento.

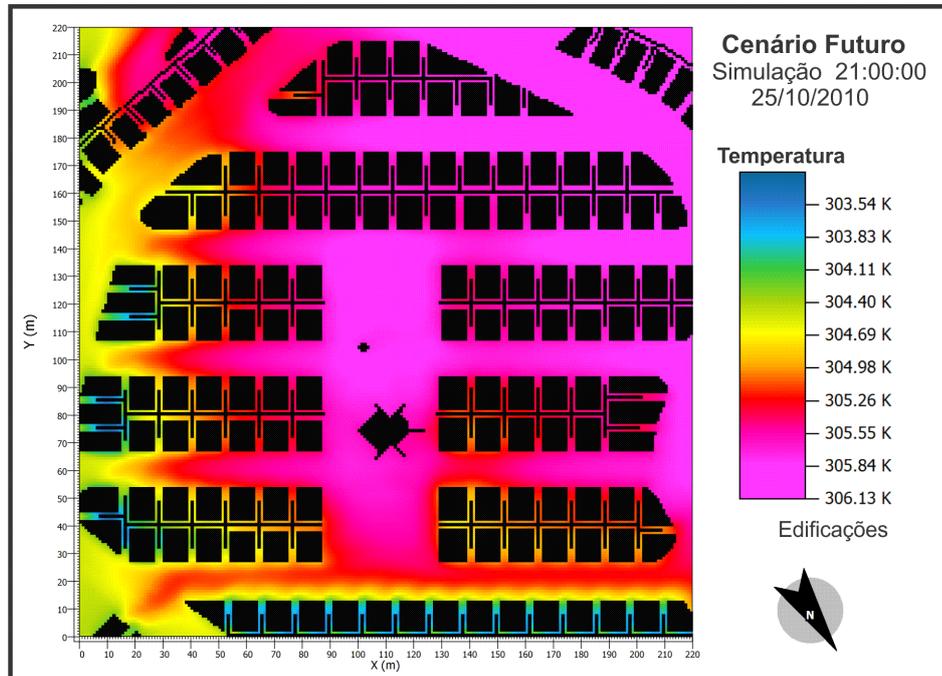


Ilustração 95: Mapa de simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 21 horas

No corte representado na ilustração 96, as temperaturas são mais elevadas na porção direita da ilustração (orientação oeste), e mais baixas na porção esquerda (orientação leste), principalmente entre as edificações. As variações térmicas encontradas são de 31,7°C a 33,8°C entre as camadas de nível do pedestre e das edificações.

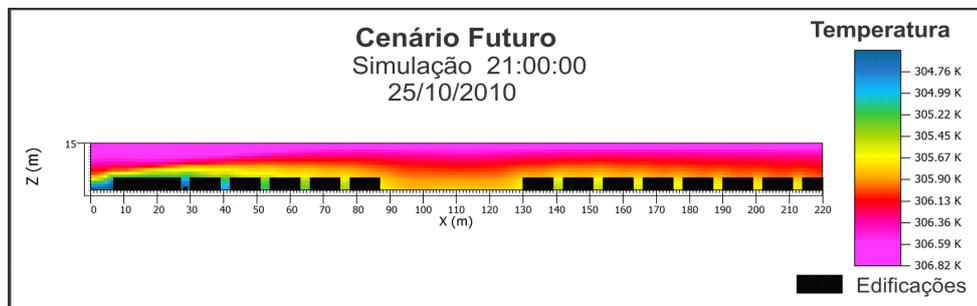


Ilustração 96: Corte da simulação da temperatura do ar para o cenário futuro às 21 horas

#### ▪ Fluxo de vento

Para simulação da velocidade e direção do vento, foram gerados mapas para as 9h, 15h e 21h. Os vetores apresentados nos mapas representam a trajetória da direção do vento

predominante, o Leste, já que a simulação do cenário futuro também representa o mesmo dia da simulação do cenário atual.

As ilustrações 97 a 99 apresentam os mapas da simulação do fluxo de vento para o cenário futuro do loteamento.

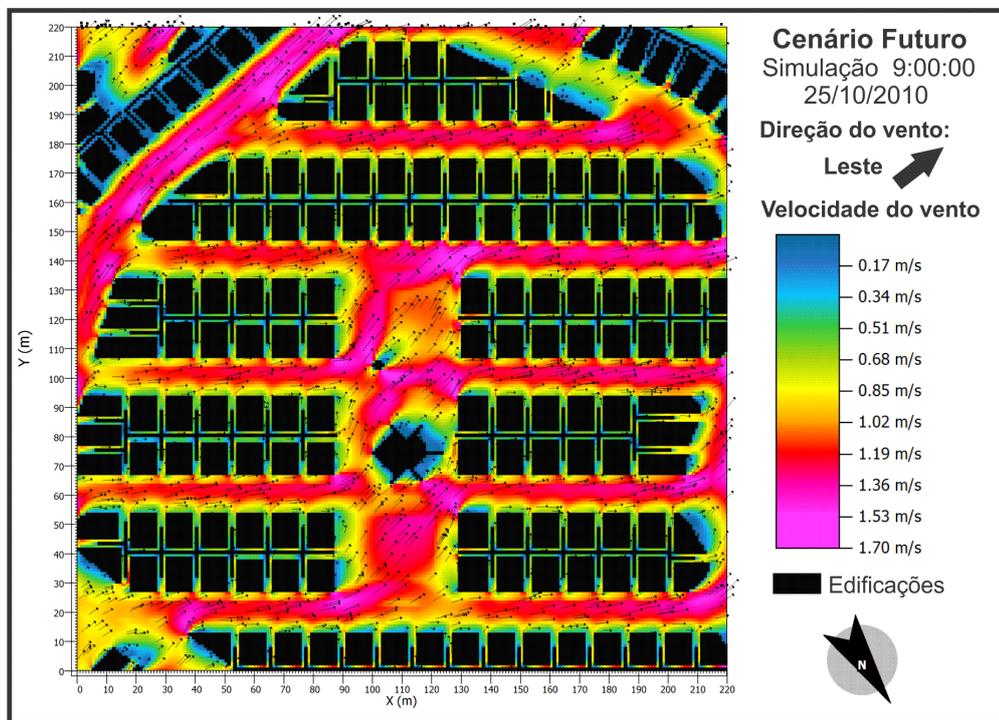


Ilustração 97: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 9 horas

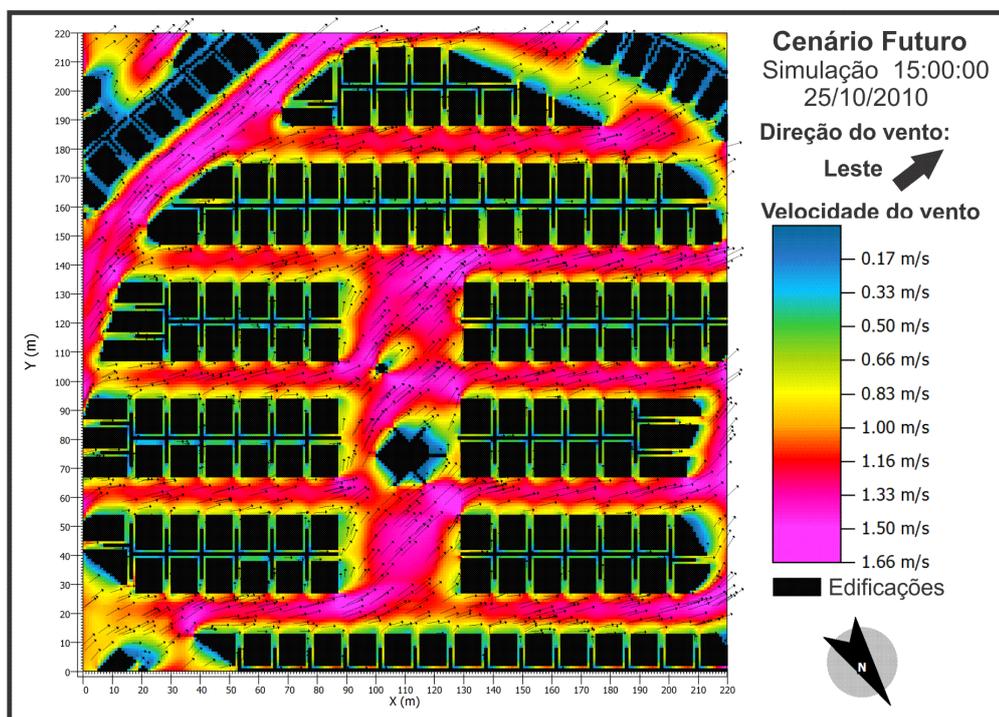


Ilustração 98: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 15 horas

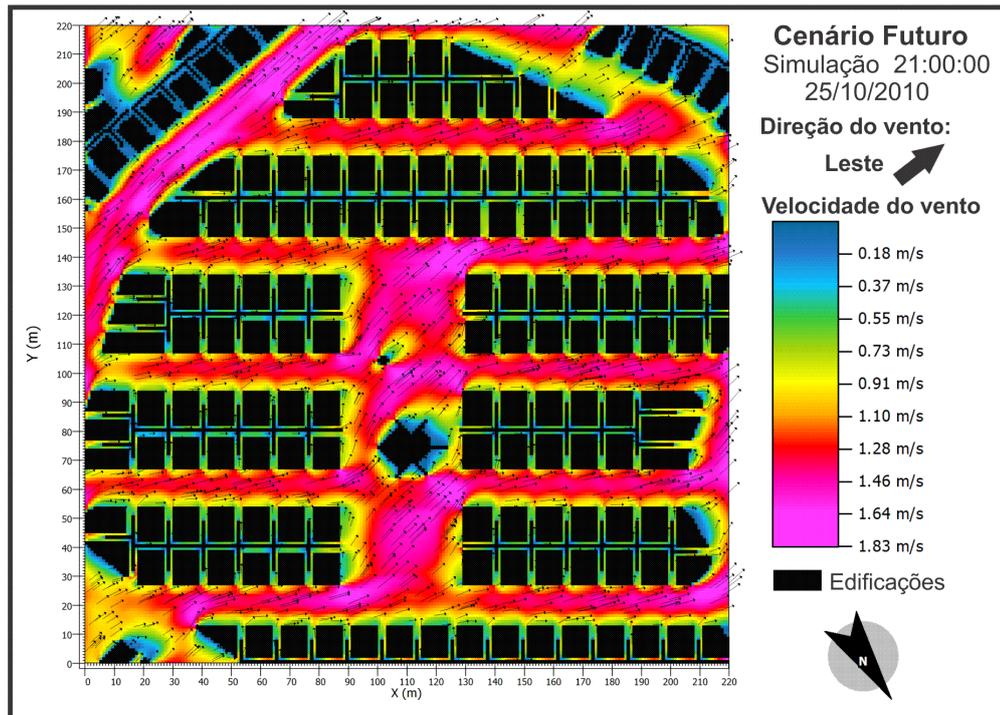


Ilustração 99: Mapa de simulação da direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 21 horas

Durante os três horários, a variação das manchas de desempenho dinâmico como também os valores de velocidade do vento foram relativamente pequenos. As ruas e os espaços destinados à área de lazer possuem maior fluxo e velocidade de vento com média de velocidade em torno de 1,2 m/s em todos os horários (ventos de aragem fraca). Os espaçamentos internos que configuram as edificações são as áreas que possuem menor fluxo de vento, sendo quase nula a presença de ventilação nesses espaços. É importante destacar que, para a ventilação, a orientação da via é um fator muito importante, pois, quando segue a direção dos ventos predominantes (associado também ao fator rugosidade), corrobora, em alguns casos, para um bom desempenho térmico do lugar, principalmente para as edificações.

Na simulação realizada para a velocidade do vento no horário da manhã, observou-se que a variação média é de 1,53 m/s, registrando valores mínimos de 0,17 m/s e máximos de 1,70 m/s. Às 15 horas, a simulação apresentou variação média é de 1,49 m/s, com velocidade mínima de 0,17 m/s e máxima de 1,66 m/s. Para a simulação realizada às 21 horas, a variação média da velocidade do vento é de 1,65 m/s, registrando velocidade mínima de 0,18 m/s e

máxima de 1,83 m/s. A simulação do período noturno apresenta velocidade do vento mais forte que para os outros períodos do dia (9 h e 15 h). As ilustrações 100 a 102 apresentam os cortes da simulação do fluxo de vento.

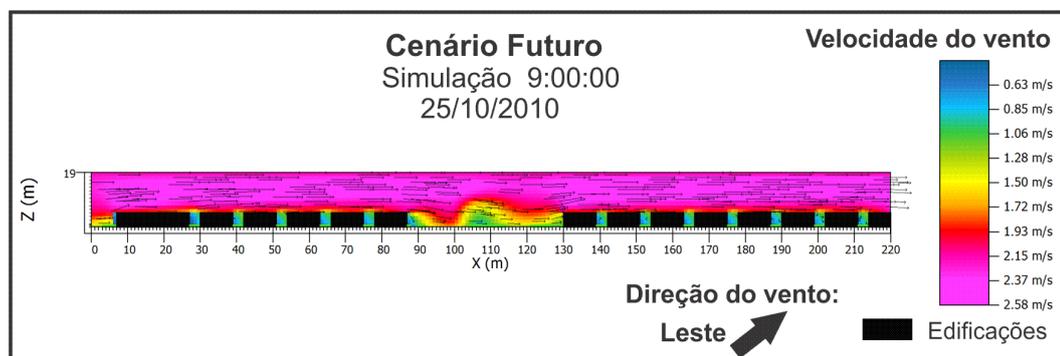


Ilustração 100: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 9 horas

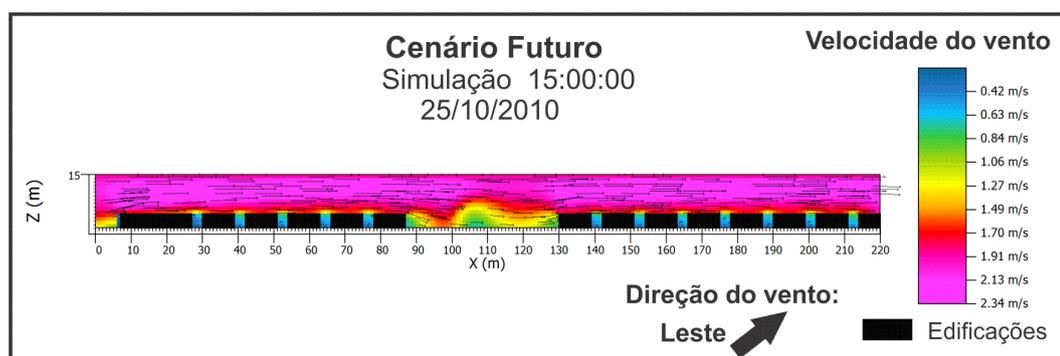


Ilustração 101: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 15 horas

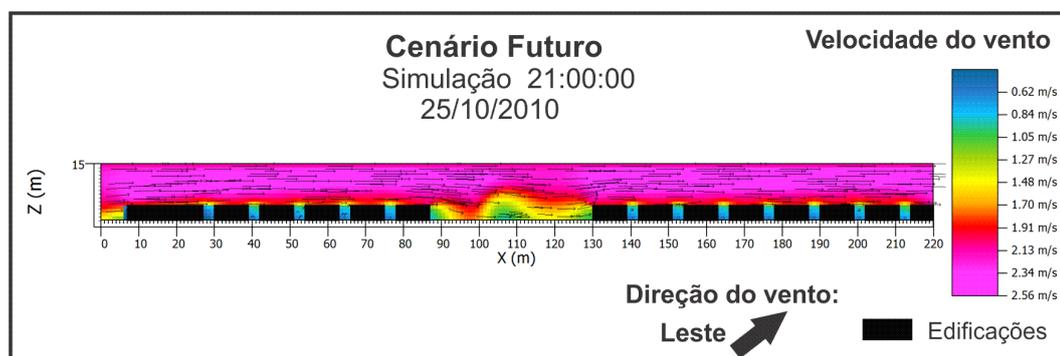


Ilustração 102: Corte da simulação para direção e velocidade do vento para o cenário futuro às 21 horas

Observa-se que para os três horários, os cortes apresentaram velocidades maiores acima do nível das edificações e menores entre as mesmas, o que pode ser confirmado pela ausência de vetores significativos entre elas, notando-se a interferência da geometria do tecido urbano no fluxo do vento. As velocidades variaram de 0,42 m/s chegando a 2,58 m/s entre os

planos das edificações e do pedestre. O efeito da rugosidade isolada, de acordo com Oke (1987) e Lee et al (1980), são destacados em todos os cortes. No corte simulado para as 15 horas, a velocidade do vento é menor em relação aos horários anteriores, registrando velocidades médias variando de 0,42 a 2,34 m/s.

Portanto, observa-se que em todos os horários a velocidade do vento entre as edificações é comprometida. As áreas acima das edificações obtiveram as maiores velocidades às 9 horas do que nas demais horas do dia.

#### 4.2.4 Análise comparativa entre o cenário atual e o cenário futuro do loteamento estudado

As tabelas 08 a 10 apresentam um resumo comparativo dos resultados obtidos nas simulações computacionais da temperatura do ar e da velocidade do vento, por horário, para os dois cenários analisados:

Tabela 08: Tabela comparativa dos resultados da temperatura do ar e da velocidade do vento nas simulações com o ENVI-met para as 9 horas

Variável microclimática	Cenário atual	Cenário futuro	Diferença
Temp. máx externa	31,4 °C	33,3 °C	+ 1,9 °C
Temp. mín. externa	29,4 °C	30,2 °C	+ 0,8 °C
Velocidade máx. do vento	2,12 m/s	1,70 m/s	- 0,42 m/s
Velocidade mín. do vento	0,21m/s	0,17 m/s	- 0,04 m/s

Tabela 09: Tabela comparativa dos resultados da temperatura do ar e da velocidade do vento nas simulações com o ENVI-met para as 15 horas

Variável microclimática	Cenário atual	Cenário futuro	Diferença
Temp. máx externa	32 °C	35,1 °C	+ 3,1 °C
Temp. mín. externa	30,7 °C	32,2 °C	+ 1,5 °C
Velocidade máx. do vento	2,10 m/s	1,66 m/s	- 0,44 m/s
Velocidade mín. do vento	0,21m/s	0,17 m/s	- 0,04 m/s

Tabela 10: Tabela comparativa dos resultados da temperatura do ar e da velocidade do vento nas simulações com o ENVI-met para as 21 horas

Variável microclimática	Cenário atual	Cenário futuro	Diferença
Temp. máx externa	26,5 °C	33,1 °C	+ 6,6 °C
Temp. mín. externa	24,7 °C	30,5 °C	+ 5,8 °C
Velocidade máx. do vento	2,14 m/s	1,83 m/s	- 0,31 m/s
Velocidade mín. do vento	0,21m/s	0,18 m/s	- 0,03 m/s

As orientações descritas em Higuera (2006) nortearam as principais características da forma urbana do loteamento estudado, inter-relacionando-as com os resultados dos parâmetros microclimáticos simulados. Foram identificadas a partir da análise qualitativa e quantitativa desta dissertação, algumas considerações relacionadas com a influência da configuração urbana na qualidade climática das áreas externas do loteamento. Dentre as considerações, destacam-se:

- *Quanto à orientação dos parcelamentos, edificações e das áreas livres:* quanto à orientação solar, observou-se que devido ao formato irregular do loteamento, as quadras e lotes foram dispostas em sua maioria no sentido nordeste-sudoeste e leste-oeste, e muito poucas (cerca de 12% apenas) apresentam uma orientação desejável para o clima da região, que é representada pela orientação norte-sul.

O baixo gabarito das edificações, associado ao caráter expansivo do traçado urbano desse empreendimento, torna as edificações em geral mais expostas à insolação principalmente no horário de meio dia. Esse fator, quando associado ao tipo de material de revestimento do solo, contribui para o aumento da temperatura do ar no nível do pedestre devido à radiação solar incidente nas superfícies e aos valores de emissividade dos materiais.

No cenário atual do loteamento há uma maior exposição solar das edificações devido aos lotes ainda desocupados, não permitindo o sombreamento provocado lateralmente por edificações vizinhas. As manchas térmicas geradas nas simulações computacionais detectaram maiores temperaturas nas áreas mais adensadas (no cenário atual) e mais baixas nas áreas mais favorecidas ao vento predominante, a leste. No cenário futuro essa relação torna-se mais evidente, pois, as quadras com ocupação máxima, devido à sua orientação oblíqua à direção do vento dominante, funcionaram como barreira à ventilação, desviando sua rota e enfraquecendo sua velocidade,

fazendo com que as áreas posteriores se tornassem mais quentes (que correspondem também à porção oeste), o que também justifica os maiores valores de temperatura do ar à tarde.

Os cortes apresentados para o cenário atual mostram que nas áreas entre os recuos laterais das edificações apresentaram temperaturas menores; no cenário futuro observou-se um incremento da temperatura do ar entre estas, em relação ao cenário anterior. Quando o espaço urbano se torna mais expansivo, as temperaturas tendem a aumentar, como por exemplo, na área das quadras poliesportivas, que registram altos valores de temperatura, além de orientadas com os lados extremos na direção da trajetória solar.

As áreas verdes, livres e de lazer encontram-se, em sua maioria, margeando as fronteiras do loteamento, sendo a área de equipamentos comunitários centralizada. Esses espaços encontram-se totalmente expostos à insolação em todos os horários do dia uma vez que não possuem dispositivos de proteção solar, nem mesmo arborização adequada que garanta o sombreamento desses espaços para que melhor possam ser usufruídos pela população.

No geral, o escoamento da ventilação fluiu com melhor desempenho no cenário atual, devido à penetração das brisas por entre os lotes ainda desocupados. Já no cenário futuro, a orientação das quadras na maioria das situações desvia o curso do vento, fazendo com que ele reduza velocidade. Como a relação da geometria urbana (W/H) é maior no loteamento, observou-se a ocorrência do efeito deslizante (SANTAMOURIS, 2001), fazendo com que o vento não penetre por entre as edificações, praticamente inexistente, situação que se agrava mais no cenário futuro, com velocidades bastante reduzidas quando comparadas ao cenário anterior.

- *Quanto à orientação do traçado viário e dos espaços de passagem do pedestre:* observou-se que a maioria destas ruas estão orientadas a noroeste-sudeste (38%) e a norte-sul (34%), em oposição à orientação sugerida por Givoni (1998), ruas com orientações preferíveis a leste-oeste (ideais para o clima quente-úmido).

Devido à geometria dos cânions (relação W/H) do loteamento conferir um caráter expansivo de espaço de baixa densidade, além da falta de alternativas de proteção solar, o sombreamento não é otimizado nos horários mais críticos. O estudo da insolação reflete situações de desconforto térmico principalmente nos espaços de passagens do pedestre, caracterizado por muitas horas de exposição aos raios solares, pois estes atingem a superfície sendo parte absorvida e parte refletida, consoante as propriedades térmicas dos materiais nos quais incide, com um conseqüente aumento da temperatura do ar.

Quanto à circulação do ar, o efeito canalizado é observado somente em 14% das ruas, orientadas no sentido do vento dominante, onde foram registradas os maiores valores de velocidade do vento. No entanto, a trajetória dos vetores ilustrados nas simulações computacionais para o cenário futuro demonstra que a maioria das ruas possui fluxos inclinados (oblíquos) ao eixo dos cânions, como também oblíquos à maioria das quadras ortogonais, desviando a trajetória dos vetores, sendo amenizadas as velocidades. Devido ao adensamento das quadras, o cenário futuro apresenta redução nos valores de velocidade do vento.

- *Quanto aos materiais de revestimentos das superfícies:*

Observou-se que a ocupação máxima do loteamento exerce grande influência no aumento do número de materiais de superfícies de baixo albedo e alta emissividade,

aumentando, conseqüentemente, o número de áreas impermeáveis como pode ser observado no estudo comparativo da tabela 11.

Tabela 11: Tabela comparativa dos resultados dos parâmetros relacionados ao uso e ocupação do solo para o cenário atual e futuro do loteamento

Parâmetro	Cenário atual	Cenário futuro	Diferença
Taxa de ocupação (%)	53%	53%	-
Área permeável (%)	45%	28%	diminuiu 17%
Área impermeável (%)	55%	72%	aumentou 17%
Densidade construída (%)	55%	100%	aumentou 45%
Materiais de revestimento das superfícies horizontais	Asfalto 17%	Asfalto 17%	-
	Cimentado/Concreto 7%	Cimentado/Concreto 7%	-
	Áreas gramadas 13%	Áreas gramadas 13%	-
	Solo nu 27%	Solo nu 0%	
	Edificações 21%	Edificações 38%	aumentou em 17%
	Solo semi-coberto ou semi-permeável 15%	Solo semi-coberto ou semi-permeável 25%	aumentou em 10%

As simulações computacionais revelaram, portanto, maiores valores de temperaturas do ar nas áreas de materiais urbanos de baixo albedo, como é o caso do asfalto. Essa situação é mais clara no cenário futuro do loteamento, que apresentou mudanças de temperatura máxima em até 6,6°C (quando comparadas ao cenário atual) às 21 horas, comprovando o que versa a literatura técnica na área sobre um maior aquecimento das estruturas urbanas, especialmente à noite.

## CONCLUSÕES

---

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade microclimática em uma área residencial de baixa densidade, representado por um loteamento horizontal fechado na cidade de Maceió-AL, buscando identificar a influência da configuração urbana no microclima identificado nesses espaços, e previsão em uma situação futura de ocupação.

A análise qualitativa permitiu avaliar o loteamento quanto aos atributos bioclimatizantes da forma urbana e análise das sombras projetadas da insolação no arranjo construtivo. A análise quantitativa possibilitou a investigação dos efeitos térmicos e dinâmicos do loteamento, permitindo uma comparação da situação de ocupação atual com um cenário de ocupação máxima (cenário futuro).

Os resultados desta pesquisa apontaram indícios da influência da configuração urbana na qualidade climática do loteamento, onde observou-se mudanças nas características térmicas e dinâmicas para as duas situações analisadas. Para o caso estudado, constatou-se que:

- O loteamento apresenta alta taxa de impermeabilização do solo, caracterizado por materiais de baixo albedo e emitância, como o asfalto e o concreto, influenciando, sobretudo no aumento de temperatura e na redução da umidade relativa do ar nas áreas externas e de convívio;
- Devido à baixa densidade e à geometria do cânion (de caráter expansivo) do loteamento, o traçado viário, os espaços de passagem do pedestre, as praças e as áreas de lazer encontram-se expostas à radiação solar direta. Portanto, há necessidade de artifícios para promoção do sombreamento desses espaços, como a arborização, por exemplo, contribuindo assim para redução dos ganhos de calor pela estrutura urbana;

- O cenário atual, que possui aproximadamente 50% dos lotes desocupados, apresentou um melhor desempenho no padrão de ventilação natural (quando comparado ao cenário futuro) devido à configuração urbana (e o adensamento) existente ser mais permeável aos ventos Leste e Sudeste (apenas o vento Leste foi simulado no ENVI-met). Em um cenário futuro, essa barreira torna-se um obstáculo para a ventilação natural, conforme foi observado nas análises, bem como alterações no regime de direção e velocidade dos ventos no interior do loteamento. No entanto, a configuração de quadras e ruas, quando não orientadas adequadamente, pode interferir decisivamente na dinâmica de ventos do loteamento. Portanto, salienta-se que a conformação espacial adotada no loteamento em questão, oblíqua à passagem do vento Leste e, perpendicular em algumas quadras, ao vento Sudeste, poderia apresentar melhor desempenho térmico.

As simulações computacionais com o uso da ferramenta ENVI-met responderam bem às análises geradas, mostrando resultados indicativos do comportamento atual e futuro da área de estudo.

Sabe-se que uma das vantagens no uso de ferramentas computacionais para análises térmicas urbanas consiste na possibilidade de comparação de diversas soluções de projeto. Por outro lado, requer conhecimento prévio das singularidades do programa, especialmente quanto à sensibilidade aos diversos parâmetros de entrada. No caso específico do ENVI-met, os pré-testes e refinamento da ferramenta frente aos dados de campo foram fundamentais para a confiabilidade das respostas oferecidas para a situação em questão. O ENVI-met, além disso, encontra-se em expansão, e as diversas pesquisas em andamento dentro da área e as discussões dos diversos resultados até aqui publicados mostram que se deve ter muito cuidado com as análises geradas, frente aos dados de entrada inseridos.

Quanto às limitações da presente pesquisa, vale salientar que as simulações realizadas nesta dissertação são para um dia específico (25 de outubro de 2010) com dados de entrada particulares, sendo alguns deles definidos pelo próprio programa utilizado. É importante destacar que o ENVI-met possibilita a entrada de várias outras configurações, fornecendo, dessa forma, resultados mais refinados. Esse fato justifica algumas distorções por vezes geradas nos mapas, de diferenças nos valores de temperatura e de velocidade do ar, para um mesmo ponto, nos horários analisados. De qualquer forma, para os casos aqui analisados, os dados gerados nas simulações se aproximaram satisfatoriamente dos dados reais.

Espera-se que os desdobramentos desta dissertação venham se somar às mais diversas reflexões da área de climatologia urbana sobre a qualidade climática de empreendimentos urbanos, de planejamento de novos projetos como também futuras intervenções em espaços externos, visando o bem-estar dos usuários e espaços urbano adequado ambientalmente.

A abordagem temática desta dissertação permitiu identificar novas propostas de pesquisas para futuros trabalhos, visto que o enfoque em condomínios e loteamentos fechados constitui um rico universo para pesquisadores interessados em conhecer mais sobre os aspectos relacionados com questões ambientais, climatológicas e paisagísticas.

Portanto, são sugeridos alguns desdobramentos que visam dar continuidade aos estudos iniciados nesta dissertação, como por exemplo:

- Simular um cenário “ideal” para o loteamento, considerando orientação das quadras e ruas além dos materiais de revestimentos de superfície das áreas externas, adequados para o clima quente e úmido, analisando as características térmicas e dinâmicas;

- Analisar, com o uso do programa ENVI-met outros parâmetros como a umidade relativa do ar e a temperatura de superfícies;
- Analisar a influência das áreas de preservação ambiental circundantes na qualidade térmica dos espaços externos de loteamentos fechados;
- Analisar a influência da vegetação nas condições térmicas do loteamento, para os dois cenários estudados, considerando uma proposta de arborização para as áreas externas;
- Analisar as características do desenho urbano e o ambiente térmico do pedestre nos espaços externos do loteamento através da ferramenta computacional BOT-world;
- Analisar a estimativa do grau de conforto térmico no interior das edificações em função da mudança microclimática entre dois cenários;
- Empregar a metodologia utilizada nesta pesquisa em outras frações urbanas da cidade de Maceió.

## REFERÊNCIAS

---

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

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.

BARBIRATO, G. M.; TORRES, S. T.; **Condição microclimática de espaços públicos Urbanos em uma cidade tropical**. Lisboa, 2005. Disponível em: [http://www.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/O\\_2\\_5.pdf](http://www.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/O_2_5.pdf)23. Acesso em outubro, 2010.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade – a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. EDUFAL, Maceió, 2007.

BECKER, D. **Condomínios horizontais fechados: avaliação de desempenho interno e impacto físico espacial no espaço urbano**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Regional Urbano). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

BICUDO, P. M. Loteamentos fechados e condomínios deitados. In: REIS, N. G.; TANAKA, M. S. **Brasil: estudos sobre dispersão urbana**. São Paulo: FAU-USP, 2007. p. 369-399.

BITAN, A. The methodology of applied climatology in planning and building. **Energy and Buildings**. v.11, n.1, p. 1-10, 1988.

BITAN, A. The high climatic quality city of the future. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.26B, n.3, p. 313-329, 1992.

BITTENCOURT, L. S. et al. A influência da relação da taxa de ocupação x n° de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, **Anais**. Salvador: ANTAC, 1997. p. 102-106.

BRANDÃO, R. S. **As interações espaciais urbana e o clima**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, 1992. 84p.

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

BRUSE, M. **Updated overview over ENVI-met 3.1 beta5**. Disponível em: <http://www.envi-met.com>. Acessado em 15/08/ 2010.

BRUSE, M. **Updated overview over ENVI-met 3.1 Manual Contents**. Disponível em: <http://www.envi-met.com>. Acessado em 11/12/2010.

CASTELO BRANCO, L. M. B. **Microclimas urbanos no plano piloto de Brasília – o caso da Superquadra 108 Sul**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

CHATZIDIMITRIOU *et al.* **Ground surface materials and microclimates in urban open spaces**. PLEA 2006, The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.

CORRÊA, A. L. M. **Patrimônio público e segurança urbana: Apropriação de áreas públicas em loteamentos residenciais em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2010.

COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Impact of increasing urban density on local climate: Spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**. 2007, v. 46, n. 4, p. 477-493.

DACANAL, C.; PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L.; MATSUMOTO, E. Avaliação do efeito da ventilação nos espaços urbanos abertos através de simulações e medições experimentais. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Canela-RS, 2010. **Anais...**Canela, 2010.

DANNI, I. M. **Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa em Porto-Alegre em janeiro de 1982: contribuição ao estudo do clima urbano**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1987.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**. nº35, 2003, p.69-73.

DUMKE, E. M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC)**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

EVANS, M.; SCHILLER, S. **Diseño bioambiental y arquitectura solar**. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, 1994.

GANDEMER, J. & GUYOT, A. **Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti**. Paris: Ministère de la Qualité de la Vie, 1976.

GARCÍA, F. F. **Manual de Climatología Aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Síntesis, 1995.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, nº18,1992 , p. 11-23.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GOOGLE EARTH. **Imagem digital do mapeamento de Maceió 2010**. Disponível em <http://www.googleearth.com>. Acessado em: abril de 2011.

GOOGLE. **Programa Computacional SketchUp, versão 8**. Disponível em: <http://sketchup.google.com/>. Acesso em junho de 2010.

GOULART, S.; LAMBERTZ, R.; FIRMINO, F. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. NPC/UFSC, Florianópolis, 1998.

GRAZZIOTIN, P.; TURKIENICZ, B.; SCLOVSKY, L.; FREITAS, C.M.D.S. **CityZoom: A tool for the visualization of the impact of urban regulations**. Updated 2009. Disponível em: <http://www.cityzoom.net/ctz/CityZoomSetup.exe>

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. **Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form**. *Journal of Applied Meteorology*, 38, 1999, 1262-1292.

HAN, S.; MUN, S.; HUH, J. **Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea**. Proceeding: Building Simulation 2007.

HIGUERAS, E. **Urbanismo bioclimático - critérios medioambientales en la ordenación de asentamientos**. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Madrid, 1997.

HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

HUANG, L.; LIA, J.; ZHAOA, D.; ZHUB, J. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. **Science direct**, 2006.

HUNTTNER, 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.

JANSSON, C. **Urban microclimate and surface hydrometeorological processes**. KTH Architecture and the Built Environment, 2006.

JUSUF, S. K.; WONG, N. H.; HAGEN, E.; ANGGORO, R.; HONG, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore, **Habitat International**, 31, 2007, p. 232-242.

KALLAS, L.M.E. **Desenhando com o clima e a vegetação: um estudo de caso do loteamento HBB em Teresina-PI**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

KATZCHNER, L.; THORSSON, S. **Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design**. ICUC-International Conference on Urban Climate. Yokohama, Japan, 2009.

KÖRBES, Aline Schaefer. **Os condomínios fechados horizontais de Cacupé no contexto urbano de Florianópolis: os lugares fora do lugar**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LABEEE. **Programa computacional Analysis SOL-AR**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>.

LAMAS, J. M. R. G.. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Fundação Calouste Gulbekian. Lisboa, 1992.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.

LEE, B. E.; HUSSAIN, M.; SOLLIMAN, B. Predicting natural ventilation forces upon low-rise buildings. In: **ASHARE Journal**, February, 1980, p. 35 – 39.

LIMA, I. F. **Maceió: a cidade restinga**. Maceió: Edufal, 1990, 225p.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985, 244p.

LYNCH, K.; HACK, G. **Site planning**. Cambridge: MIT, 3ed., 1986.

MACEIÓ. **Documento de informações básicas do plano diretor de Maceió**. Prefeitura Municipal de Maceió. v. 2, 2005.

MACEIÓ. **Código de urbanismo e edificações do município de Maceió**. Prefeitura Municipal de Maceió, Diretoria do Plano Diretor, 2007.

MACHADO, A. J. **Roteiro para palestra – Climatologia urbana e implicações locais – as mudanças climáticas globais e suas implicações atuais**. Lisboa, Novembro de 2008.

MARROQUIM, F. M. G. **Avaliação pós-ocupação de unidades residenciais modificadas de um conjunto habitacional em Maceió-AL: flexibilidade, dimensionamento e funcionalidade dos ambientes**. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.

MAYER, H.; HÖPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. In: **Theoretical and applied climatology**, 1987, 38p.

MENDONÇA, F. **O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR**. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994;

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. de F. **Clima urbano**. Editora Contexto. São Paulo, 2003.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. v. 1. São Paulo: Oficina de Texto, 2007, 206 p.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEOG-USP, Série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo: USP, 1976. 181p.

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

NAKATA, C. M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. Dissertação (Mestrado em Design). Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2010.

NIKOLOPOULOU, M.; LYKLOUDIS, S. Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban. In: *Building and Environment*. V. 42, Issue 10, 2007, p. 3691-3707.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen, 1978, 372 p.

OKE, T.R. **Urban environments**. In: Surface Climates of Canada, Bailey, W.G. 1987. Disponível em: [http://www.wmo.ch/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.ch/pages/index_en.html). Acesso em 20/08/2010.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2.ed. New York: Routledge, 1996, 435p.

OKE, T.R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **IOM Report**, TD. In press, World Meteorological Organization, Geneva, 2004.

OLGYAY, V. **Arquitetura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1963. 190p.

OLIVEIRA, P. M. P. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 1988.

OLIVEIRA, P. M. P. Metodologia do desenho urbano considerando os atributos bioclimatizantes da forma urbana e permitindo o controle ambiental, do consumo energético e dos impactos ambientais. II ENCAC 1993, **Anais...Antac**, Florianópolis, SC, 1 CD ROM.

OFFERLE, B.; JONSSON, P.; ELIASSON, I.; GRIMMOND, C. S. B. Urban Modification of the Surface Energy Balance in the West African Sahel: Ouagadougou, Burkina Faso. **Journal of Climate**. 2005, v. 18, n. 19, p. 3983-3995.

OSMOND, P. W. **Rooftop “greening” as na option for microclimatic amelioration in a high-density building complex**. University of New South Wales, Sydney, Australia, 2004.

PRADO, R. T. A.; FERREIRA, F. L. Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials, **Energy and Buildings**. 2005, v. 37, n. 4, p. 295-300.

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

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília, Editora da UnB, 2001.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**. Editora: São Paulo: Nova Técnica Editorial. Brasília, 2011.

SANTAMOURIS, M. **Energy and climate in the urban built environment**. Londres: James & James. 2001;

SANTOS, Rosangela Maria. **Morfologia urbana e conforto térmico**. AUP 823: Seminário da Integração, UnB, 2004.

SCHERER, D.; FEHERENBACH, U.; BEHA, H. D.; PARLOW, E. **Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes**. Disponível em: <http://www.capes.gov.br>. Acessado em: 05 de abril 2010.

SHASUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of a urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**. v. 31, 2000, p 221-235.

SILVA, E. V.; ZAMBRANO, L. M. A.; CASTRO, E. B. P. **Estudo das condições de conforto térmico em centro urbano através de simulação em mesoescala**. Pluris 2010

SILVA, C. F. **Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina – PI**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

SILVA, C. F.; ROMERO, M.B. **Desempenho ambiental de vias públicas quanto ao conforto térmico urbano**. Estudo de caso em Teresina, Piauí, Brasil. Pluris 2010.

SILVEIRA, A. L. R. C. da; ROMERO, M. A. B. The microclimate in housing estates in the Northeast of Brazil. In: **The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA**. Geneva, Switzerland, 2006.

SILVEIRA, A. L. R. C.da. **Parâmetros bioclimáticos para avaliação de empreendimentos habitacionais multifamiliares da região tropical sub-úmida do Brasil**". Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

SILVEIRA, S. Q.; ASSIS, E. S. **Curso de introdução ao programa ENVI-met**. Apostila, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais. Junho, 2008.

SOMEKH, Nadia. **A cidade vertical e o urbanismo modernizador: São Paulo 1920 – 1939**. São Paulo: NOBEL, 1997, p. 13-32.

SORANO, E. C. **Ergonomia de quadras urbanas: condição térmica do pedestre**. Bauru: UNESP, 2009.

TORRES, S. C. **Arranjos construtivos urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

VIDAL, R. D. M. Partidos urbanísticos de assentamentos populares da cidade do Natal/RN: Análise bioclimática da forma urbana. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, Porto Alegre, 1995. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 1995. p.185-190.

WALASKI, S. **Avaliação da qualidade ambiental em condomínios residenciais horizontais com base nos princípios de Planejamento da Paisagem. Estudo de caso: bairro Santa Felicidade – Curitiba/PR**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Curitiba, 2008.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

---

ALCOFORADO, M. J.; LOPES, A., ANDRADE, H.; VASCONCELOS, J. **Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa**. Universidade de Lisboa – Centros de Estudos Geográficos, 2006.

ALMEIDA, E. M. A. **A configuração urbana e sua relação com os microclimas: estudo de frações urbanas na cidade de Maceió**. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

ANDRADE, Henrique. **O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade**. FINISTERRA XL. Lisboa, n° 80, 2005, p.67-91.

ARAÚJO, V. M. D. de; ARAÚJO, E. H. S. de. Medição de parâmetros microclimáticos para estudos de clima urbano: controle de qualidade dos dados e tratamento estatístico. **In: Clima Urbano e Planejamento das Cidades**. Revista Fórum Patrimônio, vol. 3, n°2, 2009. Disponível em: [www.forumpatrimonio.com.br](http://www.forumpatrimonio.com.br). Acesso em 05/02/2011.

ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo – FAUUSP. São Paulo, 2000.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, **Anais**. Maceió: ENCAC, 2005.

ASSIS, E. S. Clima urbano e planejamento das cidades. In: **Fórum Patrimônio**. Artigo Editorial, v.3, n°2, 2009.

BARBIRATO, G. M. Modelo de balanço de energia aplicado ao caso da cidade de Maceió AL, e suas implicações para o planejamento urbano. **In: Clima Urbano e Planejamento das Cidades**. Revista Fórum Patrimônio, vol. 3, n°2, 2009. Disponível em: [www.forumpatrimonio.com.br](http://www.forumpatrimonio.com.br). Acesso em 10/02/2011.

BARBOSA, G. S.; DRACH, P. R. C.; CORBELLA, O. D. **Um estudo comparativo de regiões espraiadas e compactas: caminho para o desenvolvimento de cidades sustentáveis**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL. Porto Alegre, 2010.

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

CALDEIRA, Teresa Pires do Rio. **Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo**. Tradução: Frank de Oliveira e Henrique Monteiro. São Paulo: Edusp, 2000.

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. Calibração do modelo ENVI-met: estudo do clima urbano de ourinhos, SP.

CARNAÚBA, S. **Arranjos construtivos urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

CASTRIOTA, Leonardo Barci. **Urbanização brasileira: redescobertas**. Belo Horizonte: Editora Com Arte, 2003, 303p.

CAVALCANTI, V. R.. O imaginário local e o ideário higienista: os (des)caminhos da construção da paisagem maceioense. In: **Anais do VI Encontro nacional de ensino de Paisagismo de Arquitetura e Urbanismo: Construção da paisagem brasileira**. Recife, 2002.

COLLISCHONN, E. **O campo térmico da Região Metropolitana de Porto Alegre: análise a partir da interação entre as variáveis ambientais na definição do clima urbano**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

COSTA, A. D. L. **O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2007.

DOCHERTY, M.; SZOKOLAY, S. V. **Climate analysis**. Queensland: Universidade de Queensland, 1999. 57p. (PLEA notes 5).

DUARTE, D. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

DUARTE, D.; SERRA, G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos. **Téchne**, São Paulo, n° 64, 2002.

DUARTE, D.; SERRA, G. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e propostas de um indicador.** Revista ANTAC – Ambiente Construído. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

FANTICELE, F. B.; ALVAREZ, C. E de. O projeto bioclimático enquanto instrumento de análise da legislação urbanística de Vitória: ensaio de um condomínio multifamiliar. NUTAU São Paulo. **Anais...** São Paulo, nº44.

FAUSTINI, F. B.; FONTES, M. S. G. de C. **Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos no calçadão da Batista de Carvalho em Bauru-SP.** In: PLURIS 2010 - 4. Congresso Luso-brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável, Faro, Portugal. Actas Pluris 2010 The Challenges of Planning in a Web Wide World, v.01, 2010.

GEIGER, R. **Manual de Microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo.** 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990. 556p.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** London: Applied Science, 2 ed., 1981.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. In: **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v. 9, nº 1, 2009.

GOMEZ, F. et al. (2001). **Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning.** Landscape and Urban Planning, volume 55, Issue 3, 30 July 2001, p. 151-161.

HENDERSON-SELLERS, A.; ROBINSON, P. J. **Contemporary climatology.** New York: John Wiley & Sons, 1989.

HOUGH, M. **Naturaleza y ciudad – planificación urbana y procesos ecologicos.** Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

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.

KATZSCHNER, Lutz; MAYER, Helmut; DREY, Christl; BRUSE, Michael. **Strategies and concepts for thermal comfort discussions in urban planning to mitigate the impacts of climate extremes.** In: PLEA 2007 – The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Proceedings... Singapore, 103-108 p., 2007.

LYNCH, Kevin. **A imagem da cidade**. Tradução Jefferson Luiz Camargo. Martins Fontes. São Paulo, 1997.

MELO, J. D. **Caracterização climática da cidade de Maceió como subsídio a decisões de planejamento**. Dissertação (Mestrado EM Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2009.

NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Cambridge, 2000. **Anais...Cambridge: PLEA**, 2000, p. 565-570.

PANERAI, P. **Análise Urbana**. Tradução de Francisco Leitão. Revisão Técnica de Sylvia Ficher. Editora UnB. Brasília, 2006.

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

RIGITANO, P. Z. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SANTAMOURIS, M. **Energy and indoor climate in urban environments – Recent trends**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 4, Salvador, 1997. **Anais... Salvador: FAUFBA/ ANTAC**, 1997, p.15-24.

SILVA, F. de A. G. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: Uma aplicação ao nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

TOLEDO, A. M. **Ventilação natural em conforto térmico em dormitórios: aspectos bioclimáticos para uma revisão do código de obras e edificações de Maceió**. Dissertação de Mestrado em Conforto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRS, 2001.

VILELA, J. A. **Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte-MG**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

## APÊNDICE

---

**Apêndice A** – Banco de dados da medição das variáveis microclimáticas no loteamento San Nicolas

TABELA PARA COLETA DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS						
LOTEAMENTO: SAN NICOLAS				DATA:25/10/2010		
PONTO	HORA	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (m/s)	INSOLAÇÃO	NEBULOSIDADE
A	9h	28,8	67	1,4	Sol	Parcialmente nublado
	15h	29,8	58	207	Meia sombra	Céu aberto
	21h	25,5	84,1	1,65	noite	-
B	9h	19,8	66	1,4	Sol	Parcialmente nublado
	15h	31,9	53,8	2,8	Sol	Céu aberto
	21h	26,7	80	1,1	noite	-
C	9h	28,6	67,9	1,8	Sol	Parcialmente nublado
	15h	30,1	56	3,0	Sol	Céu aberto
	21h	25,8	83,4	2,8	Noite	-
D	9h	29,7	66,9	1,1	Sol	Parcialmente nublado
	15h	31,8	54,1	2,25	Sol	Céu aberto
	21h	26,4	80,3	1,2	noite	-
E	9h	29,8	66,1	1,3	Sol	Parcialmente nublado
	15h	31,6	54	2,4	Sol	Céu aberto
	21h	26,5	80,2	1,25	noite	-
F	9h	27,5	70	2,25	Sombra	Parcialmente nublado
	15h	28,3	61,5	3,25	Meia sombra	Céu aberto
	21h	25,2	85,1	1,55	noite	-

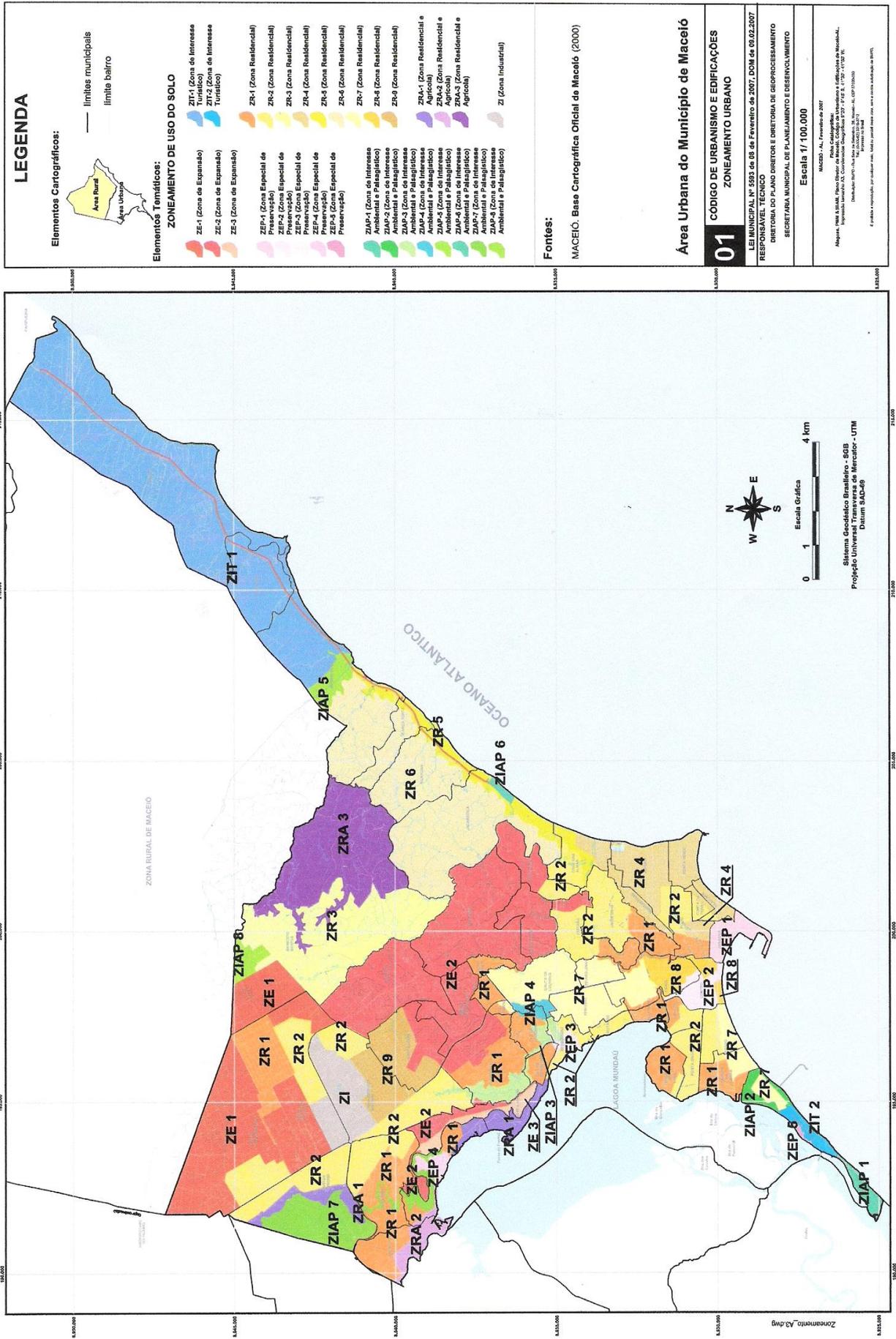
TABELA PARA COLETA DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS						
LOTEAMENTO: SAN NICOLAS				DATA:26/10/2010		
PONTO	HORA	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (m/s)	INSOLAÇÃO	NEBULOSIDADE
A	9h	29,8	70,5	1,6	Sol	Céu aberto
	15h	29,1	69,8	2,65	Meia sombra	Céu aberto
	21h	25,8	81,2	0,95	noite	-
B	9h	31,1	66,2	0,9	Sol	Céu aberto
	15h	33,5	60	1,45	Meia sombra	Céu aberto
	21h	27	78,6	1,1	noite	-
C	9h	29,6	60,7	1,9	Sol	Céu aberto
	15h	30,4	58,5	1,55	Sol	Céu aberto
	21h	25,3	82,7	2,5	Noite	-
D	9h	32,4	65,4	0,7	Sol	Céu aberto
	15h	33,6	64,4	1,4	Sol	Céu aberto
	21h	26,2	80,4	1,45	noite	-
E	9h	31,8	64,8	0,5	Sol	Céu aberto
	15h	33,2	60,1	1,65	Sol	Céu aberto
	21h	26,9	81,6	0,85	noite	-
F	9h	29	82,5	1,8	Sombra	Céu aberto
	15h	30,2	78,1	2,35	Meia sombra	Céu aberto
	21h	25,9	76,6	0,85	noite	-

TABELA PARA COLETA DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS						
LOTEAMENTO: SAN NICOLAS				DATA:27/10/2010		
PONTO	HORA	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (m/s)	INSOLAÇÃO	NEBULOSIDADE
A	9h	29,3	65,2	1,2	Sol	Nublado
	15h	30,6	58,8	2,65	Meia sombra	Céu aberto
	21h	25,5	76,3	1,55	noite	-
B	9h	30,6	60,9	1,25	Sol	Nublado
	15h	31,9	57,8	1,05	Sol	Céu aberto
	21h	26,6	74,6	1,15	noite	-
C	9h	29,7	64,7	1,25	Sol	Nublado
	15h	30,7	62	2,35	Sol	Céu aberto
	21h	25,6	75,6	2,2	Noite	-
D	9h	29,5	64,5	1,05	Sol	Nublado
	15h	31,5	56,2	2,05	Sol	Céu aberto
	21h	26,5	75,1	1,75	noite	-
E	9h	29,6	63,1	0,85	Sol	Nublado
	15h	30,9	55,1	1,25	Sol	Céu aberto
	21h	26,6	76	0,6	noite	-
F	9h	29,3	67,8	1,1	Sombra	Nublado
	15h	29,7	65,7	2,5	Meia sombra	Céu aberto
	21h	26,1	73,5	1,35	noite	-

## **ANEXOS**

---

**Anexo A** – Zoneamento urbano do município de Maceió  
Fonte: SEMPLA – Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento de Maceió



**Anexo B** – Quadro dos parâmetros urbanísticos para a Zona ZE-2 no município de Maceió. Fonte: Maceió, 2007



ESTADO DE ALAGOAS  
PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ  
GABINETE DO PREFEITO

**QUADRO 1 - PARÂMETROS URBANÍSTICOS POR ZONA E CORREDOR URBANO**

Zonas	Usos	Taxa de Ocupação do Terreno Máxima	Altura Máxima da Edificação (nº pavtos)	Testada Mínima do Lote (m)	Área Mínima do Lote (m <sup>2</sup> )	Recuo Mínimo		Coeficiente de Aproveitamento do Terreno	Vagas de estacionamento
						Frontal (m)	Laterais e de fundos (m)		
ZE-2	UR-1	60%	2	---	---	3	1,5	1,2	Espaço p/ guarda de 01 veículo
	UR-4	Para condomínios horizontais, aplicam-se os critérios definidos para o uso UR-1; Para condomínios verticais, aplicam-se os critérios definidos para o uso UR-5.							
	UR-5	50%	10	---	---	$R = 3,5 + \frac{n-2}{2}$	$R = 1,5 + \frac{n-2}{2}$	4	AC: - até 100m <sup>2</sup> : 1 (uma) vaga por unidade; - superior a 100m <sup>2</sup> até 250m <sup>2</sup> : 2 (duas) vagas por unidade; - superior a 250m <sup>2</sup> : 3 (três) vagas por unidade.
		35%	15						
		20%	20						
	Comercial, Serviços e Industrial – Grupos I, II e III, IV e V	AC até 70m <sup>2</sup> : 70%	2 <sup>(*)8</sup>	---	---	5	1,5	1	AC: - até 70m <sup>2</sup> : isento; - superior a 70m <sup>2</sup> até 400m <sup>2</sup> : 1 (uma) vaga p/ cada 50m <sup>2</sup> ; - superior a 400m <sup>2</sup> até 900m <sup>2</sup> : 1 (uma) vaga p/ cada 75m <sup>2</sup> ; - acima de 900m <sup>2</sup> : 1 vaga p/ cada 100m <sup>2</sup> .
AC: - até 300m <sup>2</sup> : 70%; - até 900m <sup>2</sup> : 60%;		3							
- acima de 900m <sup>2</sup> : 50%		4							

AC – Área construída. n - número de pavimentos.

(\*)8 – Podendo chegar até 20 pavimentos, sendo que a partir do 3º piso obedece as regras do uso UR., Na ZE-2, para novos parcelamentos a testada mínima é 15m e a área mínima é 450m<sup>2</sup>.

**Anexo C** - Dados meteorológicos da Estação Automática do INMET em Maceió-AL para o dia 25/10/2010. Fonte: www.inmet.gov.br. Acesso em outubro de 2010

Data Inicial: **25/10/2010**      Data Final: **25/10/2010**      [Nova Pesquisa](#)      [Download de Dados](#)

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJm <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.	Raj.		
25/10/2010	00	24.5	24.7	24.5	85	85	84	21.9	21.9	21.7	1002.8	1002.8	1002.4	2.9	46°	5.1	-3.54	0.0
25/10/2010	01	24.0	24.6	24.0	87	87	85	21.6	21.9	21.6	1002.8	1003.1	1002.8	2.5	47°	4.9	-3.54	0.0
25/10/2010	02	23.5	24.0	23.4	89	89	87	21.5	21.7	21.4	1002.0	1002.8	1002.0	1.6	68°	4.0	-3.54	0.0
25/10/2010	03	23.0	23.5	23.0	90	90	89	21.4	21.6	21.4	1001.4	1002.0	1001.4	1.9	35°	2.7	-3.52	0.0
25/10/2010	04	23.0	23.0	22.9	91	91	90	21.4	21.5	21.4	1001.0	1001.4	1000.9	2.4	19°	3.5	-3.54	0.0
25/10/2010	05	23.2	23.2	22.9	90	91	90	21.4	21.5	21.3	1000.7	1001.0	1000.6	2.2	19°	3.6	-3.51	0.0
25/10/2010	06	22.9	23.3	22.9	89	90	89	21.1	21.4	21.1	1000.4	1000.7	1000.4	2.8	18°	4.0	-3.54	0.0
25/10/2010	07	22.9	23.0	22.9	89	89	89	21.0	21.1	21.0	1000.5	1000.5	1000.3	2.3	21°	4.1	-3.54	0.0
25/10/2010	08	22.8	22.9	22.8	90	90	89	21.0	21.1	21.0	1001.3	1001.3	1000.5	1.3	11°	3.5	-1.30	0.0
25/10/2010	09	23.6	23.6	22.6	91	91	90	22.0	22.0	20.9	1001.7	1001.7	1001.3	1.0	7°	2.1	229.8	0.0
25/10/2010	10	25.5	25.6	23.5	81	91	81	22.0	22.3	21.7	1002.0	1002.1	1001.7	3.3	21°	4.5	911.9	0.0
25/10/2010	11	27.8	27.8	25.4	71	81	70	22.0	22.4	21.3	1002.5	1002.5	1002.0	4.9	45°	8.0	1963.	0.0
25/10/2010	12	27.6	28.6	27.0	68	72	65	21.2	22.1	20.8	1002.5	1002.6	1002.5	4.0	31°	7.6	2072.	0.0
25/10/2010	13	29.0	30.1	27.6	63	69	58	21.1	22.0	20.3	1002.2	1002.5	1002.2	4.1	49°	6.9	3180.	0.0
25/10/2010	14	30.5	30.5	28.3	58	67	58	21.4	22.1	20.5	1001.4	1002.2	1001.4	5.5	64°	8.6	2193.	0.0
25/10/2010	15	30.4	31.2	28.9	57	62	55	21.1	21.9	20.3	1000.4	1001.4	1000.4	5.2	72°	8.9	2785.	0.0
25/10/2010	16	30.2	31.3	29.7	60	61	55	21.5	22.0	20.7	999.6	1000.4	999.6	5.5	90°	8.7	3431.	0.0
25/10/2010	17	30.4	30.5	29.5	58	63	58	21.3	22.1	21.1	998.8	999.6	998.8	5.3	78°	10.2	2915.	0.0
25/10/2010	18	28.9	30.3	28.7	62	64	58	21.0	21.7	20.4	998.9	998.9	998.8	6.2	80°	9.4	2301.	0.0
25/10/2010	19	27.4	29.2	27.4	70	70	61	21.5	21.8	20.6	999.3	999.3	998.8	6.3	74°	10.5	1453.	0.0
25/10/2010	20	26.4	27.6	26.4	75	75	70	21.5	21.6	21.2	999.8	999.8	999.3	5.9	61°	10.5	519.1	0.0
25/10/2010	21	25.5	26.4	25.5	79	79	75	21.5	21.6	21.4	1000.4	1000.4	999.8	4.8	62°	8.6	13.59	0.0
25/10/2010	22	25.0	25.5	25.0	81	81	79	21.6	21.6	21.5	1001.1	1001.1	1000.4	3.7	57°	7.8	-3.54	0.0
25/10/2010	23	24.6	25.0	24.6	84	84	81	21.7	21.7	21.6	1001.6	1001.6	1001.1	3.1	60°	6.0	-3.54	0.0

**Anexo C** - Dados meteorológicos da Estação Automática do INMET em Maceió-AL para o dia 26/10/2010. Fonte: www.inmet.gov.br. Acesso em outubro de 2010

Data Inicial: <b>26/10/2010</b>		Data Final: <b>26/10/2010</b>									Nova Pesquisa			Download de Dados				
Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
		UTC	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.	Raj.	(kJm <sup>2</sup> )
26/10/2010	00	24.2	24.7	24.2	86	86	83	21.7	21.8	21.7	1002.1	1002.1	1001.6	2.0	41°	4.9	-3.54	0.0
26/10/2010	01	23.8	24.2	23.8	88	88	86	21.7	21.8	21.7	1002.2	1002.4	1002.1	1.6	17°	3.4	-3.54	0.0
26/10/2010	02	23.5	23.8	23.5	89	89	88	21.7	21.8	21.6	1001.8	1002.2	1001.8	1.6	41°	2.6	-3.54	0.0
26/10/2010	03	23.5	23.6	23.4	90	90	89	21.7	21.8	21.6	1001.2	1001.8	1001.2	1.5	22°	2.4	-3.54	0.0
26/10/2010	04	23.1	23.5	23.1	90	90	90	21.4	21.6	21.4	1000.9	1001.2	1000.9	1.3	348°	2.1	-3.54	0.0
26/10/2010	05	22.7	23.1	22.7	91	91	90	21.3	21.5	21.2	1000.5	1000.9	1000.5	0.9	340°	2.0	-3.54	0.0
26/10/2010	06	22.8	22.9	22.6	92	92	91	21.5	21.6	21.1	1000.7	1000.7	1000.3	1.2	46°	2.0	-3.52	0.0
26/10/2010	07	22.5	22.8	22.5	92	92	92	21.2	21.4	21.1	1001.0	1001.0	1000.7	1.7	14°	3.0	-3.54	0.0
26/10/2010	08	22.2	22.5	22.1	92	92	92	20.9	21.1	20.8	1001.5	1001.5	1001.0	2.2	5°	3.1	-0.74	0.0
26/10/2010	09	23.7	23.8	22.2	89	92	89	21.9	22.0	20.9	1001.7	1001.7	1001.5	2.4	23°	3.9	302.6	0.0
26/10/2010	10	26.0	26.0	23.7	79	89	79	22.1	22.3	21.8	1002.1	1002.1	1001.7	3.8	34°	6.1	1159.	0.0
26/10/2010	11	28.0	28.0	26.0	69	79	68	21.8	22.5	21.1	1002.2	1002.2	1002.0	4.3	33°	6.8	2058.	0.0
26/10/2010	12	29.5	29.5	27.7	62	69	59	21.5	22.1	20.0	1001.9	1002.3	1001.9	4.3	57°	8.8	2515.	0.0
26/10/2010	13	29.2	30.1	28.4	59	64	58	20.5	21.7	20.0	1001.6	1002.0	1001.6	3.6	74°	8.8	2291.	0.0
26/10/2010	14	30.6	31.0	29.1	56	62	54	20.7	21.7	20.2	1001.1	1001.6	1001.1	5.7	63°	8.7	3479.	0.0
26/10/2010	15	30.6	31.4	30.1	57	59	53	21.3	21.7	20.4	1000.2	1001.2	1000.2	5.2	87°	8.9	3693.	0.0
26/10/2010	16	30.7	31.2	29.6	58	60	55	21.3	22.1	20.2	999.6	1000.2	999.6	5.0	94°	10.0	3074.	0.0
26/10/2010	17	28.7	30.6	28.7	67	67	55	22.0	22.5	19.9	999.1	999.6	999.0	6.0	96°	9.6	2861.	0.0
26/10/2010	18	28.7	29.2	28.2	63	71	63	20.9	23.0	20.7	999.3	999.3	998.9	5.7	82°	9.5	2153.	0.0
26/10/2010	19	27.6	28.7	27.5	69	69	63	21.4	21.8	20.5	999.3	999.3	999.1	6.1	63°	10.3	1043.	0.0
26/10/2010	20	26.3	27.7	26.3	76	76	68	21.8	21.8	21.2	999.7	999.7	999.3	5.0	73°	10.3	554.8	0.0
26/10/2010	21	24.9	26.3	24.9	84	84	76	21.9	22.1	21.7	1000.2	1000.2	999.7	5.1	70°	9.8	17.25	0.0
26/10/2010	22	24.3	24.9	24.3	85	86	84	21.6	22.1	21.6	1000.7	1000.7	1000.2	4.3	60°	7.8	-3.54	0.0
26/10/2010	23	24.0	24.4	24.0	86	86	84	21.5	21.6	21.5	1001.6	1001.6	1000.7	1.8	48°	6.3	-3.54	0.0

**Anexo C - Dados meteorológicos da Estação Automática do INMET em Maceió-AL para o dia 27/10/2010**

Data Inicial: **27/10/2010**      Data Final: **27/10/2010**      [Nova Pesquisa](#)      [Download de Dados](#)

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJm <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		UTC	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.		
27/10/2010	00	24.4	24.5	24.0	87	87	86	22.1	22.1	21.5	1002.2	1002.3	1001.6	1.6	69°	3.4	-3.07	0.0
27/10/2010	01	24.0	24.6	24.0	88	88	87	21.9	22.3	21.9	1002.2	1002.3	1002.2	1.8	30°	3.7	-3.50	0.0
27/10/2010	02	23.9	24.1	23.9	88	88	88	21.8	22.1	21.8	1001.8	1002.2	1001.7	2.6	20°	4.8	-3.28	0.0
27/10/2010	03	23.4	23.9	23.4	89	89	87	21.5	21.8	21.4	1001.1	1001.8	1001.1	1.5	27°	4.0	-3.52	0.0
27/10/2010	04	23.8	23.8	23.4	87	89	87	21.5	21.5	21.4	1000.7	1001.1	1000.7	2.5	28°	4.0	-3.52	0.0
27/10/2010	05	23.8	23.9	23.7	88	88	87	21.6	21.6	21.4	1000.4	1000.8	1000.4	3.2	25°	4.6	-3.54	0.0
27/10/2010	06	23.9	23.9	23.7	88	88	88	21.8	21.8	21.6	1000.4	1000.4	1000.1	2.9	9°	4.7	-3.44	0.0
27/10/2010	07	23.8	23.9	23.8	88	88	87	21.6	21.8	21.6	1000.6	1000.6	1000.2	2.9	12°	6.9	-3.43	0.0
27/10/2010	08	23.4	23.8	23.4	89	89	88	21.5	21.6	21.5	1001.3	1001.3	1000.6	1.2	7°	4.4	-0.51	0.0
27/10/2010	09	24.0	24.1	23.4	88	89	88	22.0	22.1	21.5	1001.5	1001.5	1001.2	2.4	13°	3.7	217.7	0.0
27/10/2010	10	25.9	26.3	24.0	78	88	77	21.7	22.5	21.7	1001.8	1001.8	1001.5	4.8	27°	7.3	1012.	0.0
27/10/2010	11	28.0	28.0	25.8	69	79	68	21.8	22.2	21.4	1001.9	1001.9	1001.8	5.3	34°	8.5	1641.	0.0
27/10/2010	12	29.1	29.4	27.0	65	72	65	22.0	22.5	21.2	1002.0	1002.0	1001.8	5.0	35°	8.5	2378.	0.0
27/10/2010	13	29.8	30.1	28.4	61	66	60	21.4	22.4	20.8	1001.5	1002.0	1001.5	4.5	31°	8.5	2208.	0.0
27/10/2010	14	30.2	31.5	29.7	57	61	55	20.8	22.4	20.6	1001.0	1001.6	1001.0	3.9	28°	8.5	2805.	0.0
27/10/2010	15	30.0	31.5	29.7	65	67	54	22.7	23.3	20.6	999.8	1001.0	999.8	4.9	76°	7.8	2291.	0.0
27/10/2010	16	30.8	31.8	29.8	62	65	58	22.8	23.0	22.1	998.7	999.9	998.7	5.1	75°	9.4	2239.	0.0
27/10/2010	17	31.1	31.8	30.5	61	62	59	22.7	23.1	22.0	998.0	998.7	998.0	6.6	61°	10.1	2693.	0.0
27/10/2010	18	29.8	31.1	29.6	64	64	60	22.3	22.6	21.9	997.8	998.1	997.8	6.5	68°	10.9	2240.	0.0
27/10/2010	19	28.5	29.9	28.5	67	68	63	21.8	22.4	21.8	998.1	998.1	997.8	6.4	68°	10.9	1390.	0.0
27/10/2010	20	26.8	28.6	26.8	74	75	66	21.7	22.4	21.6	998.8	998.9	998.1	6.2	65°	10.6	465.0	0.0
27/10/2010	21	25.9	26.8	25.9	76	77	73	21.4	21.7	21.4	999.1	999.2	998.8	5.8	61°	10.2	8.229	0.0
27/10/2010	22	25.5	25.9	25.5	80	80	75	21.8	21.8	21.2	999.7	999.7	999.0	6.1	48°	10.0	-3.54	0.0
27/10/2010	23	25.3	25.6	25.3	80	80	80	21.5	21.8	21.5	1001.2	1001.2	999.7	3.9	49°	10.0	-3.54	0.0