

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE
ARQUITETURA E URBANISMO

**MICROCLIMAS URBANOS NO PLANO PILOTO DE
BRASÍLIA:**
O Caso da Superquadra 108 Sul

Lorena Mileib Burgos Castelo Branco

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marta Adriana Bustos Romero

BRASÍLIA
2009

LORENA MILEIB BURGOS CASTELO BRANCO

**MICROCLIMAS URBANOS NO PLANO PILOTO DE
BRASÍLIA:**

O Caso da Superquadra 108 Sul

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Adriana Bustos Romero

BRASÍLIA
2009

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE
ARQUITETURA E URBANISMO

**MICROCLIMAS URBANOS NO PLANO PILOTO DE
BRASÍLIA:**
O Caso da Superquadra 108 Sul

Lorena Mileib Burgos Castelo Branco

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovado por:

Prof.^a. Dr.^a. Marta Adriana Bustos Romero (Orientadora)
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Rodrigo Studart Corrêa
Universidade de Brasília

Prof.^a. Dr.^a. Patrícia Regina Chaves Drach
Universidade Federal do Rio de Janeiro

BRASÍLIA
2009

CASTELO BRANCO, Lorena Mileib Burgos. **Microclimas urbanos no Plano Piloto de Brasília**: o caso da superquadra 108 sul. Brasília, 2009.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília, 2009.

Área: Paisagem, Ambiente e Sustentabilidade

Orientadora: Marta Adriana Bustos Romero

1. Microclimas urbanos. 2. Vegetação. 3. Simulação computacional. 4. Conforto ambiental

Dedico esta dissertação a pessoa que mais me incentivou, aconselhou e apoiou durante todo o mestrado, meu amigo, companheiro e grande amor, Álvaro.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu saúde e força para não desistir da minha grande vontade de ser mestre.

À minha orientadora, Professora Marta Adriana Bustos Romero, pela valiosa contribuição, paciência e, principalmente, por acreditar no meu potencial e compreender as minhas limitações.

Ao Laboratório de Sustentabilidade aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo da Universidade de Brasília, que forneceu todo o suporte necessário para realização desta dissertação.

À Secretaria da Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, pela presteza sempre concedida.

À arquiteta Elizabeth Machado e ao Raimundo Cordeiro do Departamento de Parques e Jardins, por fornecerem dados necessários no enriquecimento desta pesquisa.

A Sra. Cristina Costa do Instituto Nacional de Meteorologia pelos dados cedidos para implementação deste trabalho.

À mestrande Simone Silveira e a Professora Dra. Eleonora Assis da Universidade Federal de Minas Gerais, que tiveram a generosidade de transmitir um conhecimento bastante restrito, sem o qual esta pesquisa não se realizaria desta forma.

Aos Professores Dr. Rodrigo Corrêa e Dra. Claudia Amorim pelas observações que contribuíram decisivamente para o desenvolvimento da pesquisa, ainda na fase do projeto de qualificação.

À Professora Dra. Patrícia Drach, pelo aceite de participar da banca e contribuir no aprimoramento deste trabalho.

Aos colegas do mestrado, principalmente ao Caio, que contribuiu com todo o seu conhecimento durante toda a minha caminhada.

Aos meus pais, José e Valéria, por estarem sempre ao meu lado me apoiando em todas minhas decisões e, nos momentos difíceis, terem me amado e me apoiado ainda mais.

Aos meus irmãos, Florence e Gustavo, pelo apoio, carinho e disponibilidade em me ajudar em tudo que precisei para concluir esta dissertação.

RESUMO

Este trabalho pretendeu identificar os microclimas urbanos existentes na Superquadra 108 Sul do Plano Piloto de Brasília. Nesse sentido, estudou-se, de forma experimental, três pontos que apresentavam uma distinta distribuição de vegetação, para analisar o seu efeito sobre as seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos e temperatura superficial dos materiais. A análise foi realizada em dois períodos representativos para o clima de Brasília, o período da seca (maio a setembro) e o período chuvoso (outubro a março), por meio do monitoramento de cada parâmetro climático em cada ponto de análise. Além das medições em campo, houve também simulações computacionais por meio do software ENVI-met, modelo tridimensional que simula o microclima urbano, para comparar os valores obtidos entre medições e simulações. A partir dos resultados, constatou-se a relevância das áreas verdes e de outros fatores no clima das cidades, trazendo benefícios no processo de amenização climática pela criação de microclimas agradáveis, que contribuem de forma significativa para o conforto ambiental dos espaços urbanos. As análises comparativas entre medições em campo e simulações também geraram avanços importantes para complementar um software de utilização recente no cenário brasileiro. Os resultados fornecidos por esta pesquisa podem auxiliar no planejamento, visando à melhoria do ambiente urbano, em particular o conforto térmico dos espaços abertos.

Palavras-chave: Microclimas Urbanos, Vegetação, Simulação Computacional, Conforto Ambiental.

ABSTRACT

This project intends to identify the urban micro-climate that exists on the Superquadra 108 Sul in Plano Piloto of Brasília. It has been studied, experimentally, three different spots with distinct vegetation in order to analyze the effects on the following variables: air temperature, humidity, direction and speed of wind, and superficial temperature of materials. The analysis was done along two significant periods for Brasília's climate, the draught season (may through september) and the rainy season (october through march), by monitoring each climatic parameter on the spots to be analyzed. Besides field information, computational simulations with ENVI-met, 3-D model for urban microclimate was performed in order to compare the data collected and simulations. The results showed the relevancy of green areas among other factor on the climate of cities, leading to a more pleasant climate which contributes significantly to the environmental comfort on urban areas. The comparative analysis between field data and simulations also improved and complemented the software mentioned, once it has been recently used on Brazilian urban areas. The results presented on this research are useful in the process of planning, so as to enhance urban's environment quality, in particular the thermal comfort on open spaces.

Key-words: *Urban micro-climate, vegetation, computational simulation, environmental comfort.*

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1.1. Esquema das escalas climáticas nas áreas urbanas
- Figura 1.2. Características ligadas aos conjuntos arbóreos
- Figura 1.3. Formas de grupamentos das árvores
- Figura 1.4. Efeito de pilotis e arborização

Capítulo 2

- Figura 2.1. Risco preliminar do Plano Piloto de Brasília
- Figura 2.2. Projeto do Plano Piloto
- Figura 2.3. Escalas de Brasília: monumental, residencial, gregária e bucólica
- Figura 2.4. Localização geográfica da cidade de Brasília
- Figura 2.5. Rosa dos ventos para Brasília
- Figura 2.5a. Rosa dos ventos para Brasília
- Figura 2.6. Superquadra com a faixa arborizada
- Figura 2.7. Esplanada dos Ministérios
- Figura 2.8. Localização da Superquadra 108 Sul no Plano Piloto de Brasília
- Figura 2.9. Croqui representando um conjunto de superquadras
- Figura 2.10. Inventário da Planta Urbanística da Superquadra 108 Sul
- Figura 2.11. Distribuição dos materiais urbanos na Superquadra 108 Sul
- Figura 2.12. Locação das árvores na Superquadra 108 Sul

Capítulo 3

- Figura 3.1. Conjunto de equipamentos utilizados nas medições microclimáticas
- Figura 3.2. Registro de dados
- Figura 3.3. Pontos escolhidos para realização das medições em campo
- Figura 3.4. Superquadra 108 Sul com ventilação leste
- Figura 3.5. Superquadra 108 Sul com ventilação noroeste
- Figura 3.6. Perfil e fotografias do Ponto 1
- Figura 3.7. Perfil e fotografias do Ponto 2
- Figura 3.8. Perfil e fotografias do Ponto 3

- Figura 3.9. Localização da estação de monitoramento automática em Brasília e no INMET
- Figura 3.10. Materiais de revestimento horizontais referentes aos três pontos de medição
- Figura 3.11. Efeito da rugosidade do terreno para a velocidade do vento
- Figura 3.12. Fluxograma ENVI-met
- Figura 3.13. Resultados da Simulação durante o dia e durante a noite, respectivamente.
- Figura 3.14. Diferenças entre as medições em campo e os resultados da simulação, para as temperaturas do ar e das superfícies horizontais.
- Figura 3.15. Resultado de temperatura no ENVI-met às 12 horas
- Figura 3.16. Simulações dos prédios com e sem telhados verdes

Capítulo 4

- Figura 4.1. Entrada de dados para modelagem no ENVI-met (vegetação e edificações)
- Figura 4.2. Entrada de dados para modelagem no ENVI-met (revestimento do solo)
- Figura 4.3. Informações referentes ao tamanho da área
- Figura 4.4. Informações referentes às propriedades geográficas
- Figura 4.5. Conversão de ângulo de incidência do vento para coordenadas cardeais
- Figura 4.6. Quadro com a palheta de cores do programa
- Figura 4.7. Localização dos materiais urbanos na SQS 108
- Figura 4.8. Roteiro da análise das simulações
- Figura 4.9. Resultados em planta da Simulação 1.1
- Figura 4.10. Cortes referentes ao período da seca
- Figura 4.11. Resultados em planta da Simulação 1.2
- Figura 4.12. Velocidades do Vento baixas entre as edificações
- Figura 4.13. Efeito de canalização entre os blocos “H”
- Figura 4.14. Trecho dos Mapas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 de Temperatura do Ar e Velocidade do Vento: 9, 15 e 21 horas respectivamente
- Figura 4.15. Resultados em planta da Simulação 1.3
- Figura 4.16. Cortes referentes ao período da chuva
- Figura 4.17. Resultados em planta da Simulação 1.4
- Figura 4.18. Detalhe das plantas de velocidade dos ventos às 9 e 21 horas respectivamente
- Figura 4.19. Resultados em planta da Simulação 1.5
- Figura 4.20. Materiais urbanos e umidade relativa do ar às 9 horas
- Figura 4.21. Resultados em planta da Simulação 1.6
- Figura 4.22. Resultados em planta da Simulação 1.7
- Figura 4.23. Temperaturas mais baixas entre as edificações às 9 e 15 horas respectivamente
- Figura 4.24. Resultados em planta da Simulação 1.8

LISTA DE GRÁFICOS

Capítulo 2

- Gráfico 2.1. Temperatura máxima e mínima do ar
- Gráfico 2.2. Temperatura média do ar
- Gráfico 2.3. Umidade Relativa do Ar
- Gráfico 2.4. Precipitação Atmosférica
- Gráfico 2.5. Insolação total
- Gráfico 2.6. Nebulosidade

Capítulo 3

- Gráfico 3.1. Temperatura do Ar no dia 08 de setembro de 2008
- Gráfico 3.2. Temperatura do Ar no dia 09 de setembro de 2008
- Gráfico 3.3. Temperatura do Ar no dia 13 de janeiro de 2009
- Gráfico 3.4. Temperatura do Ar no dia 14 de janeiro de 2009
- Gráfico 3.5. Umidade Relativa do Ar no dia 08 de setembro de 2008
- Gráfico 3.6. Umidade Relativa do Ar no dia 09 de setembro de 2008
- Gráfico 3.7. Umidade Relativa do Ar no dia 13 de janeiro de 2009
- Gráfico 3.8. Umidade Relativa do Ar no dia 14 de janeiro de 2009
- Gráfico 3.9. Velocidade do Vento no dia 08 de setembro de 2008
- Gráfico 3.10. Velocidade do Vento no dia 09 de setembro de 2008
- Gráfico 3.11. Velocidade do Vento no dia 13 de janeiro de 2009
- Gráfico 3.12. Velocidade do Vento no dia 14 de janeiro de 2009
- Gráfico 3.13. Temperatura Superficial dos Materiais no dia 08 de setembro de 2008
- Gráfico 3.14. Temperatura Superficial dos Materiais no dia 09 de setembro de 2008
- Gráfico 3.15. Temperatura Superficial dos Materiais no dia 13 de janeiro de 2009
- Gráfico 3.16. Temperatura Superficial dos Materiais no dia 14 de janeiro de 2009

Capítulo 4

- Gráfico 4.1. Comparação entre os valores medidos e simulados de Temperatura do Ar (08/09/2008)
- Gráfico 4.2. Comparação entre os valores medidos e simulados de Velocidade do Vento (08/09/2008)

- Gráfico 4.3. Comparação entre os valores medidos e simulados de Temperatura do Ar (13/01/2009)
- Gráfico 4.4. Comparação entre os valores medidos e simulados de Velocidade do Vento (13/01/2009)
- Gráfico 4.5. Comparação entre os valores medidos e simulados de Umidade Relativa do Ar (08/09/2008)
- Gráfico 4.6. Comparação entre os valores medidos e simulados de Umidade Relativa do Ar (13/01/2009)
- Gráfico 4.7. Dados de Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 08/09/2008
- Gráfico 4.8. Dados de Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 13/01/2009

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

- Tabela 1.1. Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais
- Tabela 1.2. Propriedades físicas dos materiais de revestimento
- Tabela 1.3. Diferenças entre áreas verdes e áreas não plantadas

Capítulo 3

- Tabela 3.1. Dados Meteorológicos referentes ao dia 08 de setembro de 2008
- Tabela 3.2. Dados Meteorológicos referentes ao dia 09 de setembro de 2008
- Tabela 3.3. Dados Meteorológicos referentes ao dia 13 de janeiro de 2009
- Tabela 3.4. Dados Meteorológicos referentes ao dia 14 de janeiro de 2009
- Tabela 3.5. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 08 de setembro de 2008
- Tabela 3.6. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 09 de setembro de 2008
- Tabela 3.7. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 13 de janeiro de 2009
- Tabela 3.8. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 14 janeiro de 2009
- Tabela 3.9. Superfícies horizontais e porcentagem de áreas verdes nos pontos de medição

Capítulo 4

- Tabela 4.1. Configuração da vegetação no ENVI-met
- Tabela 4.2. Configuração do revestimento do solo no ENVI-met

LISTA DE QUADROS

Capítulo 1

- Quadro 1.1. Sistema Clima Urbano
- Quadro 1.2. Configuração do Clima
- Quadro 1.3. Características do ambiente natural e construído

Capítulo 2

- Quadro 2.1. Normais Climatológicas (1961-1990)
- Quadro 2.2. Percentual de espécies nativas na Asa Sul
- Quadro 2.3. Percentual de ocupação de cada bloco na Superquadra de estudo
- Quadro 2.4. Algumas espécies encontradas na SQS 108

Capítulo 3

- Quadro 3.1. Relação W/H e desempenho ambiental do espaço urbano
- Quadro 3.2. Dados iniciais para simulação
- Quadro 3.3. Dados iniciais para simulação

Capítulo 4

- Quadro 4.1. Dados para a configuração básica do programa
- Quadro 4.2. Fatores que influenciam o clima urbano (coeficiente de rugosidade)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	– Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CODEPLAN	– Companhia de Planejamento do Distrito Federal
DPJ	– Departamento de Parques e Jardins de Brasília
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
LABAUT	– Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência
Lasus	– Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo
OMM	– Organização Meteorológica Mundial
PBL	– Camada Limite Planetária
SCU	– Sistema Clima Urbano
SQS 108	– Superquadra 108 Sul
TRM	– Temperatura Radiante Média
UBL	– Camada Limite Urbana;
UCL	– Camada da Cobertura Urbana;
UnB	– Universidade de Brasília

SUMÁRIO

RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE GRÁFICOS	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE QUADROS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
INTRODUÇÃO	I
PARTE 1 - REFERENCIAL CONCEITUAL-TEÓRICO.....	18
1 ESTUDO DO CLIMA E DA VEGETAÇÃO	18
1.1 Clima Urbano.....	18
1.1.1 Estudos realizados sobre o assunto	18
1.1.2 Escalas climáticas	22
1.1.3 Elementos do Clima.....	24
1.2 Alguns estudos importantes sobre as áreas verdes urbanas.....	29
2 BRASÍLIA – ENTROSAMENTO ENTRE CIDADE E NATUREZA	36
2.1 Configuração urbana de Brasília	36
2.2 Caracterização climática de Brasília	38
2.3 As áreas verdes de Brasília e seu contexto	43
2.4 Estudo Específico da Superquadra 108 Sul	46
PARTE 2 – INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL	55
3 MÉTODOS E MATERIAIS	55
3.1 Instrumentação para Levantamento de Dados.....	55
3.2 Escolha dos pontos de medição na unidade amostral urbana.....	57
3.3 Análise dos dados microclimáticos.....	62
3.3.1 Temperatura do Ar.....	67
3.3.2 Umidade Relativa do Ar	69
3.3.3 Velocidade dos Ventos.....	70
3.3.4 Temperatura Superficial dos Materiais.....	73
3.4 ENVI-met: programa computacional escolhido	75
3.5 Histórico da utilização do programa no Brasil e no mundo	77
4 SIMULAÇÕES DOS MICROCLIMAS DA SUPERQUADRA 108 SUL.....	86
4.1 Configuração do programa ENVI-met.....	86
4.2 Análise das simulações computacionais.....	93
4.2.1 Temperatura do Ar e Velocidade dos Ventos – Períodos: seca e chuva.....	95
4.2.2 Umidade Relativa do Ar – Períodos: seca e chuva.....	107
4.2.3 Temperatura Superficial dos Materiais - Períodos: seca e chuva	110

4.2.4	Temperatura do Ar e Velocidade dos Ventos a partir da comparação com as Medições de Campo.....	114
4.2.5	Umidade Relativa do Ar a partir da comparação com as Medições de Campo	118
4.2.6	Temperatura Superficial dos Materiais a partir da comparação com as Medições de Campo.....	120
	CONCLUSÃO.....	123
	REFERÊNCIAS	131
	ANEXO A.....	136
	ANEXO B.....	140

INTRODUÇÃO

Cada cidade é única em relação a sua localização geográfica, história, cultura e expressão arquitetônica. Essa diversidade, que faz as viagens tão interessantes, faz o estudo do clima urbano especialmente desafiante.

OKE (2005, p.185, tradução autora)

O século XX se caracterizou por um grande processo de urbanização, que supõe a substituição dos ecossistemas naturais por centros de grandes densidades criados pelo homem. O crescimento do espaço urbano tem se dado de forma desorganizada e desarticulada entre a paisagem urbana e seu contexto físico, social e ambiental.

A alteração das características térmicas das superfícies das cidades, decorrente da presença de edificações e materiais de construção quando comparada às áreas verdes, é uma das maiores modificações associadas à urbanização. Estas superfícies impermeáveis têm uma alta capacidade de absorver e re-irradiar calor, aumentando a temperatura ambiente e permitindo a formação de ilhas de calor nas cidades.

Segundo Duarte e Serra (2003), cada cidade é composta por um mosaico de microclimas diferentes; os mesmos fenômenos que caracterizam o mesoclima urbano¹ existem em miniatura por toda a cidade, como pequenas ilhas de calor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no comportamento dos ventos.

Dessa forma, a problemática desta dissertação se encontra nas alterações causadas pela desordenada ocupação do solo, aumento de áreas construídas e pelo adensamento populacional, associados à redução de espaços verdes intra-urbanos e à poluição atmosférica. A elevação da temperatura e umidade do ar e a mudança da direção e da velocidade dos ventos são algumas das alterações que afetam os microclimas das cidades.

¹ A escala mesoclimática é a mais próxima da edificação. Alguns tipos de mesoclima podem se identificados facilmente, como o litoral, o campo, as cidades, etc. É aqui que variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais irão influenciar nas condições locais de clima (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997, p.34).

A escolha de analisar os problemas causados pela urbanização na cidade de Brasília foi feita pela estrutura urbana diferenciada do Plano Piloto da cidade em relação às demais capitais brasileiras, onde se encontra a predominância de edifícios isolados, distribuídos em uma difusa paisagem de áreas verdes separadas por uma grande malha de vias arteriais de alta velocidade.

O estudo analisou especificamente a Superquadra 108 Sul, por ser uma das superquadras do Plano Piloto capaz de representar o exemplo máximo da dissolução do quarteirão tradicional, com o sistema viário, os edifícios e as áreas verdes, funcionando como fragmentos autônomos de cidade.

Além disso, a idéia de garantir a qualidade de vida aos moradores através da relação entre área construída e espaços livres encontrou entraves durante a construção da cidade. Segundo Machado (2007) a dimensão dos espaços livres a serem tratados e o curto prazo para construir e inaugurar Brasília delineou a estratégia de primeiro parcelar o solo com as projeções, para depois traçar o sistema viário interno, postergando o detalhamento das áreas verdes das superquadras.

A concepção urbana de cidade-parque, onde é indispensável melhorar a circulação e aumentar a quantidade de espaços livres arborizados, que foi adotada por Lucio Costa para a capital do Brasil, pode passar também a idéia, para aqueles que não a conhecem, de uma cidade sem problemas de tráfego e que possui muitas áreas verdes distribuídas de maneira uniforme. Porém, cabe considerar que a capital do Brasil é o DF urbano, e não apenas o Plano Piloto, constatando a congestão do tráfego em direção ao Plano pela manhã e engarrafamentos ao fim do dia em direção aos núcleos que compõem o aglomerado do Distrito Federal ².

Dentro das possibilidades de conforto térmico em áreas externas, a vegetação colabora de diversas formas, agindo simultaneamente sobre o lado físico e mental do homem, absorvendo ruídos, atenuando o calor do sol, melhorando a qualidade do ar, contribuindo para a formação e o aprimoramento do olhar estético, etc. Além disso, desempenha um papel fundamental na paisagem urbana, porque constitui um espaço

² PAVIANI, Aldo. "Próteses" urbanas em Brasília. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/minhacidade/mc264/mc264.asp>>. Acesso em 10 jul. 2009.

dentro do sistema urbano³, onde as condições ecológicas se aproximam das condições normais da natureza.

Por meio das possibilidades existentes de melhorar o desempenho ambiental dos espaços urbanos, amenizando os problemas causados pela urbanização, este estudo identificou os microclimas existentes em uma superquadra, na tentativa de solucionar, principalmente, os problemas gerados pela alta pavimentação do solo. Para tanto, estes espaços foram analisados detalhadamente, uma vez que se as análises fossem realizadas de uma maneira generalizada, as decisões para corrigir determinados problemas podem ser eficientes para determinados locais e não se adequarem a outros, mesmo em se tratando de uma praça, quarteirão ou superquadra.

Os espaços abertos podem ser razoavelmente climatizados, o que depende de uma complexa interação entre as condições climáticas locais, os padrões de ocupação do solo, a existência de áreas verdes e a presença de água.

Dada essa situação, fazem-se necessários estudos que analisem como os elementos climáticos, umidade relativa, temperatura do ar, velocidade dos ventos, etc., são afetados pelo tipo de solo, pela morfologia urbana, pelo tipo de vegetação existente, entre outros fatores, alterando os microclimas urbanos.

Por esse motivo, propomos analisar o comportamento microclimático de pequenos espaços urbanos inseridos em uma cidade com unicidades morfológicas e climáticas. Esse comportamento foi analisado através de medições em campo e simulações computacionais, abordando as seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos e temperatura superficial dos materiais. Essas análises foram embasadas por um estudo teórico que abordou conceitos de autores importantes relacionados aos eixos temáticos tratados neste estudo.

Para tanto, o trabalho foi estruturado em duas partes, contendo os capítulos que constituem a presente dissertação. A primeira parte, composta dos capítulos dois e três, aborda as referências conceitual-teóricas acerca do clima urbano, da vegetação e da

³ O sistema urbano é a articulação de instâncias de uma estrutura social dentro de uma unidade reprodutora de força de trabalho, ou seja, articulação de instâncias intra-urbanas, cuja função é a de organizar as relações entre os elementos da estrutura espacial (CASTELLS, 1976, p.121)

cidade de Brasília. A segunda parte possui os capítulos quatro e cinco, que se referem à investigação experimental⁴. Um deles trata da pesquisa de campo propriamente dita, e o outro apresenta as simulações computacionais realizadas. As conclusões são apresentadas no capítulo seis.

Na primeira parte da dissertação, o estudo do clima urbano tratou conceitos sobre as escalas climáticas e a caracterização dos elementos climáticos que foram abordados nesta pesquisa. Entre os autores investigados, destacaram-se Landsberg (1956), Chandler (1965), Monteiro (1976), Oke (1978), Lombardo (1985), Ayoade (1991), Katzschner (1997) e Romero (2000).

Já a análise da vegetação revisou estudos precedentes sobre as áreas verdes no ambiente urbano. Esses estudos foram baseados em Izard e Guyot (1980), Assis (1990), Peixoto, Labaki e Santos (1995), Mascaró (1996), Shashua-Bar e Hoffman (2000), Romero (2001), Santamouris (2001) e Duarte e Serra (2003). Quanto a cidade de Brasília, foram abordados os temas sobre a configuração urbana e a caracterização climática da cidade, suas áreas verdes e o estudo da superquadra que foi o objeto deste estudo.

Na segunda parte da pesquisa, o capítulo quatro tratou os métodos e materiais adotados para realização da investigação experimental, através da escolha dos pontos de medição na unidade amostral urbana e dos instrumentos necessários para o levantamento de dados. Nesse capítulo também foram analisados os dados microclimáticos coletados e uma apresentação inicial do programa computacional que foi utilizado neste estudo para simular os microclimas urbanos. Foi desenvolvido um histórico sobre a utilização do *software* para embasar algumas limitações encontradas em sua utilização na presente pesquisa, uma vez que, por se tratar de uma ferramenta recente e ainda em desenvolvimento, certos entraves tiveram que ser respaldados por estudos já realizados.

O capítulo cinco apresentou as simulações realizadas na superquadra de estudo por meio do ENVI-met, programa computacional escolhido, analisando os seguintes

⁴ O método teórico-experimental, de acordo com Vasconcellos (2006), é empregado em estudos que abordam as variações climáticas em áreas urbanas consolidadas, permitindo a coleta, a conjugação e a interpretação dos dados obtidos através de bibliografia e *in loco*.

elementos climáticos: temperatura e umidade relativa do ar, vento e temperatura superficial dos materiais. Esse capítulo também engloba a comparação realizada entre dados obtidos com as medições em campo e os dados extraídos dos mapas gerados pelas simulações.

Por fim, o sexto capítulo, que corresponde à conclusão, traz considerações finais sobre a pesquisa e as sugestões para estudos posteriores.

PARTE 1 - REFERENCIAL CONCEITUAL-TEÓRICO

1 ESTUDO DO CLIMA E DA VEGETAÇÃO

Para realização deste trabalho, que aborda o clima e a vegetação inseridos no meio urbano, foi necessário investigar o referencial teórico sobre o assunto, que é a base conceitual utilizada neste estudo. Realizou-se a revisão de alguns trabalhos importantes na discussão da temática desenvolvida nesta dissertação, procurando reunir estudos precedentes que dessem suporte a análise da investigação experimental realizada.

1.1 Clima Urbano

1.1.1 Estudos realizados sobre o assunto

A presente dissertação aborda dentro do tema clima urbano, os microclimas e os elementos climáticos que afetam o desempenho ambiental nos espaços abertos. Para conceituar esse tema, destacam-se importantes autores como Landsberg (1956), Chandler (1965), Monteiro (1976), que se tornou referência para o estudo do ambiente atmosférico urbano do Brasil, por meio de sua teoria e metodologia que levam em conta aspectos específicos do país, Oke (1978), Lombardo (1985), Ayoade (1991), Katzschner (1997) e Romero (2000).

Segundo Monteiro (1976), os estudos científicos sobre o clima urbano tiveram início no século XIX, na Europa, com o trabalho de Luke Howard sobre o clima da cidade de Londres, em 1833. Ele foi o primeiro a observar que as temperaturas do ar são frequentemente mais altas na cidade que na área rural à sua volta. A obra de Howard surgiu no início da era industrial e abordou o clima da cidade por meio da análise de observações meteorológicas.

A partir de então, vários estudos sobre as diferenças climáticas entre as áreas rurais e urbanas de diversas cidades surgiram. Após a Segunda Guerra Mundial houve um aumento surpreendente na quantidade de pesquisas acerca do clima urbano, especialmente nos Estados Unidos, Japão e Europa, devido à intensificação do processo de crescimento e expansão das áreas urbanas, bem como o crescimento da industrialização.

Segundo Romero (2000), a crise do petróleo de 1973 motivou o aparecimento de trabalhos que associaram a preocupação pela economia de energia convencional às preocupações pela incorporação dos fatores ambientais ao desenho.

Nas décadas seguintes surgiram pesquisas importantes sobre a modificação das condições iniciais do clima em áreas urbanas, dentre as quais podemos citar os trabalhos de Landsberg (1956), que é considerado um dos pioneiros no conhecimento das alterações climáticas provocadas pela urbanização em cidades de latitudes médias. Seu livro "*The climate of towns*", representa um marco teórico nos estudos climatológicos, por ser considerado a primeira síntese elaborada sobre os estudos do clima urbano. Os aspectos fundamentais dessa síntese foram enunciados por Monteiro (1976, p. 57):

- o clima urbano é a modificação substancial de um clima local;
- o desenvolvimento urbano tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição ou 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.

Os problemas gerados pela poluição atmosférica atraem pesquisadores, sendo que Chandler analisa a metrópole britânica com preocupações metodológicas em relação ao clima urbano. Segundo Monteiro (1976), a abordagem climatológica é separativa, pois, ele coloca os fatores climáticos no mesmo nível dos elementos extensivos do clima, sem uma orientação lógica entre causalidade atmosférica, transformação ambiente da cidade e efeitos da urbanização.

No Brasil, as incursões acerca do clima urbano se iniciaram na década de 70 com o trabalho de Monteiro, que elaborou um modelo teórico para a investigação do comportamento climático das cidades, por meio de articulações dos subsistemas segundo os canais de percepção, designado Sistema Clima Urbano - S.C.U.

O Sistema Clima Urbano é caracterizado como singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e possível de auto-regulação que engloba o clima local e sua urbanização. Os níveis que formam a estrutura do S.C.U. podem ser representados por três canais de percepção humana: Canal I- Conforto Térmico; Canal II- Qualidade do Ar; Canal III- Impacto Meteorológico, que se associam, respectivamente, aos seguintes níveis de resolução do sistema: termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico (Quadro 1.1).

Quadro 1.1. Sistema Clima Urbano

Subsistemas Canais Caracterização	I Termodinâmico	II Físico-Químico	III Hidrometeorológico
	Conforto térmico	Qualidade do ar	Impacto meteorológico
Fonte	Atmosfera Radiação Circulação horizontal	Atividade urbana Veículos automotores Indústrias Obras-limpeza	Atmosfera Estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no sistema	Intercâmbio de Operador e Operando	De operando ao operador	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)	Episódico (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
Produtos	Ilha de calor Ventilação Aumento da precipitação	Poluição do ar	Ataques à Integridade Urbana
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 urbana e regularização fluvial. Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e Homem	Homem	Natureza

Fonte: Monteiro (1976:127)

Entre as alterações climáticas ocorridas devido ao processo de urbanização, a formação de ilhas de calor é um dos fenômenos mais estudados e evidentes, constituindo-se numa característica universal do clima urbano, principalmente nas metrópoles.

Lombardo (1985) analisou esse fenômeno na cidade de São Paulo, utilizando dados provenientes de imagens de satélite meteorológico e dados de campo com medidas móveis e fixas. Diante dos resultados, concluiu-se que a cidade apresentou temperatura horizontal superior a 10° C, sendo que a área que apresentou pico de calor também apresentou o maior índice de poluição, a maior concentração de edifícios e indústrias, a menor quantidade de vegetação e maior pavimentação e também, pouco contato com fontes de água. Estes resultados demonstraram a forte correlação entre o aumento de temperatura, a baixa umidade relativa do ar e o uso do solo.

Oke (1978) desenvolveu um modelo que relacionou a intensidade da ilha de calor urbana à densidade populacional, aplicado a cidades Européias e Norte-Americanas. Ele demonstrou ainda que a geometria urbana e as propriedades térmicas das superfícies têm maior influência que o vento e a densidade da população. Em áreas urbanizadas, as dimensões horizontais, verticais e temporais das anomalias térmicas estão intimamente relacionadas com a quantidade de construções, com o uso do solo, com o clima e com as condições meteorológicas regionais. O trabalho desse autor consolidou o estudo da inter-relação entre o clima urbano e o uso e a ocupação do solo.

Um estudo que demonstrou uma grande preocupação entre a relação existente entre o homem e o clima foi realizado por Ayoade (1991). Segundo o autor, o clima é o componente mais importante do ambiente natural. Ele afeta os processos geomorfológicos, os da formação dos solos e o crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, os organismos, incluindo o homem, são influenciados pelo clima. O autor ainda analisou o impacto do clima sobre a sociedade, uma vez que o homem e suas sociedades são vulneráveis às variações climáticas. O ar, a água, o alimento, o vestuário e o abrigo, que são dependentes das condições meteorológicas ou do tempo que lhe é inerente, são essenciais para a vida da humanidade.

Como o clima e as variações climáticas exercem uma grande influência sobre a sociedade, Katzschner (1997) definiu um método de estudo que avaliou as condições do clima urbano através de uma descrição qualitativa do espaço e de um sistema de classificação

baseado nos padrões térmicos e dinâmicos do clima urbano, em relação à sua topografia, ao uso do solo, às áreas verdes e à altura dada às edificações, seguido por uma descrição quantitativa do espaço. Segundo o autor, o estudo do clima urbano é um instrumento para o planejamento das cidades, pois considera a circulação do ar e as condições térmicas, aspectos relevantes para a preservação e/ou o projeto do chamado clima urbano ideal. Isso evita que as intervenções sobre o meio natural prejudiquem os recursos que o sítio oferece e assegura a circulação e a renovação das massas de ar.

Dentro da relação clima urbano e planejamento das cidades, Romero (2000) analisou três tipos de clima encontrados nas regiões tropicais e sugeriu critérios para a escolha do sítio nessas regiões e princípios de desenho que favorecem o conforto e o desempenho dos espaços construídos. Por meio da morfologia do tecido urbano, descreveu como deve ser a forma das construções, as características das ruas e o tamanho dos lotes e dos espaços públicos, considerando fatores climáticos como a vegetação, radiação solar, ventilação e outros.

1.1.2 Escalas climáticas

Segundo Romero (2001), o clima de um lugar pode ser considerado como a integração de uma série de elementos que se verificam em escalas diferentes, abrangendo desde a macro até a microescala. Assim, a classificação das escalas climáticas permite uma maior compreensão do clima urbano.

Oke (2004) apresenta uma metodologia para avaliação do clima nas áreas urbanas nas escalas meso, local e microclimática, que podem ser definidas da seguinte forma:

- a) Escala Mesoclimática: equivale ao clima regional que é decorrente, sobretudo, da formação topográfica e da latitude. Recebe influência das massas térmicas, que, além de suas características originais, durante sua trajetória recebem influência de outras massas térmicas e do mar. Normalmente, os dados meteorológicos descrevem o clima genérico de um estado ou de um país, com detalhes de insolação, nebulosidade, precipitações, temperatura e umidade. Um mapa com o mínimo de informações necessárias para descrever o espaço urbano na escala mesoclimática e local corresponde a 1:50.000.

- b) Escala Local: inclui os efeitos das características das paisagens no clima, como a topografia. Porém, exclui os efeitos do microclima. Nas cidades isso corresponde ao impacto de vizinhanças com tipos similares de desenvolvimento urbano (cobertura da superfície, tamanho e espaçamento das construções e atividade).
- c) Escala Microclimática (~1:5.000): na qual se insere este estudo, considera que toda superfície ou objeto detém seu próprio microclima. Nela a temperatura das superfícies pode variar em muitos graus em pequenas distâncias e a natureza dos elementos meteorológicos está condicionada fundamentalmente pelos fatores do entorno imediato muito mais que pelos fatores locais. Os estudos microclimáticos comparam o comportamento do clima em diferentes pontos do tecido urbano, trabalhando com dados diários e horários durante períodos de tempo de episódios típicos. Oke (2004, p.3 e 4) (Figura 1.1).

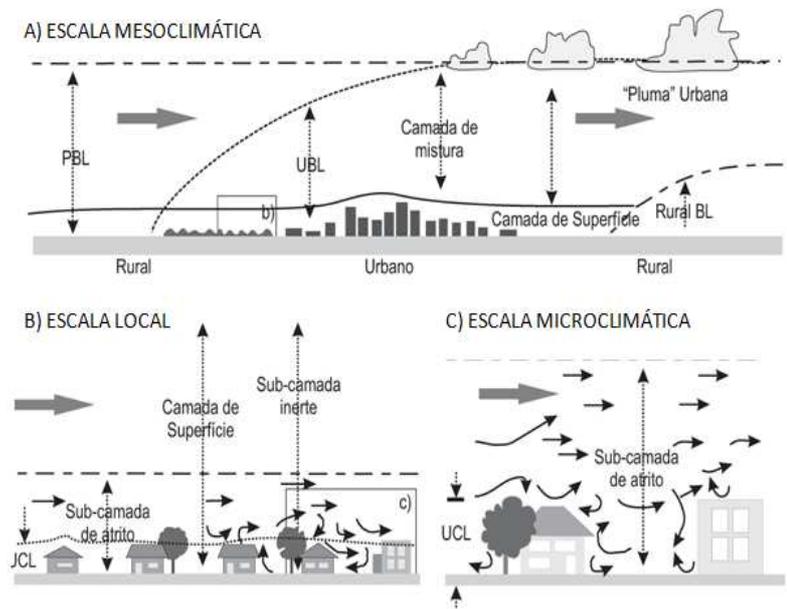


Figura 1.1. Esquema das Escalas Climáticas nas Áreas Urbanas
Fonte: Oke (2004:3)

UCL: Camada da Cobertura Urbana; UBL: Camada Limite Urbana; PBL: Camada Limite Planetária

No âmbito da micro escala localiza-se a *Urban Canopy Layer – UCL*, que segundo Oke (1978, *apud* Romero, 2001) é definida como a camada urbana no nível das coberturas que corresponde ao setor localizado entre uma fileira de edifícios que apresenta uma mistura dos microclimas produzidos pelo entorno mais imediato. Já a *Urban Boundary Layer - UBL* é

um fenômeno local de média escala, cujas características são determinadas parcialmente pela presença da malha urbana. É a camada mais próxima da superfície urbana e, portanto, recebe toda a sua influência térmica.

1.1.3 Elementos do Clima

O caráter do microclima, de acordo com Mascaró (1996), evidencia-se quando fatores climáticos locais acentuam ou atenuam os fatores de origem externa, ou seja, quando o fenômeno climático micro interfere de forma decisiva no contexto macroclimático.

Para compreender melhor quais são os fatores e os elementos climáticos, Romero (2000) apresenta uma separação sobre a configuração do clima em que fatores climáticos globais são aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao clima, os locais, objeto deste estudo, condicionam, determinam e dão origem ao microclima, e os elementos climáticos representam os valores relativos a cada tipo de clima (Quadro 1.2).

Quadro 1.2. Configuração do Clima

Fatores Climáticos Globais		Fatores Climáticos Locais	
	Radiação Solar Quantidade/Qualidade/Inclinação do eixo terrestre/Equilíbrio térmico terrestre		Topografia Declividade/Orientação Exposição/Elevação
	Latitude		Vegetação
	Altitude		Superfície do solo Natural ou construído/Reflexão/ Permeabilidade/ Temperatura/ Rugosidade
	Ventos		
	Massas de água e terra		
Elementos Climáticos			
	Radiação Solar Valores médios/Variações/Valores extremos/ Diferenças térmicas entre o dia e a noite		
	Umidade do ar Absoluta/Relativa/Pressão de valor		
	Precipitações Chuva/Neve (todo tipo de água que se precipita da atmosfera)		
	Movimento do ar Velocidade/Direção/Mudanças diárias e estacionais		

Fonte: Adaptado de Romero (2000:20)

1.1.3.1 Temperatura do Ar

A temperatura do ar recebe influência direta da relação existente entre as taxas de esfriamento e aquecimento da superfície da Terra, sendo que a velocidade com que esta superfície se aquece ou se resfria determina a temperatura do ar que se encontra sobre ela.

A radiação solar que atinge a superfície terrestre é recebida de forma distinta dependendo do tipo de solo, da vegetação, da topografia e da altitude.

A quantidade de calor removido do corpo por convecção é inversamente proporcional a temperatura do ar ambiente, ou seja, quanto menor for a temperatura do ar, maior a remoção. Já quando a temperatura do ar for maior que a do corpo humano, a temperatura cederá calor ao corpo. A influência da temperatura do ar depende da umidade relativa e da velocidade do vento, ou seja, para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função destas variáveis climáticas.

1.1.3.2 Vento

O movimento do ar atmosférico é gerado pelas diferenças de pressão atmosférica resultante de diferentes temperaturas do ar. Quando o ar aquecido se expande, torna-se menos denso e sobe verticalmente, criando zonas de baixa pressão, gerando a circulação horizontal. O ar aquecido sobe até certo ponto onde volta a se resfriar e desce verticalmente, produzindo zonas de alta pressão.

A velocidade do deslocamento de ar é proporcional à diferença de temperatura entre a região de baixa pressão (ar quente) e a de alta pressão (ar frio).

Para a análise da capacidade de contribuição da ventilação na remoção do calor do corpo humano é preciso conhecer a temperatura e a umidade relativa do ar. Quando a temperatura do ar é inferior a da pele e o ar não está saturado, os processos de evaporação e convecção aumentam diretamente com o aumento da velocidade do ar, porque a umidade do corpo é retirada mais rapidamente e a velocidade da troca de ar que rodeia o corpo é maior (maior ventilação). Conclui-se com isso que a velocidade do vento tem influência direta na sensação de conforto térmico.

1.1.3.3 Umidade Relativa do Ar

A umidade do ar resulta da evaporação de água das superfícies úmidas e da evapotranspiração das plantas. A umidade absoluta, a umidade específica, a pressão de vapor e a umidade relativa são algumas das formas pelas quais a quantidade e a proporção de vapor d'água na atmosfera podem ser expressas.

A umidade absoluta é o peso de vapor de água contido em uma unidade de volume de ar (g/m^3), e a umidade relativa é a proporção entre a umidade que o ar contém e a umidade máxima que poderia conter naquela temperatura, expressa em porcentagem.

A umidade relativa varia conforme a temperatura do ar, ou seja, quando ela aumenta, a quantidade máxima de vapor de água que 1m^3 pode conter também aumenta, assim como, quando a temperatura abaixa a quantidade máxima de vapor também diminui. No caso da remoção de calor por evaporação, a baixa umidade do ar permite que este, estando relativamente seco, absorva a umidade da pele mais rapidamente, resfriando-a num menor tempo. Quando a umidade relativa é alta esse efeito fica prejudicado.

1.1.3.4 Temperatura Superficial e Propriedades Físicas dos Materiais

Foram realizadas medições e simulações da temperatura dos materiais que revestem o solo dos locais de monitoramento da quadra em estudo. Os materiais presentes na área, asfalto, concreto, grama e terra, possuem propriedades físicas diferenciadas que devem ser analisadas para entender como os materiais de revestimento podem afetar os microclimas urbanos.

A quantidade de energia solar que cada ponto da superfície recebe é determinada pela latitude, já a capacidade de armazenamento de calor varia segundo a natureza do solo.

Em qualquer superfície revestida de material com grande inércia térmica o calor é recebido durante o dia e se propaga em profundidade, o que permite que se dissipe lentamente durante a noite. Já em um solo de escassa condutividade térmica, o ar esquenta durante o dia e não há armazenamento, o que faz com que a noite haja menos calor.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)⁵ apresenta a propriedade térmica de alguns materiais por meio da massa específica (ρ), da condutividade térmica (λ) e do calor específico (c). Porém, para este estudo, foram relacionadas as características do asfalto, do concreto e da terra, uma vez que a norma não possuía as propriedades térmicas da grama, que é um dos materiais de revestimento deste trabalho (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Densidade de massa específica (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais ⁶

Material	ρ Kg/m ³	λ W/(m.K)	c (kJ/kj.K)
Concreto normal	2200 - 2400	1,75	1,00
Asfalto	2300	1,15	0,92
Terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Fonte: ABNT (2003: 9 e 10)

Os corpos e as substâncias na natureza reagem de maneiras diferentes quando recebem ou cedem determinadas quantidades de calor. Alguns esquentam mais rápido que os outros, assim, a capacidade térmica depende diretamente da massa do corpo. Verificou-se que as densidades de massa aparente (ρ) do concreto e do asfalto são maiores, necessitando assim, de mais calor que a argila para se aquecerem.

Os materiais com condutividade térmica maiores irão transferir maiores quantidades de calor por unidade de tempo. O concreto, o asfalto e a terra possuem condutividade térmica muito baixa, ou seja, transferem pequenas quantidades de calor.

A porcentagem de energia refletida de volta para a atmosfera depende das características do material e da cobertura da superfície, assim, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície dependendo do material empregado.

⁵ A norma que possui as propriedades térmicas dos materiais se refere ao Projeto 02: 135.07-001/2 intitulado Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (setembro, 2003).

⁶ A densidade de massa aparente (ρ) é o quociente da massa pelo volume aparente de um corpo, a condutividade térmica (λ) é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro e o calor específico ou capacidade térmica específica (c) é o quociente da capacidade térmica pela massa.

Segundo Doulos (2004), o comportamento dos materiais de construção é decisivo no ganho térmico, e são determinados pelas características óticas e térmicas, sendo o albedo e a emissividade seus mais significantes fatores.

O albedo é uma medida da refletância solar de um corpo ou de uma superfície. É a razão entre a radiação eletromagnética refletida e a quantidade incidente. A proporção depende da frequência da radiação considerada e do ângulo de incidência da radiação. O albedo pode variar de 0 a 1, ou pode ser expresso em porcentagem.

A emissividade de um corpo se determina pela relação entre a energia irradiada pelo mesmo e aquela irradiada pelo corpo negro a igual temperatura. Seus valores estão compreendidos entre 0 e 1 e dependem tanto da natureza do corpo quanto de sua temperatura.

Juntamente com o albedo e a emissividade, a rugosidade aerodinâmica de uma superfície⁷ é fundamental em escala micro meteorológica e em parametrizações de modelos globais, por isso, foram definidos os valores destas propriedades físicas dos componentes encontrados nas superfícies de estudo (Tabela 1.2).

Tabela 1.2. Propriedades físicas dos materiais de revestimento⁸

	Concreto	Asfalto	Grama	Terra
Rugosidade	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Albedo	0,1 a 0,35	0,05 a 0,15	0,20 a 0,30	0,05 a 0,15
Emissividade	0,71 a 0,90	0,95	0,90 a 0,95	0,92 a 0,96

No processo de urbanização, os materiais de construção utilizados possuem propriedades físicas distintas do solo natural, apresentando menor valor de albedo (coeficiente de refletância), maior capacidade calorífica e valor elevado de condutividade térmica em relação ao solo natural. Tais características resultam na modificação do balanço da radiação, influenciando, sobretudo, no aumento da temperatura e na redução da umidade do ar, o que prejudica a qualidade bioclimática desses espaços.

⁷ Entende-se por rugosidade urbana a alteração da superfície natural pela presença de edifícios.

⁸ Os valores relativos à emissividade e ao albedo foram extraídos de Brown, Gillespie (1995 *apud* Costa, 2007), e os valores de rugosidade podem ser encontrados em Katschner (1997).

Segundo Synnefa (2006) a presença de superfícies escuras, particularmente telhados e pavimentos, aumenta a absorção da radiação solar durante o dia e re-irradiam o calor à noite. A substituição do solo natural e da vegetação por materiais de construção reduzem o potencial de diminuição da temperatura do ar por evapotranspiração e sombra.

Nesse sentido, o emprego de superfícies urbanas com alto albedo é uma alternativa para a redução das temperaturas de verão. O uso de materiais apropriados, chamados materiais “frios” pode gerar condições de conforto durante o período. Eles se caracterizam pela alta reflectividade à radiação de onda curta e alto fator de emissividade a radiação de onda longa; e reduzem a radiação solar absorvida pelas envoltórias das edificações e estruturas urbanas deixando suas superfícies mais frias.

1.2 Alguns estudos importantes sobre as áreas verdes urbanas

Este estudo aborda as áreas verdes urbanas no aspecto microclimático, analisando como a distribuição e o tipo de vegetação influencia a melhoria de parâmetros climáticos fundamentais para o conforto ambiental urbano.

Nesse contexto, entre os autores que abordam o papel da vegetação na influência de microclimas urbanos afetando o conforto ambiental nos espaços abertos, destacam-se Izard e Guyot (1980), Assis (1990), Peixoto, Labaki e Santos (1995), Mascaró (1996), Shashua-Bar & Hoffman (2000), Romero (2001), Santamouris (2001) e Duarte e Serra (2003).

Para que a vegetação possa exercer uma função microclimática, em termos de plano térmico e higrométrico, no meio urbano, é preciso atender algumas condições. Izard e Guyot (1980) afirmam que se faz necessário que a área verde constitua um efeito de massa dentro da escala da cidade e que essa massa vegetal represente 30% da superfície urbanizada.

Segundo os autores, um hectare de bosque (10.000 m²) pode produzir por evapotranspiração cerca de 5.000 toneladas de água por ano. Eles ressaltam que, no meio urbano, o consumo de calor latente para a evapotranspiração permite obter também um decréscimo significativo da temperatura ambiente.

Assis (1990) estudou os aspectos climáticos que interferem na vida dos seres vivos, em termos de condições de conforto, saúde e bem-estar. Ela adotou a conceituação de clima

de Max Sorre (1951 *apud* Assis 1990) que determina que o clima num determinado local é a série dos estados da atmosfera em sua sucessão habitual. Esse modelo de clima garante a flexibilidade de uma análise temporal e espacial, possibilitando estudos relacionados ao cotidiano humano.

A autora concentrou seus estudos nos efeitos das massas de vegetação sobre o clima urbano, desenvolvendo uma metodologia para a avaliação do comportamento térmico de áreas construídas e áreas verdes urbanas. A partir do tratamento dos dados das estações meteorológicas da cidade de Belo Horizonte, ela verificou o comportamento da ilha de calor nos períodos críticos de verão e inverno, relacionando o fenômeno às características da malha urbana e avaliando seu efeito de estresse térmico através da utilização do diagrama bioclimático e das tabelas de Mahoney (1973 *apud* Assis 1990).

Foram utilizadas também imagens de satélite para observação do efeito das áreas verdes urbanas sobre as temperaturas locais, verificando o potencial de utilização das áreas verdes no controle de efeitos adversos do clima urbano.

Peixoto, Labaki & Santos (1995) investigaram a qualidade do ambiente construído em relação ao conforto térmico, através dos efeitos da arborização no controle da radiação solar. O trabalho apresentou um estudo dos critérios a serem estabelecidos para o planejamento do uso da vegetação nas cidades, investigando o comportamento de espécies arbóreas nativas.

De acordo com as autoras, para estabelecer uma metodologia voltada ao estudo do conforto térmico nas cidades, é necessário considerar as relações do ambiente natural e do ambiente construído com a radiação solar incidente, e as características de forma e fisiológicas das espécies ligadas à arborização urbana (Quadro 1.3).

Quadro 1.3. Características do ambiente natural e construído

Características ligadas ao ambiente natural	Características ligadas à espécie (ambiente natural)	Características do ambiente construído
Composição	Copa	Composição das superfícies
Densidade	Textura	
Área ocupada	Disposição dos elementos da árvore	Disposição dos elementos
Disposição dos indivíduos	Características morfológicas e fisiológicas	Densidade

Fonte: Adaptado de Peixoto, Labaki e Santos (1995: 633)

Como nas cidades os indivíduos arbóreos costumam ocorrer em formas combinadas e, de acordo com os arranjos no meio urbano, o resultado relativo ao conforto se mostra específico, foram desenvolvidos esquemas para analisar as características ligadas à densidade, disposição e forma de conjuntos arbóreos (Figura 1.2).

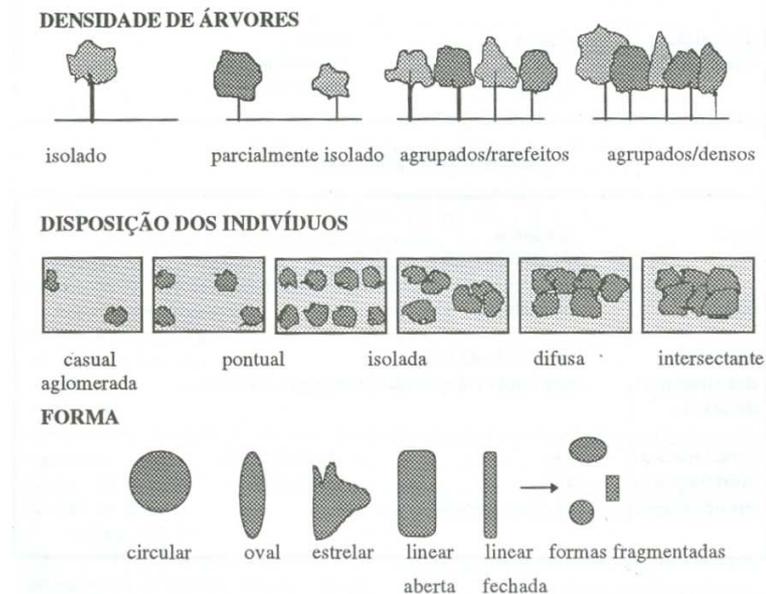


Figura 1.2. Características ligadas aos conjuntos arbóreos
Fonte: Peixoto (1995, p. 634)

Segundo as autoras, o estudo deve ser acompanhado de medição em campo, comparando-se a radiação incidente ao sol e à sombra de árvores no ambiente urbano.

Mascaró (1996) analisou os microclimas específicos em regiões subtropicais de distintos tipos de recintos urbanos⁹, considerando a situação ambiental e energética originada e delimitada pela legislação urbana em uso. A autora discorre sobre clima, clima urbano, recintos urbanos, ruas e praças, utilizando-se de um estudo sobre a ambiência urbana, com o intuito de conhecer o espaço urbano sob a ótica microclimática, estudando os casos de ruas e praças de Porto Alegre.

A importância do papel da vegetação na ambiência urbana e como esta vegetação se relaciona com o microclima urbano, a radiação solar, a iluminação natural, a temperatura do ar, o sombreamento, a umidade do ar e o vento, foram destacados.

⁹ Segundo a autora os recintos urbanos são criados através da delimitação da natureza e definidos somente por dois planos: o piso e a parede, ou seja, é a arquitetura sem teto.

Ela observou ainda a importância do tipo de vegetação, porte, idade, período do ano e formas de associação dos vegetais nos microclimas urbanos, pois, conforme a sua utilização, a vegetação contribui para o controle da radiação solar, temperatura e umidade do ar, ação dos ventos e da chuva e para amenizar a poluição do ar (Figura 1.3).

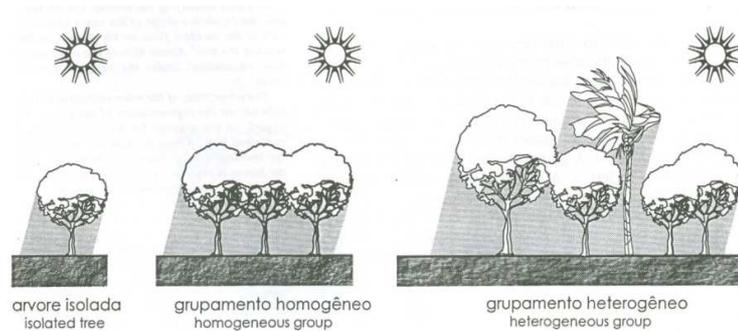


Figura 1.3. Formas de grupamentos das árvores
Fonte: Mascaró (1996:70)

Romero (2001) analisou os efeitos da urbanização em elementos climáticos e ambientais. Em relação às áreas verdes, observou a diferença de microclimas entre as áreas com vegetação e as áreas não plantadas, ou seja, mais edificadas e impermeáveis. Essas diferenças estão ligadas à temperatura, a velocidade do vento, a turbulência, a umidade do ar e à temperatura radiante (Tabela 1.3).

Tabela 1.3. Diferenças entre áreas verdes e áreas não plantadas

Áreas verdes	Áreas não plantadas
Capacidade calorífica e condutibilidade térmica menor	Capacidade calorífica e condutibilidade térmica maior
Reflexão pequena (albedo baixo)	Reflexão grande (albedo alto)
Taxa de evaporação alta	Taxa de evaporação baixa
Ar menos contaminado	Ar mais contaminado
Velocidade do vento reduzida	Velocidade do vento alta

Fonte: Adaptado de Romero (2001:94)

A absorção da radiação solar pelas folhas das plantas é um dos benefícios das áreas verdes sobre as áreas não plantadas. A radiação de onda longa das folhas é mais lenta que a das superfícies dos arredores, por isso, as pessoas nas áreas verdes estão mais sujeitas a menor pressão do calor radiante.

Em relação à velocidade do vento, há uma grande necessidade de utilizar a vegetação nos espaços abertos:

[...] para que através de árvores e arbustos fiquem delimitadas porções menores do espaço de plena utilização. Por exemplo, numa superquadra ou num conjunto habitacional, o espaço no interior das quadras, se não possuem anteparos (quando os edifícios estão sobre pilotis), deixam atravessar os ventos e muitas vezes os canalizam, aumentando sua velocidade. (ROMERO, 2000, p. 99) (Figura 1.4)



Figura 1.4. Efeito de pilotis e arborização
Fonte: Romero (2000: 99)

Santamouris (2001) abordou as ações principais relacionadas com a forma urbana e o resfriamento passivo. Ele analisou o clima urbano e suas características na cidade de Atenas. Por meio de vinte estações de temperatura e umidade distribuídas em áreas com diferentes morfologias urbanas, densidade e população, o autor observou como a forma das ruas, o albedo, a presença de áreas verdes, os materiais de construção utilizados nas edificações interferiam nas temperaturas urbanas.

O estudo fez uma abordagem teórica sobre o impacto da presença das áreas verdes no meio urbano. Segundo ele, evapotranspiração é o mecanismo pelo qual as árvores contribuem para a diminuição da amplitude térmica urbana. A arborização reduz as diferenças de temperatura e umidade relativa do ar entre as áreas sombreadas e as ensolaradas, evidenciando assim o papel importante do sombreamento das copas das árvores na caracterização do microclima urbano, e, portanto, na melhoria das condições ambientais adversas e do conforto humano.

Santamouris (2001) analisou estudos de vários autores como Akbari (2002), Honjo e Takakura (1991), Jauregui (1997), Duckworth e Sandberg (1954) e outros, que relacionaram as áreas centrais de determinadas cidades, propensas à ilhas de calor, com regiões bastante vegetadas, onde algumas pesquisas foram baseadas em simulações numéricas. Foi observada uma diferença de temperatura de até 5°C entre as áreas centrais e as vegetadas, evidenciando, assim, a importância da intensidade, forma e dimensões das áreas verdes, recomendando a sua distribuição pelo espaço construído, já que, de acordo com os estudos desenvolvidos, o

tamanho de um único parque fez pouca diferença nas condições climáticas além dos seus limites.

Em estudos sobre o efeito da vegetação na atenuação do calor, em Tel-Aviv (Israel), Shashua-Bar & Hoffman (2001) indicaram que as áreas sombreadas por árvores são capazes de afetar os registros da temperatura do ar, uma vez que estas atenuam o aquecimento do solo pela radiação solar direta, incluindo o efeito secundário da temperatura do ar junto a essas áreas circundantes. Da mesma forma, o efeito da umidificação do ar se mostra proporcional ao do resfriamento. O estudo constatou que o efeito amenizador climático de pequenas áreas verdes pode ser sentido até um raio de 100 m distante das mesmas.

Duarte e Serra (2003) analisaram o microclima urbano nas cidades brasileiras na região de clima tropical continental. As medições microclimáticas foram realizadas em sete casos na zona urbana da cidade de Cuiabá, com diferentes padrões de ocupação urbana e altitudes muito próximas, em dois períodos representativos para o clima regional, a estação seca e a estação chuvosa. O parâmetro utilizado para comparação das condições de conforto térmico entre os diferentes casos foi a temperatura do ar. Assim, eles mediram as correlações entre a temperatura do ar e alguns parâmetros de ocupação do solo, propondo um indicador relacionando densidade construída, arborização e superfícies d'água em áreas urbanizadas.

Existem ainda, vários outros estudos sendo desenvolvidos com o intuito de mostrar a influência da vegetação sobre o clima urbano, uma vez que ela é um fator climático importante no auxílio do conforto térmico em espaços abertos. O conceito de conforto térmico implica necessariamente na definição de índices em que o ser humano sinta confortabilidade em decorrência de condições térmicas agradáveis ao corpo.

No Japão, Givoni e Noguchi (2000 *apud* Monteiro e Alucci, 2007) realizaram um levantamento de dados subjetivos e microclimáticos para estudar as relações entre sensação térmica e sensação global de conforto. O objetivo da pesquisa foi determinar o efeito quantitativo dos vários aspectos de projeto que interferem na incidência do sol e dos ventos. O levantamento foi realizado entre 1994 e 1995 com avaliações diárias durante as quatro estações do ano. A pesquisa foi realizada mediante a aplicação de questionário de respostas subjetivas a três pares de indivíduos, submetidos a diferentes condições experimentais: área sombreada, área ao sol e área aberta protegida do vento com uma placa transparente,

encontrando-se as três áreas próximas entre si. As condições meteorológicas foram levantadas durante a aplicação do questionário. Com base nos dados experimentais desenvolveu-se uma equação de predição da sensação de conforto do indivíduo em área externa.

No Brasil, se destacam os trabalhos de Monteiro e Alucci (2005) que se concentram na relação microclima e usuário, ao contrário da maior parte dos trabalhos publicados que foca as relações entre microclima e meio urbano. Os autores apresentaram um procedimento para quantificar as variáveis ambientais e subjetivas nos espaços abertos. Mais tarde, os mesmos autores apresentaram um estudo comparativo com dados preliminares obtidos e uma proposta de calibração de modelos preditivos. Com a utilização desses resultados, eles realizaram avaliações de espaços abertos sombreados ou não. Apontaram ainda para a necessidade de estabelecimento de uma base empírica em diversos domínios climáticos brasileiros para a melhor adequação do modelo utilizado.

2 BRASÍLIA – ENTROSAMENTO ENTRE CIDADE E NATUREZA

Este terceiro capítulo é destinado a apresentar uma análise da cidade de Brasília por meio de caracterizações morfológicas e climáticas. O título sugere a importância que será dada neste estudo às áreas verdes de Brasília, principalmente, através da análise da superquadra que será o estudo de caso desta dissertação.

2.1 Configuração urbana de Brasília

O Projeto do Plano Piloto de Brasília foi definido por Lucio Costa como um gesto primário de dois eixos cruzando-se em ângulo reto, formando o próprio sinal da cruz. Esses dois eixos são as duas principais vias do Plano Piloto, denominadas de Eixo Monumental e Eixo Rodoviário (Figura 2.1).

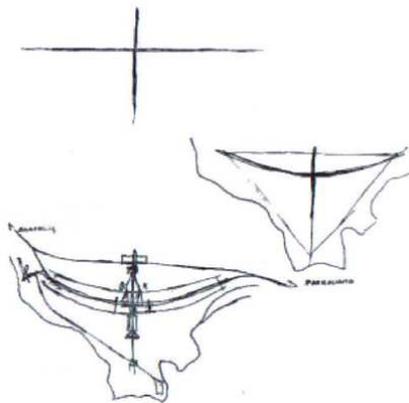


Figura 2.1. Risco preliminar do Plano Piloto de Brasília
Fonte: Costa (1995: 284)

A estrutura urbana geral do Plano Piloto é definida basicamente pelo desenho de sua planta baixa que, segundo Menezes Júnior (2004), está presente no imaginário popular em forma de um avião (Figura 2.2).

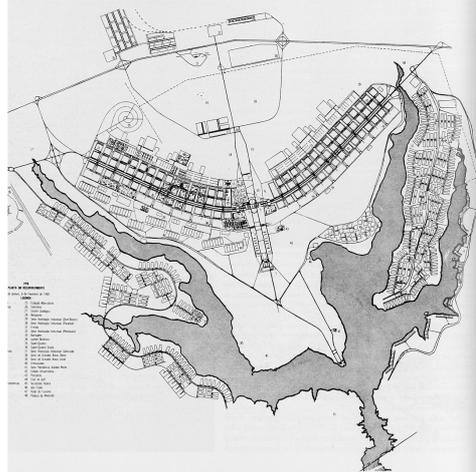


Figura 2.2. Projeto do Plano Piloto
Fonte: Costa (1995: 295)

A concepção urbana da cidade se traduz a quatro escalas distintas: a monumental, a residencial, a gregária e a bucólica.

A escala monumental é representada pelo Eixo Monumental, desde a Praça dos Três Poderes até a Praça do Buriti. Ela foi concebida para conferir à cidade a marca de efetiva de capital do País e foi introduzida através da técnica dos terraplenos e da disposição disciplinada das edificações que possuem dois fortes marcos visuais, definindo o seu trecho principal: o Congresso Nacional e a Torre de Televisão. O Eixo Monumental tem nos seus desníveis a sua singularidade e simbologia através da Praça dos Três Poderes, da Esplanada dos Ministérios e da grande plataforma onde se cruzam os dois eixos da cidade.

A escala residencial, proporcionando uma nova maneira de viver, própria de Brasília, está configurada ao longo das alas Sul e Norte do Eixo Rodoviário Residencial. A serenidade urbana assegurada pelo gabarito uniforme de seis pavimentos, o chão livre e acessível a todos através do uso generalizado dos pilotis e o franco predomínio do verde marca a proposta inovadora da Superquadra.

A escala gregária, prevista para o centro da cidade, teve a intenção de criar um espaço urbano mais densamente utilizado e propício ao encontro. Ela se localiza na intersecção dos eixos monumental e rodoviário, e está configurada na Plataforma Rodoviária e nos setores de Diversões, Comerciais, Bancários, Hoteleiros, Médico Hospitalares, de Autarquia e de Rádio e Televisão Sul e Norte.

E por fim, a quarta escala representa a escala bucólica, que confere à Brasília o caráter de cidade-parque. Ela está configurada em todas as áreas livres e, principalmente, na passagem, sem transição, do ocupado para o não-ocupado. A concepção dos espaços livres urbanos propunha uma melhor circulação, insolação, arejamento e salubridade, contrapondo à aglomeração do grande centro urbano (Figura 2.3).



Figura 2.3. Escalas de Brasília: monumental, residencial, gregária e bucólica (sentido horário)

Fonte: <<http://images.google.com.br/images>>

Essa concepção urbanística produziu territórios diferenciados em suas características morfológicas, produzindo frações urbanas altamente segregadas uma das outras. De acordo com Romero (2001), há espaços para acolher as mais específicas funções, mas não existem espaços de simplicidade primária, como por exemplo, aqueles que servem aos trabalhadores dos setores comerciais no horário de almoço.

2.2 Caracterização climática de Brasília

O Distrito Federal está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, ocupando o centro-leste de Goiás (Figura 2.4). A cidade de Brasília está situada aproximadamente entre os paralelos 15°30' e 16°03' e os meridianos 47°18' e 48°17' a oeste de Greenwich.

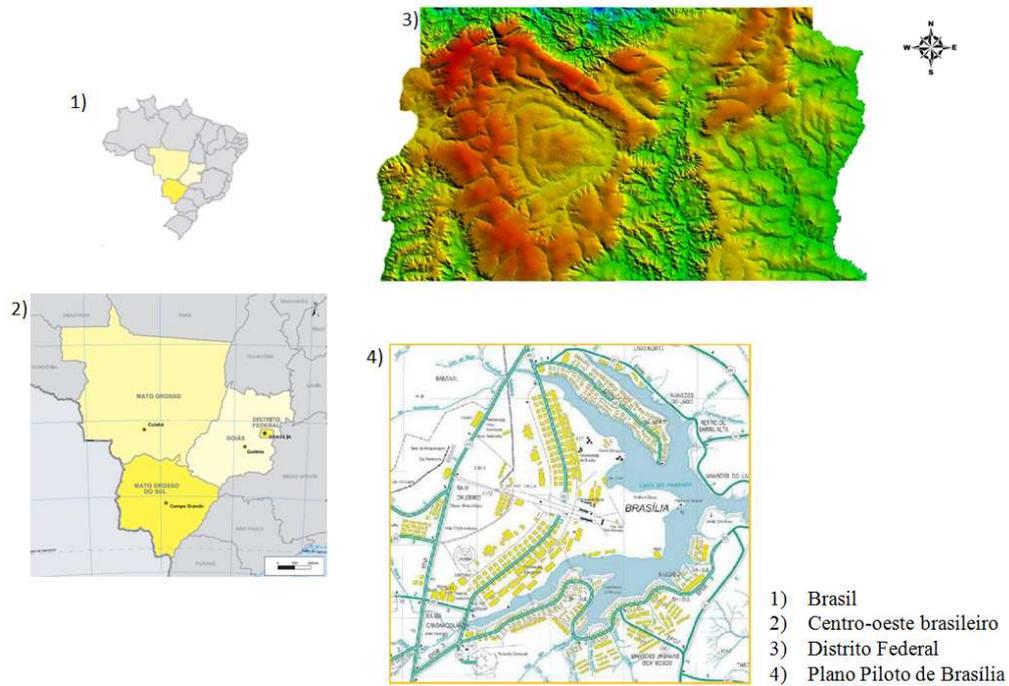


Figura 2.4. Localização geográfica da cidade de Brasília
 Fontes: Imagens 1 e 2: IBGE, Imagem 3: Embrapa, Imagem 4: GDF

Segundo a classificação de Köppen, o clima no Distrito Federal pode ser classificado como Tropical de Altitude, e, de acordo com a região, as tendências climatológicas podem apresentar variações influenciadas pela altitude, topografia, vegetação, massa de água, etc. Para análise das características específicas do clima de Brasília, apresenta-se a síntese dos dados climáticos, registrados pelas normais climatológicas no período de 1961 a 1990 (Quadro 2.1).

Quadro 2.1. Normais Climatológicas (1961-1990)

MÊS	Pressão atmosférica (hPa)	Temperatura média	Temperatura máxima	Temperatura mínima (°C)	Precipitação total (mm)	Evaporação Total (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação Total (h e déci.)	Nebulosidade (0-10)	Direção do vento e velocidade média (m/s)
JAN.	885.9	21.6	26.9	17.4	241.4	105.0	76.0	157.4	7.0	NW-2.8
FEV.	885.4	21.8	26.7	17.4	214.7	105.0	77.0	157.5	7.0	C-NE-2.6
MAR.	885.6	22.0	27.1	17.5	188.9	105.0	76.0	180.9	7.0	E-2.3
ABR.	886.4	21.4	26.6	16.8	123.8	105.0	75.0	201.1	6.0	E-2.4
MAI.	887.6	20.2	25.7	15.0	39.3	105.0	68.0	243.3	5.0	E-2.4
JUN.	889.0	19.1	25.2	13.3	8.8	105.0	61.0	253.4	3.0	E-2.7
JUL.	889.2	19.1	25.1	12.9	11.8	105.0	56.0	265.3	3.0	E-2.9
AGO.	888.2	21.2	27.3	14.6	12.8	105.0	49.0	262.9	3.0	E-3.0
SET.	887.2	22.5	28.3	16.0	51.9	105.0	53.0	203.2	4.0	E-2.9
OUT.	885.8	22.1	27.5	17.4	172.1	105.0	66.0	168.2	7.0	C-NE-2.6
NOV.	884.8	21.7	26.6	17.5	238.0	105.0	75.0	142.5	8.0	C-NW-2.6
DEZ.	884.8	21.5	26.2	17.5	248.6	105.0	79.0	138.5	8.0	NW-2.7
Médias Anuais	886.6	21.2	26.6	16.1	155.2	169.2	67.0	236.4	6.0	E-2.7

Fonte: Departamento Nacional de Meteorologia - DNMET - 1992 (Adaptado Romero, 2001:129)

Para Amorim e Braga (2004) o clima de Brasília é marcado por dois períodos distintos ou duas estações do ano bem definidas:

- Período quente-úmido, caracterizado por verões chuvosos de outubro a abril. A partir da primavera, uma massa de ar quente, proveniente da Amazônia, atua sobre o Centro-Oeste e traz umidade para o Distrito Federal, cobrindo a cidade de nuvens e gerando fortes pancadas de chuva. O ápice da ação dessa massa ocorre nos meses de dezembro e janeiro.
- Período quente-seco, caracterizado por invernos secos de maio a setembro. A massa quente e seca de ar tropical que vem da extensão paraguaia do Pantanal chega ao Centro-Oeste, impedindo a entrada de frentes frias da Argentina e do Uruguai. Devido ao insuficiente vapor de água presente na atmosfera, o céu fica sem nuvens e a estiagem se instala, é um período de baixa nebulosidade.

Romero (2001) observa que é comum a sensação de desconforto no homem por causa da temperatura elevada durante o dia e que diminui abaixo dos limites de conforto durante a noite. No período seco, existe uma forte perda noturna por radiação, e no verão, a radiação difusa é intensa, maior que no inverno.

As características dos elementos climáticos que serão abordados neste estudo podem ser analisadas nos gráficos de 3.1 a 3.6, das Normais Climatológicas de Brasília.

As temperaturas mínima, média e máxima mensal do ar são maiores nos meses de setembro a abril, neste período a amplitude térmica reduz-se moderadamente, pois as máximas se mantêm e as mínimas elevam-se. Nos meses de maio a agosto as temperaturas são mais baixas (Gráficos 2.1 e 2.2).

Gráfico 2.1. Temperatura máxima e mínima do ar

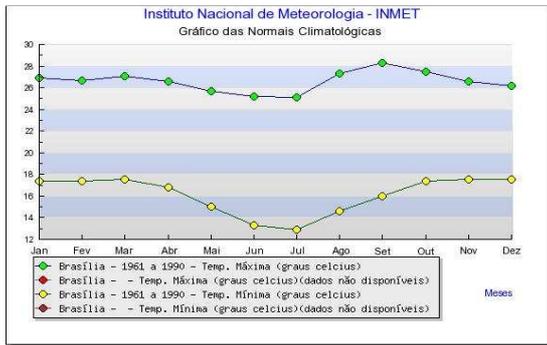
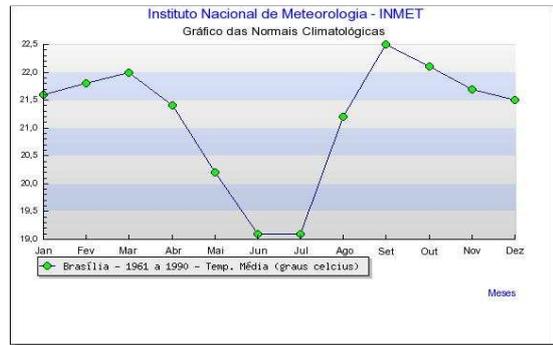
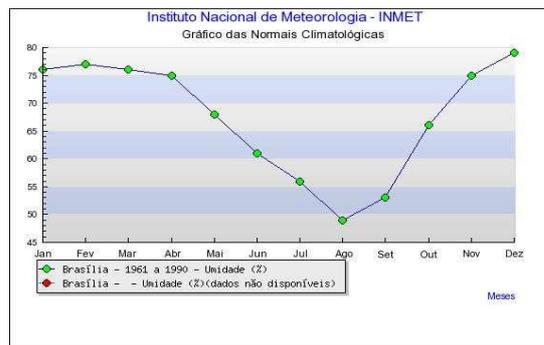


Gráfico 2.2. Temperatura média do ar



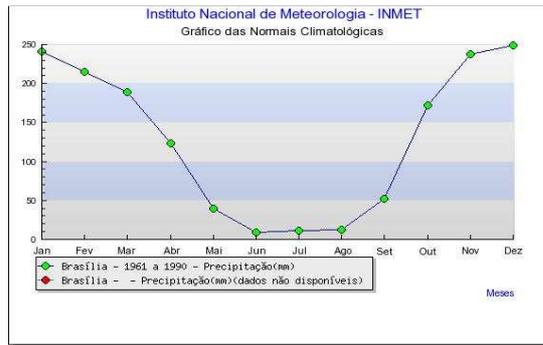
O clima tropical de altitude é considerado seco pela pouca quantidade de umidade do ar, em que a umidade média anual no Distrito Federal é de 67%. De maio a setembro a umidade relativa do ar sofre uma diminuição considerável. A porcentagem de umidade relativa é maior nos meses de outubro a abril (Gráfico 2.3).

Gráfico 2.3. Umidade Relativa do Ar



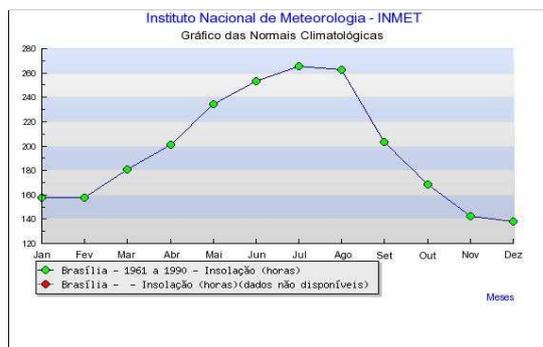
O regime pluviométrico apresenta precipitação anual de 1.750mm e chuvas concentradas entre novembro e março, sendo que março ainda é considerado um mês chuvoso em função da vigência da situação de verão. Dezembro é o mês mais chuvoso, apresentando uma precipitação maior que 250 mm. Junho, julho e agosto são os meses que apresentam os mais baixos volumes de chuva em Brasília (Gráfico 2.4).

Gráfico 2.4. Precipitação Atmosférica



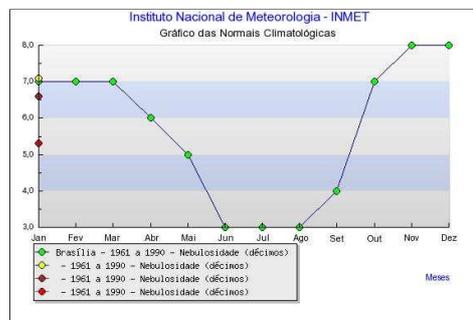
De maio a setembro (período seco), a insolação pode alcançar até 260 horas mensais, já a média no verão se reduz para 160 horas mensais. A radiação solar apresenta valores elevados durante quase todo o ano (Gráfico 2.5).

Gráfico 2.5. Insolação total



A nebulosidade do céu é maior de outubro a abril, sendo que nos meses de junho, julho e agosto há pouca nebulosidade (Gráfico 2.6).

Gráfico 2.6. Nebulosidade



Fonte: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em 23 set. 2008.

De maneira geral, o período compreendido entre os meses de maio a setembro possui intensa insolação, forte evaporação, pouca nebulosidade, baixos teores de umidade do ar, pluviosidade reduzida e grande amplitude térmica. O inverso é visto de outubro a abril, quando a insolação se reduz, a nebulosidade aumenta, diminui a evaporação, os teores de umidade do ar aumentam, a pluviosidade se intensifica e a amplitude térmica reduz.

Em relação à ventilação, os ventos sudeste e leste são os mais constantes no inverno seco e os ventos noroeste no verão chuvoso (Figuras 2.5 e 2.5a). Segundo Romero (2001), os ventos, apesar de moderados, aparecem constantemente, e, juntamente com a radiação solar e as chuvas, são os principais elementos a influir no espaço construído.

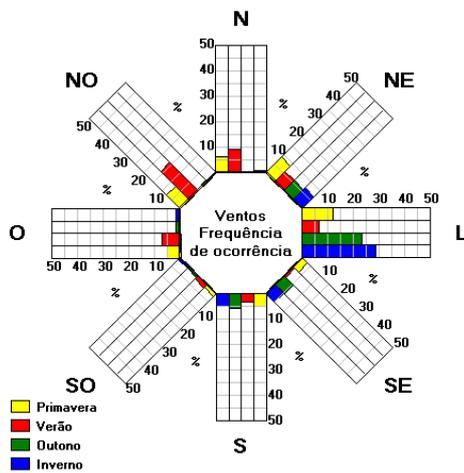


Figura 2.5. Rosa dos ventos para Brasília – Ventos por frequência de ocorrência.
 Fonte: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em 10 abr. 2007.

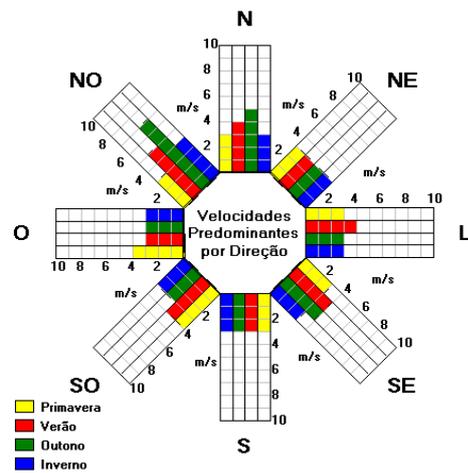


Figura 2.5a. Rosa dos ventos para Brasília – Velocidades predominantes por direção.
 Fonte: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em 10 abr. 2007.

2.3 As áreas verdes de Brasília e seu contexto

Analisar as áreas verdes na capital do Brasil parece ser muito relevante em função da concepção do projeto do Plano Piloto de Brasília, que foi a obra mais expressiva dos ideais urbanos modernistas que chegaram ao país através das idéias de Le Corbusier.

A expressão cidade parque foi utilizada por Lucio Costa ao definir sua concepção urbana. A importância dos espaços livres, onde a vegetação integra os diversos setores da cidade, é sempre destacada em seu relatório do Plano Piloto de Brasília. A cidade representa um novo modelo de urbanismo e de paisagismo (MACEDO, 1999, p.66):

[...] a construção de Brasília como cidade parque, em meio a um bosque urbano artificialmente plantado no Planalto Central, em local antes ocupado por vegetação rala do cerrado e por cerradões é certamente a grande referência urbanística que vai institucionalizar o prédio isolado no verde como parâmetro de qualidade.

Este parâmetro de qualidade, de acordo com Lucio Costa, estaria apoiado na liberdade de implantação dos prédios em uma superquadra, utilizando elementos como uma larga faixa de 20 metros de arborização, que envolveria uma área de 240 x 240m, totalizando 280 x 280m em cada superquadra. Essa faixa teria a função de delimitar e criar um sentido de individualidade através do uso de diferentes espécies arbóreas (Figura 2.6).

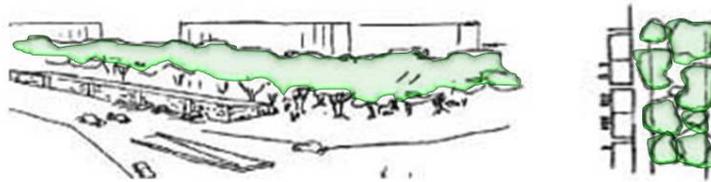


Figura 2.6. Superquadra com a faixa arborizada
Fonte: <<http://images.google.com.br/images>>. (foto)
Costa (1995: 292) (croqui)

No entanto, a vegetação também teria a função de absorver variações, implantações e qualidade arquitetônica, como salientou:

[...] árvores de porte, prevalecendo em cada quadra determinada espécie vegetal, com chão gramado e uma cortina suplementar intermitente de arbustos e folhagens, a fim de resguardar melhor, qualquer que seja a posição do observador, o conteúdo das quadras, visto sempre num segundo plano e como que amortecido na paisagem. Disposição que apresenta a dupla vantagem de garantir a ordenação urbanística mesmo quando varie a densidade, categoria, padrão ou qualidade arquitetônica dos edifícios, e de oferecer aos moradores extensas faixas sombreadas para o passeio e lazer, independente das áreas livres previstas no interior das próprias quadras. (COSTA, 1991, p. 32)

Segundo Lima (2003) a concepção urbanística da esplanada se fundamentou na técnica dos terraplenos, para dar o caráter monumental ao conjunto (Figura 2.7): “[...] extenso gramado destinado a pedestres, a paradas e a desfiles, foi disposto os ministérios e autarquias” (COSTA, 1991, p.22).



Figura 2.7. Esplanada dos Ministérios
Fonte: <<http://www.radiobras.gov.br/brasilia45anos>>

A partir de toda esta concepção das áreas verdes urbanas de Brasília, principalmente das superquadras, originou-se, na prática, o grande desafio de arborizar Brasília.

Pressionados pelos curtos prazos políticos que deviam ser cumpridos, os responsáveis pelos primeiros serviços de arborização da nova capital tiveram que trazer de outros estados espécimes arbóreos e arbustivos.

Os primeiros plantios foram realizados de forma rápida, com mudas já de porte, que garantissem a complementação da beleza cênica da paisagem, e mitigassem os impactos ambientais causados pelas obras que aconteciam em ritmo acelerado.

De acordo com Lima (2003) a utilização de espécies exóticas, de crescimento rápido, em pouco tempo apresentou problemas. A perda de milhares de árvores adultas, no início da década de 70, plantadas no limiar da construção de Brasília, aliada a consciência dos técnicos da companhia de que era preciso utilizar maciçamente espécies vegetais nativas para integrar o verde da cidade ao ecossistema primitivo, exigiu uma diversificação das espécies arbóreas que passaram a ser plantadas na cidade.

Segundo Corrêa (2009), o uso de espécies nativas do cerrado na arborização paisagística de Brasília tem sido priorizado há cerca de três décadas, por motivos variados, tais como: economia na manutenção e forma de valorização da flora do cerrado.

Atualmente, a arborização urbana do Plano Piloto de Brasília é composta por um diversificado número de espécies arbóreas, nativas e exóticas (Quadro 2.2).

Quadro 2.2. Percentual de espécies nativas na Asa Sul

		Árvores nativas da região	Árvores diversas
FAIXA 100 SUL	QTD	1.318	10.863
	%	10.82	89.17
FAIXA 200 SUL	QTD	1.062	9.188
	%	10.36	89.63
FAIXA 300 SUL	QTD	893	10.660
	%	7.72	92.27

Fonte: Adaptado de Lima (2003:156)

Romero observa a questão do verde no Plano Piloto de Brasília com propriedade, ao dizer que ele é constante, seja por sua presença na época das chuvas, ou por sua ausência na época da seca:

De maio a setembro, as áreas com grama adquirem uma coloração amarela até chegar ao marrom e ao preto (grama queimada), mas logo depois das primeiras gotas de chuva, elas retomam seu verde original, renascendo de uma forma surpreendente. (ROMERO, 2001, p. 137)

2.4 Estudo Específico da Superquadra 108 Sul

A SQS 108, localizada na Asa Sul (Figura 2.8), é considerada uma quadra modelo do Plano Piloto de Brasília, com dimensões aproximadas de 250 x 250 m, onde se encontram implantados os edifícios residenciais.

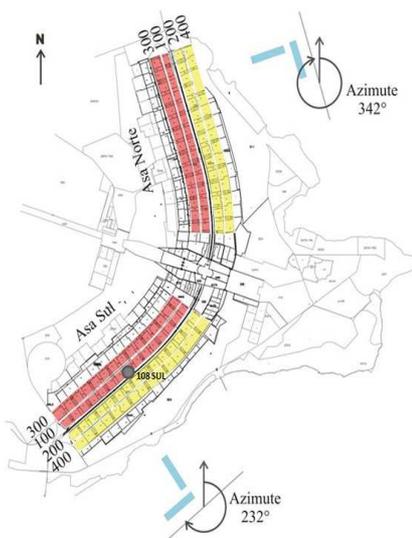


Figura 2.8. Localização da Superquadra 108 Sul no Plano Piloto de Brasília
Fonte: Amorim e Flores (2005: 38)

A denominação de quadra modelo consiste no fato de, juntamente com as Superquadras 107, 307 e 308, compor a unidade de vizinhança que mais se aproxima do conceito original. E de acordo com Costa (2008)¹⁰, a entrada única para veículos, a total liberdade para a circulação do pedestre e a definição do “recinto urbano” por um contorno densamente arborizado são o cerne da proposta de Lucio Costa para as superquadras (Figura 2.9).



Figura 2.9. Croqui representando um conjunto de superquadras
Fonte: <<http://www.vitruvius.com.br/minhacidade>>.

Além disso, segundo Machado (2007) o projeto desenvolvido para a SQS 108 possui características que foram repetidas em quase todas as quadras da Asa Sul: o verde envolvendo todos os edifícios, os caminhos curvilíneos, as torres de circulação externas ao corpo da edificação e, portanto, em área pública, e a definição de um tipo de edifício que se repete por toda a quadra (Figura 2.10).

¹⁰ COSTA, Maria Elisa. **Depoimento de Maria Elisa Costa, arquiteta da Casa de Lucio Costa e ex-presidente do Iphan sobre o bairro Noroeste, em Brasília.** Disponível em: <<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/169/artigo77728-3.asp>>. Acesso em 17 set. 2008.

SQS 108	
IDENTIFICAÇÃO:	SQ 30-13
ENDEREÇO:	Super Quadra Nº 108 Eixo Rodoviário Sul
DATA PROJETO:	23/07/1958
AUTOR:	E. Franco (Oscar Niemeyer)
TIPO:	Distribuição dos blocos
OUTRAS INFORMAÇÕES:	- Registrada - D.A.U. NOVACAP
IDENTIFICAÇÃO:	SQ 83-3
ENDEREÇO:	Super quadra Nº 103 Eixo Rodoviário Sul

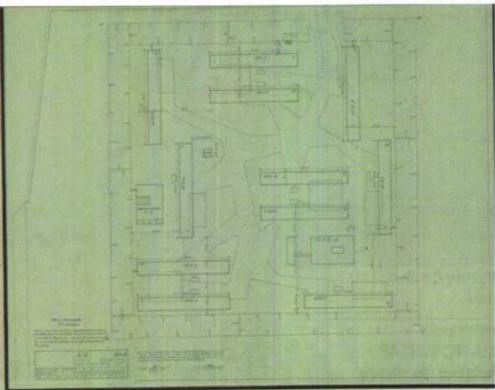


Figura 2.10. Inventário da Planta Urbanística da Superquadra 108 Sul

Fonte: Machado, 2007:171

Os edifícios residenciais possuem térreo sobre pilotis e mais seis andares. Como prédios sobre pilotis possuem espaço livre de passagem, a melhor palavra para designar as áreas destinadas às edificações foi projeção, adotada pela primeira vez no Código de Obras de 1960 (França, 2001).

O percentual de áreas livres sob os prédios varia de acordo com cada bloco. Além dos pilares que são obstáculos importantes para estruturar as edificações, têm-se também as torres de circulação vertical e os anexos destinados aos serviços comuns dos prédios.

Na SQS 108, observa-se que em média, 75% da área térrea dos edifícios são livres, destacando a importância da livre circulação dos pedestres e das atividades (Quadro 2.3). Essa característica se fundamenta no Memorial Descritivo do Plano Piloto onde, Lucio Costa dedica uma parte para enaltecer o emprego dos pilotis, uma vez que, segundo ele, o seu uso dispensa, para a implantação da obra, movimentos de terra, reduz em 90% a abertura de cavas e respectivas fundações, permite o emprego acima da laje, etc.

Quadro 2.3. Percentual de ocupação de cada bloco na Superquadra de estudo

BLOCOS	PLANTA	FOTOS	DADOS	
A			Área Total	1.003,60 m ²
			Porcentagem de Área Livre	77,30%
			Porcentagem de Ocupação	22,70%
B			Área Total	963,80 m ²
			Porcentagem de Área Livre	55,70%
			Porcentagem de Ocupação	44,30%
C			Área Total	1.107,40 m ²
			Porcentagem de Área Livre	63,70%
			Porcentagem de Ocupação	30,30%
D			Área Total	1.235,60 m ²
			Porcentagem de Área Livre	84,70%
			Porcentagem de Ocupação	15,30%
E			Área Total	937,70 m ²
			Porcentagem de Área Livre	86,80%
			Porcentagem de Ocupação	13,20%
F			Área Total	925,80 m ²
			Porcentagem de Área Livre	71,70%
			Porcentagem de Ocupação	28,30%
G			Área Total	970,30 m ²
			Porcentagem de Área Livre	86,50%
			Porcentagem de Ocupação	13,50%
H			Área Total	835,30 m ²
			Porcentagem de Área Livre	76,30%
			Porcentagem de Ocupação	23,70%
I			Área Total	832,60 m ²
			Porcentagem de Área Livre	81,10%
			Porcentagem de Ocupação	18,90%
J			Área Total	1.032,70 m ²
			Porcentagem de Área Livre	75,50%
			Porcentagem de Ocupação	24,50%
K			Área Total	1.032,70 m ²
			Porcentagem de Área Livre	75,50%
			Porcentagem de Ocupação	24,50%

Fonte: Relatório de Pesquisa desenvolvido pelo Laboratório de Sustentabilidade aplicada à Arquitetura e Urbanismo (UnB/CNPq – 2006-2008)¹¹.

¹¹ As cores (vermelho, amarelo, laranja, azul escuro e azul claro) presentes nas plantas das edificações, representam os anexos existentes que não fazem parte da porcentagem de áreas livres, como guaritas, caixas de escadas, serviços, outros.

Em relação aos materiais urbanos presentes na Superquadra 108 Sul, percebeu-se que é uma quadra bastante arborizada e com grandes canteiros gramados. Esta área verde ocupa praticamente 50% deste espaço, podendo oferecer grandes benefícios aos moradores do local (Figura 2.11).



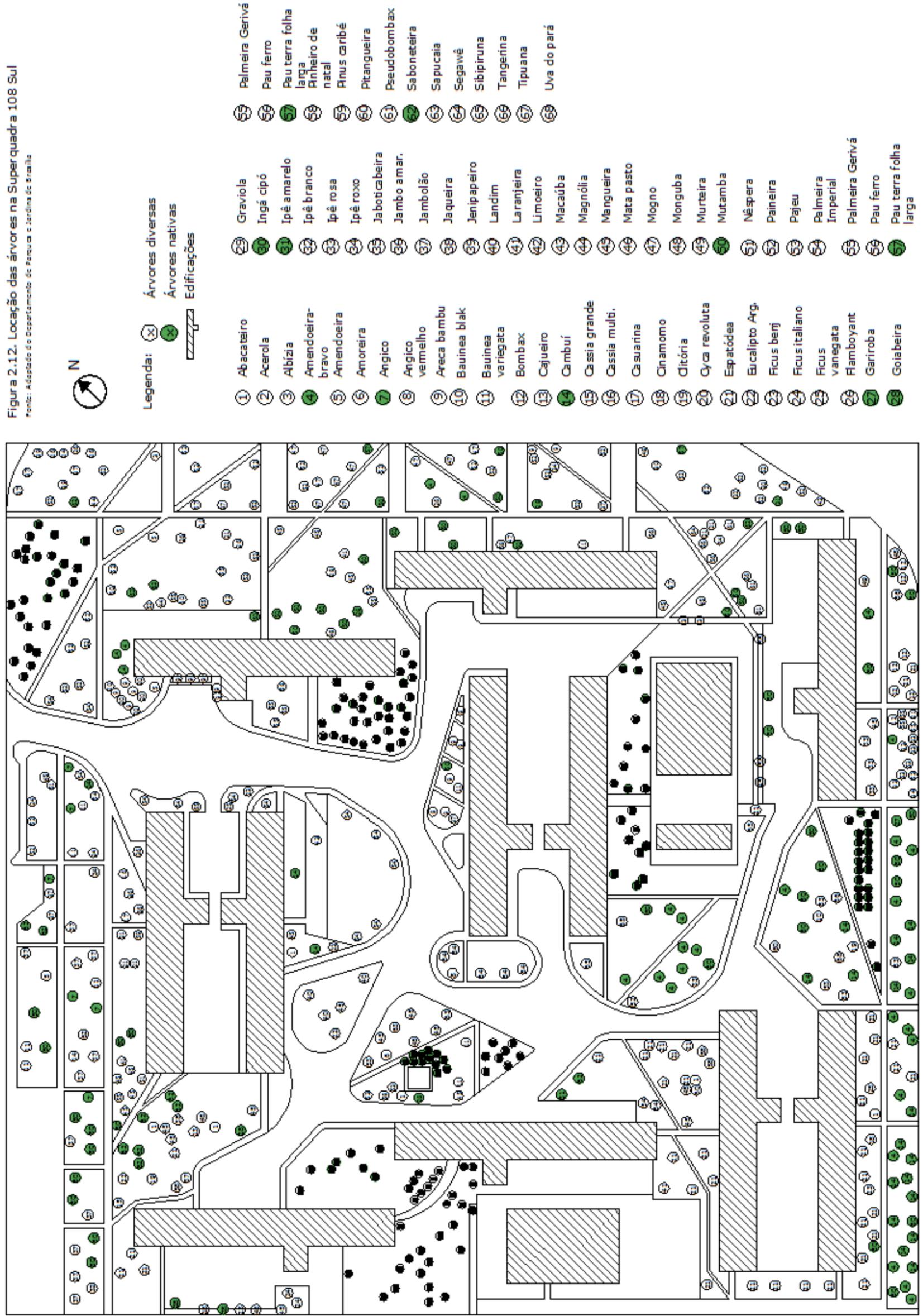
Figura 2.11. Distribuição dos materiais urbanos na Superquadra 108 Sul
Fonte (Foto): Google earth, acessado em 20 de março de 2009

Um estudo realizado na Universidade de Brasília (UnB)¹² identificou 162 espécies de árvores em quadras do Plano Piloto e contou 15.200 árvores em 39 quadras das Asas Sul e Norte. De acordo com o cadastro fitogeográfico realizado pelo Departamento de Parques e Jardins de Brasília¹³, existem, aproximadamente, 760 árvores de 68 espécies na Superquadra 108 Sul. Esses números demonstram que a quadra em questão é densamente arborizada e possui um número muito grande de espécies dentre todas as analisadas pela pesquisa (Figura 2.12).

¹² Estudo desenvolvido pela Engenheira Florestal Roberta Lima e matéria escrita por Elisa Tecles e publicada no Correio Braziliense. Disponível em <<http://www.ibram.df.gov.br>>. Acesso em 01 jul. 2009.

¹³ O DPJ de Brasília disponibilizou um cadastro fitogeográfico no qual, verificou-se a locação, através de um mapa, de todas as espécies arbóreas encontradas na Superquadra 108 Sul. A partir deste cadastro, foi possível relacionar as dez espécies mais utilizadas na quadra e, desenvolver um quadro com as características principais de cada árvore, de acordo com o critério desenvolvido pela autora. Como não foi possível encontrar todas estas espécies no livro Árvores de Brasília (1992), utilizou-se também o livro Árvores Brasileiras (1992).

Figura 2.12. Localização das árvores na Superquadra 108 Sul
 Fonte: Adaptação do Departamento de Pesquisa e Jardins de Brasília



De acordo com a mesma pesquisa, até a década de 70 se escolhia as árvores pela beleza, depois começou a se pensar na capacidade de adaptação, o que justificou a quantidade de espécies com copas densas e arredondadas encontradas na Superquadra 108 Sul. Das dez árvores mais utilizadas na quadra, cinco são nativas do cerrado: o cambuí, a saboneteira, a mutamba, a gariroba e o amendoim-bravo (Quadro 2.4).

Quadro 2.4. Algumas espécies encontradas na SQS 108

	Nomes Populares: espatódea, bisnagueira, tulipeira
	Nome Científico: <i>Spathodea campanulata</i>
	Família: Bignoniaceae
	Altura média: 12 a 15 m
	Folhas: grandes, opostas, alongadas e oval-lanceoladas
	Flores: vermelho-alaranjadas ou amarelas com botões numerosos.
	Frutos: se assemelham a vagens e contém numerosas sementes aladas
Outras características: Árvore de copa densa e rústica, indicada para espaços que requerem árvores de rápido crescimento, não indicadas para calçadas por possuir raízes muito agressivas.	
	Nomes Populares: mutamba, mutambo
	Nome Científico: <i>Guazuma ulmifolia</i>
	Família: Sterculiaceae
	Altura média: 8 a 16 m
	Folhas: simples, com pubescência estrelada em ambas as faces, de 10 - 13 cm de comprimento por 4 - 6 cm de largura.
	Flores: são pequenas, alvo-amareladas, medindo de 5 a 10 mm de comprimento, ligeiramente perfumadas, com cinco pétalas.
	Frutos: cápsula subglobosa, seca, verrucosa, verde a negra, dura, de 1,5 cm a 3,5 cm de comprimento, abrindo-se em cinco segmentos que se fendem no ápice ou irregularmente por poros.
Outras características: Planta semidecídua, heliófita. A árvore apresenta bela copa que proporciona ótima sombra.	
	Nomes Populares: mangueira
	Nome Científico: <i>Mangifera indica</i>
	Família: Anacardiaceae
	Altura média: pode atingir até 30 m
	Folhas: simples, alternas em espiral, de odor característico quando esmagadas entre os dedos.
	Flores: muito pequenas, medindo normalmente cerca de 6 milímetros, e pentâmeras.
	Frutos: drupa carnosa de formato arredondado a alongado, de sabor adocicado.
Outras características: Árvore de médio a grande porte, de copa arredondada. Sistema radicular profundo, fixando bem a árvore a terra.	

	Nomes Populares: saboneteira, saboeiro, fruta-de-sabão
	Nome Científico: <i>Sapindus saponaria</i>
	Família: Sapindaceae
	Altura média: 5 a 9 m.
	Folhas: alternas, pinadas com folíolo atrofiado no ápice da folha.
	Flores: branco-esverdeadas e distribuídas em racemos densos sobre a folhagem.
	Frutos: drupa que apresenta uma única semente, de superfície negra e lustrosa, recoberta por um pericarpo transparente e lustroso, de sabor amargo e tóxico.
Outras características: árvore de porte médio e copa arredondada.	

	Nomes Populares: guariroba, gariroba
	Nome Científico: <i>Syagrus oleraceae</i>
	Família: Palmae
	Altura média: 10 a 20 m.
	Folhas: de 2 a 3 cm de comprimento, com bainha estreita e caduca.
	Flores: surgem em cachos durante a primavera até o outono.
	Frutos: dão em cachos, de coloração verde-amarelada, com uma amêndoa branca oleaginosa comestível.
Outras características: palmeira bastante ornamental, com estipe ereto, copa crispada e deflexa.	

	Nomes Populares: jambolão, jamelão, azeitona
	Nome Científico: <i>Syzygium jambolana</i>
	Família: Myrtaceae
	Altura média: 10 a 16 m.
	Folhas: simples, opostas-cruzadas, glabras, com superfície brilhosa. Forma oblonga e elíptica.
	Flores: brancas, distribuídas em racemos curtos, no interior da copa, sem nenhuma expressão ornamental.
	Frutos: arroxeados, do tipo carnoso.
Outras características: copa arredondada e folhagem perene verde lustrosa, projetando sombreamento denso por todo o ano.	

	Nomes Populares: paineira, barriguda, árvore-de-paina
	Nome Científico: <i>Chorisia speciosa</i>
	Família: Bombacaceae
	Altura média: 15 a 30 m.
	Folhas: compostas digitadas e longo pecioladas.
	Flores: rosas, mais claras em determinadas populações e escuras em outras. Flores grandes e vistosas.
	Frutos: cápsula ovóide e deiscente.
Outras características: árvore de grande porte, copa arredondada e bem ampla.	

	Nomes Populares: cambuí, cambói
	Nome Científico: <i>Myrcia selloi</i>
	Família: Myrtaceae
	Altura média: 4 a 6 m.
	Folhas: simples, opostas, glabras em ambas as faces.
	Flores: inflorescências débeis, com cerca de 5 mm de diâmetro.
	Frutos: polpa carnosa de cor vermelha ou vinácea escura quando madura
Outras características: planta semidecídua, esciófita, seletiva higrófila.	

	Nomes Populares: amendoim-bravo, amendoim, pau-fava
	Nome Científico: <i>Pterogyne nitens</i>
	Família: Leguminosae-Caesalpinioideae
	Altura média: 10 a 15 m.
	Folhas: alternas em espiral, compostas pinadas com 8 a 14 folíolos glabros, com inserção alterna.
	Flores: insignificantes.
	Frutos: se distribuem em cachos densos, nítidos sobre a folhagem, variando do amarelo-pálido, quando imaturos, a uma cor de palha, quando maduros.
Outras características: árvore de grande porte e copa arredondada	

	Nomes Populares: palmeira imperial, palmeira real
	Nome Científico: <i>Roystonea oleracea</i>
	Família: Palmae
	Altura média: até 40 m.
	Folhas: folhas pinadas, 2 - 4m de comprimento, pinas dísticas.
	Flores: inflorescências dispostas abaixo do palmito.
	Frutos: cilíndrico-alongados, arroxeados.
Outras características: apresenta grande efeito paisagístico pela exuberância de seu porte.	

Fonte: Adaptado de Lorenzi (1992); Machado, Alencar e Rodrigues (1992)

Em função de todo o estudo específico apresentado, realizou-se também, medições em campo e simulações computacionais para analisar os microclimas existentes na SQS 108, de acordo com as seguintes variáveis climáticas: temperatura e umidade relativa do ar, temperatura superficial dos materiais e direção e velocidade dos ventos.

PARTE 2 – INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 Instrumentação para Levantamento de Dados

A etapa de coleta de dados microclimáticos pautou-se em Monteiro (1976) ao afirmar que “a pesquisa do clima da cidade implica obrigatoriamente em observação complementar fixa permanente, bem como o trabalho de campo com observações móveis e episódicas”.

Este estudo analisou o comportamento da temperatura e da umidade do ar, da direção e velocidade dos ventos e também da temperatura das superfícies horizontais de locais definidos no ambiente urbano.

Os registros das variáveis térmicas e higrométricas nos pontos de monitoramento foram tomados simultaneamente, nos horários: 9h, 15h e 21h. Esses horários coincidem com os indicados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para registro nas estações meteorológicas e são suficientes para abranger o universo temporal que representa as variáveis higrotérmicas ao longo do dia na cidade, visto a reduzida amplitude térmica diária.

As medições foram realizadas durante dois dias consecutivos, considerando os períodos seco e chuvoso, utilizando-se de equipamentos portáteis, como termômetro de radiação, termo-higrômetro, termo-anemômetro e biruta.

Para realização desta pesquisa, foram utilizados dois conjuntos de equipamentos da mesma marca e previamente aferidos disponibilizados pelo Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo da Universidade de Brasília (Larus-UnB), compostos por um termo-anemômetro que foi utilizado para medir a velocidade dos ventos, um termo-higrômetro, utilizado para medir a temperatura e a umidade relativa do ar, um termômetro de radiação que fornece a temperatura superficial dos materiais e uma biruta que indica a direção dos ventos (Figura 3.1).



Figura 3.1. Conjunto de equipamentos utilizados nas medições microclimáticas
 1)Termômetro de radiação 2)Termo-higrômetro 3)Termo-anemômetro 4)Biruta

O termo-anemômetro possui a marca INSTRUTHERM, modelo TAD-500, do tipo digital com ventoinha, e registro de velocidade do vento disponível em quatro unidades, tendo sido aplicada a unidade metros por segundo (m/s). Apesar deste termo-anemômetro indicar a temperatura do ar, ela não foi considerada, uma vez que a escolha deste aparelho se deu por haver dois modelos iguais, diminuindo a diferença de resultados entre eles.

O termo-higrômetro, para medir a temperatura e a umidade relativa do ar, também possui a marca INSTRUTHERM, modelo HT-260. Ele registra dados de temperatura entre -20° e 60°C e de umidade entre 0 a 100%.

O termômetro de radiação infravermelho possui mira a laser e mede a temperatura superficial dos materiais, variando entre as escalas de -50 a 550°C . A marca utilizada foi a LOGEN Scientific. Todos estes equipamentos possuíam os respectivos certificados de calibração.

Para determinação da direção do vento, utilizou-se uma biruta com haste de aço inox, pedestal em ferro e altura de 1,0 m. Sobre o pedestal há uma cartela com as orientações em subdivisões a cada 5° . Para posicioná-la de acordo com o norte geográfico, foi utilizada uma bússola.

Foram tomados, ainda, alguns cuidados quanto ao uso do equipamento durante a coleta dos dados, de modo a não comprometer a aferição dos registros. Assim, os

instrumentos foram locados a 1,50 m do solo, objetivando o registro dos dados na altura dos usuários urbanos, protegidos da insolação direta e guardando a distância mínima de 3,0m dos muros das edificações circunvizinhas, para evitar a influência de radiação (Figura 3.2).



Figura 3.2. Registro de dados

3.2 Escolha dos pontos de medição na unidade amostral urbana

A partir de observações em campo, procurou-se escolher os pontos de medição na Superquadra de estudo que fossem representativos na identificação da influência da vegetação. Assim, foram escolhidos três pontos na quadra onde houvesse uma graduação crescente em relação à porcentagem de áreas verdes, considerando a superfície horizontal e a arborização. Foi traçado um raio de 50 m de influência para determinar esta porcentagem em cada ponto onde se realizou as medições em campo (Figura 3.3).





Figura 3.3. Pontos escolhidos para realização das medições em campo

Além de observar a distribuição da vegetação para definição dos pontos de monitoramento, atentou-se para as características distintas em relação à insolação e a ventilação. Esta diferenciação pode ocorrer devido à orientação dos edifícios e aos ventos que predominam no período da seca, sudeste e leste, e no verão chuvoso, ventos noroeste (Figuras 3.4 e 3.5).

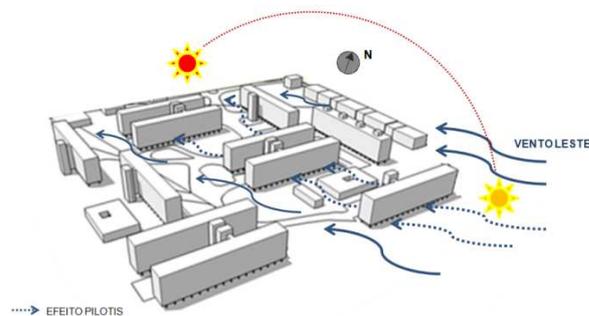


Figura 3.4. Superquadra 108 Sul com ventilação leste
Fonte: Relatório de Pesquisa desenvolvido pelo Lasus (UnB/CNPq – 2006-2008)

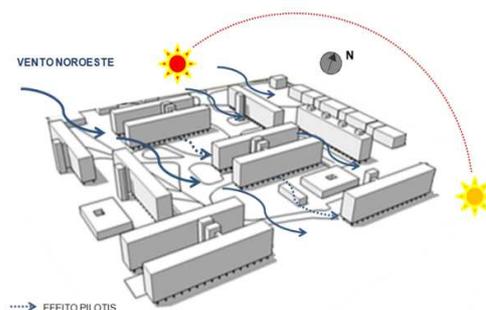
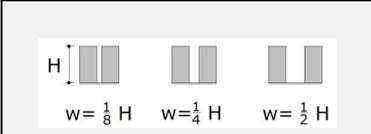
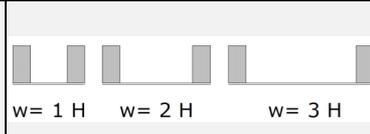
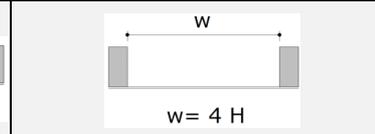


Figura 3.5. Superquadra 108 Sul com ventilação noroeste
Fonte: Relatório de Pesquisa desenvolvido pelo Lasus (UnB/CNPq – 2006-2008)

Em cada ponto de medição observou-se uma determinada morfologia urbana, que foi analisada em função do impacto da incidência da radiação solar próximo à superfície que, segundo Romero (2001), é proporcional a elevação dos edifícios e aos espaços entre eles. A relação entre a altura (H) e a largura dos espaços entre os edifícios (W) é analisada pela proporção W/H. Essa proporção resulta em espaços que podem ser classificados como claustrofóbicos, de recolhimento ou expansivos (Quadro 3.1).

De acordo com Ludwig (1970 *apud* Romero, 2001), áreas que não são densamente construídas apresentam a maior parte da radiação solar incidente refletida ou emitida. Já as áreas de densidade média, a maior parte da radiação refletida incide em outros edifícios ou no solo, e, nas áreas de alta densidade, a maior parte da absorção toma lugar muito acima do nível do solo.

Quadro 3.1. Relação W/H e desempenho ambiental do espaço urbano

		
Áreas de alta densidade	Áreas de média densidade	Áreas de baixa densidade
Espaços claustrofóbicos	Espaços de recolhimento	Espaços expansivos
Absorção de calor muito acima do nível do solo	Absorção de calor próxima ao nível do solo	Maior parte da radiação refletida
Amortecimento do ciclo térmico. A temperatura permanece estável (calor ou frio) durante um período do dia e só será alterada por um fator externo.	Menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual ao exterior.	Menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual ao exterior.

Fonte: Adaptado de Romero (2001:91)

Dessa forma, observou-se que o Ponto 1, que está localizado numa área utilizada como estacionamento, entre dois blocos de edifícios de seis pavimentos sobre pilotis, possui a relação $W=1 H$, sendo caracterizado assim, como um espaço de recolhimento. Porém, a utilização de pilotis diminui claramente a sensação de um espaço “acolhedor” como caracterizado na relação W/H.

Nesse espaço, é possível observar o fenômeno de corrente de ar sob o imóvel (efeito de pilotis) e, os edifícios, que possuem o sistema estrutural de suas fachadas em cobogó, projetam sombra neste local durante parte da manhã e durante toda a tarde. É uma área onde predomina a superfície asfaltada e a presença da vegetação corresponde a 18% dentro do raio de 50 m determinado (Figura 3.6).

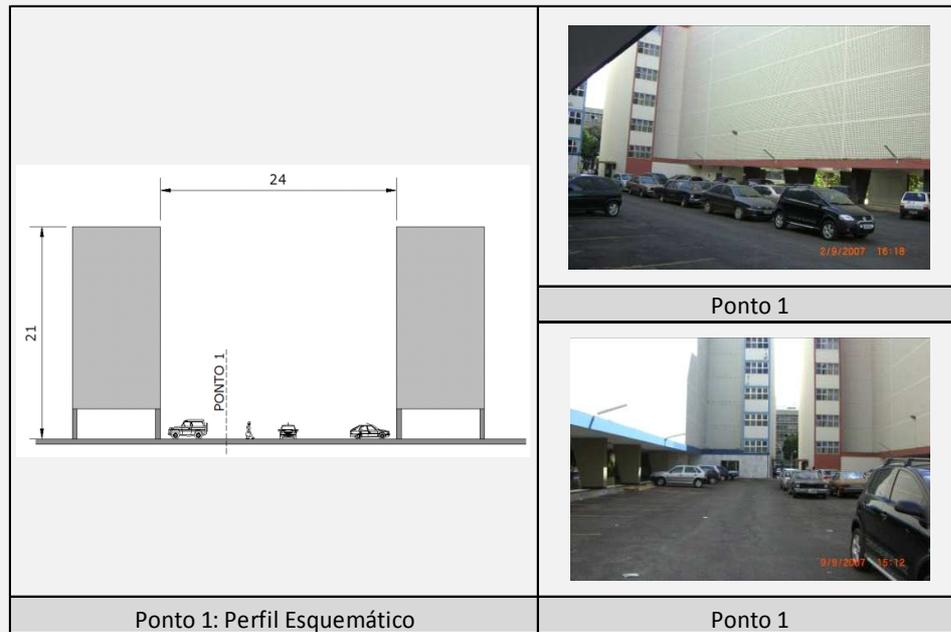


Figura 3.6. Perfil e fotografias do Ponto 1

O Ponto 2 está localizado em um *playground* à frente de uma edificação com a fachada envidraçada, que se encontra em um nível superior a este ponto. A relação entre a altura das edificações e a distância entre elas é $W=3H$, determinando um espaço de recolhimento. O limite entre a relação W/H , entre a média e a baixa densidade, e o não alinhamento entre as edificações, pode caracterizar este espaço como expansivo, e é esta a sensação do usuário.

O material de revestimento horizontal superficial deste ponto é a grama, sendo que a porcentagem de área verde é de 37%, mas apenas uma pequena parte desta área verde corresponde à arborização, tornando-a exposta aos raios solares durante toda a manhã e parte da tarde, devido à sombra projetada pela edificação (Figura 3.7).

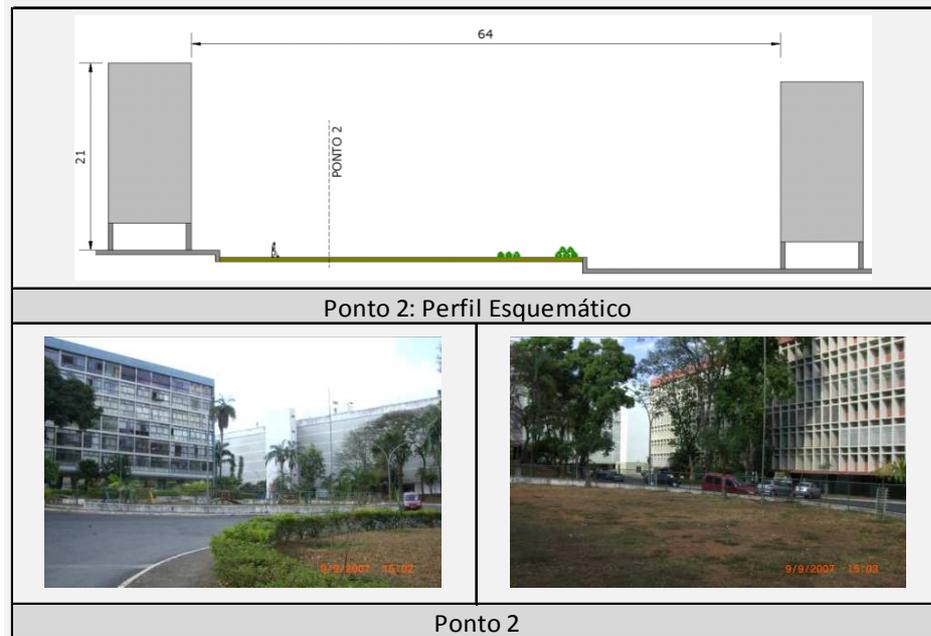


Figura 3.7. Perfil e fotografias do Ponto 2

O Ponto 3 se situa numa área bastante arborizada, onde predominam duas espécies arbóreas, a mangueira e a guarairoba. A área verde nesse raio de influencia compreende 42%. Nesta região as copas das árvores geram sombra em toda a superfície sob elas durante todo o dia. Os materiais superficiais horizontais encontrados nesta área são o concreto, calçada para pedestres, e a terra, que fica coberta por folhas durante todo o ano. A edificação mais próxima desta área, que se encontra a 20 m do ponto de medição, possui a fachada em vidro e concreto, e da mesma forma que as outras edificações residenciais da quadra, possuem seis pavimentos sobre pilotis.

Assim como no Ponto 2 a relação W/H neste ponto é igual a 3, e, a sensação que se tem no local é de um espaço expansivo, uma vez que uma das edificações está posicionada horizontalmente e a outra verticalmente (Figura 3.8).

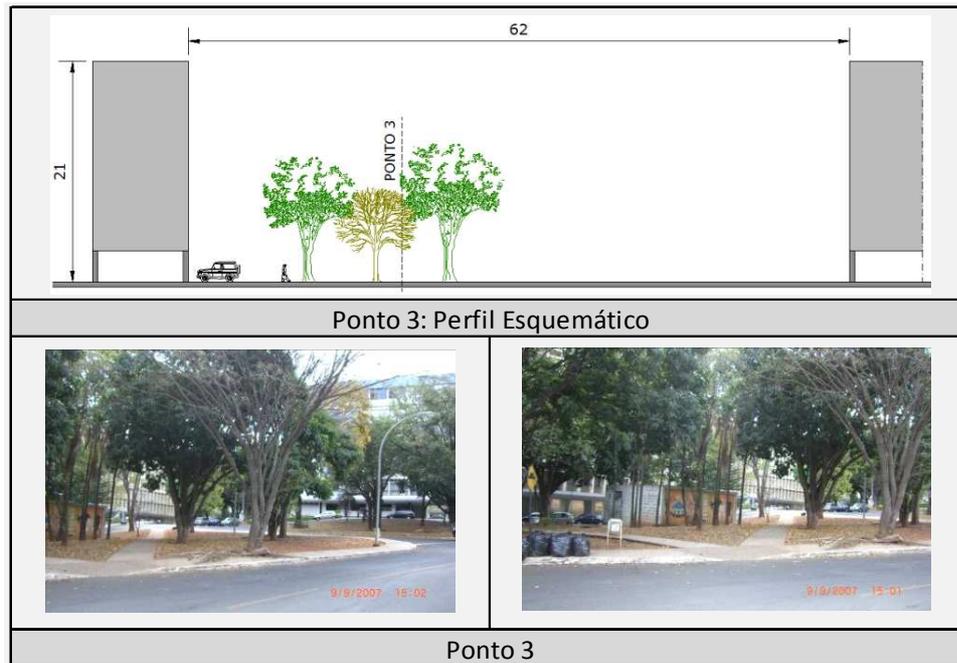
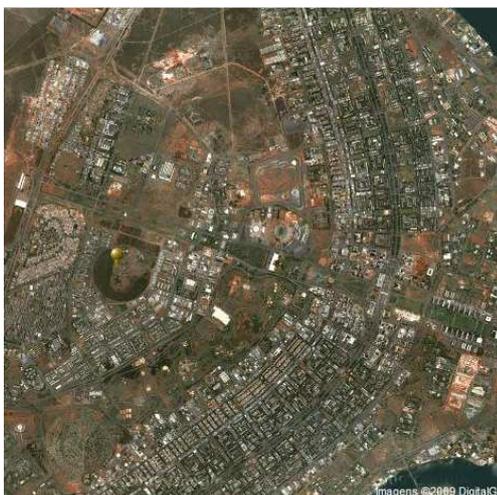


Figura 3.8. Perfil e fotografias do Ponto 3

O monitoramento das variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos e temperatura superficial dos materiais foi realizado nestes três pontos caracterizados acima.

3.3 Análise dos dados microclimáticos

Além dos dados medidos em campo, são apresentados os dados fornecidos pela estação climatológica de referência do INMET, que se localiza no Setor Sudoeste em Brasília (Figura 3.9).



Fonte: Google earth, acessado em 20 de março de 2009



Fonte: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>

Figura 3.9. Localização da estação de monitoramento automática em Brasília e no INMET

Todos os dados coletados foram registrados em tabelas no *software* Excel, que apresentaram os pontos e horários de medição e as seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e direção do vento.

O título das tabelas informa as datas que foram realizadas as medições, assim, são apresentadas duas tabelas referentes ao período da seca e duas referentes ao período da chuva, uma vez que as medições em campo foram realizadas durante dois dias consecutivos em cada período (Tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4)¹⁴.

Tabela 3.1. Dados Meteorológicos referentes ao dia 08 de setembro de 2008

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDADE REL. AR (%)	VELOCIDADE VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO
1	9:00h	26,40	36,00	0,80	NE
2	9:00h	28,00	29,00	1,80	E
3	9:00h	25,80	32,20	0,80	SE
1	15:00h	35,00	19,90	0,40	NE
2	15:00h	32,30	21,00	1,60	E
3	15:00h	32,20	21,90	2,00	E
1	21:00h	29,80	25,60	0,00	NE
2	21:00h	26,60	28,30	0,00	E
3	21:00h	28,00	26,20	0,00	SE
INMET	9:00h	24,90	29,00	5,00	E
INMET	15:00h	31,20	17,00	5,00	NE
INMET	21:00h	26,30	24,00	3,00	SE

Tabela 3.2. Dados Meteorológicos referentes ao dia 09 de setembro de 2008

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDADE REL. AR (%)	VELOCIDADE VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO
1	9:00h	26,20	33,10	0,40	NE
2	9:00h	27,60	33,30	1,60	E
3	9:00h	24,80	37,60	1,40	SE
1	15:00h	31,30	24,40	1,60	NE
2	15:00h	33,10	20,80	1,60	E
3	15:00h	31,20	22,40	0,30	SE
1	21:00h	26,40	36,10	0,40	NE
2	21:00h	25,20	39,60	1,20	E
3	21:00h	25,20	38,10	0,60	E
INMET	9:00h	23,60	36,00	5,00	E
INMET	15:00h	30,30	16,00	0,00	CALMO
INMET	21:00h	24,80	36,00	1,00	SE

¹⁴ O intervalo de tempo entre as medições nos três pontos de monitoramento variou entre 10 a 20 minutos, uma vez que não havia três aparelhos para realizar as medições simultaneamente às 9, 15 e 21 horas. Porém, para este estudo, este curto intervalo de tempo não foi considerado, pois, não alteraria significativamente os resultados.

Tabela 3.3. Dados Meteorológicos referentes ao dia 13 de janeiro de 2009

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDIDADE RELAT. AR	VELOCIDADE VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO
1	9:00h	24,50	70,10	1,30	SW
2	9:00h	24,20	71,50	1,60	W
3	9:00h	23,80	72,30	2,40	NW
1	15:00h	31,80	44,20	0,40	SW
2	15:00h	29,50	50,90	2,00	W
3	15:00h	29,80	48,20	0,50	NW
1	21:00h	26,40	61,20	1,30	SW
2	21:00h	24,90	67,00	0,80	W
3	21:00h	25,40	65,40	0,90	NW
INMET	9:00h	23,90	69,00	3,00	NE
INMET	15:00h	28,50	46,00	4,00	E
INMET	21:00h	23,80	68,00	0,00	CALMO

Tabela 3.4. Dados Meteorológicos referentes ao dia 14 de janeiro de 2009

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMIDIDADE RELAT. AR	VELOCIDADE VENTO (m/s)	DIREÇÃO DO VENTO
1	9:00h	25,20	59,90	1,20	SW
2	9:00h	24,80	62,30	0,70	W
3	9:00h	24,60	63,90	1,30	NW
1	15:00h	30,20	40,40	1,80	SW
2	15:00h	32,40	41,70	0,20	W
3	15:00h	28,20	44,50	2,60	NW
1	21:00h	28,00	47,20	0,20	SW
2	21:00h	25,70	57,60	0,40	W
3	21:00h	26,60	52,60	0,10	NW
INMET	9:00h	24,00	36,00	5,00	NE
INMET	15:00h	28,70	43,00	0,00	CALMO
INMET	21:00h	23,60	69,00	0,00	CALMO

Em relação à temperatura superficial dos materiais, o monitoramento também foi realizado nos três pontos. Porém, foram verificadas, através de medições, diferentes alternativas em relação à radiação solar e aos tipos de revestimento horizontal. Se em determinado horário a região se encontrava com sol e parte com sombra, as temperaturas foram levantadas com as duas características. E, se em determinado ponto existia mais de um material de revestimento, como por exemplo, o concreto e o solo exposto, as duas temperaturas também foram verificadas (Figura 3.10).



Figura 3.10. Materiais de revestimento horizontais referentes aos três pontos de medição

Dessa forma, foram desenvolvidas tabelas especificando os pontos e os horários de medição, a variável climática temperatura de superfície, a situação em que se encontrava o ponto no momento da medição e a especificação do material do piso (Tabelas 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8).

Tabela 3.5. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 08 de setembro de 2008

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE (°C)	SITUAÇÃO DO PONTO	MATERIAL DO PISO
1	9:00h	35,50	ao sol	asfalto
1	9:00h	25,50	à sombra de edificação	asfalto
2	9:00h	37,00	ao sol	grama
3	9:00h	22,00	à sombra de árvore	terra
3	9:00h	23,50	à sombra de árvore	concreto
1	15:00h	43,00	ao sol	asfalto
2	15:00h	30,50	à sombra de edificação	grama
2	15:00h	41,50	ao sol	grama
3	15:00h	26,00	à sombra de árvore	terra
3	15:00h	25,50	à sombra de árvore	concreto
1	21:00h	26,00	noite (visão céu)	asfalto
2	21:00h	17,50	noite (visão céu)	grama
3	21:00h	21,50	noite (visão copas)	terra
3	21:00h	23,50	noite (visão copas)	concreto

Tabela 3.6. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 09 de setembro de 2008

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE (°C)	SITUAÇÃO DO PONTO	MATERIAL DO PISO
1	9:00h	37,00	ao sol	asfalto
1	9:00h	27,00	à sombra de edificação	asfalto
2	9:00h	37,00	ao sol	grama
3	9:00h	22,00	à sombra de árvore	terra
3	9:00h	22,00	à sombra de árvore	concreto
1	15:00h	42,50	ao sol	asfalto
2	15:00h	42,00	à sombra de edificação	grama
2	15:00h	50,50	ao sol	grama
3	15:00h	27,50	à sombra de árvore	terra
3	15:00h	26,50	à sombra de árvore	concreto
1	21:00h	29,50	noite (visão céu)	asfalto
2	21:00h	20,00	noite (visão céu)	grama
3	21:00h	23,00	noite (visão copas)	terra
3	21:00h	24,50	noite (visão copas)	concreto

Tabela 3.7. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 13 de janeiro de 2009

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE (°C)	SITUAÇÃO DO PONTO	MATERIAL DO PISO
1	9:00h	37,00	ao sol	asfalto
1	9:00h	26,50	à sombra de edificação	asfalto
2	9:00h	26,00	ao sol	grama
3	9:00h	19,50	à sombra de árvore	terra
3	9:00h	22,00	à sombra de árvore	concreto
1	15:00h	51,50	ao sol	asfalto
2	15:00h	25,00	à sombra de edificação	grama
2	15:00h	32,50	ao sol	grama
3	15:00h	21,50	à sombra de árvore	terra
3	15:00h	25,50	à sombra de árvore	concreto
1	21:00h	30,00	noite (visão céu)	asfalto
2	21:00h	21,00	noite (visão céu)	grama
3	21:00h	20,00	noite (visão copas)	terra
3	21:00h	22,50	noite (visão copas)	concreto

Tabela 3.8. Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 14 janeiro de 2009

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE (°C)	SITUAÇÃO DO PONTO	MATERIAL DO PISO
1	9:00h	37,50	ao sol	asfalto
1	9:00h	27,50	à sombra de edificação	asfalto
2	9:00h	26,50	ao sol	grama
3	9:00h	20,00	à sombra de árvore	terra
3	9:00h	22,50	à sombra de árvore	concreto
1	15:00h	54,50	ao sol	asfalto
2	15:00h	25,00	à sombra de edificação	grama
2	15:00h	33,50	ao sol	grama
3	15:00h	18,50	à sombra de árvore	terra
3	15:00h	24,00	à sombra de árvore	concreto
1	21:00h	31,00	noite (visão céu)	asfalto
2	21:00h	21,00	noite (visão céu)	grama
3	21:00h	20,50	noite (visão copas)	terra
3	21:00h	22,50	noite (visão copas)	concreto

3.3.1 Temperatura do Ar

Como foi visto no capítulo 4.1, os pontos de medição foram escolhidos de acordo com a gradação crescente em relação à porcentagem de áreas verdes, considerando a superfície horizontal e a arborização (Tabela 3.9).

Tabela 3.9. Superfícies horizontais e porcentagem de áreas verdes nos pontos de medição

PONTOS	MATERIAL DE REVESTIMENTO HORIZONTAL	PORCENTAGEM DE ÁREAS VERDES
Ponto 1	Asfalto	18%
Ponto 2	Gramma	37%
Ponto 3	Terra e concreto	42%

No mês de setembro, caracterizado pelo período da seca, às 9 h, verificou-se sombra em parte da área onde foi realizada a medição no Ponto 1. O Ponto 2 estava totalmente exposto aos raios solares e o Ponto 3 possuía sombra em todos os horários do dia, projetada pelas copas das árvores. Dessa forma, foi constatado que a temperatura do ar mais alta às 9 h foi encontrada no Ponto 2 e a mais baixa no Ponto 3. Às 15 h mediram-se temperaturas altas nos Pontos 1 e 2, enquanto o Ponto 3 apresentou as temperaturas mais baixas e, às 21 h percebeu-se temperaturas mais altas no Ponto 1. Porém, o Ponto 3 possuía temperaturas mais altas que o Ponto 2 no dia oito de setembro, uma vez que as copas das árvores impediram a dissipação do calor tornando a região sob elas aquecida (Gráficos 3.1 e 3.2).

Gráfico 3.1. Temperatura do Ar no dia 08 de setembro de 2008

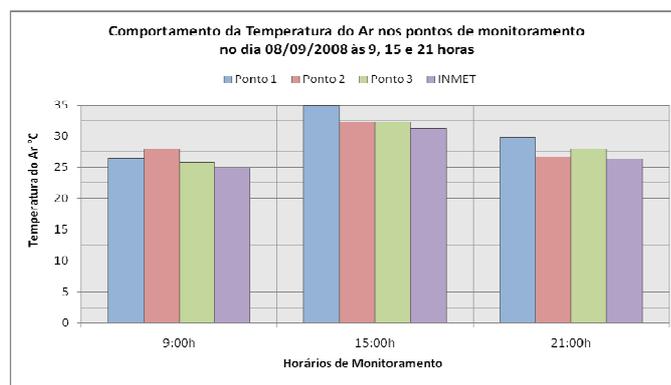
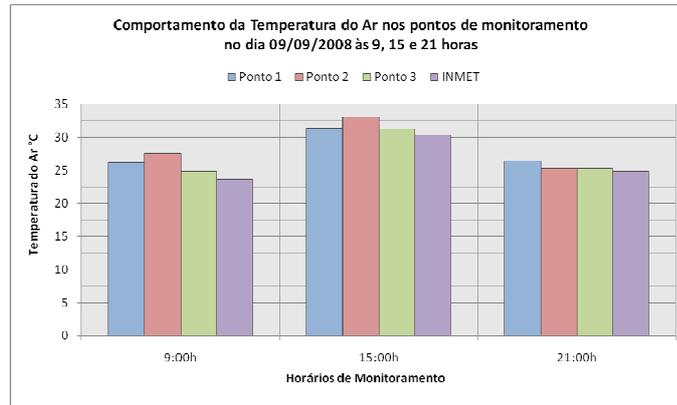
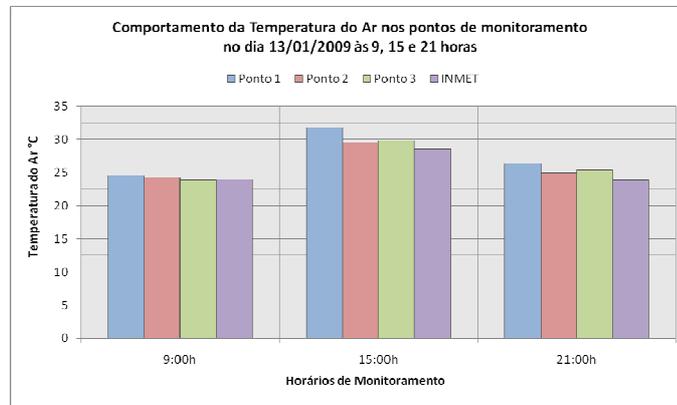
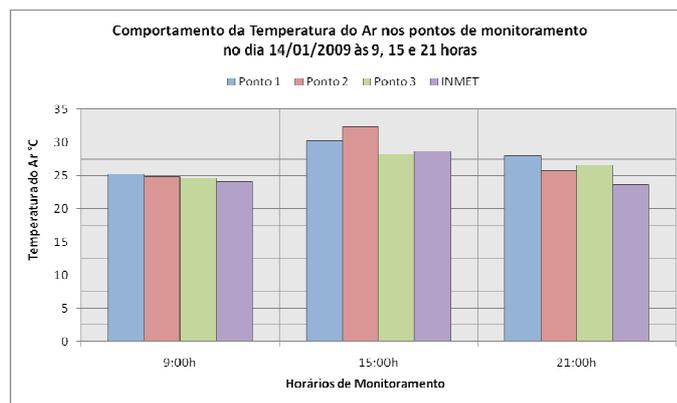


Gráfico 3.2. Temperatura do Ar no dia 09 de setembro de 2008

No mês de janeiro, caracterizado pelo período úmido, observou-se que às 9 h, diferentemente do período seco, as temperaturas mais altas foram encontradas no Ponto 1 e não no Ponto 2. Já as temperaturas mais baixas também foram verificadas no Ponto 3. Nos horários de 15 a 21 h o comportamento da temperatura não se modificou em relação aos pontos de medição do período da seca, observando apenas que no período chuvoso as temperaturas monitoradas foram mais amenas (Gráficos 3.3 e 3.4).

Gráfico 3.3. Temperatura do Ar no dia 13 de janeiro de 2009**Gráfico 3.4.** Temperatura do Ar no dia 14 de janeiro de 2009

3.3.2 Umidade Relativa do Ar

Observou-se que o dia nove de setembro apresentou valores mais altos de umidade em relação ao dia oito, inclusive no INMET, e os dados medidos nos pontos de monitoramento não apresentaram as mesmas características nos dois dias.

Às 9 h do dia oito de setembro, a umidade relativa do ar mais alta foi observada no Ponto 1 (33%). Já no dia nove observou-se a umidade mais alta no Ponto 3 (37,5%). Às 15 h no dia oito houve uma crescente de umidade nos pontos de medição, corroborando com a definição dos pontos de monitoramento de acordo com a gradação de áreas verdes, porém, no dia nove esta crescente nos valores de umidade não ocorreu. Às 21 h observaram-se as mesmas características nos dois dias de medições, onde o Ponto 2 apresentou os valores mais altos de umidade relativa do ar e o Ponto 1 os valores mais baixos, constatando a importância do material de revestimento horizontal para a umidade do ar no período da noite (Gráficos 3.5 e 3.6).

Gráfico 3.5. Umidade Relativa do Ar no dia 08 de setembro de 2008

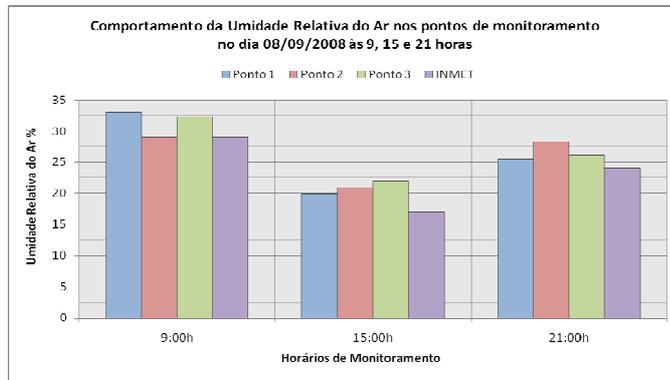
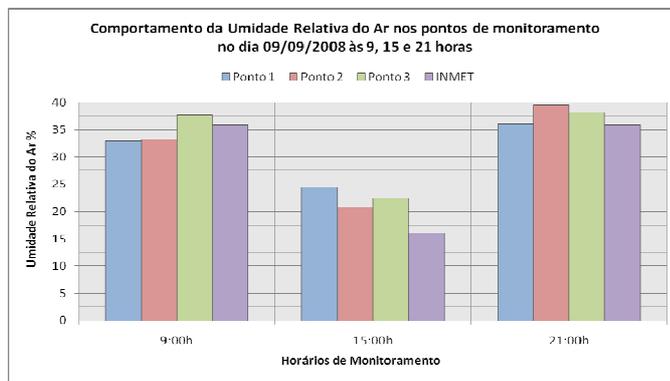


Gráfico 3.6. Umidade Relativa do Ar no dia 09 de setembro de 2008



No período da chuva, o dia treze de janeiro apresentou umidades mais altas que o dia quatorze e, novamente, os valores do INMET confirmam os dados medidos em campo. Às 9 h, a umidade aumentou de acordo com os pontos de medição, ou seja, tem-se valores mais baixos de umidade do Ponto 1 e valores mais altos no Ponto 3. Às 15 horas, o Ponto 1 apresentou valores mais baixos de umidade (44% no dia 13 e 40,5% no dia 14) e, às 21 h, assim como às 9 e 15 h, a umidade também foi mais baixa no Ponto 1, porém mais alta no Ponto 2. Observou-se que às 21 horas do dia 14 houve uma grande variação de umidade relativa do ar entre o Ponto 1, 47% de umidade, e o Ponto 2, 57,5% de umidade (Gráficos 3.7 e 3.8).

Gráfico 3.7. Umidade Relativa do Ar no dia 13 de janeiro de 2009

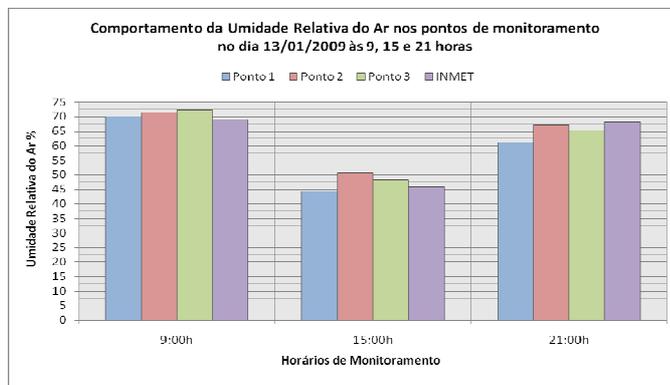
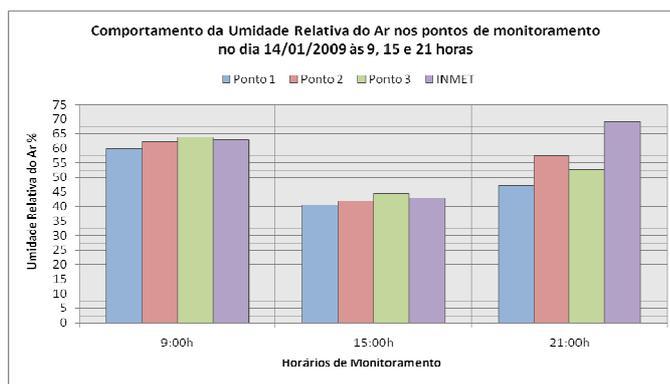


Gráfico 3.8. Umidade Relativa do Ar no dia 14 de janeiro de 2009



3.3.3 Velocidade dos Ventos

Segundo Souza (2006) em relação à ventilação, a morfologia urbana influencia bastante esse parâmetro de análise, já que quanto mais densamente construída é uma área, maior a rugosidade do solo e por isso maior a redução na velocidade do vento em alturas próximas ao solo. A área de estudo que está inserida no Plano Piloto de Brasília melhor se

adapta ao terreno suburbano, pela regularidade dos seus gabaritos e pela distribuição da vegetação em toda a superquadra (Figura 3.11).

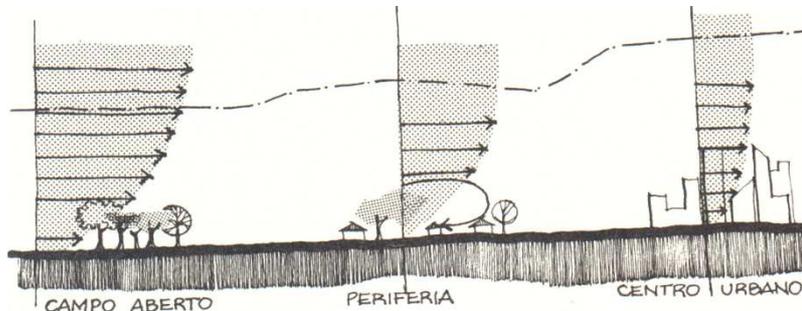


Figura 3.11. Efeito da rugosidade do terreno para a velocidade do vento
Fonte: Romero (2000:43)

Sendo assim, é necessário analisar os perfis esquemáticos apresentados no Capítulo 4.1 para uma melhor compreensão dos valores apresentados nos gráficos.

A variação da velocidade do vento no período da seca está entre 0,3 a 2,2 m/s nos pontos de monitoramento da superquadra, e pode-se observar as maiores velocidades no Ponto 2 e as menores no Ponto 1, já que é o ponto que se localiza mais próximo às edificações. A análise dos gráficos constata a inconstância dos valores de velocidade do vento em todos os horários de medição (Gráficos 3.9 e 3.10)

Gráfico 3.9. Velocidade do Vento no dia 08 de setembro de 2008

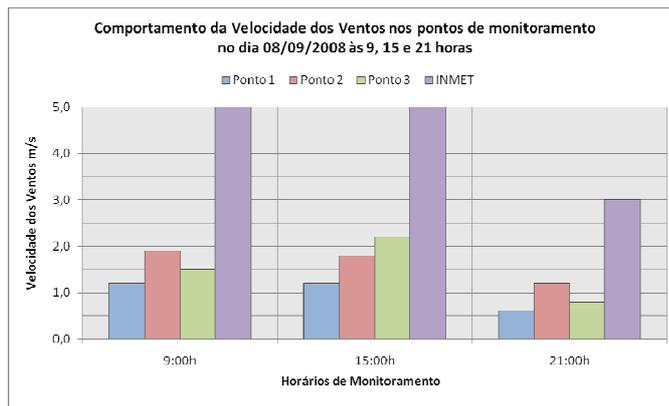
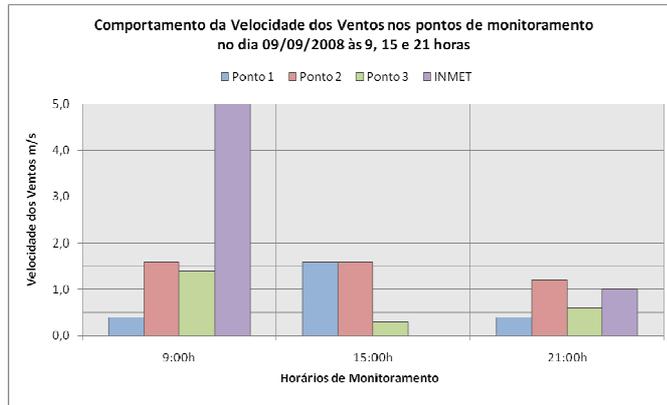
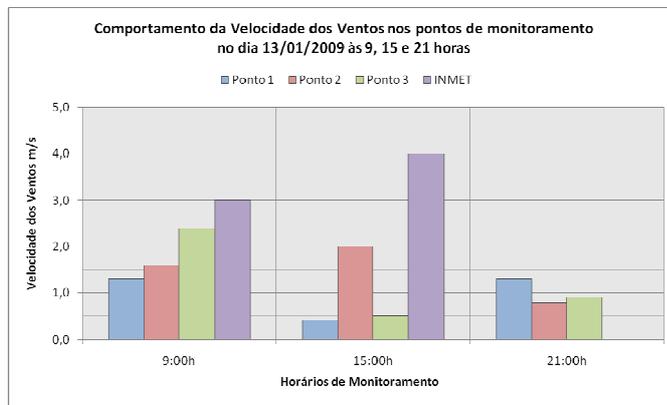
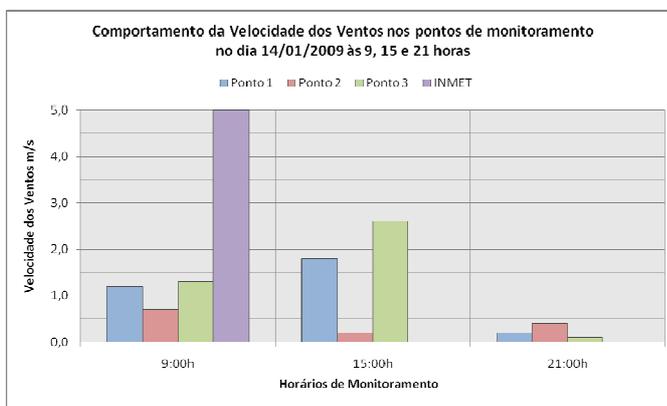


Gráfico 3.10. Velocidade do Vento no dia 09 de setembro de 2008

No período úmido a velocidade dos ventos também apresentou uma irregularidade. Essa inconstância nos valores pode ser observada às 15 h nos dias treze e quatorze de janeiro. Enquanto no dia 13 a maior velocidade do vento se encontra no Ponto 2 marcando 2,0 m/s, no dia 14 o mesmo Ponto 2 apresenta a velocidade mais baixa, ou seja, 0,2 m/s (Gráficos 3.11 e 3.12).

Gráfico 3.11. Velocidade do Vento no dia 13 de janeiro de 2009**Gráfico 3.12.** Velocidade do Vento no dia 14 de janeiro de 2009

3.3.4 Temperatura Superficial dos Materiais

A análise gráfica da temperatura superficial dos materiais não irá abranger todas as situações dos pontos que se encontram nas tabelas 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8, uma vez que a grande quantidade de informações dificultaria a interpretação dos gráficos.

No período da seca, as maiores temperaturas superficiais são encontradas às 15 h, principalmente no Ponto 1 e no Ponto 2, onde há insolação e os materiais superficiais são o asfalto e a grama, respectivamente. Já o Ponto 3, que é caracterizado por ser uma área sombreada durante todo o dia, apresenta temperaturas mais baixas em até 23°C em relação aos outros pontos no período da tarde, porém, às 21 h, essa amplitude diminui consideravelmente. Observou-se que em uma área sombreada, a diferença de temperatura superficial entre a terra e o concreto é pequena, alcançando no máximo 2°C.

É interessante analisar que apenas uma superfície gramada não resulta em temperaturas muito mais amenas, principalmente no período seco, onde a grama se encontra ressecada e acinzentada. Às 15 h no dia oito de setembro, a diferença de temperatura encontrada entre a grama e o asfalto foi de apenas 2 °C, devido à grande quantidade de calor que a grama absorveu durante o dia. Já no Ponto 1, a insolação foi amenizada pela sombra projetada pelas edificações em parte do dia. No dia nove de setembro, os resultados do período da tarde apresentaram valores bastante inusitados, tendo ocorrido um possível erro durante as medições (Gráficos 3.13 e 3.14).

Gráfico 3.13. Temperatura Superficial dos Materiais no dia 08 de setembro de 2008

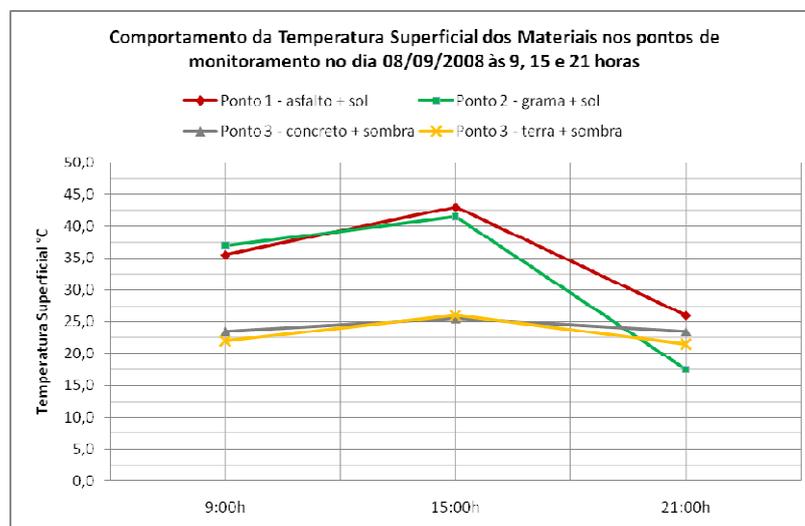
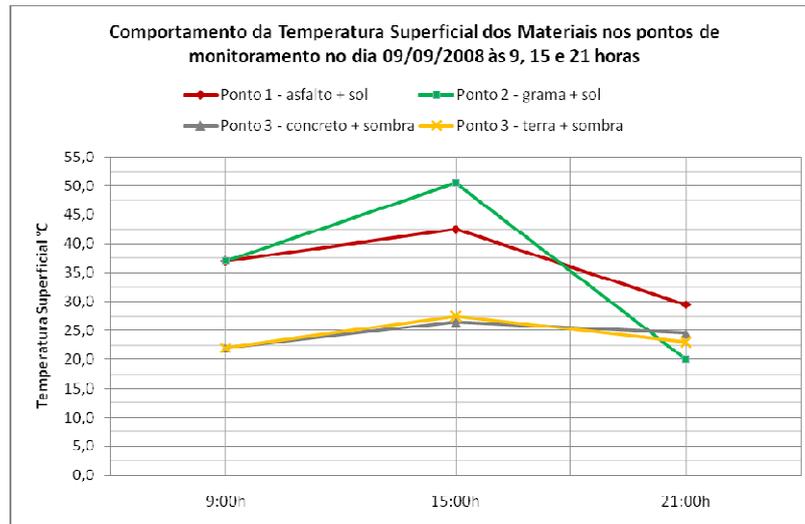
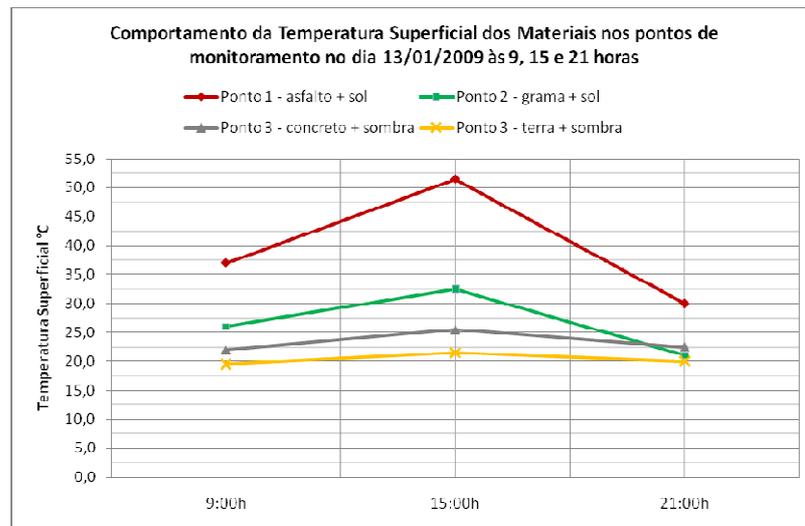
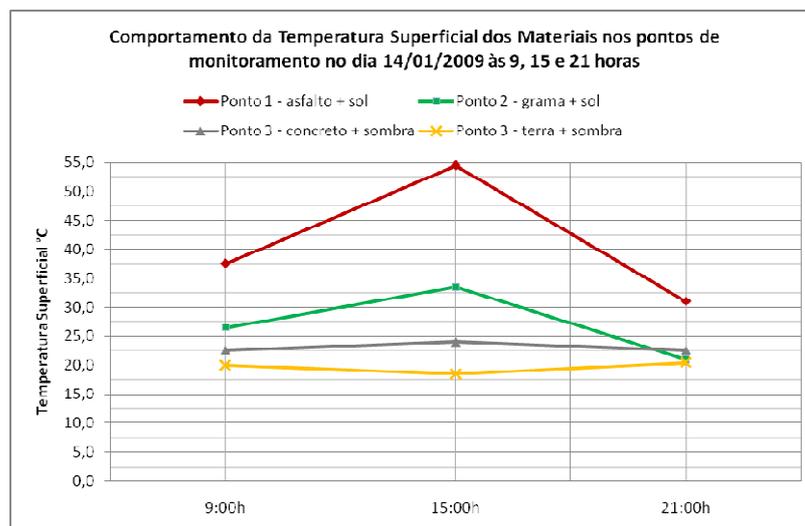


Gráfico 3.14. Temperatura Superficial dos Materiais no dia 09 de setembro de 2008

A temperatura superficial dos materiais no período da chuva possui um comportamento distinto em relação ao período da seca e constante em relação ao aumento de temperatura de acordo com o material de revestimento horizontal e a situação do ponto. Assim, observou-se as maiores temperaturas superficiais no Ponto 1 às 15 h, verificando até 55°C no dia treze de janeiro, um valor mais alto que o constatado nas mesmas condições no período da seca.

As temperaturas mais baixas, em torno de 21°C, foram verificadas no Ponto 3, onde o material de revestimento é o solo exposto e há sombra durante todo o dia. A importância da grama como material de revestimento é observada no período da chuva, que mesmo estando exposta aos raios solares, a superfície gramada apresenta valores baixos de temperatura, que se aproximam dos valores das áreas sombreadas (Gráficos 3.15 e 3.16).

Gráfico 3.15. Temperatura Superficial dos Materiais no dia 13 de janeiro de 2009**Gráfico 3.16.** Temperatura Superficial dos Materiais no dia 14 de janeiro de 2009

3.4 ENVI-met: programa computacional escolhido

O software ENVI-met foi desenvolvido pelo Professor Michael Bruse da Universidade de Bochum, Alemanha. É um modelo tridimensional que simula o microclima urbano. Ele proporciona interações entre superfície-vegetação-atmosfera, calculando o balanço de energia por meio das variáveis: radiação, reflexão e sombreamento de edifícios e vegetação, fluxo do ar, temperatura, umidade, turbulência local e sua taxa de dissipação e as trocas de água e calor dentro do solo.

Segundo Bruse (2008), o modelo numérico simula aerodinâmica, termodinâmica e balanço de radiação nas estruturas complexas urbanas com resoluções (grids) entre 0.5 m a 10

m, de acordo com a posição do sol, geometria urbana, vegetação, solo e materiais de construção, resolvendo equações termodinâmicas e fisiológicas das plantas.

O ENVI-met oferece muitas opções de dados de saída, entre elas estão a temperatura e a umidade do ar, temperaturas de superfície (piso e envoltória dos edifícios), a temperatura radiante média (TRM) e a velocidade dos ventos (Figura 3.12).

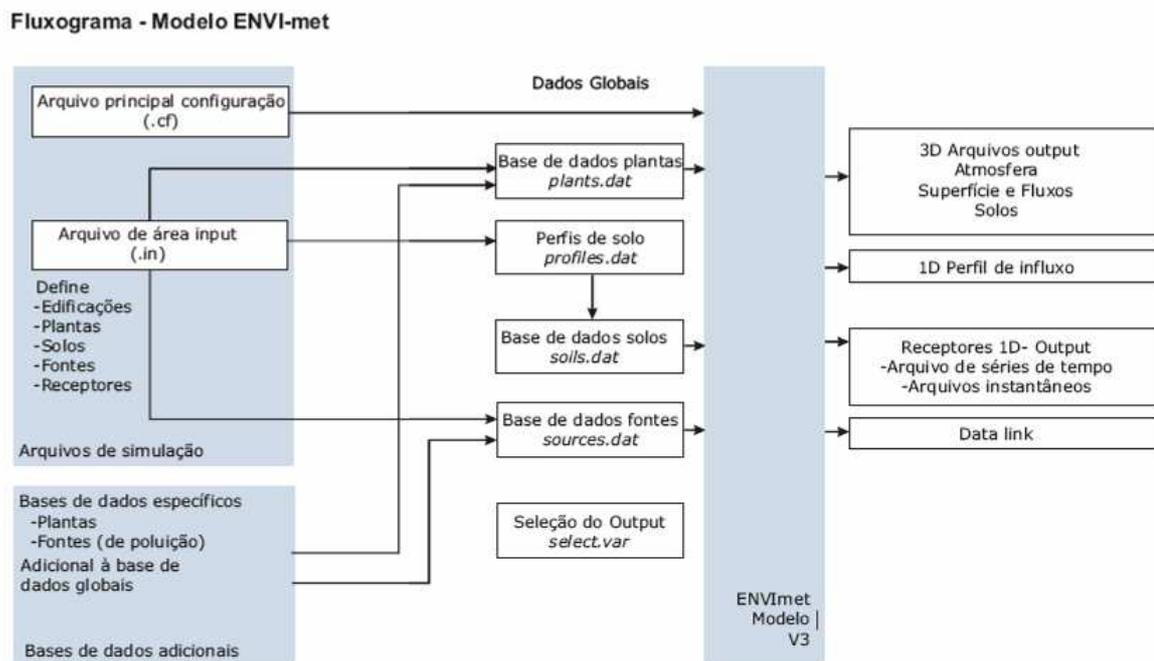


Figura 3.12. Fluxograma ENVI-met

Fonte: <www.envi-met.com>. Acesso em 15 jul. 2008.

Diferenciando-se dos demais programas existentes para simulações de ventilação urbana que consideram somente os princípios da mecânica dos fluidos, este programa baseia-se nestes princípios e também nas leis fundamentais da termodinâmica, o que, neste aspecto, constitui um avanço.

O modelo combina o cálculo dos parâmetros da mecânica dos fluidos, como a forma de escoamento e a ocorrência de turbulências, com os processos termodinâmicos que ocorrem nas superfícies dos solos, das construções e das plantas para prever o fluxo de ar entre as edificações (SILVEIRA, 2008).

3.5 Histórico da utilização do programa no Brasil e no mundo

O *software* ENVI-met está sendo utilizado em vários países de continentes diferentes como América do Sul, Ásia, Europa e Oceania. Como o programa possui diversas variáveis climáticas, observou-se que os estudos que o utilizaram englobaram diferentes tipos de abordagens, gerando um grande número de análises distintas e enriquecedoras. Por isso, será feita uma breve análise de alguns estudos relevantes para esta dissertação, a fim de compreender melhor a aplicação deste software no Brasil e no mundo.

Em Cingapura¹⁵ foi realizado um estudo do efeito do verde na área do campus da Universidade de Cingapura. A metodologia utilizou medições em campo para temperatura real e a simulação computacional para diagnosticar alguns cenários com diferentes características. Dividiram o campus em três áreas, respeitando as diferenças das condições de distribuição da vegetação e das edificações. O primeiro grupo possuía uma área verde densa, o segundo uma vegetação menos densa e o terceiro possuía um verde esparsa. As medições foram realizadas no dia quinze de setembro por representar um dia típico de Cingapura.

As medições em campo mostraram que as áreas que possuíam a vegetação mais distribuída apresentaram temperaturas acima de 33°C. A diferença de temperatura entre o ponto que se encontrava na área de vegetação densa e o ponto localizado na região de vegetação esparsa chegou a 4°C às 13 horas, e essa diferença passou para 3°C quando a hora se aproximou da meia noite.

O ENVI-met foi utilizado para simular quatro cenários distintos: a condição real, a substituição das árvores densas por prédios, a remoção de todo o verde e, por fim, a adição de mais árvores (Figura 3.13).

¹⁵ Cingapura está localizada no sudeste da Ásia e possui o clima tropical com temperaturas quentes. A monção chega ao país de novembro a janeiro enquanto que a estação seca é de julho a setembro. As monções são um fenômeno típico da região sul e sudeste da Ásia, onde o clima é condicionado por massas de ar que ora viajam do interior do continente para a costa, monção continental, ora da costa para o continente, monção marítima.

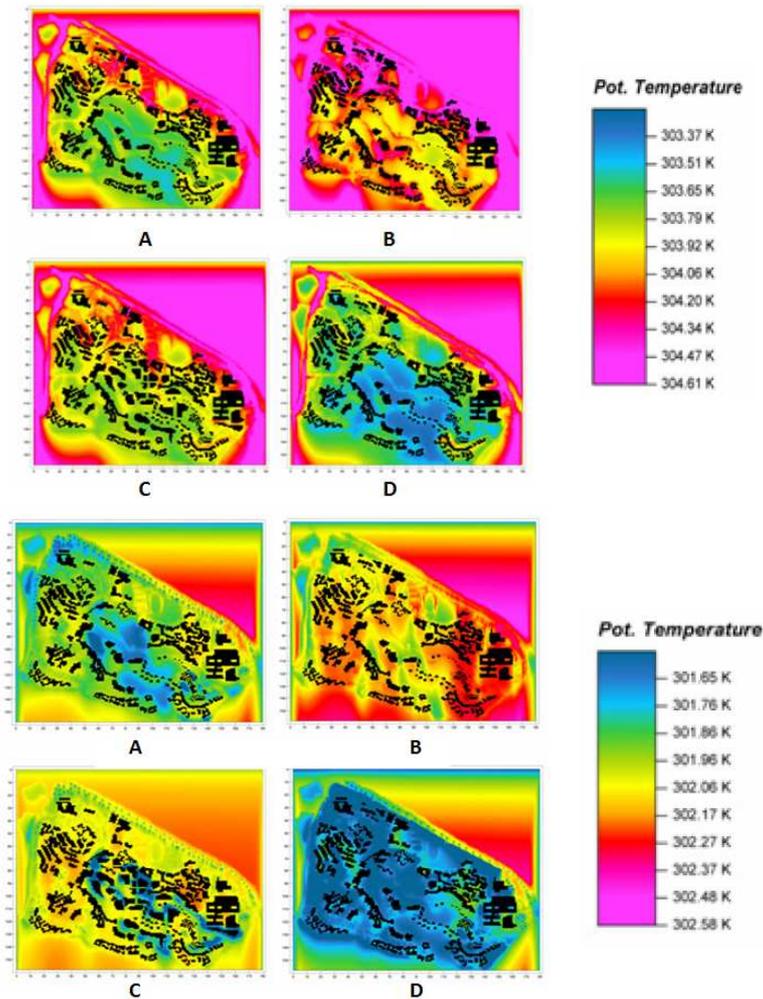


Figura 3.13. Resultados da Simulação durante o dia e durante a noite, respectivamente A: Condição real, B: Substituição árvores por prédios, C: Remoção do verde, D: Adição árvores

Os dados utilizados para configuração básica do programa foram:

- 1) Temperatura: 303 K
- 2) Velocidade do vento: 1.6 m/s
- 3) Direção do vento: Sul para norte
- 4) Umidade Relativa: 84%
- 5) Rugosidade: 0.1

Jusuf *et al* (2006) analisaram as temperaturas nos quatro mapas do campus da Universidade de acordo com os diferentes tipos de distribuição da vegetação, durante o dia e durante a noite. Em relação aos dados de campo e aos dados gerados pelo programa ENVI-met, observou que a diferença de temperatura em média nos pontos de medição foi de 3°C. A

variação de temperatura nas simulações foi muito pequena, durante o dia, variou 1,24°C, e durante a noite, apenas 0.93°C.

Esse estudo de Cingapura não forneceu dados suficientes para analisar a configuração básica que foi utilizada para alimentar o programa. É importante observar também que nesse estudo as cores correspondentes aos valores dos mapas simulados referentes ao dia não se relacionam as cores dos mapas da noite. Por exemplo, a cor magenta observada no mapa referente ao dia, corresponde a 304,61° K e no mapa da noite a 302,58° K, dificultando uma leitura visual das simulações.

Na Grécia¹⁶ foi realizado um estudo intitulado, Materiais superficiais horizontais e microclimas urbanos em espaços abertos, realizado na cidade de Thessaloniki. O estudo observou a temperatura do ar e das superfícies, a velocidade do vento e a umidade relativa em cinco pontos da cidade.

Os espaços abertos monitorados continham materiais de revestimento horizontais como mármore, pedra, concreto, cerâmica e asfalto, assim como grama e superfícies com água. De acordo com Chatzidimitriou (2006), os dados de monitoramento foram utilizados para calibrar dois softwares: o Envi-met e o RadTherm.

As medições das radiações solares incidentes e refletidas, de cada superfície, foram realizadas em dois dias de céu claro, para fornecer uma estimativa do albedo de superfícies horizontais.

As simulações dos cinco pontos utilizaram o software Envi-met, e os resultados da temperatura do ar e das superfícies foram comparados com os dados monitorados. A comparação revelou diferenças abaixo de 15% de 25 de 33 séries de temperatura do ar e de 29 de 36 séries de temperaturas superficiais monitoradas (Figura 3.14).

¹⁶ A Grécia localiza-se na ponta sul da Península dos Balcãs, uma região montanhosa, com muitas baías e cerca de duas mil ilhas. O clima é temperado, os invernos são amenos e úmidos e os verões quentes e secos.

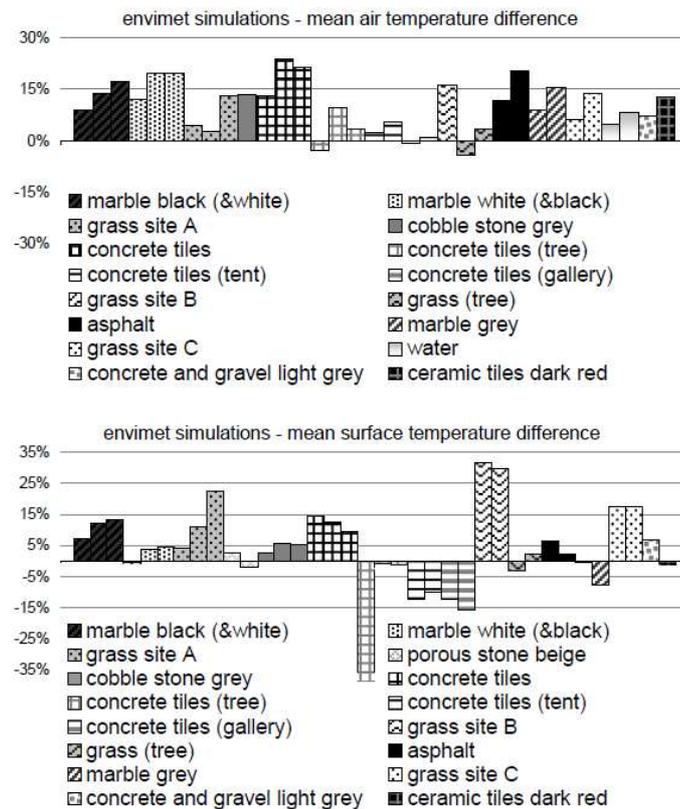


Figura 3.14. Diferenças entre as medições em campo e os resultados da simulação, para as temperaturas do ar e das superfícies horizontais

Considerando a comparação entre as medições e as simulações das temperaturas superficiais, diferenças mais altas que 15% (e acima de 38,5%) ocorreram nos casos de grama e pavimentos de concreto, e a maioria foi atribuída à sombra causada pelos obstáculos circundantes. Considerando a temperatura do ar, as diferenças mais altas que 15% (e acima de 23,9%) foram observadas em quatro casos com o material mármore, dois casos com o concreto, um caso com grama e um com o asfalto.

Os resultados da simulação para a temperatura do ar e das superfícies produziram, pelo Envi-met, diferenças em relação aos dados medidos, acima de 15% em muitos casos examinados.

Apesar desse estudo não utilizar o ENVI-met para gerar mapas ou planilhas, os gráficos percentuais dos materiais superficiais que foram desenvolvidos caminharam ao encontro da finalidade desta dissertação, ou seja, comparar as diferenças existentes entre os dados de variáveis medidas em campo e simuladas pelo *software*.

Já o estudo realizado em Seul, capital da Coreia do Sul, tratou das mudanças nos microclimas e na carga resfriativa das edificações através do efeito da vegetação na região do rio restaurado em Seul.

Han *et al* (2007) investigaram as mudanças no microclima na escala urbana e a redução das temperaturas através da recente revitalização do rio Cheonggye. Ele se localizava na área central da cidade e esteve coberto por pavimento e passarelas de concreto durante cinquenta e oito anos.

A quantidade de edificações circundantes, o tráfego e as pessoas tornaram a área do rio mais quente que os outros distritos. A análise microclimática utilizou o software ENVI-met e foi empregado o TRNSYS¹⁷ para estimar a redução da carga resfriativa na escala urbana, fornecendo os dados necessários para simulação no ENVI-met.

Para medir a intensidade da ilha de calor na área estudada, foi medido o microclima durante vinte dias e foi comparado com os dados horários do tempo de Seul no mesmo período. Estas medições foram utilizadas para fornecer os valores iniciais da simulação que, posteriormente foram administradas (Quadro 3.2).

Quadro 3.2. Dados iniciais para simulação

Conteúdo	Valores de entrada
Hora de simulação	48 horas
Início simulação	6 horas
Velocidade do vento	0,5 m/s
Direção do vento	11,25° (NNE)
Rugosidade da superfície	0.1
Atmosfera	27,3°C (300.3K)
Umidade Relativa	77%
Umidade absoluta a 2500 m de altura	6g/Kg
Longitude	127 E
Latitude	37.36 N

¹⁷ O TRNSYS é um programa de simulação de sistemas que contém uma estrutura modular que reconhece uma linguagem de descrição de um sistema em que o usuário (estudante/pesquisador) especifica os componentes que constituem o sistema e a maneira em que eles são ligados.

O programa Envi-met foi utilizado para simular as mudanças microclimáticas ocorridas antes e depois da revitalização do rio. O resultado da simulação indicou uma diferença de temperatura entre estes dois momentos. O efeito resfriativo reduziu à medida que a distância em relação ao rio aumentou, sendo que a temperatura antes da revitalização era de 34,9°C, caindo para 33,6°C depois da revitalização, ou seja, uma diminuição de 1,3°C (Figura 3.15).

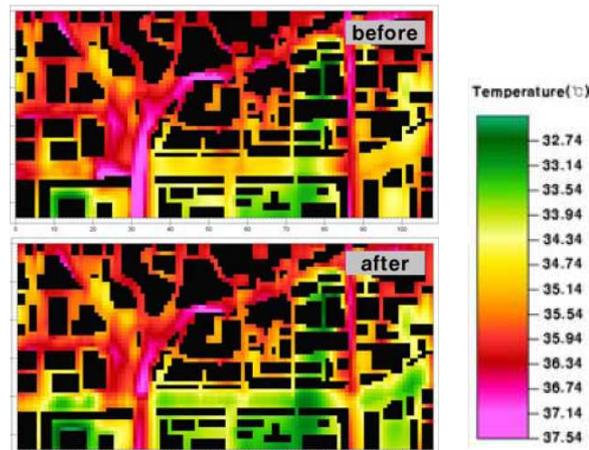


Figura 3.15. Resultado de temperatura no ENVI-met às 12 horas

O estudo mostrou que houve uma diferença de até 3°C entre os dados medidos e os dados dos resultados simulados. As temperaturas na simulação apresentaram valores mais altos que a maioria dos valores medidos em campo.

Apesar de os resultados da simulação fornecerem dados espaciais e temporais comuns baseados no método numérico usando um processo físico, as medidas reais refletem uma situação na qual os dados foram colocados em prática, sendo difícil de serem considerados como um caso representativo.

Em Sydney¹⁸, na Austrália, foi desenvolvido um estudo para avaliar a melhoria do microclima em um complexo de edifícios de alta densidade por meio de telhados verdes. Esse estudo foi realizado na área de alojamentos da Universidade New South Wales. Aproximadamente 76% de toda a área do campus era coberta por superfícies pavimentadas e telhados, aumentando para 80% com a construção de novos edifícios.

¹⁸ A cidade de Sydney está situada na costa sudeste da Austrália e possui um clima temperado, o inverno é moderado e o verão é quente.

Segundo Osmond (2004), a geometria urbana e a proliferação de superfícies duras modificam o microclima local, o conforto térmico nos espaços abertos e o desempenho energético das edificações.

O Envi-met foi utilizado para simular os efeitos microclimáticos na área reconstruída da Universidade, com e sem a introdução de vegetação nos telhados de dois projetos e dois prédios existentes numa zona de desenvolvimento. Foram simuladas duas situações: a situação com os novos prédios sem cobertura verde e com cobertura verde. Verificou-se um pequeno aumento de temperatura do ar ($0,2^{\circ}$ K) no estacionamento ao norte dos novos prédios (centro da Figura 3.16).

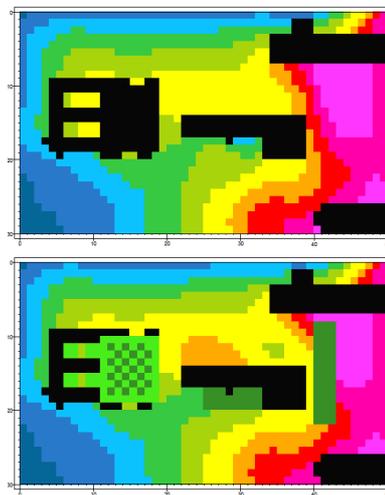


Figura 3.16. Simulações dos prédios com e sem telhados verdes

Concluiu-se que a influência do telhado verde na temperatura do ar foi insignificante além do entorno imediato das edificações, onde a redução máxima foi de $0,5^{\circ}$ K.

Os mapas de temperatura do ar apresentados neste estudo mostraram uma análise simples e sem grandes contribuições em relação ao software ENVI-met. O estudo não forneceu informações precisas sobre a origem dos dados utilizados para a configuração básica do programa. Além disso, não houve medições em campo para comparar os dados simulados com os dados reais, e os mapas apresentados sem legenda não forneceram dados que pudessem ser analisados.

Na pesquisa sobre a simulação da influência da vegetação no microclima e conforto térmico da cidade de São Paulo foram realizadas medições das condições microclimáticas existentes em um parque, uma praça aberta e um cânion urbano durante o verão. Por meio do

ENVI-met¹⁹, o efeito gerado pelo aumento de novas árvores no cânion urbano foi simulado na mesma data da medição. Segundo Spangenberg (2008), o objetivo da pesquisa foi estudar o efeito das sombras das árvores, considerando os diferentes tipos de densidade foliar nos microclimas e no conforto dos espaços públicos externos.

O estudo foi realizado na região central de São Paulo e a monitoração do clima se deu num dia típico de verão quente. O objetivo principal dessas medições era a criação de dados iniciais de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, temperatura da superfície e direção e velocidade dos ventos no período do verão para utilizar na configuração do programa ENVI-met (Quadro 3.3).

Quadro 3.3. Dados iniciais para simulação

Atmosfera	
Início da Simulação	7:00
Velocidade dos ventos a 10 m (m/s)	0.8
Direção dos ventos	170
Temperatura inicial (K)	297
Umidade absoluta a 2500 m (g/Kg)	9 .0
Fator solar	0.9
Umidade Relativa a 2 m (%)	70
Temperatura inicial do solo	295 K

A radiação solar, que depende da latitude, foi super estimada pelo Envi-met para as condições da cidade. Nas simulações preliminares, a temperatura do ar e a amplitude diurna apresentaram valores proporcionalmente baixos. Assim, alguns dados tiveram que ser ajustados para uma melhor correlação com os dados que foram medidos em campo. Porém, mesmo com estes ajustes realizados, verificou-se que a temperatura do ar na medição apresentou até 3°C a mais do que na simulação, em alguns horários analisados.

Estudos com a aplicação do *software* ENVI-met têm sido realizados no Laboratório de Sustentabilidade aplicada à Arquitetura e Urbanismo (Lasus) da Universidade de Brasília.

¹⁹ No Brasil, estão sendo desenvolvidos estudos que utilizam o software ENVI-met no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) na Universidade de São Paulo.

Além desta dissertação, que apresenta simulações para analisar os microclimas urbanos da cidade de Brasília por meio do *software*, Silva (2009) analisou o desempenho ambiental de determinadas vias urbanas da cidade de Teresina (PI) por meio de simulações de temperatura e velocidade do vento. O autor analisou cada mapa gerado separadamente e, devido à falta de dados de radiossondagens do aeroporto de Teresina, foram utilizados dados referentes à cidade de Natal (RN), fato que pode ter gerado distorções em relação aos dados medidos em campo.

Este estudo aprofundou-se um pouco mais na utilização deste *software* para avaliar seus pontos positivos e negativos, uma vez que ele se apresenta como uma ferramenta importante para a análise de microclimas urbanos. Além disso, o programa ainda se encontra em desenvolvimento, e esta pesquisa poderá acrescentar informações necessárias para melhoria e avanço do *software*.

4 SIMULAÇÕES DOS MICROCLIMAS DA SUPERQUADRA 108 SUL

4.1 Configuração do programa ENVI-met

Para utilizar o *software* ENVI-met na presente dissertação, foi necessário um estudo amplo, incluindo cursos, debates em fóruns, além de uma revisão do manual, para assim, gerar resultados que constituíssem em avanços no desenvolvimento do programa no Brasil.

Como esse *software* ainda é pouco difundido no país, as análises desta dissertação irão facilitar a sua utilização para os próximos pesquisadores, já que o manual do ENVI-met não constitui um tutorial, mas sim, uma relação de perguntas e respostas e algumas características em relação aos bancos de dados do programa. Sendo assim, toda a configuração necessária para um melhor entendimento do usuário em relação ao programa foi explicitada.

Para tanto, foram necessários dois arquivos para a modelagem no software, um contendo os dados da área de estudo e o outro, a configuração dos dados climatológicos. Para gerar o mapa da área de estudo, são requeridos dados de projeção em planta da área e a altura dos edifícios, bem como a localização das vias existentes e dos espaçamentos entre as edificações. É necessário mapear a localização e o tipo de vegetação existente, os tipos de solos e os seus revestimentos (asfalto, concreto, pedra, outros.) e a sua distribuição pela área, além da orientação desta com relação ao norte.

A base cartográfica digital da área de estudo foi adquirida pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN), e, por meio do Departamento de Parques e Jardins (DPJ/NOVACAP) obteve-se o levantamento das características relacionadas à arborização. Foi realizado também um levantamento de campo para acrescentar dados referentes aos tipos de revestimentos do solo e analisar o comportamento da vegetação nos dois períodos representativos para o clima da região: período da seca e da chuva.

Com esse arquivo gerado, foi necessário configurar a área a partir do próprio editor do programa ENVI-met. O banco de dados do *software* para a vegetação agrupa as plantas em três principais tipos: árvores decíduas, perenifólias e herbáceas. A altura das plantas pode variar desde gramíneas de 4 cm, pequenos arbustos de 50 cm até árvores densas com copas

largas e altura de 20 metros. A densidade da vegetação é representada pela distribuição da Densidade de Área Foliar (*Leaf Area Density* - LAD).

Para este estudo, foi necessário também adaptar as plantas existentes no banco de dados do programa às plantas reais da área, sendo necessário agrupar determinadas espécies dentro de uma mesma especificação do programa. Foram utilizadas árvores de vinte metros de altura, classificadas como decíduas, pois se caracterizam pela perda de suas folhas em determinada época do ano, geralmente na seca. Optou-se também, colocar dois tipos diferentes de densidade de área foliar para as árvores, onde a maior densidade foi simulada para o período da chuva e árvores com densidade de área foliar menor foi simulada para o período da seca, a fim de observar o comportamento destas plantas em relação às variáveis climáticas (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Configuração da vegetação no ENVI-met

TIPOS DE PLANTAS		
PERÍODO	ÁREA DE ESTUDO	ESPECIFICAÇÃO ENVI-met
SECA	Grama	Grass aver. dense
	Plantas ornamentais	Hedge dense, 2 m
	Árvores de diferentes espécies	Tree 20 m dense Deciduous (LAD1-LAD10: 0.04-0.00)*
CHUVA	Grama	Grass aver. dense
	Plantas ornamentais	Hedge dense, 2 m
	Árvores de diferentes espécies	Tree 20 m dense Deciduous (LAD1-LAD10: 0.11-0.00)*

*LAD1 to LAD10: Densidade da área foliar em m²/m³ a cada 10 pontos analisados

Com esta configuração estabelecida, editou-se a área correspondente as edificações e a vegetação (Figura 4.1).



Figura 4.1. Entrada de dados para modelagem no ENVI-met (vegetação e edificações)

Além dos dados de vegetação e edificações, têm-se os dados referentes aos tipos de solo existentes na área, sendo que o banco de dados do programa se aplicou aos revestimentos superficiais horizontais encontrados na quadra de estudo (Tabela 4.2).

Tabela 4.2. Configuração do revestimento do solo no ENVI-met

TIPO DE REVESTIMENTO DO SOLO		
PERÍODO	ÁREA DE ESTUDO	ESPECIFICAÇÃO ENVI-met
SECA E CHUVA	Asfalto	Asphalt Road
	Concreto	Pavement (Concrete)
	Solo exposto	Loamy Soil

Assim, preencheu-se o restante da área de estudo com a distribuição do tipo de solo, completando esta primeira fase de informações espaciais necessárias para a configuração inicial do programa (Figura 4.2).

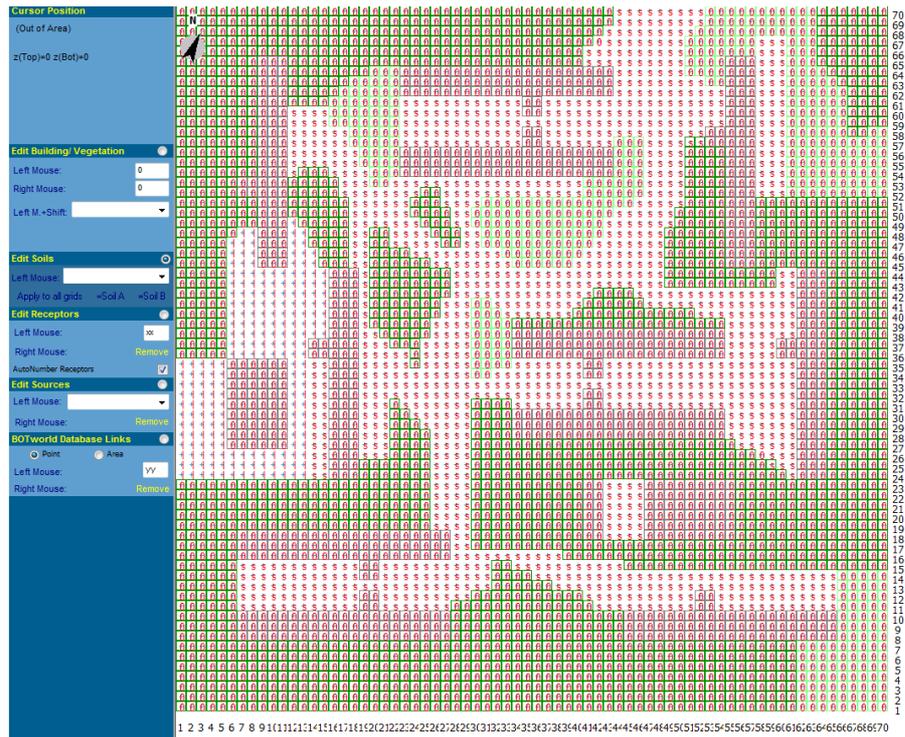


Figura 4.2. Entrada de dados para modelagem no ENVI-met (revestimento do solo)

Em relação ao tamanho da área, foi necessário utilizar um fator de redução, uma vez que não é possível entrar com os valores reais das áreas urbanas. Por isso, quando se observar a largura e o comprimento das plantas com dimensões de 70 x 70 metros, na realidade, a área corresponde a 280 x 280 metros, pois, utilizou-se como fator de escala no *grid* (célula) a unidade 4. Em relação ao gabarito das edificações, a altura real dos prédios é de 24 m, por isso, utilizou-se no programa 12 m de altura com um tamanho de *grid* igual a 2 (Figura 4.3).

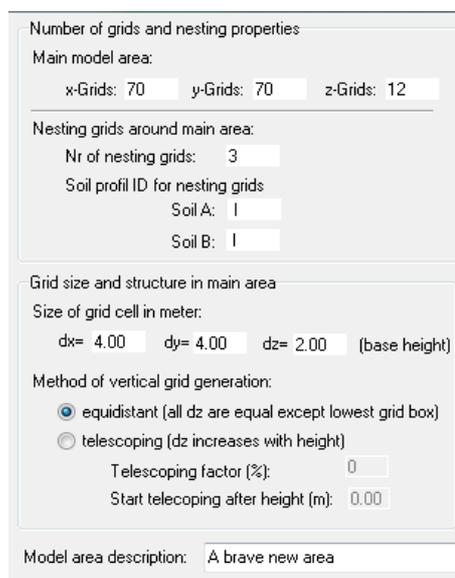


Figura 4.3. Informações referentes ao tamanho da área

Juntamente com o tamanho da área, preencheram-se as propriedades geográficas da área de estudo, como a latitude e a longitude, a referência horária e a posição que se encontra o norte (Figura 4.4).

Figura 4.4. Informações referentes às propriedades geográficas

Depois de inseridos os dados referentes às informações espaciais, foi necessário entrar com dados climatológicos, sendo que a configuração básica do programa requer dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{K}$) e umidade absoluta (g água/Kg de ar) a 2500 m (camada limite planetária), umidade relativa (%) a 2 m de altura em relação ao solo, velocidade (m/s) e direção dos ventos a 10 m de altura também em relação ao solo e coeficiente de rugosidade da superfície.

Como as simulações foram realizadas durante dois períodos do ano, foram preenchidas duas configurações, sendo uma correspondente ao período da seca e outra ao período da chuva (Quadro 4.1).

Quadro 4.1. Dados para a configuração básica do programa

CONTEÚDO	PERÍODO SECA	PERÍODO CHUVA
Dia da simulação	08/09/2008	13/01/2009
Horas simuladas	24 h	24 h
Início simulação	6 h	6 h
Velocidade do vento a 10 m	1,4 m/s	1,2 m/s
Direção do vento	90° E	315° NO
Rugosidade da superfície	1	1
Temperatura do ar a 2500 m	311 °K	309° K
Umidade Relativa a 2 m	17%	61%
Umidade absoluta a 2500 m de altura	5,05 g água/kg ar	9,66 g água/Kg ar

Os dados de temperatura do ar e umidade absoluta a 2.500 m de altura do solo são provenientes de radiossondagens²⁰ realizadas no aeroporto de Brasília, para os dias que foram realizadas as simulações (ver Anexo B).

O valor de velocidade do vento para os períodos da seca e da chuva foi extraído da média aritmética das medições em campo correspondente ao dia da simulação em todos os horários e pontos de medição. Não se utilizou os valores do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pois para a ventilação foram encontrados valores muito mais altos que os medidos em campo, devido a própria localização do instituto.

A direção predominante dos ventos referente aos meses de setembro e janeiro foi a leste e a noroeste, respectivamente, de acordo com os dados extraídos das normais climatológicas (1961 - 1990). Como a configuração do programa não utiliza a coordenada cardinal para indicar a direção do vento, mas sim o ângulo de incidência, foi necessário utilizar o método desenvolvido por Souza (2006), no qual, através do desenvolvimento de tabelas, a autora elabora um gráfico que converte os ângulos de incidência do vento em coordenadas cardiais, onde cada cor corresponde à determinada direção do vento (Figura 4.5).

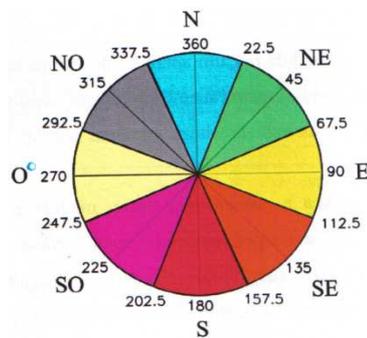


Figura 4.5. Conversão de ângulo de incidência do vento para coordenadas cardiais
Fonte: Souza (2006:56)

O valor utilizado para umidade relativa do ar a 2 m no período da seca (17%) corresponde ao dado fornecido pelo INMET no dia 8 de setembro de 2008 às 15 h. Foi utilizado este valor mais baixo de umidade do ar, pois, foram realizados testes com valores correspondentes a média aritmética dos dados do INMET e dos dados medidos e,

²⁰ De acordo com o Comando da Aeronáutica (2002) a radiossondagem é realizada por meio de lançamento de balões e é a principal fonte de obtenção de dados de meso e macroescalas. Ela 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.

consequentemente, valores mais altos, sendo possível a verificação de distorções maiores entre os valores simulados e os valores medidos.

Já no período da chuva, utilizou-se a média aritmética entre os valores fornecidos pelo INMET no dia 13 de janeiro de 2009, que foi a mesma entre os valores medidos em campo neste mesmo dia em todos os horários e pontos de medição, ou seja, 61%. Como a umidade relativa do ar é alta nesse período do ano, julgou-se importante utilizar esse valor para observar os dados gerados pela simulação no período sem a necessidade de fazer adaptações aos valores reais.

Já o coeficiente de rugosidade da superfície, foi definido considerando determinadas características da área como a situação geográfica, as características das superfícies e a estrutura urbana (uso e ocupação do solo, verticalização, adensamento, etc.), utilizando como referência a metodologia desenvolvida por Katzschner, 1997 (Quadro 4.2).

Quadro 4.2. Fatores que influenciam o clima urbano (coeficiente de rugosidade)

Classificação clima urbano	Situação geográfica	Condições superfície	Comprimento da rugosidade (zo)	Grau de impermeabilidade	Estrutura cidade
Ilhas de calor Intensidade máxima	predominância em vales	concreto	> 1,5	60%	áreas densamente construídas, edificações altas
Ilhas de calor intensidade baixa	indefinida	ruas de concreto com árvores	1,5	50%	áreas densamente construídas
Ilhas de calor intensid. moderada	limite da cidade, indefinida	casas com jardins	0,5 - 1,0	40%	pequenas edificações
Clima industrial	indefinida	predominância asfalto	1,0	60%	halls, produção
Zonas ventiladas para sistemas de circulação regional	áreas ventiladas dentro da cidade	asfalto ou vegetação	< 0,5	< 10%	ruas, espaços livres
Zonas ventiladas, corredores de ar, zonas produtoras ar frio	arredores	campos, áreas verdes	< 0,5	< 10%	áreas agrícolas ou vegetadas, parques
áreas com sistema de circulação local	espaços livres na cidade	superfícies diferenciadas	1,0	0 - 60%	ocorrência em variadas estruturas de cidades
áreas frescas, com clima moderado	indefinida	vegetação	0,5 - 1,5	< 10%	parques, cinturões verdes, florestas

Fonte: Adaptado de Katzschner (1997: 52)

Com a configuração básica preenchida, é necessário escolher quais as variáveis climáticas serão simuladas, dentro de cinquenta possibilidades oferecidas pelo *software*. Neste estudo, simularam-se as mesmas variáveis que foram medidas em campo, ou seja, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura superficial dos materiais.

Para visualização gráfica dos dados gerados para cada parâmetro a cada hora do dia, é necessário utilizar o programa Leonardo 3.75, que já está inserido ao ENVI-met e possui uma interface simplificada. O diferencial deste estudo em relação aos que foram apresentados no histórico da utilização do programa consiste na fixação das cores no mapa para possibilitar a comparação entre os horários do dia e os períodos do ano, uma vez que cada mapa gerado pelo *software* possui sua própria legenda, dificultando assim, a análise visual dos mapas. Porém, há um limite de vinte cores para cada legenda, ou seja, se houver grandes variações de valores em determinado parâmetro, a edição da legenda se torna impossibilitada (Figura 4.6).

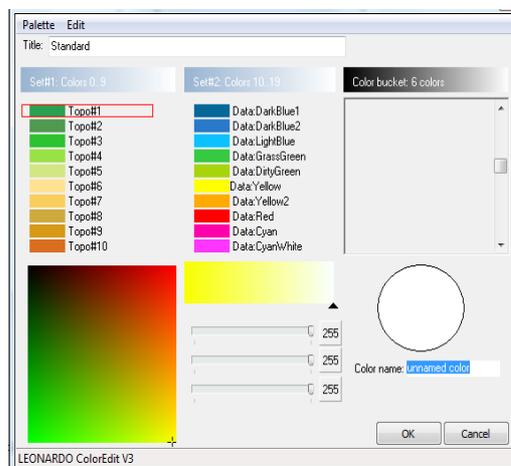


Figura 4.6. Quadro com a palheta de cores do programa

4.2 Análise das simulações computacionais

As simulações na Superquadra 108 Sul (SQS 108) abordaram alguns dos elementos climáticos mais importantes para análise de microclimas urbanos: a temperatura e a umidade relativa do ar, a temperatura superficial dos materiais e o vento.

Como o programa proporciona interações entre superfície, vegetação e atmosfera, e a quadra é bastante arborizada, a vegetação conduz a análise dos mapas, ou seja, a partir dela que é elaborado todo um entendimento de como os elementos climáticos se comportam diante de diversos fatores.

Assim, para compreender melhor a análise dos elementos climáticos nos mapas que foram simulados, é importante observar o mapa de distribuição dos materiais urbanos, ou seja, onde estão localizadas as edificações, as copas das árvores, o asfalto, a grama e a terra (Figura 4.7).



Figura 4.7. Localização dos materiais urbanos na SQS 108

Para organizar a análise de todos os mapas de uma forma didática, foi estabelecido um roteiro. Porém, sabe-se que todos os elementos climáticos estão relacionados e, por isso, essas análises não são lineares, o que torna a compreensão dos dados um pouco mais complexa.

Além dos mapas, são apresentados dados de medições em campo para comparar as simulações computacionais com a situação real, tornando o resultado mais confiável, uma vez que se tem a validação de um programa relativamente novo.

O roteiro se inicia a partir da análise da simulação da temperatura do ar no período da seca, e, depois, observa a influência do vento sobre essa temperatura. Em seguida, a temperatura do ar no período da chuva é analisada, e, também, como o vento neste período influencia a temperatura. O próximo passo é a verificação da simulação das temperaturas nos dois períodos e, em relação aos dados das medições em campo.

Posteriormente, o estudo aborda as simulações da umidade relativa do ar no período da seca e depois no período da chuva, a relação entre eles e entre os dados reais. Por fim, é realizada a observação das simulações da temperatura superficial dos materiais, em cada período, a comparação entre eles e entre os dados medidos em campo (Figura 4.8).

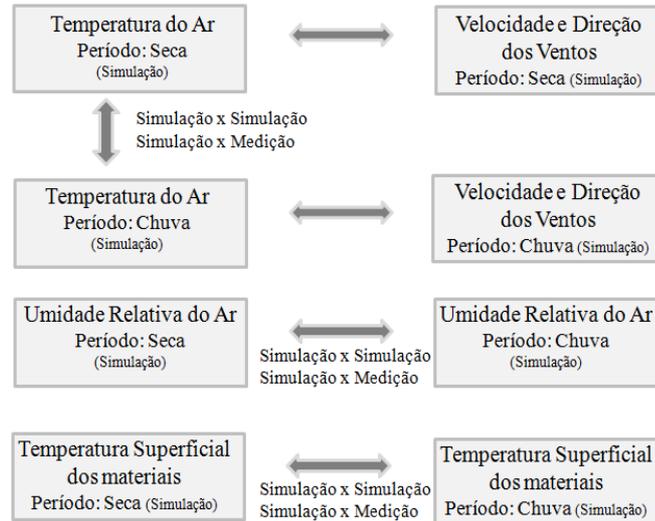
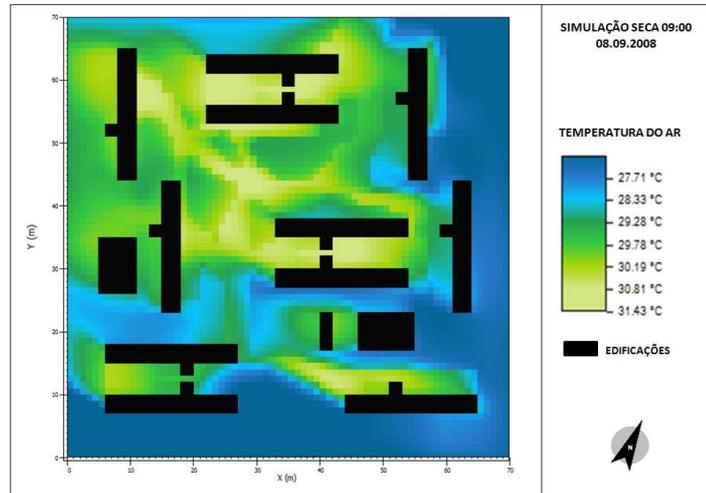


Figura 4.8. Roteiro da análise das simulações

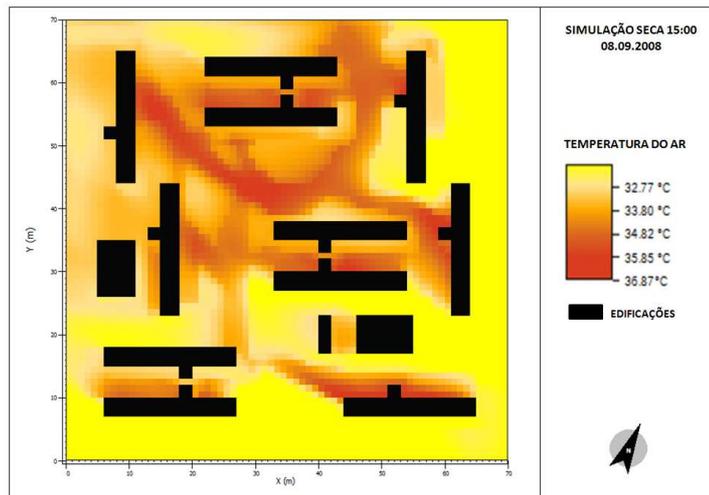
4.2.1 Temperatura do Ar e Velocidade dos Ventos – Períodos: seca e chuva

A simulação 1.1 corresponde ao parâmetro de análise Temperatura do Ar referente ao dia que representa o período da seca. Esta simulação gerou três plantas, sendo que a Planta 1 corresponde ao horário de 9 h, a Planta 2 representa 15 h e a Planta 3, 21 h.

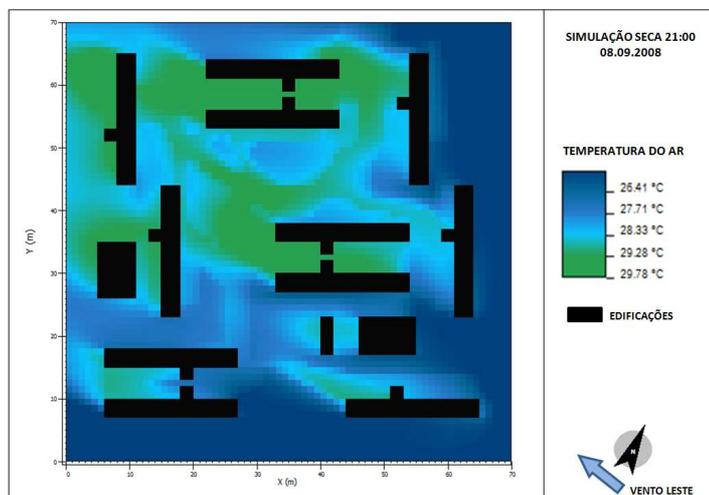
Simulação 1.1: Temperatura do ar às 9, 15 e 21 h do dia 8 de setembro de 2008
Período da seca (Figura 4.9)



Planta 1



Planta 2



Planta 3

Figura 4.9. Resultados em planta da Simulação 1.1

Às 9 h, os valores mais baixos de temperatura do ar no período da seca encontram-se nos locais densamente arborizadas e que recebem ventilação leste livre de obstáculos, ou seja, nas regiões sudoeste e noroeste da Planta 1. Nessas áreas, as temperaturas variam entre 27,71 a 28,33°C. Já as regiões que apresentam temperaturas mais altas neste horário, 31,43°C são áreas onde o vento encontra algumas barreiras como as edificações, e onde o material superficial de revestimento é o asfalto (verde amarelado).

Nessa primeira planta, comparando-se os três conjuntos de blocos que formam uma letra “H”, observou-se que apesar de eles possuírem entre eles o mesmo material superficial de revestimento horizontal, o asfalto, a temperatura aumentou entre as edificações à medida que os blocos se afastaram da massa arborizada e à medida que surgiram mais obstáculos dificultando o caminho dos ventos. A direção e a velocidade dos ventos favoreceram as baixas temperaturas.

Na Planta 2 observou-se cores quentes em toda a quadra, configurando em temperaturas mais altas, ao contrário das Plantas 1 e 3, que apresentaram cores frias. Apesar da diferenciação das cores, as manchas permaneceram semelhantes, uma vez que a direção e a velocidade dos ventos em todos os horários de análise não sofreram alterações significativas (Figura 4.11).

Os valores mais altos de temperatura do ar no período da seca se encontram na Planta 2, às 15 h, com temperaturas que variam entre 32,77° a 36,87°C, ou seja, uma amplitude de 4,1° C. Já às 21 horas, têm-se as menores temperaturas correspondentes aos três horários de simulações, ou seja, 26,41° a 29,78° C.

Foram realizados cortes em determinados pontos da superquadra para analisar o comportamento da temperatura sobre as edificações. Selecionou-se para este estudo, cortes representativos que resumem o comportamento da temperatura do ar sobre as edificações nos períodos seco e chuvoso.

Observou-se que no período da seca, às 9 e 21 h, a temperatura foi mais alta sobre as edificações do que ao nível do pedestre, diferentemente das 15 h, que ocorreu o inverso. Porém, a partir da análise da temperatura do ar nos cortes e nas plantas, verificou-se que as

variações de temperatura sobre as edificações em relação ao nível do pedestre não ultrapassou 1.0° C às 9 h (Figura 4.10).

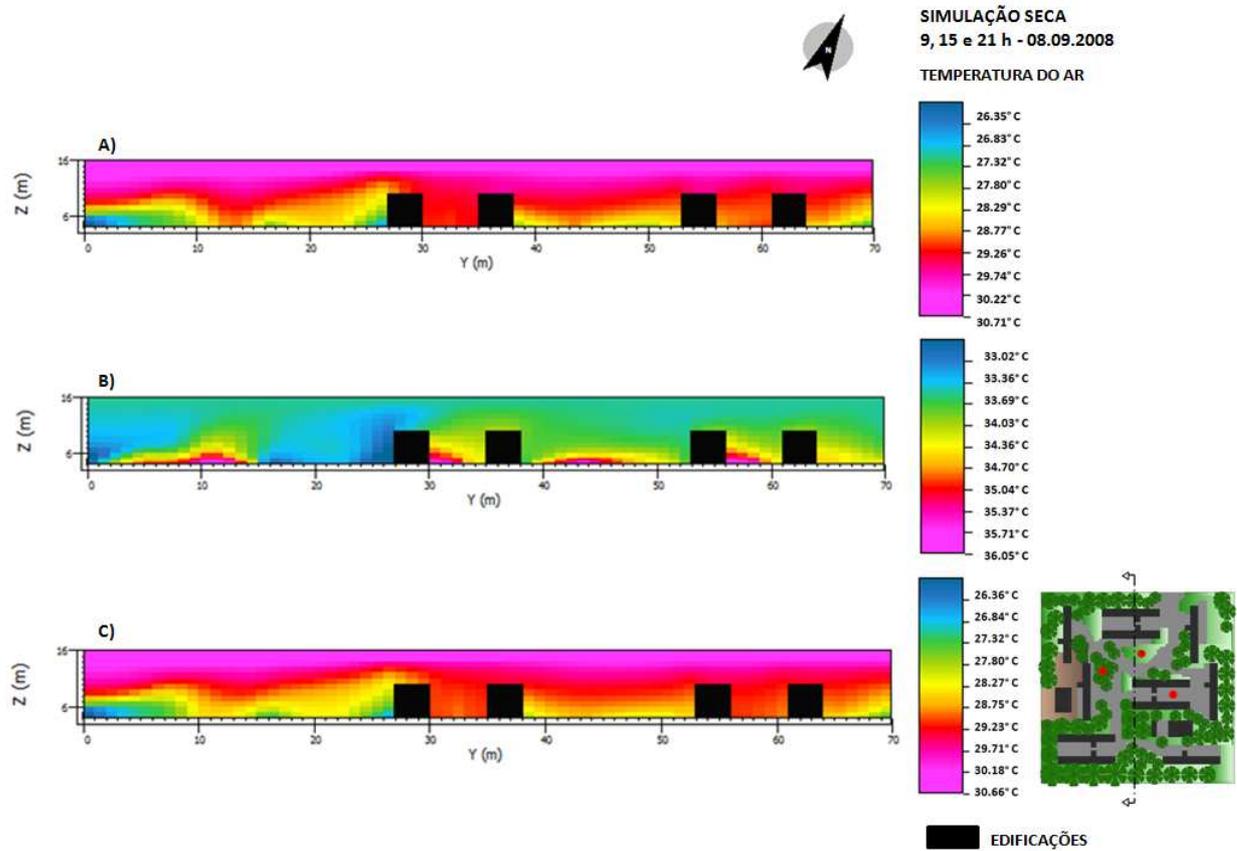
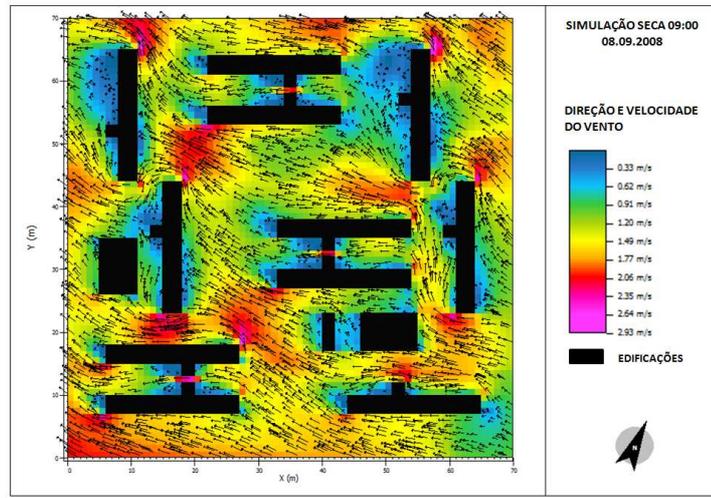


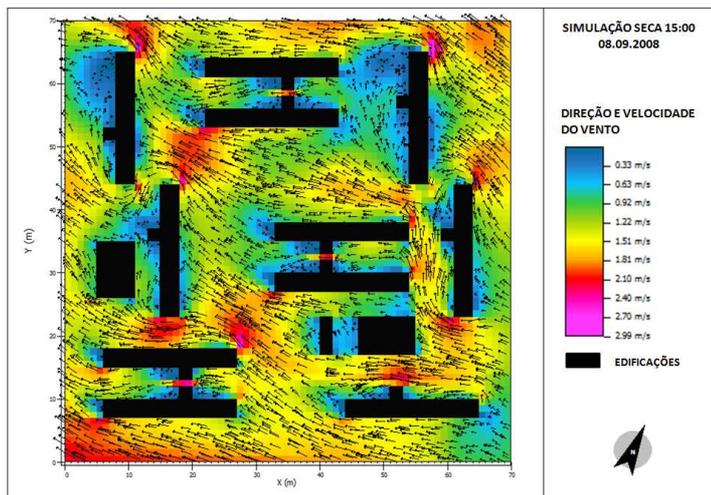
Figura 4.10. Cortes referentes ao período da seca
A. 9 h, B. 15 h, C. 21 h

A direção e a velocidade do vento têm uma grande influência no comportamento da temperatura do ar nas simulações. A Simulação 1.2 (Figura 4.11) correspondente as plantas de direção e velocidade do vento referente ao dia que representa o período da seca. Esta simulação gerou três plantas, onde a Planta 4 corresponde ao horário de 9 horas, a Planta 5 representa 15 h e a 6, 21 h.

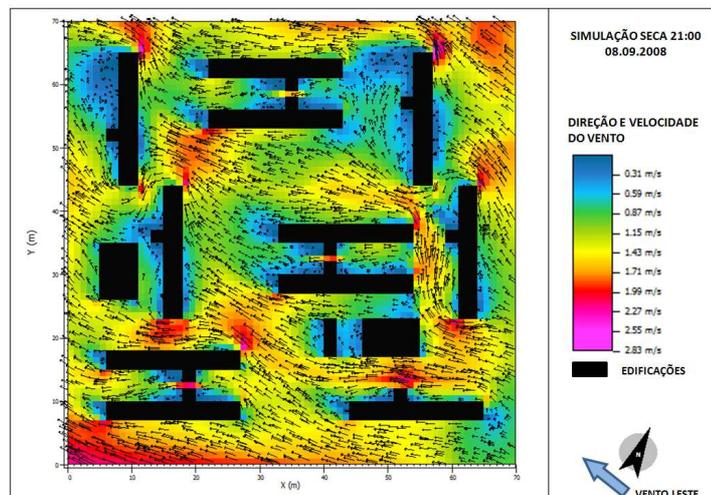
Simulação 1.2: Velocidade do vento às 9, 15 e 21 h do dia 8 de setembro de 2008
 Período da seca (Figura 4.11)



Planta 4



Planta 5



Planta 6

Figura 4.11. Resultados em planta da Simulação 1.2

Os vetores representam a direção dos ventos e, associado às cores, indicam sua velocidade através da legenda. As cores mais frias (azul e verde) representam velocidades mais baixas, entre 0,33 a 1,20 m/s, e, as cores mais quentes (amarela, vermelha e magenta) representam velocidades mais altas, de 1,20 a 2,99 m/s.

A Simulação 1.2 de direção e velocidade dos ventos não considerou o efeito pilotis, assim, espaços que receberiam mais ventilação possuem valores baixos de velocidade do vento, podendo-se observar a ausência de vetores entre os blocos de formato “H” na região noroeste das plantas.

Os valores da velocidade do vento nos três horários da simulação, 9, 15 e 21 h, são bastante semelhantes, resultando em plantas muito parecidas (Figura 4.10). Assim, as plantas 4, 5 e 6 possuem as menores velocidades de vento no contorno das edificações e, também, na parte superior direita das plantas, pois, o prédio posicionado verticalmente dificulta a passagem dos ventos (Figura 4.12).

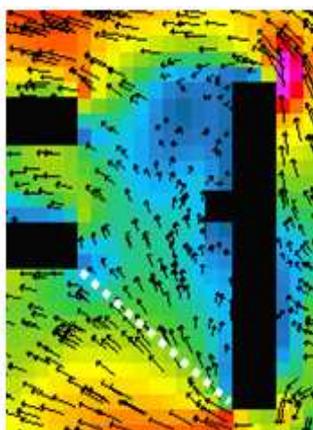


Figura 4.12. Velocidades do Vento baixas entre as edificações

As maiores velocidades do vento (cores magenta e vermelho) se encontram nas bordas superior direita, inferior esquerda e em alguns pontos centrais das plantas e também, onde há o efeito de canalização formado pelas caixas de escadas. Depois que a ventilação é canalizada, ela volta a possuir uma velocidade menor, já que a distância entre as edificações aumenta novamente (Figura 4.13). Os pontos centrais que possuem valores mais altos de velocidade do vento são pontos de encontro de direções distintas do vento.



Figura 4.13. Efeito de canalização entre os blocos “H”

Relacionando as plantas de temperatura do ar e de ventilação, observou-se que os blocos ao sul das plantas, de formato “H”, apresentaram alterações nas manchas. Às 9 e 21 h, a parte mais quente entre estes blocos se situa à esquerda destes, já às 15 h as temperaturas com valores mais altos se concentram em toda a borda do prédio localizado na parte inferior. Ao comparar estas manchas de temperatura do ar com as plantas de direção e velocidade dos ventos, notou-se que os locais onde a temperatura é mais alta a velocidade dos ventos é mais baixa, e o contrário também ocorre, na Planta que representa às 15 h observa-se temperaturas mais altas onde ventos menos (Figura 4.14).

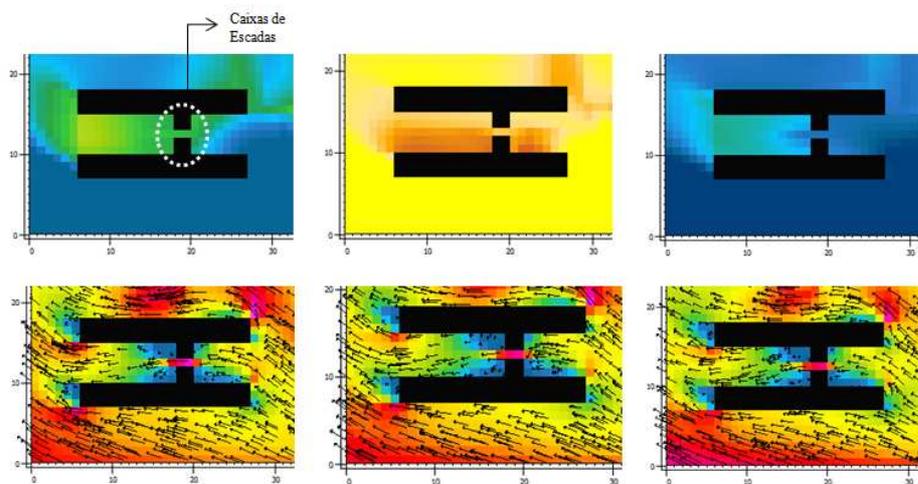
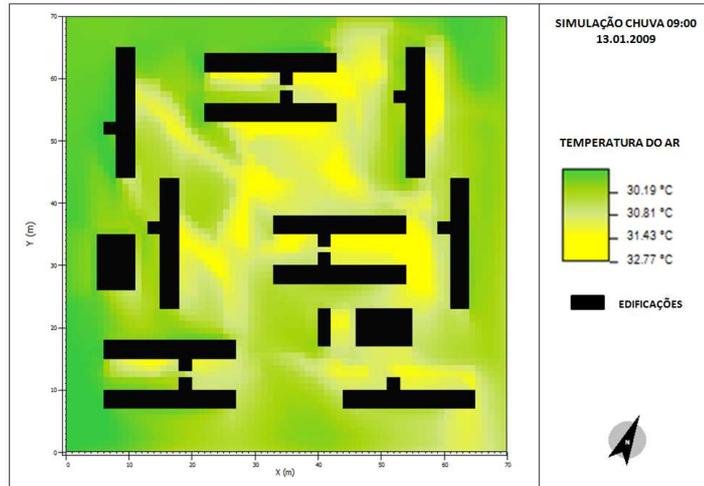


Figura 4.14. Trecho das Plantas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 de Temperatura do Ar e Velocidade do Vento: 9, 15 e 21 h respectivamente

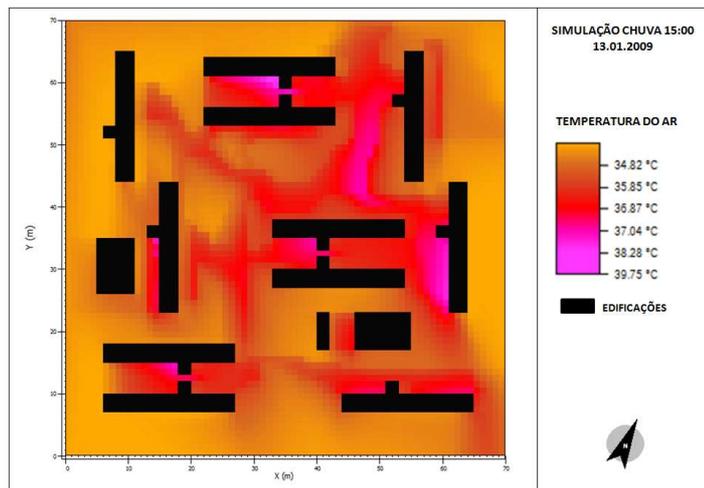
Nas três plantas observou-se o efeito esquina nos ângulos das edificações que estão localizadas na parte leste da quadra, marcando diferenças de temperatura, onde a velocidade do vento é maior e onde a ventilação possui uma velocidade menor. Onde a velocidade do vento é maior, a temperatura do ar é mais baixa, ou seja, há uma relação inversamente proporcional.

A simulação 1.3 corresponde ao parâmetro de análise Temperatura do Ar referente ao dia que representa o período da chuva. Esta simulação gerou três plantas, sendo que a Planta 7 corresponde ao horário de 9 h, a Planta 8 representa 15 h e a Planta 9, 21 h.

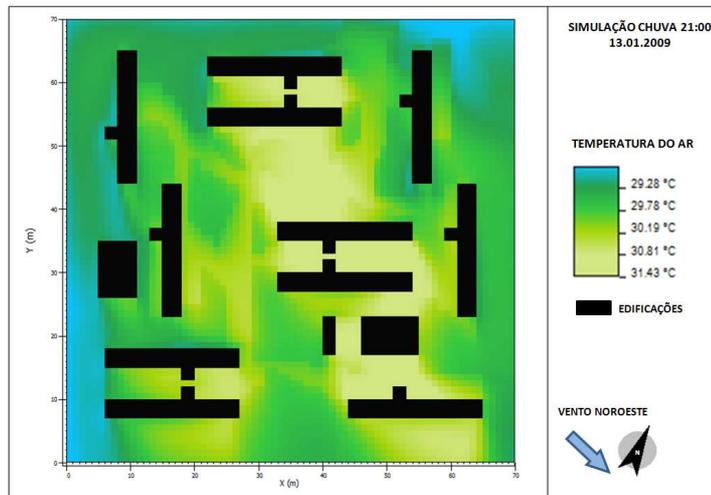
Simulação 1.3: Temperatura do ar às 9, 15 e 21 h do dia 13 de janeiro de 2009
Período da chuva (Figura 4.15)



Planta 7



Planta 8



Planta 9

Figura 4.15. Resultados em planta da Simulação 1.3

A análise das plantas de temperatura do ar do período da chuva está intimamente relacionada à análise da direção dos ventos nesta época do ano (Figura 4.17).

As temperaturas mais baixas na Planta 7 são encontradas na faixa noroeste e sudoeste, onde há arborização e maior velocidade dos ventos, uma vez que no período da chuva a direção predominante dos ventos é a noroeste. Essas temperaturas mais baixas estão em torno de 30,19°C, enquanto as mais altas, que se localizam em áreas asfaltadas e sem arborização, possuem temperaturas em torno de 32,77°C, ou seja, uma variação de 2,58°C às 9 h da manhã.

As manchas na Planta 8 possuem as mesmas características que as da Planta 7, porém, às 15 h no período da chuva, pode-se observar temperaturas mais elevadas. Nota-se que as temperaturas mais altas (cor magenta) contornam as edificações, principalmente as que estão localizadas ao centro da planta, da mesma forma que os valores mais baixos de velocidade do vento se situam no contorno das mesmas edificações.

Já a Planta 9 possui uma faixa central na diagonal, verde amarelado, que apresenta as temperaturas mais altas às 21 h, entre 30,81 °C a 31,43 °C. Observa-se que na Planta 12, de direção e velocidade dos ventos, nesta mesma região se encontram os menores valores de velocidade do vento, influenciando assim, as temperaturas do ar.

Essa faixa não é tão marcante nas Plantas 7 e 8, uma vez que a insolação durante o dia produz temperaturas mais variáveis em relação aos materiais de revestimento, enquanto as 21 h as temperaturas nos espaços onde há grama ou asfalto são mais homogêneas. Aliado à insolação, observou-se neste horário uma menor velocidade do vento nesta mesma área.

As temperaturas mais baixas nesta planta, 29,28 °C estão situadas em toda a faixa sudoeste e também em um setor da parte superior da planta, onde os ventos ainda não encontraram barreiras e onde há arborização.

Comparando-se as três plantas de temperatura do ar do período da chuva, observou-se que as temperaturas mais altas se encontram às 15 h e as mais baixas às 21 h. As menores amplitudes térmicas são constatadas na parte da manhã e a noite (em torno de 2,50 °C), já na

parte da tarde tem-se uma variação de até 4,93 °C entre alguns pontos da mesma quadra. Este fato afirma a importância da arborização para amenizar a temperatura do ar.

Observou-se que no período da chuva, assim como na seca, a temperatura do ar sobre as edificações acompanhou a tendência da temperatura no nível do pedestre. Porém, entre as edificações, às 15 h, a temperatura variou entre 35 a 38° C, enquanto sobre as edificações ela apresentou valores mais baixos, entre 34.5 a 35° C (Figura 4.16).

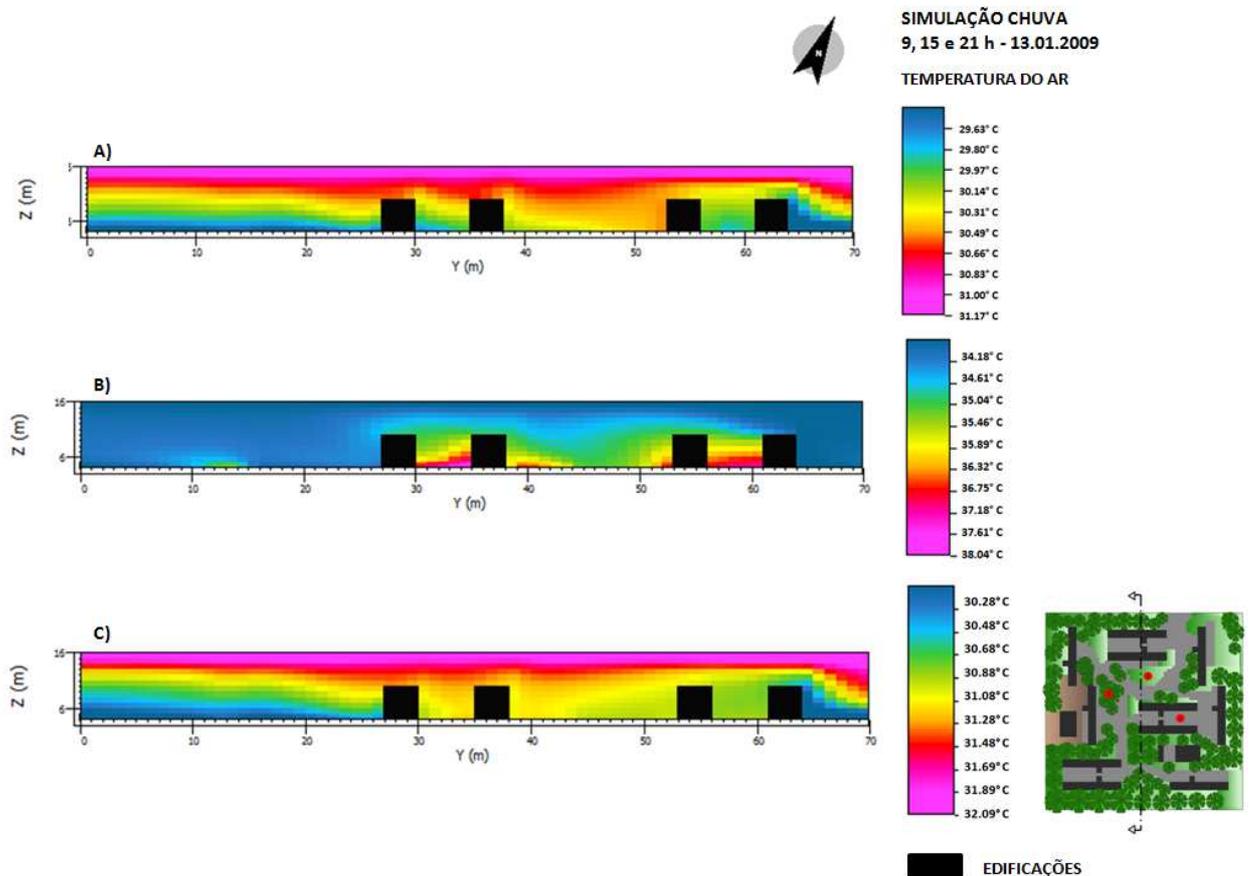
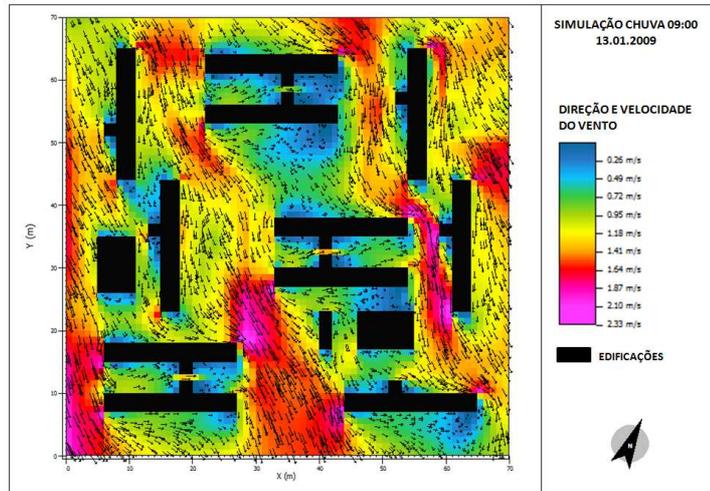


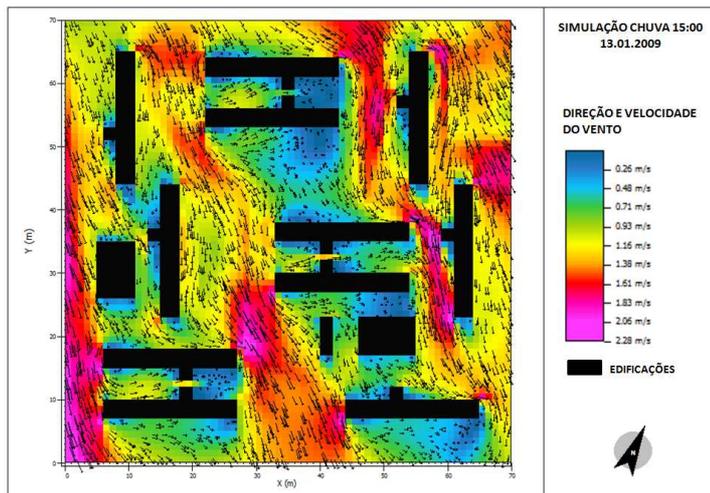
Figura 4.16. Cortes referentes ao período da chuva
 A. 9 h, B. 15 h, C. 21 h

A simulação 1.4 corresponde ao parâmetro de análise Velocidade dos Ventos referente ao dia que representa o período da chuva. Essa simulação gerou três plantas, sendo que a Planta 10 corresponde ao horário de 9 h, a Planta 11 representa 15 h e a Planta 12, 21 h.

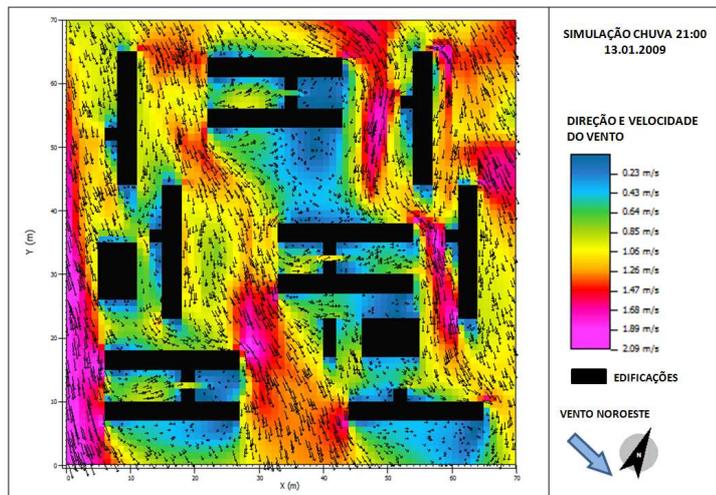
Simulação 1.4: Direção e Velocidade do Vento às 9, 15 e 21 h do dia 13 de janeiro de 2009 - Período da chuva (Figura 4.17)



Planta 10



Planta 11



Planta 12

Figura 4.17. Resultados em planta da Simulação 1.4

Assim como na Simulação 1.2, os valores mais baixos de velocidade do vento na Simulação 1.4 foram encontrados próximos às edificações. Porém, na época da chuva, a direção predominante do vento é noroeste, que influencia na formação de corredores bastante ventilados, que por sua vez, delimitam uma faixa diagonal central (azul escura e verde) que possui valores baixos de velocidade do vento, variando entre 0,23 a 0,85 m/s.

Assim como as plantas do período da seca, as plantas das 9, 15 e 21 h do período da chuva (Figura 4.15) também possuem manchas muito semelhantes, percebendo-se algumas diferenças às 9 h, onde os vetores indicativos dos ventos são mais expressivos na faixa central da planta, ou seja, a velocidade do vento é mais alta que às 15 e 21 h neste mesmo trecho (Figura 4.18).

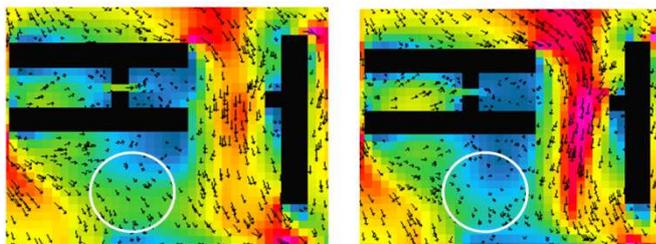


Figura 4.18. Detalhe das plantas de velocidade dos ventos às 9 e 21 horas respectivamente

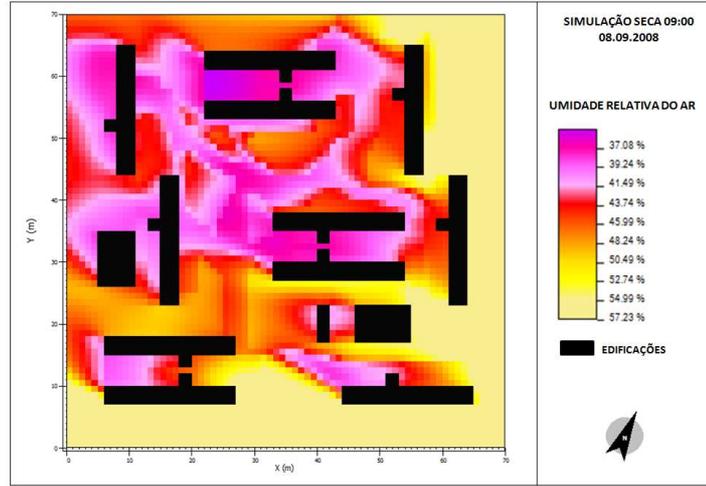
Ao comparar a Simulação 1.1 (temperatura do ar no período da seca) com a Simulação 1.3 (temperatura do ar no período da chuva), observou-se que as temperaturas na Planta 8, que corresponde às 15 horas do período da chuva, possuem os valores mais altos entre todas as plantas de temperatura do ar, variando entre 34° a 39 °C. Sendo assim, é importante analisar a influência da umidade relativa do ar sobre este parâmetro nas simulações.

Já as temperaturas mais baixas foram observadas às 21 horas no período da seca (Planta 3), variando entre 26,41° a 29,78 °C, dados que também serão questionados posteriormente, na comparação entre as simulações e as medições em campo.

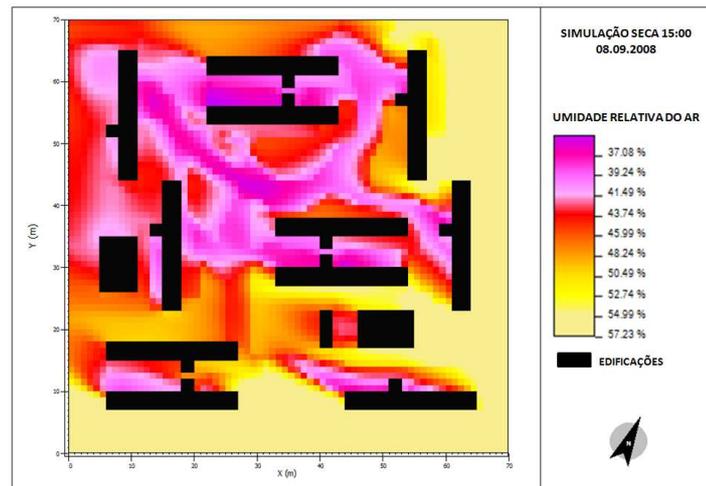
A simulação 1.5 corresponde ao parâmetro de análise Umidade Relativo do Ar, referente ao dia que representa o período da seca. Esta simulação gerou três plantas, sendo que a Planta 13 corresponde ao horário de 9 h, a Planta 14 representa 15 h e a Planta 15, 21 h.

4.2.2 Umidade Relativa do Ar – Períodos: seca e chuva

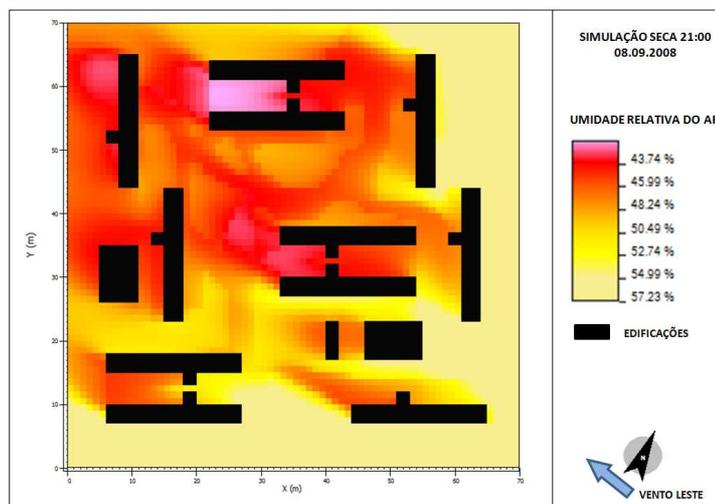
Simulação 1.5: Umidade Relativa do Ar às 9, 15 e 21 h do dia 9 de setembro de 2008 - Período da seca (Figura 4.19)



Planta 13



Planta 14



Planta 15

Figura 4.19. Resultados em planta da Simulação 1.5

Para a análise de umidade relativa do ar, Romero (2000) observa que quando o ar está saturado por vapor d'água se diz que ele está com umidade relativa de 100%. Já quando o vapor contido é menor que o conteúdo potencial na mesma temperatura a umidade relativa é menor que 100%.

Nota-se que todas as plantas do período da seca possuem cores quentes, o que traduz baixa umidade relativa do ar. As plantas 1 e 2 que representam as simulações dos horários de 9 e 15 h são bastante semelhantes, apresentando valores que variam entre 37,08 a 57,23% de umidade.

Nas áreas arborizadas que possuem temperaturas mais amenas, encontram-se espaços mais úmidos (faixa sudeste e nordeste da planta). Porém, nas áreas arborizadas que se situam afastadas da influência direta da ventilação e, portanto, possuem valores de temperatura mais altos, a umidade é baixa, em torno de 39%, da mesma forma que nas regiões não arborizadas (Figura 4.20).

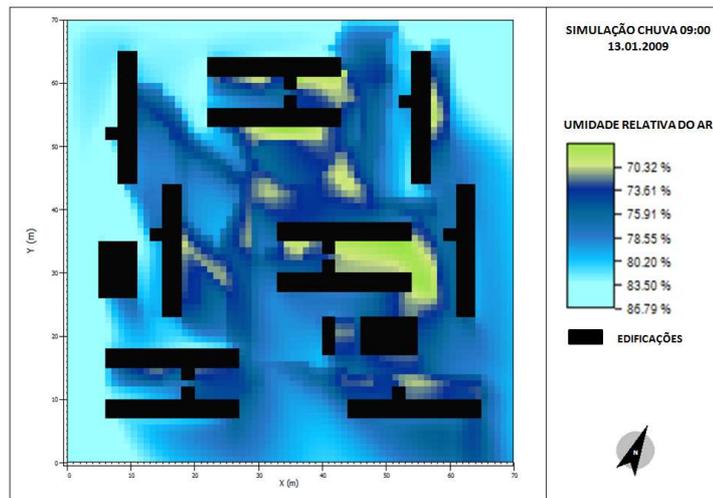


Figura 4.20. Materiais urbanos e umidade relativa do ar às 9 horas

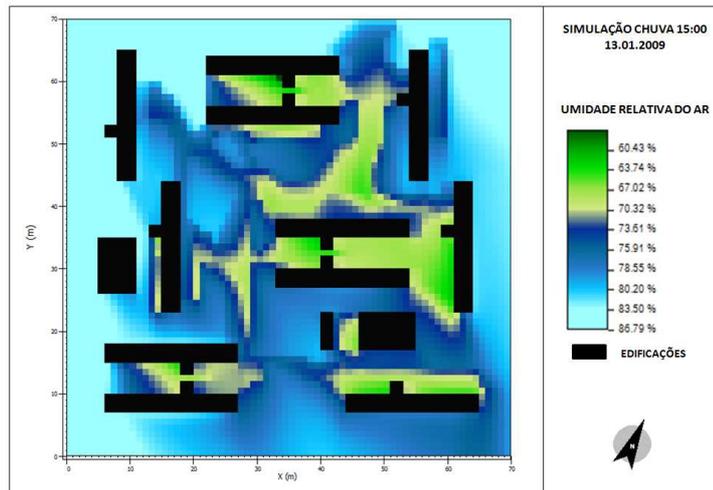
Às 21 h, observam-se valores mais altos de umidade, ou seja, maior quantidade de vapor d'água no ar, onde o valor mínimo de umidade encontrado é de 43%. É importante salientar que a planta das 9 h deveria ser mais semelhante a planta das 21 h, e não a das 15 h, como ocorreu nas simulações.

Nas três plantas correspondentes ao período da seca, observou-se que os valores de umidade relativa do ar estão condicionados à arborização da quadra e a temperatura do ar. A simulação 1.6 corresponde ao parâmetro de análise Umidade Relativo do Ar, referente ao dia que representa o período da chuva. Esta simulação gerou três plantas, sendo que a Planta 16 corresponde ao horário de 9 h, a Planta 17 representa 15 h e a Planta 18, 21 h.

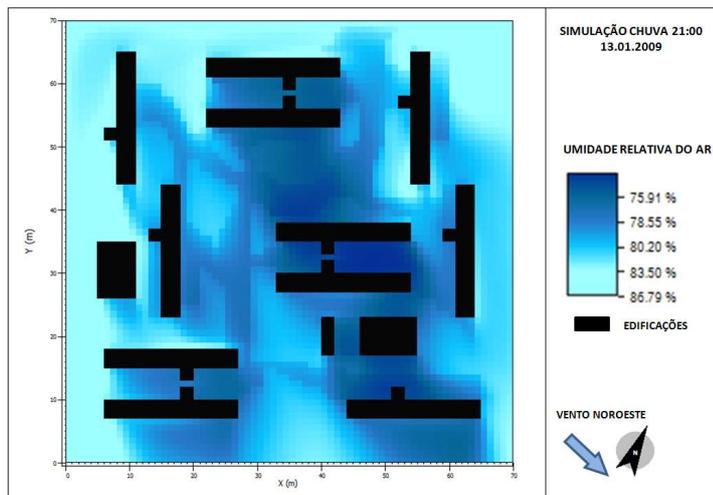
Simulação 1.6: Umidade Relativa do Ar às 9, 15 e 21 h do dia 13 de janeiro de 2009
 Período da seca (Figura 4.21)



Planta 16



Planta 17



Planta 18

Figura 4.21. Resultados em planta da Simulação 1.6

No período da chuva todas as plantas apresentaram cores frias (verde e azul), uma vez que o ar se encontra saturado e a umidade do ar apresenta valores próximos a 100%.

Na Planta 16, relativa às 9 h, a faixa sudoeste possui os maiores valores de umidade relativa, ou seja, 86,79%, de acordo com as temperaturas mais baixas neste período. A umidade relativa mais baixa neste horário, em torno de 70%, se encontra no centro da planta, em uma área asfaltada entre dois blocos de edifícios.

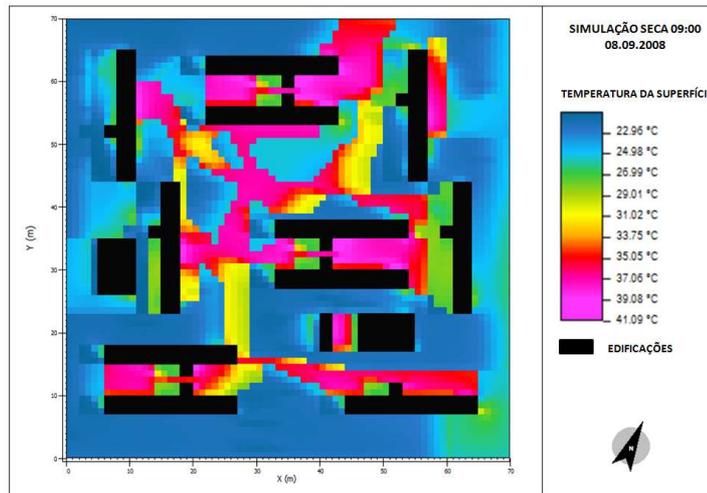
Às 15 h (Planta 17) têm-se umidades mais baixas, que atingem até 60%, e são observadas nas áreas onde o material superficial de revestimento é o asfalto, onde há grama ou terra a umidade apresenta valores mais altos.

Já às 21 h (Planta 18) a umidade varia entre 75,91 a 86,79%, e da mesma forma que se comporta a temperatura do ar neste horário e período, também se observam valores mais baixos de umidade na faixa central diagonal da planta. Nesse horário tem-se uma menor variação de umidade e é a planta que possui, dentre todas as outras de umidade relativa do ar, os valores mais altos (próximos a 100%).

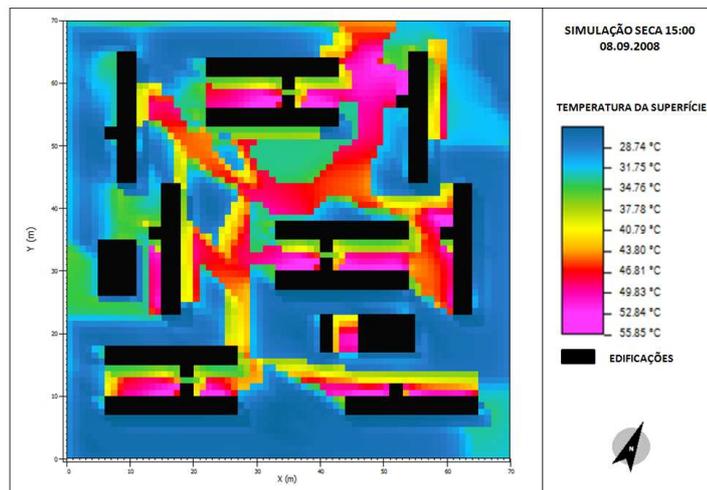
A simulação 1.7 corresponde ao parâmetro de análise Temperatura Superficial dos Materiais, referente ao dia que representa o período da seca. Esta simulação gerou três plantas, sendo que a Planta 19 corresponde ao horário de 9 h, a Planta 20 representa 15 h e a Planta 21, 21 h.

4.2.3 Temperatura Superficial dos Materiais - Períodos: seca e chuva

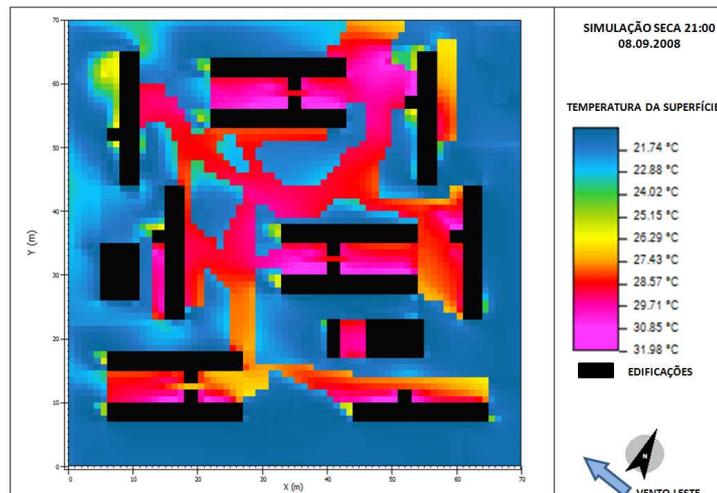
Simulação 1.7: Temperatura Superficial dos Materiais às 9, 15 e 21 h do dia 8 de setembro de 2009 - Período da seca (Figura 4.22)



Planta 19



Planta 20



Planta 21

Figura 4.22. Resultados em planta da Simulação 1.7

A variação de temperatura entre os materiais urbanos é muito grande em relação aos horários do dia e aos períodos do ano, variando entre 21,74 °C a 55,85 °C no mesmo dia. Sendo assim, não foi possível fixar as cores da mesma forma que foi feito com a temperatura e a umidade relativa do ar, impossibilitando a comparação visual entre as plantas. Por isso, é importante observar a legenda para certificar dos valores, pois determinado valor que corresponde a determinada cor em uma planta não é o mesmo valor que corresponde a esta mesma cor em outra planta.

As três plantas correspondentes ao período da seca são bastante semelhantes, as cores mais frias que representam temperaturas mais baixas estão localizadas onde há arborização e onde há terra ou grama, já as cores mais quentes que representam as temperaturas mais altas marcam com precisão os caminhos de asfalto.

O programa não identifica o material de revestimento horizontal que existe sob as árvores. Porém, qualquer que o seja, de acordo com a simulação, as temperaturas nesses locais são mais amenas que qualquer outra região que não possui arborização.

As Plantas 19 e 20 possuem diferenças de temperatura entre as edificações que possuem o asfalto como material de revestimento horizontal. Isto ocorre devido a sombra projetada pelos edifícios às 9 e às 15 horas, ou seja, onde há sombra as temperaturas são menores (Figura 4.23).

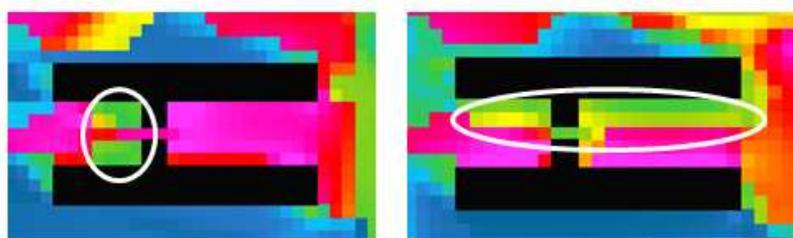
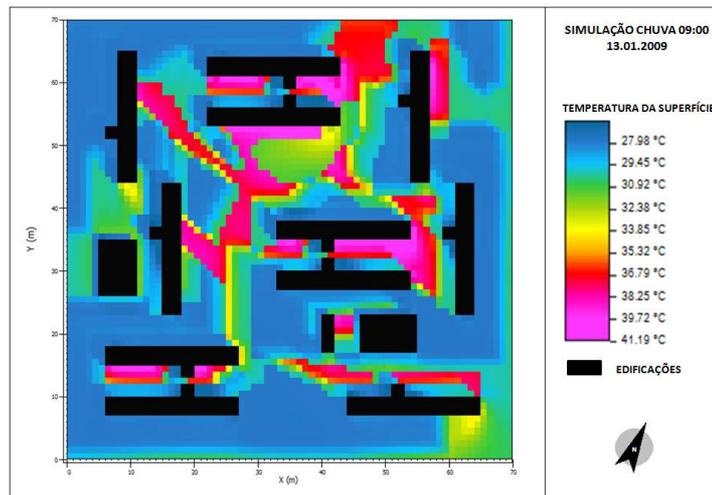


Figura 4.23. Temperaturas mais baixas entre as edificações às 9 e 15 h respectivamente

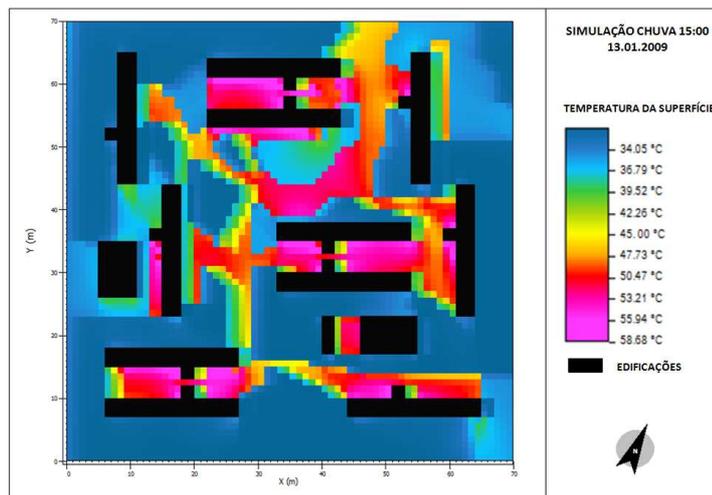
A Planta 21 que corresponde às 21 horas possui as menores temperaturas e a menor variação de temperatura (10.24°C) em relação as demais plantas.

A simulação 1.7 corresponde ao parâmetro de análise Temperatura Superficial dos Materiais, referente ao dia que representa o período da chuva. Esta simulação gerou três plantas, sendo que a Planta 22 corresponde ao horário de 9 h, a Planta 23 representa 15 h e a Planta 24, 21 h.

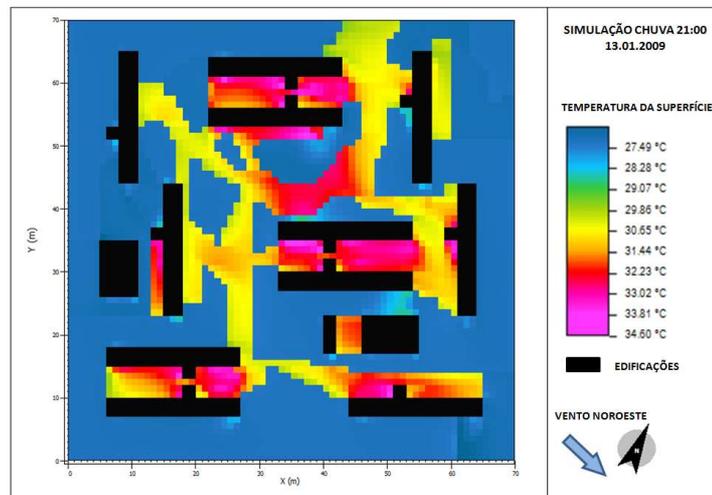
Simulação 1.8: Temperatura Superficial dos Materiais às 9, 15 e 21 h do dia 13 de janeiro de 2008 - Período da chuva (Figura 4.24)



Planta 22



Planta 23



Planta 24

Figura 4.24. Resultados em planta da Simulação 1.8

As plantas de temperatura superficial dos materiais no período da chuva apresentam valores mais altos em relação ao período da seca.

Na Planta 22 (9 h) nota-se uma maior diferença de temperatura entre as áreas arborizadas e as áreas gramadas ou com terra, já às 15 h esta diferença diminui e às 21 h a temperatura é homogênea entre estas áreas.

Às 15 h (Planta 23) encontra-se a maior variação de temperatura, 24,63 °C, onde se pode observar uma temperatura de 58,68 °C no asfalto entre os prédios e 34,05 °C nas áreas arborizadas. Nessa planta, a temperatura do asfalto entre as edificações é maior que alguns caminhos de asfalto que se encontram totalmente expostos aos raios solares. A área de sombra projetada às 15 h pelos edifícios não consiste apenas nos dois quadrados que se encontram ao lado das caixas de escadas como foi representado pelas simulações.

Na Planta 24 têm-se as menores temperaturas superficiais em relação as plantas dos dois períodos do ano e, também, a menor variação de temperatura, ou seja, 7,11 °C. Onde há arborização, grama ou terra a temperatura se encontra em torno de 28 °C e onde há asfalto há um acréscimo de até 6 °C.

4.2.4 Temperatura do Ar e Velocidade dos Ventos a partir da comparação com as Medições de Campo

Dados de medições e simulações foram extraídos para análise comparativa, para os três pontos de estudo da unidade amostral urbana nos três horários que foram realizadas as medições: 9, 15 e 21 h. Primeiramente será realizada a análise no período da seca e posteriormente no período da chuva.

As medições de campo no período da seca foram realizadas durante dois dias consecutivos, porém, as simulações foram realizadas apenas para o dia 8 de setembro de 2008, assim, o gráfico 4.1 apresenta os valores referentes ao primeiro dia de medição neste período.

Em todos os gráficos, cores iguais com tonalidades diferentes representam o mesmo horário de medição e simulação. Assim, a cor vermelha representa 9 h, o verde 15 h e o azul 21 h.

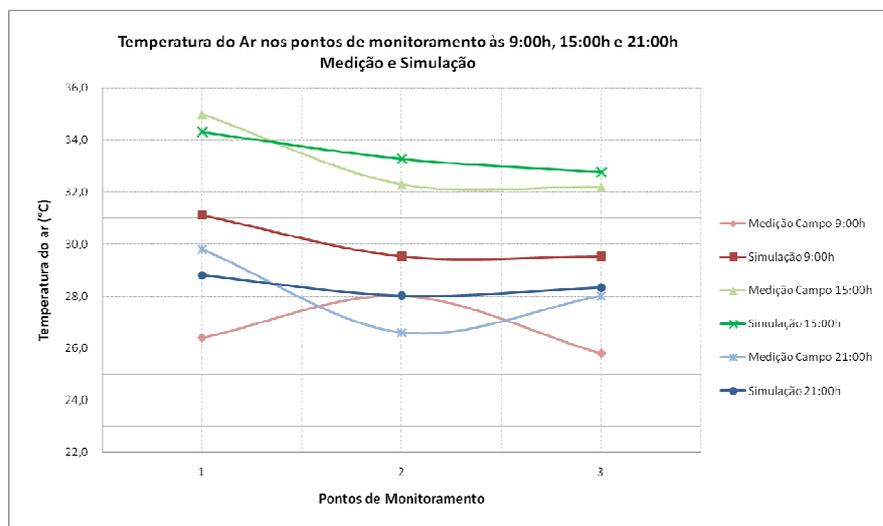
Dessa forma, observou-se que a variação de temperatura do ar entre a medição em campo e a simulação às 9 horas é bastante significativa, com uma diferença de até 4.72°C no Ponto 1. Neste horário, as simulações apresentaram valores mais altos de temperatura do ar em relação aos medidos em campo. Já às 15 e 21 horas, as amplitudes foram menores onde, a variação máxima foi verificada às 21 horas no Ponto 2, apresentando uma diferença de 1.42°C.

Ainda não existe um método para estimar a margem tolerável entre os valores reais e os simulados na análise do desempenho ambiental de áreas externas. Por isso, a margem de erro considerada aceitável neste estudo foi de 15% em cima do valor considerado ideal, que neste trabalho correspondeu aos valores medidos em campo. Esta margem de erro é aplicada na análise do conforto ambiental em ambientes internos e também foi verificada em um estudo de espaços externos realizado por Chatzidimitriou (2006) que utilizou o software ENVI-met como ferramenta de análise.

As tabelas correspondentes a ventilação apresentaram apenas as variações numéricas entre as medições e as simulações, uma vez que não há constância na direção e na velocidade dos ventos (Tabelas A.1 a A.8 - ver Anexo A).

Dessa forma, apenas o Ponto 1, referente ao horário de 9 horas, não se encontra dentro deste limite (Gráfico 4.1).

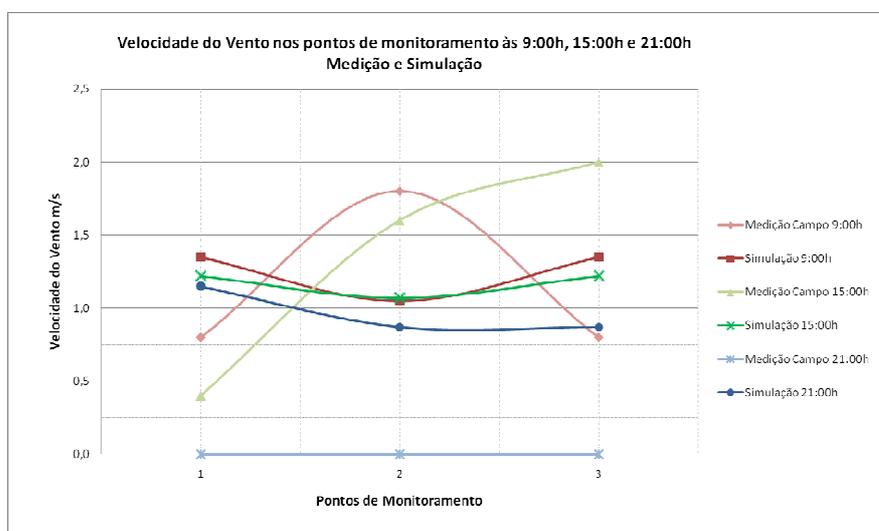
Gráfico 4.1. Comparação entre os valores medidos e simulados de Temperatura do Ar (08/09/2008)



Em relação à velocidade do vento, sabe-se que este é um parâmetro muito instável, ou seja, durante a medição considera-se o valor da velocidade extraído de um determinado momento, sendo que em minutos ou até mesmo em segundos a direção e a velocidade do vento pode se comportar de maneira muito distinta. Sendo assim, apresenta-se a tabela com a variação da velocidade do vento entre a medição e a simulação, porém, julgou-se desnecessário uma avaliação sobre a margem de erro aceitável.

Observa-se que a velocidade do vento no período da seca nas simulações possui valores aproximados, entre 0,87 a 1,35 m/s, sendo que às 21 horas verificou-se os valores mais baixos. A velocidade do vento na simulação é mais alta no Ponto 3. Já nas medições, não existe correlação entre os pontos de medição, sendo que às 21 horas a ventilação se encontrava em calmaria nos três pontos de monitoramento. Neste parâmetro também não há uma relação entre os valores medidos em campo e os valores simulados (Gráfico 4.2).

Gráfico 4.2. Comparação entre os valores medidos e simulados de Velocidade do Vento (08/09/2008)



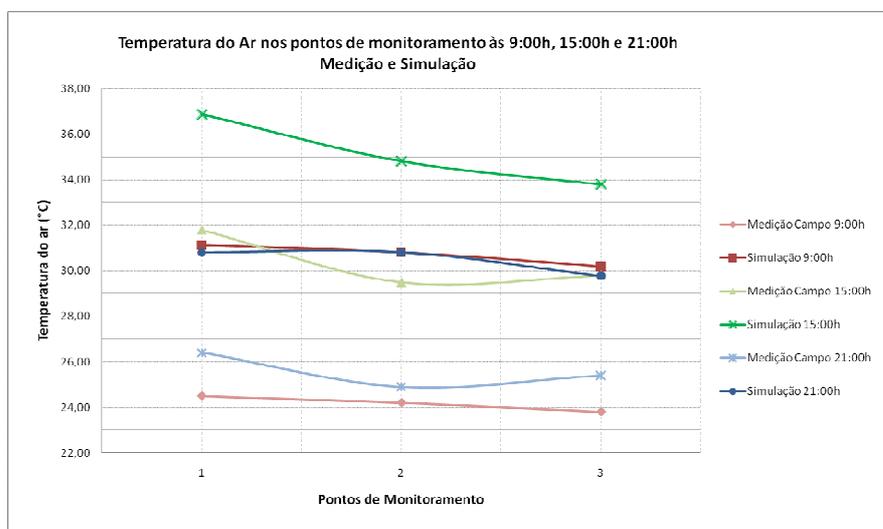
No período da chuva, as medições em campo foram realizadas nos dias 13 e 14 de janeiro de 2009, porém, a simulação foi feita para o dia 13, assim, o quadro abaixo apresenta os dados de temperatura do ar neste dia.

Verifica-se que no período da chuva, a variação entre a temperatura do ar nas medições e nas simulações foi alta em todos os horários analisados, apresentando valores acima de 4 °C. Nas medições em campo a temperatura do ar apresenta valores mais baixos que nas simulações e, as maiores distorções entre os valores são percebidas às 9 h, uma vez

que a temperatura do ar neste horário nas simulações é mais alta que às 21 h e nas medições ocorre o inverso, ou seja, às 9 h têm-se as menores temperaturas do ar.

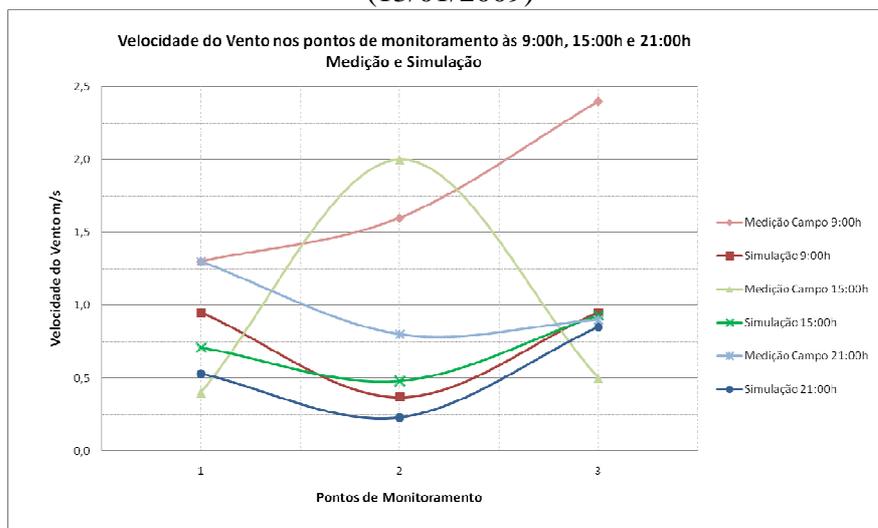
Considerando a margem de erro tolerável de 15%, verificou-se que apenas o Ponto 3 correspondente às 15 horas está dentro do limite aceitável para a planta de temperatura do ar do período da chuva (Gráfico 4.3).

Gráfico 4.3. Comparação entre os valores medidos e simulados de Temperatura do Ar (13/01/2009)



A velocidade do vento nas simulações no período da chuva apresentou valores mais baixos em relação à simulação do período da seca. Já as medições em campo possuem valores distintos independentes do horário de medição, o que torna a comparação impossibilitada. A variação entre os valores medidos e os simulados às 9 h no Ponto 2 e 3 e às 15 horas no Ponto 3, apresenta diferenças de até 1,52 m/s (Gráfico 4.4).

Gráfico 4.4. Comparação entre os valores medidos e simulados de Velocidade do Vento (13/01/2009)



4.2.5 Umidade Relativa do Ar a partir da comparação com as Medições de Campo

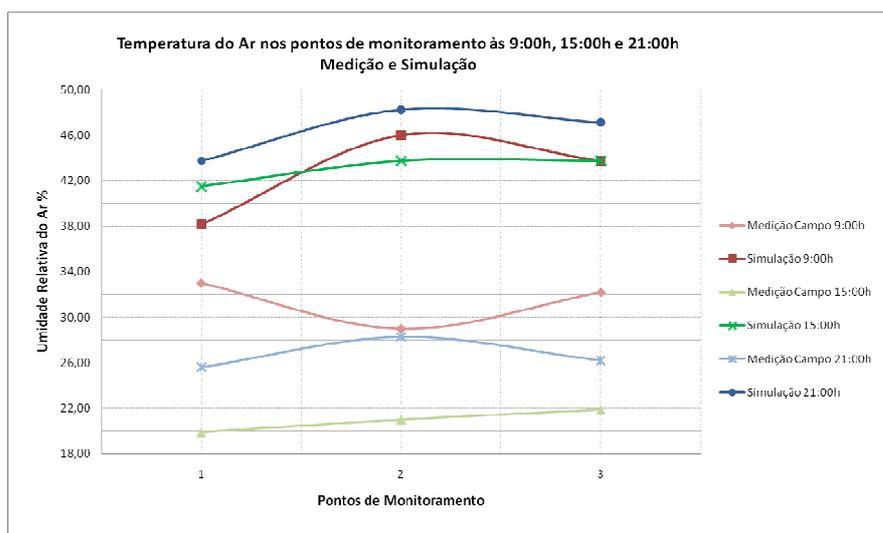
A análise da umidade relativa do ar nos microclimas do Plano Piloto de Brasília é muito importante devido às características do clima local, que possui verões chuvosos e invernos bastante secos.

No período da seca as diferenças dos valores medidos e dos valores simulados foi bastante significativa, chegando a 22,74% de diferença às 15 horas no Ponto 2. Os valores gerados pela simulação são mais homogêneos e muito mais altos que os medidos em campo. No monitoramento dos pontos em campo, verificou-se que às 15 horas a umidade é extremamente baixa nesta época do ano, chegando a 19% de umidade relativa do ar, este valor não encontra respaldo nos dados gerados pela simulação.

Nas medições em campo, a umidade relativa apresenta valores mais altos às 9 h, e nas simulações, verifica-se a maior umidade às 21 h, porém, com uma diferença relativamente pequena em relação aos outros horários simulados. Às 9 h no Ponto 1, a variação entre os valores medidos e os valores simulados foi de apenas 5,16% na umidade relativa do ar. O valor mais baixo gerado pela simulação (38,16%) está localizado no Ponto 1, em um estacionamento asfaltado entre blocos de edifícios, porém, no mesmo ponto simulado às 15 h verifica-se uma umidade mais alta (41,49%), dificultando a análise destes dados gerados pela simulação em relação aos valores medidos em campo.

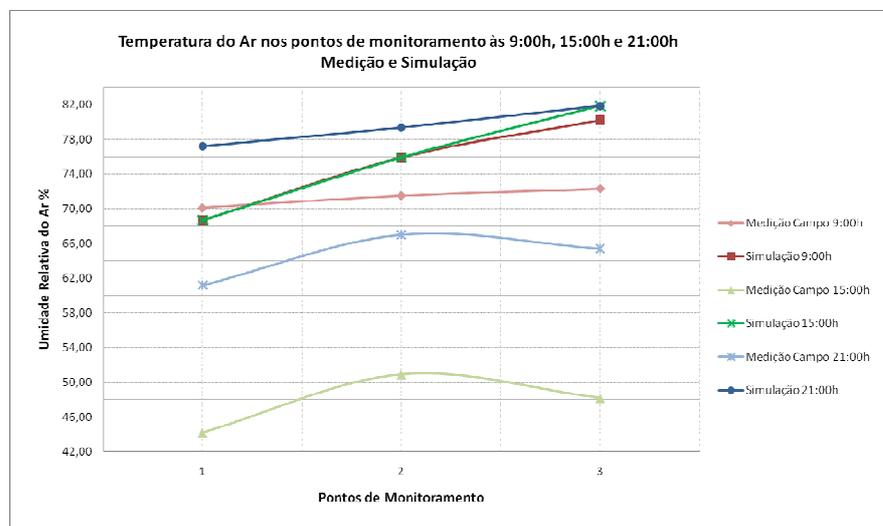
Todos os valores medidos e simulados apresentaram variações que ultrapassaram a margem tolerável de 15%, ou seja, a simulação da umidade relativa do ar no período da seca não se relaciona com as medições em campo (Gráfico 4.5).

Gráfico 4.5. Comparação entre os valores medidos e simulados de Umidade Relativa do Ar (08/09/2008)



No período da chuva, a variação entre as medições em campo e as simulações foi menor, com exceção das 15 h, onde se verificou variações de até 33,65 % no Ponto 3. Às 9 h os valores sofreram menos variações, uma vez que a umidade do ar apresentou valores altos nas medições em campo e baixos nas simulações, assim, apenas às 9 h, os valores simulados se mostraram dentro da margem de erro tolerável correspondente a 15% (Gráfico 4.6).

Gráfico 4.6. Comparação entre os valores medidos e simulados de Umidade Relativa do Ar (13/01/2009)



Percebeu-se nos dois períodos, seca e chuva, que os valores de umidade relativa do ar nas simulações sofrem poucas variações em relação aos horários do dia e são muito altos, enquanto nas medições de campo, verificou-se às 15 h valores muito mais baixos de umidade relativa e variações maiores de umidade nos três horários de monitoramento.

Este parâmetro gera microclimas bastante diferenciados em uma mesma superquadra, com distâncias máximas entre o Ponto 1 e o Ponto 3 de 108 metros. Assim, existirão edificações que irão se beneficiar de um ambiente mais agradável que outras, devido às características microclimáticas de cada ponto analisado.

4.2.6 Temperatura Superficial dos Materiais a partir da comparação com as Medições de Campo

A comparação da temperatura superficial dos materiais nos períodos da seca e da chuva não foi realizada levando em conta todos os dados que foram medidos em campo, pois, o programa possui algumas limitações. Não se sabe o material de revestimento horizontal que o software simula sob as árvores e, em alguns pontos, não foi considerada a sombra projetada pelas edificações e, por isso, não houve variação de temperatura em determinadas áreas.

Assim, considerou-se que os Pontos 1 e 2 se situavam sob o sol durante todo o dia, utilizando os valores correspondentes a esta situação nas medições. Os valores utilizados, na medição, para os materiais de revestimento no Ponto 3, foram relativos a média aritmética entre os valores correspondentes a terra e ao concreto, e, que por sua vez, se situavam sob a sombra durante o dia.

No período da seca, observou-se que os valores mais próximos entre as medições e as simulações se localizam no Ponto 3, sob as árvores, mesmo não tendo conhecimento do material considerado pelo programa.

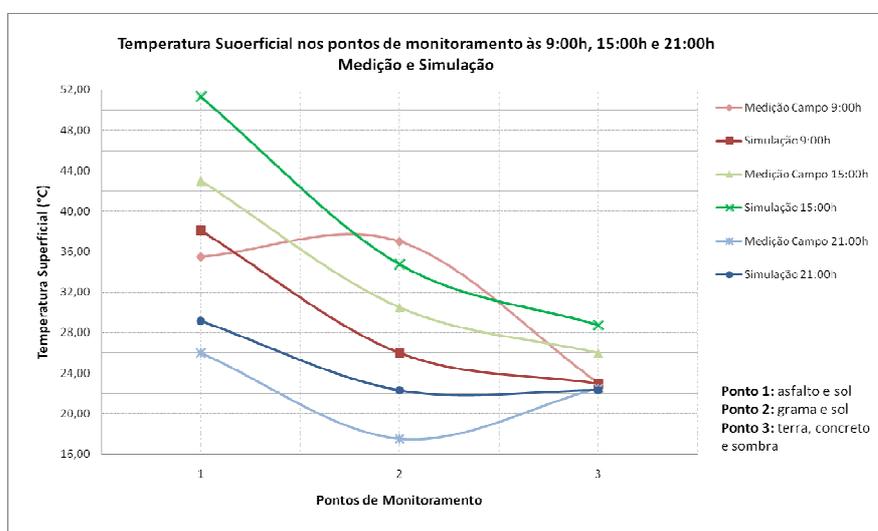
Os pontos que ultrapassaram a margem de erro tolerável foram o Ponto 1 relativo às 15 h e o Ponto 2 correspondente às 9 h e às 21 h, ou seja, apenas três pontos em um total de 18 analisados.

No Ponto 1, verificou-se que a maior variação entre a medição e a simulação foi às 15 horas, sendo que a simulação considerou uma temperatura superficial mais alta em 8,33 °C

em relação a medição. Já no Ponto 2, às 9 h, a temperatura da grama na área onde foi realizado o monitoramento apresentou 37 °C ao sol, enquanto a simulação gerou uma temperatura de apenas 26 °C nesta mesma área. Às 21 h verificou-se uma temperatura mais alta na simulação nas mesmas condições.

As simulações demonstraram que o programa considerou que as temperaturas superficiais do asfalto são mais altas que nas medições, enquanto a temperatura superficial da grama foi considerada mais baixa em relação à realidade (Gráfico 4.7).

Gráfico 4.7. Dados de Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 08/09/2008

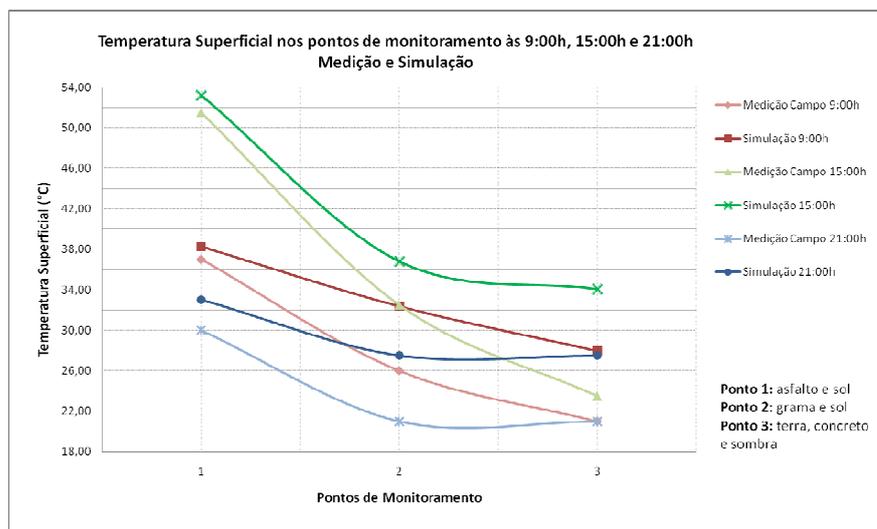


No período da chuva, observou-se que em todos os horários analisados no Ponto 3, a temperatura da superfície nas simulações foi maior (até 8,5 °C) que nas medições. O programa considera que sob as árvores durante um período chuvoso, a temperatura superficial é alta, pois as copas destas árvores agem como barreiras para a dissipação do calor. Porém, apesar das temperaturas no Ponto 3 serem mais baixas no período chuvoso nas medições de campo, elas ainda apresentam valores altos para uma época do ano com temperaturas do ar mais amenas.

As menores variações de temperatura entre as medições e as simulações podem ser verificadas quando o material do piso é o asfalto e quando a situação do ponto está ao sol, características correspondentes ao Ponto 1.

O período da chuva apresenta variações maiores entre as medições e as simulações, sendo que os Pontos 2 e 3 correspondentes às 9 e 21 h e o Ponto 3, correspondente às 15 h, ultrapassam o limite definido como tolerável para os valores simulados (Gráfico 4.8).

Gráfico 4.8. Dados de Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 13/01/2009



CONCLUSÃO

O objetivo desta conclusão é apresentar as considerações finais sobre os microclimas urbanos encontrados na Superquadra 108 Sul do Plano Piloto de Brasília, e sugerir algumas recomendações necessárias para continuidade da presente pesquisa. É importante ressaltar que as conclusões e as recomendações descritas neste capítulo, foram embasadas nas análises efetuadas a partir de toda uma investigação experimental e na utilização de um software, além do embasamento teórico adquirido.

Este estudo teve o propósito de demonstrar que os espaços urbanos abertos, como praças, quarteirões ou superquadras, não podem ser analisados de uma forma global, uma vez que as características da morfologia urbana, da vegetação e do tipo de revestimento do solo, dentre outras, geram pequenos lugares dentro de grandes espaços urbanos, que são bastante diferenciados em relação ao conforto ambiental. Estas diferenciações nestes pequenos espaços são ocasionadas pelos microclimas urbanos.

Assim, foi possível verificar nesta superquadra, diferenciações microclimáticas importantes que afetam não só a qualidade de vida das pessoas nos ambientes externos, mas, prejudicam também no conforto ambiental dos espaços internos.

A investigação experimental por meio de medições em campo constatou a influência das áreas verdes urbanas no comportamento microclimático dos ambientes monitorados, principalmente no período da seca.

Em relação à temperatura do ar, observou-se que no período da seca, a arborização foi importante para amenizá-la, porém, no período noturno, houve uma inversão térmica da temperatura na região mais arborizada, quando o acúmulo de calor recebido durante o dia é devolvido para a atmosfera. Sendo assim, as áreas arborizadas apresentaram um cenário negativo para as trocas térmicas.

Já no período da chuva, observou-se que a grama como material superficial de revestimento favorece as baixas temperaturas. Nesta época do ano, a arborização não foi tão importante na amenização da temperatura do ar como no período da seca, devido à maior insolação.

É importante observar que as medições referentes ao Ponto 3, que possui uma arborização densa, foram realizadas sob as árvores. A partir dos resultados, observou-se que seria mais enriquecedor, para este estudo, a realização de medições entre esta massa arborizada e a edificação que se encontra próxima a ela. Assim, seria possível extrair conclusões mais interessantes sobre o efeito da arborização para um determinado espaço urbano.

No período da seca, constatou-se no horário de 15 h as maiores diferenças de temperatura entre alguns pontos de monitoramento, como por exemplo, 2,7 °C entre a área que possui o asfalto sombreado pelas edificações e a área sombreada pelas árvores, corroborando a importância da arborização para amenizar as temperaturas do ar nesta época do ano e no período do dia que recebe a maior insolação.

Em contrapartida, no período chuvoso, a maior diferença de temperatura do ar foi observada às 21 h entre a área asfaltada e a área gramada, onde, a área gramada apresentou a temperatura mais baixa, constatando a importância do material de revestimento horizontal para amenizar a temperatura do ar no período noturno e em uma época do ano que possui uma quantidade menor de horas de insolação.

Analisando o comportamento qualitativo dos pontos de monitoramento, tanto para as medições como para as simulações, a temperatura do ar apresentou as mesmas características. As temperaturas mais baixas foram verificadas no Ponto 3 (às 9 h e às 15 h), e as mais altas no Ponto 1, em todos os horários.

Observando a tendência do comportamento das variáveis climáticas, e não somente o resultado numérico, os resultados qualitativos apontaram a vegetação como fator importante no controle da temperatura, uma vez que o ponto mais arborizado (Ponto 3) apresentou as temperaturas mais baixas.

Em relação à umidade relativa do ar, o período da seca apresentou valores muito baixos de umidade às 15 h, chegando a 19% na área do estacionamento, região asfaltada entre prédios, sendo que este local foi definido por representar a área com menor porcentagem de áreas verdes. Apesar de a arborização possuir um efeito muito importante na amenização deste parâmetro climático, encontrou-se um valor alto de umidade do ar na área mais

arborizada apenas às 15 h, constatando novamente a importância de ter realizado as medições próximo as árvores, e não sob elas.

O período da chuva apresentou umidade alta, principalmente no período da manhã, chegando a 72%. No período noturno, verificou-se que pode haver variações altas de umidade entre pontos próximos, uma vez que essa diferenciação foi determinada pelo tipo de solo existente na área, o asfalto e a grama. Apesar de existir um espaço mais úmido que outro na mesma superquadra, não há grandes benefícios microclimáticos no espaço com maior umidade, já que nesse período do ano, este parâmetro apresenta valores bastante altos.

A ventilação foi um parâmetro de difícil análise neste estudo, tanto em relação à direção quanto a velocidade, uma vez que a velocidade do vento em grande parte dos horários de monitoramento era baixa, impedindo a movimentação da biruta. O vento foi importante na análise do comportamento das variáveis climáticas temperatura e umidade do ar na simulação com o *software* ENVI-met.

Como foi dito no desenvolvimento do trabalho, o programa não considera as aberturas dos pilotis das edificações, o que gerou interferência nos resultados da ventilação e da temperatura do ar. As temperaturas, nas simulações, apresentaram valores superiores às medições, o que certamente não ocorreria caso o comportamento dos ventos nas simulações fosse o mesmo das medições em campo.

Em relação à temperatura superficial dos materiais, o período da tarde apresentou as temperaturas mais críticas no período da seca, com uma diferença de temperatura de apenas 1,5 °C entre o asfalto e a grama. Já no período chuvoso, a diferença de temperatura no asfalto foi doze vezes maior, demonstrando a importância da capacidade da grama em absorver água através dos espaços existentes na sua própria estrutura foliar.

Sob as árvores, observou-se que na seca, as temperaturas superficiais entre a terra e o concreto são bastante similares, diferentemente do período chuvoso, onde constatou-se que o concreto possui temperaturas mais elevadas, concluindo-se que não há benefícios em utilizar a terra seca ou o concreto sob sombra.

Assim, a investigação experimental em campo, com a utilização de aparelhos de medição meteorológica, atendeu o propósito deste estudo. As medições realizadas não foram somente monitoradas para comparações microclimáticas reais e simuladas, mas principalmente, para auxiliar na avaliação da sensação de conforto do usuário, uma vez que estando em campo em três horários do dia durante dois dias consecutivos, foi possível observar, sentir, e atentar às diferenciações das variáveis climáticas em diferentes espaços urbanos.

Com as análises realizadas através das plantas gerados pelo *software* ENVI-met, obteve-se algumas considerações como a constatação de que onde há arborização, vegetação ou terra como revestimento horizontal, há também temperaturas do ar mais baixas no período da seca, já nas regiões asfaltadas, as temperaturas possuem valores mais altos.

Na época da chuva, as temperaturas mais baixas foram verificadas no período noturno e as mais altas durante a tarde, onde observou-se grandes variações térmicas às 15 h entre as áreas arborizadas e as não arborizadas, demonstrando a importância das áreas verdes na amenização da temperatura do ar.

Apesar dos materiais de revestimento horizontal e da arborização influenciar bastante na temperatura no período chuvoso, constatou-se, principalmente, a grande influência da ventilação na amenização da temperatura do ar nas simulações. As áreas que apresentaram valores baixos de velocidade do vento apresentaram temperaturas mais altas, e o contrário também foi observado, ou seja, regiões com velocidade do vento mais altas apresentaram temperaturas mais baixas.

A maior variação da temperatura do ar encontrada entre medição em campo e simulação computacional foi no período da manhã. Como as simulações se iniciaram às 6 horas e as maiores distorções foram encontradas às 9 h, concluiu-se que apenas 3 h de simulação não foram suficientes para gerar dados mais próximos aos valores medidos em campo.

Outra conclusão acerca da temperatura do ar obtida no período chuvoso foi a diferença significativa entre as temperaturas medidas e simuladas, o que pode ter sido causado pelos dados de configuração inicial do programa. O valor utilizado para temperatura no período da

chuva foi de 309 °K (36 °C), apenas 2° C a menos que no período da seca, e como as temperaturas na simulação foram super estimadas em relação à realidade, dever-se-ia ter utilizado uma temperatura mais baixa na configuração básica do programa, mesmo tendo que ajustá-la em relação ao dado fornecido pela radiossondagem.

No estudo realizado em Seul, também foi observada a grande diferença entre os dados medidos e os dados dos resultados simulados. As temperaturas na simulação também foram mais altas que na maioria das medições em campo. Os autores atribuíram esta diferença à velocidade do vento, sendo que as altas temperaturas nas superfícies de asfalto na área de estudo resultaram em temperaturas altas.

Já o estudo realizado na região da Luz em São Paulo também demonstrou que a temperatura apresentou uma sensibilidade muito grande à velocidade do vento. A amplitude diurna aumentou com o decréscimo desta velocidade, cuja média era de 1,6 m/s, mas foi adotado o valor de 0,8 m/s para se ajustar a curva da temperatura.

Em relação à umidade relativa do ar, concluiu-se que este parâmetro está intimamente relacionado à temperatura do ar, ou seja, onde se verificou temperaturas mais altas, constatou-se os valores mais baixos de umidade e, nas regiões que as temperaturas se apresentaram mais amenas a umidade foi mais alta.

Concluiu-se a importância da arborização para a umidade relativa do ar, uma vez que os valores mais altos de umidade foram verificados onde havia a presença de arborização na superquadra. Porém, algumas regiões arborizadas que receberam menos ventilação apresentaram temperaturas mais altas que regiões arborizadas mais ventiladas, assim, estas áreas menos ventiladas apresentaram também umidades baixas e as mais ventiladas umidades mais altas. Esta relação apontou uma limitação do software em relação ao entendimento da umidade relativa do ar, uma vez que quanto maior a velocidade do vento, maior a capacidade de retirar vapor d'água da atmosfera, e por isso, os valores de umidade deveriam ser mais baixos em áreas mais ventiladas, o que não ocorreu nas simulações.

A umidade relativa do ar nas simulações apresentou valores muito mais altos que nas medições, principalmente no período da seca, onde, em Brasília, encontram-se valores extremamente baixos de umidade. No período chuvoso, constatou-se valores mais próximos

entre medição e simulação apenas na parte da manhã, porém, as simulações também apresentaram umidades bem mais altas.

Ajustando-se os valores de umidade, temperatura e velocidade dos ventos obteve-se resultados simulados mais próximos dos reais. Concluiu-se, porém, que não havendo um critério para este ajuste, já que os dados que foram preenchidos na configuração básica do programa não são dados que fornecem resultados reais, devem-se realizar testes para se chegar a resultados esperados, o que torna a simulação de determinados parâmetros bastante imprecisa.

Em relação à temperatura superficial dos materiais, concluiu-se que o asfalto possui as maiores temperaturas, principalmente no período da tarde, e onde havia arborização as temperaturas superficiais apresentaram valores mais baixos, independente do material horizontal que existe sob as árvores, uma vez que o programa não define este tipo de solo.

As temperaturas superficiais no período da chuva apresentaram valores mais altos que na seca. Nas medições em campo não houve grandes diferenças de temperatura superficial sob as árvores, porém, no asfalto e, principalmente na grama, as temperaturas se apresentaram mais baixas no período chuvoso. Dessa forma, o entendimento do programa em relação à temperatura superficial se torna incompreensível quando comparado a realidade.

Na Grécia, Chatzidimitriou (2006) também observou que os resultados da simulação para a temperatura do ar e das superfícies produziram, pelo Envi-met, diferenças em relação aos dados medidos acima de 15% em muitos casos examinados.

Uma das principais contribuições deste trabalho em relação às simulações desenvolvidas com o software ENVI-met se encontra nas comparações realizadas em diferentes horários do dia com os dados obtidos em campo. Os estudos antecedentes não analisaram a umidade relativa do ar como também não comparam com os dados gerados de temperatura e velocidade do ar, o que tornou este trabalho pioneiro nesta análise mais aprofundada do programa.

O ENVI-met, principal ferramenta utilizada nesta pesquisa, mostrou-se adequado para a simulação de áreas urbanas, principalmente, como foi visto no histórico da utilização do

software, para analisar a temperatura do ar e superficial de intervenções urbanas. As limitações encontradas tornaram-se relevantes para um possível aprimoramento do programa e, reforçou a necessidade de realizar medições em campo para que a análise não seja apenas visual por meio das plantas geradas, mas também numérica.

Em relação ao software de apoio Leonardo 3.75, houve um avanço nesta pesquisa para facilitar a leitura dos mapas, já que permitiu comparações entre eles através de análises visuais com legendas fixadas. O programa gera legendas diferentes para cada planta, onde o valor de uma cor de determinada planta não corresponde ao mesmo valor de outra, o que dificultaria a leitura das plantas.

Como esta dissertação tem um caráter pioneiro, juntamente com Silva (2009), na utilização do *software* para simulações de desempenho ambiental de áreas urbanas na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, concluiu-se que há avanços que podem ser feitos em relação aos ajustes dos dados inseridos no programa e ao banco de dados referente à vegetação utilizada, gerando análises mais precisas e adaptadas ao clima brasileiro.

Espera-se, portanto, que esta dissertação tenha dado um importante passo para o avanço do software, uma vez que ela expôs as limitações encontradas no programa, possíveis soluções e, sobretudo, recomendações para o desenvolvimento de pesquisas futuras. Assim, a utilização do *software*, será cada vez mais, uma importante ferramenta de auxílio para a tomada de decisões de arquitetos, projetistas, engenheiros e principalmente do poder público, que visem à melhoria da qualidade de vida nos espaços urbanos. Através da geração de plantas que possibilitem uma análise clara e científica demonstrando como a vegetação, os materiais superficiais, a morfologia urbana, dentre outros aspectos, podem influenciar nos microclimas urbanos, os debates deixarão o campo teórico para se tornarem concisos e pautados em fundamentações reais.

Salienta-se, entanto, que a abordagem do tema proposto permite outras propostas de pesquisa. O reconhecimento de como as áreas verdes, o revestimento horizontal e a morfologia urbana influencia na temperatura e na umidade do ar, ventilação e temperatura superficial é muito importante para o desempenho ambiental dos espaços urbanos.

Para tanto, são sugeridas algumas recomendações que visam à continuidade da presente pesquisa como:

- Analisar e discutir o comportamento térmico de diferentes áreas verdes de acordo com seu porte e disposição no arranjo urbano;
- Empregar a metodologia utilizada nesta investigação em outras unidades amostrais urbanas no Distrito Federal, principalmente em espaços urbanos que não estejam consolidados;

Já para facilitar o uso do software ENVI-met, para que os futuros pesquisadores interessados em sua utilização comecem a desenvolver seus estudos com o legado desta dissertação, é necessário que:

- Juntamente com as simulações no modelo ENVI-met, haja uma correta definição baseada nas medições em campo.
- Os dados de configuração básica do programa sejam adaptados para que não seja preciso fazer ajustes aleatórios, uma vez que o programa apresenta limitações em relação ao cálculo de radiação solar, pois, esta se baseia na posição global da cidade.
- A velocidade do vento utilize um valor de entrada inicial que não considere os dados temporais. Além disso, os parâmetros de morfologia urbana foram considerados baixos o suficiente para assegurar a precisão dos resultados da simulação e permitir estimar o mais longe os efeitos das superfícies, estendendo o raio de ação para espaços abertos com aspectos morfológicos diferentes assim como as variações sazonais.
- A simulação seja de no mínimo 48 horas para utilizar os dados das últimas 24 horas de simulação, descartando os primeiros horários.
- Crie-se um banco de dados com espécies arbóreas brasileiras, principalmente se o estudo utilizar a vegetação como um parâmetro de análise.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Cláudia Naves; BRAGA, Darja Kos. (2004). **Conforto térmico em edifícios residenciais do Plano Piloto de Brasília**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004. Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1. São Paulo: Anais em CD-ROM.

AMORIM, Cláudia Naves; FLORES, Alice Leite. (2005). **Edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto, Brasília**: aspectos de preservação e conforto ambiental. In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 5 a 7 de outubro de 2005, Maceió, AL.

ASSIS, Eleonora Sad de. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor**: análise de desempenho de áreas verdes urbanas em clima tropical. 1990. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:135.07-001/2: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991. 332 p.

BRUSE, M., 2008. **ENVI-met 3.1 Manual Contents**. Disponível em: <<http://www.envi-met.com>>.

CASTELLS, Manuel. **La cuestion urbana**. México: Siglo Veintiuno, 1976.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. London, Hutchinson University Library Publishers, 1965. 292p.

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

COMANDO DA AERONÁUTICA, CIRPV 63-3. **Procedimentos adotados pelos órgãos ATS e MET referentes ao lançamento de balões meteorológicos**. Departamento de Controle do Espaço Aéreo – Proteção ao Vôo, 2002.

CORRÊA, Rodrigo Studart. Revegetação. In: ROMERO, M. A. B. (Org.). **Reabilitação ambiental sustentável arquitetônica e urbanística**. Brasília: FAU/UnB, 2009. p. 140-174.

COSTA, Angelina Dias Leão. **O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido**. 2007. 225 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

COSTA, Lucio. 1991. **Brasília, cidade que inventei**. CODEPLAN, DePHA. Brasília, DF.

COSTA, Lucio. **Lucio Costa**: registro de uma vivência. Brasília: Universidade de Brasília, 1995. 608 p.

DOULOS, *et al.* *Passive cooling of outdoor urban spaces: The role of materials*. **Solar Energy**, v. 77, 2004. Elsevier: 2004. p. 231–249.

DUARTE, Denise Helena Silva; SERRA, Geraldo Gomes. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente construído**. Porto Alegre, v. 3, n. 2, p.7–20, abr./jun. 2003.

FRANÇA, Dionísio Alves de (2001). **Blocos residenciais de seis pavimentos em Brasília até 1969**. Ensaio Teórico – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília.

HAN *et al.* (2007). *Changes of the microclimate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea*. *Proceedings: Building Simulation*.

IZARD, Jean-Louis; GUYOT, Alain. **Arquitetura bioclimática**. Barcelona: Gustavo Gilli, 1980.

JUSUF *et al.* (2006). *Study on Effect of Greenery in Campus Area*. PLEA 2006, The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland.

KATZSCHNER, L. *Urban climate studies as tools for urban planning and architecture*. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais... Salvador: ANTAC, 1997.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW. 1997.

LANDSBERG, H. E. *The climate of towns*. In: THOMAS, W. E., *et al.*, *Man's role in changing the face of earth*, 1956. p. 584-606.

- LIMA, Simone Cruz de. **Arborização urbana de Brasília:** contribuição ao estudo de seu processo. Brasília, 2003. 174 f.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles:** o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- LORENZI, Harri. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.
- MACEDO, Silvio. 1999. **Quadro do paisagismo no Brasil.** Fapesp, Fundação de Apoio a Pesquisa. São Paulo, SP.
- MACHADO, Jose Wagner Borges; ALENCAR, Francisco Ozanan Correia Coelho de; RODRIGUES, Maria Das Graças Ribeiro. **Árvores de Brasília.** Brasília: Governo Distrito Federal, 1992. 90 p.
- MACHADO, Marília Pacheco. **Superquadra:** pensamento e prática urbanística. 2007. 269 f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- MASCARÓ, Lúcia Elvira Alicia Raffo de. **Ambiência urbana.** Porto Alegre: Sagra Luzzatto. 1996.
- MENEZES JÚNIOR, Antônio. **A dinâmica da configuração urbana do Plano Piloto de Brasília no período 1985-2003.** 2004. 146 f. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de F. (1976) **Teoria e clima urbano.** São Paulo: IGEOG, Universidade de São Paulo (Série Teses e Monografias, 25).
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos:** consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.
- MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. Procedimentos para quantificação de variáveis para análise termo-fisiológica. In: ENCAC, 8., ELACAC, 4. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.
- OKE, T. R. *Towards better scientific communication in urban climate. Theoretical and Applied Climatology.* Austria: 2005.
- OKE, T. R.: *Boundary layer Climates.* Book. Methuen, London, UK, 1978.

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

OSMOND. (2004). **Rooftop “greening” as an option for microclimatic amelioration in a high-density building complex**. *Fifth Conference on Urban Environment*.

PEIXOTO, Maria Clara, LABAKI, Lucila Chebel, SANTOS, Rosely Ferreira dos. **Conforto térmico em cidades: avaliação do efeito da arborização no controle da radiação solar**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1995. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: ENTAC 95.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Proeditores, 2000.

SANTAMOURIS, M. *Energy and climate in the urban built environment*. London: James & James (Science Publishers); 2001.

SHASHUA-BAR, L. & HOFFMANN, M.E. *Vegetation as a climactic component in the design of an urban street: an empirical model of predicting the cooling effect of urban green areas with trees*. **Energy and Buildings**, v.31, n.3: 221-235, 2000.

SILVA, Caio Frederico e. **Caminhos Bioclimáticos. Desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina - PI**. 2009. Dissertação (mestrado – Universidade de Brasília, faculdade de Arquitetura e Urbanismo).

SILVEIRA, Simone Queiroz da. **Curso de introdução ao programa ENVI-met**. Apostila, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais. Junho, 2008.

SOUZA, Valéria Moraes Baldoino de. **A Influência da ocupação do solo no comportamento da ventilação natural e na eficiência energética em edificações. estudo de caso em Goiânia – Clima tropical de altitude**. 2006. 240 f. Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

SPANGENBERG *et al.* (2008). *Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo*. **Revista SBAU**, Piracicaba, v.3, n.2, jun. 2008, p.1-19.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. In: INTERNACIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING – PALENC, 1, Santorini, 2005. **Anais...** Grécia: Heliotopos Conference, 2006. p. 101-107.

VASCONCELLOS, Virgínia Maria Nogueira de. **O entorno construído e o microclima de praças em cidades de clima tropical quente e úmido**: uma contribuição metodológica para o projeto bioclimático. 2006. 273 f. Tese de Doutorado (Tese em Conforto Ambiental). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SITES ELETRÔNICOS

Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/altimetria/Mapas/DF.altima.jpg> (mapa 3)>.

Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/7a12/mapas/brasil/regiao_centro_oeste.pdf (mapas 1 e 2)>.

Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/software/software.html>>. Acesso em 25 fev. 2009.

Disponível em: <<http://www.gdf.gov.br> (mapa 4)>. Acesso em 10 nov. 2008

ANEXO A

Tabela A.1. Dados de Temperatura do Ar referente ao dia 08/09/2008

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA AR (°C) MEDIÇÕES CAMPO	TEMPERATURA AR (°C) SIMULAÇÃO	VALOR LIMITE ACETÁVEL MEDIÇÃO + OU - 15%	SIMULAÇÃO VÁLIDA
1	9:00h	26,40	31,12	30,36	SIM
2	9:00h	28,00	29,53	32,20	SIM
3	9:00h	25,80	29,53	29,67	SIM
1	15:00h	35,00	34,31	29,75	SIM
2	15:00h	32,30	33,28	37,14	SIM
3	15:00h	32,20	32,77	37,03	SIM
1	21:00h	29,80	28,80	25,33	SIM
2	21:00h	26,60	28,02	30,59	SIM
3	21:00h	28,00	28,33	32,20	SIM

Tabela A.2. Dados de Temperatura do Ar referente ao dia 13/01/2009

PONTOS	HORÁRIO	TEMPERATURA AR (°C) MEDIÇÕES CAMPO	TEMPERATURA AR (°C) SIMULAÇÃO	VALOR LIMITE ACETÁVEL MEDIÇÃO + OU - 15%	SIMULAÇÃO VÁLIDA
1	9:00h	24,50	31,12	28,17	NÃO
2	9:00h	24,20	30,81	27,83	NÃO
3	9:00h	23,80	30,19	27,37	NÃO
1	15:00h	31,80	36,87	36,57	NÃO
2	15:00h	29,50	34,82	33,92	NÃO
3	15:00h	29,80	33,80	34,27	SIM
1	21:00h	26,40	30,81	30,36	NÃO
2	21:00h	24,90	30,81	28,63	NÃO
3	21:00h	25,40	29,78	29,21	NÃO

Tabela A.3. Dados de Umidade Relativa do Ar referente ao dia 08/09/2008

PONTOS	HORÁRIO	UMIDADE DO AR (%) MEDIÇÕES CAMPO	UMIDADE DO AR (%) SIMULAÇÃO	VALOR LIMITE ACETÁVEL MEDIÇÃO + OU - 15%	SIMULAÇÃO VÁLIDA
1	9:00h	33,00	38,16	37,95	SIM
2	9:00h	29,00	45,99	33,35	NÃO
3	9:00h	32,20	43,74	37,03	NÃO
1	15:00h	19,90	41,49	22,88	NÃO
2	15:00h	21,00	43,74	24,15	NÃO
3	15:00h	21,90	43,74	25,18	NÃO
1	21:00h	25,60	43,74	29,44	NÃO
2	21:00h	28,30	48,24	32,54	NÃO
3	21:00h	26,20	47,11	30,15	NÃO

Tabela A.4. Dados de Umidade Relativa do Ar referente ao dia 13/01/2009

PONTOS	HORÁRIO	UMIDADE DO AR (%) MEDIÇÕES CAMPO	UMIDADE DO AR (%) SIMULAÇÃO	VALOR LIMITE ACETÁVEL MEDIÇÃO + OU - 15%	SIMULAÇÃO VÁLIDA
1	9:00h	70,10	68,67	59,58	SIM
2	9:00h	71,50	75,91	82,22	SIM
3	9:00h	72,30	80,20	83,14	SIM
1	15:00h	44,20	68,67	50,83	NÃO
2	15:00h	50,90	75,91	58,53	NÃO
3	15:00h	48,20	81,85	55,43	NÃO
1	21:00h	61,20	77,23	70,38	NÃO
2	21:00h	67,00	79,37	77,05	NÃO
3	21:00h	65,40	81,85	75,21	NÃO

Tabela A.5. Dados de Velocidade do Vento referente ao dia 08/09/2008

PONTOS	HORÁRIO	VELOCIDADE VENTO (m/s) MEDIÇÕES CAMPO	VELOCIDADE VENTO (m/s) SIMULAÇÃO	VELOCIDADE VENTO (m/s) MEDIÇÃO X SIMULAÇÃO
1	9:00h	0,80	1,35	0,55
2	9:00h	1,80	1,05	0,75
3	9:00h	0,80	1,35	0,82
1	15:00h	0,40	1,22	0,82
2	15:00h	1,60	1,07	0,53
3	15:00h	2,00	1,22	0,78
1	21:00h	0,00	1,15	1,15
2	21:00h	0,00	0,87	0,87
3	21:00h	0,00	0,87	0,87

Tabela A.6. Dados de Velocidade do Vento referente ao dia 13/01/2009

PONTOS	HORÁRIO	VELOCIDADE VENTO (m/s) MEDIÇÕES CAMPO	VELOCIDADE VENTO (m/s) SIMULAÇÃO	VELOCIDADE VENTO (m/s) MEDIÇÃO X SIMULAÇÃO
1	9:00h	1,30	0,95	0,35
2	9:00h	1,60	0,37	1,23
3	9:00h	2,40	0,95	1,45
1	15:00h	0,40	0,71	0,31
2	15:00h	2,00	0,48	1,52
3	15:00h	0,50	0,93	0,43
1	21:00h	1,30	0,53	0,77
2	21:00h	0,80	0,23	0,57
3	21:00h	0,90	0,85	0,05

Quadro A.7. Dados de Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 08/09/2008

PONTOS	HORÁRIO	TEMP. SUPERFÍCIE (°C) MEDIÇÕES CAMPO	TEMP. SUPERFÍCIE (°C) SIMULAÇÃO	VALOR LIMITE ACEITÁVEL MEDIÇÃO + OU - 15%	SITUAÇÃO DO PONTO	MATERIAL DO PISO	SIMULAÇÃO VÁLIDA
1	9:00h	35,50	38,07	40,82	ao sol	asfalto	SIM
1	9:00h	25,50	35,05	29,32	à sombra de edificação	asfalto	NÃO
2	9:00h	37,00	26,00	31,45	ao sol	grama	NÃO
3	9:00h	22,00	22,96	25,30	à sombra de árvore	terra	SIM
3	9:00h	23,50		19,98	à sombra de árvore	concreto	SIM
1	15:00h	43,00	51,33	49,45	ao sol	asfalto	NÃO
2	15:00h	30,50	34,76	35,07	à sombra de edificação	grama	SIM
2	15:00h	41,50		35,28	ao sol	grama	NÃO
3	15:00h	26,00	28,74	29,90	à sombra de árvore	terra	SIM
3	15:00h	25,50		29,32	à sombra de árvore	concreto	SIM
1	21:00h	26,00	29,14	29,90	noite (visão céu)	asfalto	SIM
2	21:00h	17,50	22,31	20,12	noite (visão céu)	grama	NÃO
3	21:00h	21,50	22,31	24,72	noite (visão copas)	terra	SIM
3	21:00h	23,50		27,02	noite (visão copas)	concreto	SIM

Quadro A.8. Dados de Temperatura Superficial dos Materiais referente ao dia 13/01/2009

PONTOS	HORÁRIO	TEMP. SUPERFÍCIE (°C) MEDIÇÕES CAMPO	TEMP. SUPERFÍCIE (°C) SIMULAÇÃO	VALOR LIMITE ACEITÁVEL MEDIÇÃO + OU - 15%	SITUAÇÃO DO PONTO	MATERIAL DO PISO	SIMULAÇÃO VÁLIDA
1	9:00h	37,00	38,25	42,55	ao sol	asfalto	SIM
1	9:00h	26,50	29,45	30,47	à sombra de edificação	asfalto	SIM
2	9:00h	26,00	32,38	29,90	ao sol	grama	NÃO
3	9:00h	19,50	27,98	22,42	à sombra de árvore	terra	NÃO
3	9:00h	22,00		25,30	à sombra de árvore	concreto	NÃO
1	15:00h	51,50	53,21	59,22	ao sol	asfalto	SIM
2	15:00h	25,00	36,79	28,75	à sombra de edificação	grama	NÃO
2	15:00h	32,50		37,37	ao sol	grama	SIM
3	15:00h	21,50	34,05	24,72	à sombra de árvore	terra	NÃO
3	15:00h	25,50		29,32	à sombra de árvore	concreto	NÃO
1	21:00h	30,00	33,02	34,50	noite (visão céu)	asfalto	SIM
2	21:00h	21,00	27,49	24,15	noite (visão céu)	grama	NÃO
3	21:00h	20,00	27,49	23,00	noite (visão copas)	terra	NÃO
3	21:00h	22,50		25,87	noite (visão copas)	concreto	NÃO

ANEXO B

83378 SBBR Brasilia (Aeroporto) Observations at 12Z 09 Sep 2008

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1000.0	157									
925.0	849									
902.0	1061	22.2	7.2	38	7.11	190	8	304.2	325.9	305.5
896.0	1119	21.7	7.2	39	7.14	90	18	304.3	326.1	305.6
861.0	1468	19.0	7.0	46	7.35	64	24	304.9	327.4	306.3
855.0	1529	19.7	7.7	46	7.78	60	25	306.3	330.1	307.7
851.0	1570	20.2	8.2	46	8.08	56	25	307.2	332.0	308.7
850.0	1580	20.2	7.2	43	7.55	55	25	307.3	330.6	308.7
834.0	1744	19.9	4.4	36	6.32	45	18	308.7	328.4	309.9
813.0	1964	19.6	0.6	28	4.94	42	15	310.6	326.3	311.5
801.0	2089	18.5	0.5	30	4.96	40	13	310.7	326.5	311.6
768.0	2444	15.3	0.1	35	5.03	75	11	311.0	327.0	311.9
735.0	2814	11.9	-0.3	43	5.10	95	9	311.3	327.5	312.2
710.0	3106	9.3	-0.7	50	5.16	120	10	311.5	327.9	312.4
700.0	3226	8.2	-0.8	53	5.18	120	9	311.5	328.0	312.5
627.0	4121	-0.0	-5.1	68	4.19	215	3	312.1	325.6	312.9
618.0	4239	-1.1	-5.7	71	4.07	182	5	312.1	325.3	312.9
607.0	4383	-0.3	-16.3	29	1.77	141	8	314.7	320.7	315.0
596.0	4529	0.6	-38.4	4	0.23	100	11	317.4	318.3	317.4
587.0	4650	-0.2	-39.2	3	0.22	65	14	317.8	318.7	317.9
547.0	5212	-3.9	-42.9	3	0.16	101	5	319.9	320.5	319.9
537.0	5357	-3.4	-45.5	2	0.12	110	3	322.2	322.7	322.2
531.0	5446	-3.1	-47.1	2	0.10	128	5	323.6	324.0	323.6
511.0	5749	-4.8	-32.8	9	0.48	190	11	325.1	327.0	325.2
500.0	5920	-5.7	-24.7	21	1.04	190	12	326.0	329.8	326.2
486.0	6142	-7.5	-22.5	29	1.30	195	11	326.5	331.2	326.7
467.0	6450	-9.5	-44.5	4	0.16	201	11	327.7	328.4	327.8
430.0	7075	-15.3	-35.5	16	0.43	215	9	328.1	329.8	328.2
404.0	7546	-19.7	-28.7	45	0.89	211	12	328.4	331.7	328.5
400.0	7620	-20.3	-34.3	28	0.53	210	12	328.5	330.5	328.6
396.0	7694	-20.9	-27.9	53	0.98	213	11	328.7	332.3	328.9
394.0	7732	-21.2	-28.5	52	0.93	215	11	328.8	332.2	329.0
384.0	7921	-22.7	-31.7	44	0.71	226	9	329.2	331.9	329.4
381.0	7977	-23.0	-32.8	41	0.64	230	8	329.5	331.9	329.6
358.0	8427	-25.8	-41.4	22	0.29	250	22	331.8	332.9	331.8
343.0	8736	-27.6	-47.2	14	0.16	245	31	333.3	334.0	333.4
324.0	9147	-30.1	-55.1	7	0.07	268	30	335.4	335.7	335.4
322.0	9191	-30.4	-54.6	8	0.07	270	30	335.5	335.9	335.6
309.0	9483	-32.5	-51.5	13	0.11	263	33	336.6	337.1	336.6
303.0	9620	-33.7	-51.4	15	0.11	260	34	336.8	337.3	336.8
300.0	9690	-34.3	-51.3	16	0.11	265	33	336.9	337.4	336.9
269.0	10441	-40.7				285	34	338.3		338.3
260.0	10676	-42.7				283	37	338.6		338.6
250.0	10940	-44.3				280	41	340.1		340.1
217.0	11874	-51.5				270	48	343.0		343.0
200.0	12400	-54.7				265	52	346.0		346.0
193.0	12622	-56.1				265	55	347.3		347.3
151.0	14149	-65.8				255	37	355.8		355.8

83378 SBBR Brasilia (Aeroporto) Observations at 12Z 13 Jan 2009

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1000.0	126									
925.0	817									
899.0	1061	24.2	16.2	61	13.05	80	6	306.5	346.1	308.9
886.0	1189	21.4	15.4	69	12.57	75	8	304.9	342.7	307.2
850.0	1551	18.2	14.4	78	12.28	60	15	305.2	342.2	307.4
848.0	1571	18.0	14.3	79	12.23	61	16	305.2	342.0	307.4
841.0	1642	17.6	13.9	79	12.02	65	18	305.5	341.7	307.7
801.0	2055	15.1	11.7	80	10.86	55	11	307.2	340.2	309.2
774.0	2346	13.4	10.1	80	10.10	70	11	308.3	339.3	310.2
758.0	2523	12.4	9.1	80	9.66	95	10	309.0	338.8	310.8
726.0	2889	10.2	7.1	81	8.79	77	11	310.5	337.8	312.1
715.0	3016	9.6	6.2	79	8.40	70	12	311.2	337.4	312.8
700.0	3193	8.8	5.0	77	7.87	75	13	312.2	336.9	313.7
631.0	4044	4.0	-0.2	74	6.01	89	12	316.1	335.5	317.3
628.0	4083	4.4	-3.6	56	4.69	90	12	317.0	332.3	317.9
627.0	4096	4.3	-2.7	60	5.04	90	12	317.1	333.5	318.0
625.0	4122	4.2	-0.8	70	5.81	87	12	317.2	336.0	318.3
578.0	4754	2.0	-11.7	36	2.72	20	3	321.8	331.1	322.3
566.0	4924	1.4	-14.6	29	2.19	62	1	323.0	330.6	323.5
565.0	4938	1.3	-14.6	30	2.20	65	1	323.1	330.7	323.5
554.0	5096	0.0	-14.0	34	2.35	89	7	323.4	331.5	323.8
540.0	5300	0.2	-30.6	8	0.56	120	14	325.9	328.1	326.1
539.0	5315	0.2	-31.8	7	0.50	120	14	326.1	328.1	326.2
506.0	5816	-3.9	-25.8	16	0.93	130	18	327.1	330.5	327.3
500.0	5910	-4.7	-24.7	19	1.04	130	18	327.2	331.1	327.4
483.0	6172	-7.2	-25.7	21	0.98	140	16	327.4	331.1	327.6
456.0	6609	-11.3	-27.3	25	0.90	110	15	327.7	331.1	327.9
443.0	6825	-12.5	-26.5	30	1.00	95	14	328.9	332.6	329.1
427.0	7098	-13.7	-41.7	7	0.23	113	14	330.9	331.8	330.9
400.0	7620	25.0	-4.0	14	7.17	145	14	387.4	416.9	389.1
380.0	8018	2.3	-23.5	13	1.53	170	10	363.2	369.4	363.5
358.0	8482	-24.1	-46.1	11	0.17	193	5	334.0	334.7	334.0
351.0	8620	-24.8	-52.0	6	0.09	200	4	334.9	335.3	334.9
337.0	8906	-26.3	-64.3	2	0.02	180	8	336.8	336.9	336.8
330.0	9053	-26.9	-61.9	2	0.03	170	10	338.0	338.1	338.0
307.0	9551	-31.0	-59.2	5	0.04	135	16	339.3	339.5	339.3
300.0	9710	-32.3	-58.3	6	0.05	140	16	339.7	340.0	339.8
295.0	9827	-33.4				140	17	339.9		339.9
274.0	10340	-38.0				130	15	340.4		340.4
261.0	10678	-41.1				138	16	340.6		340.6
250.0	10970	-43.7				145	16	341.0		341.0
246.0	11078	-44.9				149	15	340.7		340.7
245.0	11104	-45.1				150	15	340.9		340.9
230.0	11518	-47.9				120	17	342.8		342.8
214.0	11990	-51.1				115	23	344.9		344.9
204.0	12303	-53.3				126	27	346.2		346.2
200.0	12430	-54.5				130	29	346.3		346.3
171.0	13413	-63.4				140	31	347.5		347.5