

# **Impactos da urbanização sobre os parâmetros climáticos, em duas áreas de Fortaleza, Ceará**

por

**Kety Vasconcelos Petalas**

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Curso de Mestrado em Engenharia Civil – área de concentração em Saneamento Ambiental, da Universidade Federal do Ceará/UFC, como exigência para a obtenção do título de Mestre

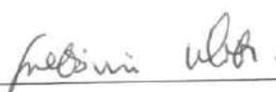
Fortaleza - 2000

Esta dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, área de Concentração em Saneamento Ambiental, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, em cuja Biblioteca Central encontra-se à disposição dos interessados.

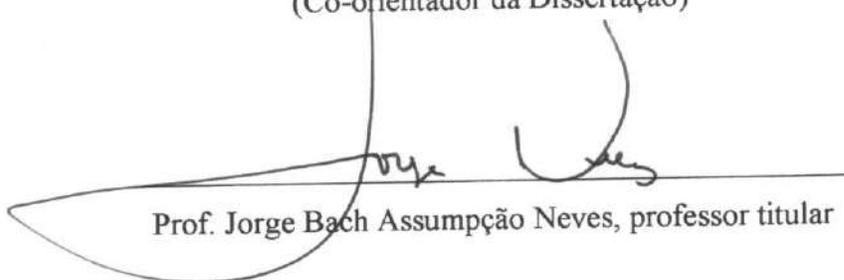
A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

  
Kety Vasconcelos Petalas

Dissertação aprovada em: 02/08/2000

  
Prof. Francisco Suetônio Bastos Mota, Dr.  
(Orientador da Dissertação)

  
Prof. Ricardo Figueiredo Bezerra, Dr.  
(Co-orientador da Dissertação)

  
Prof. Jorge Bach Assumpção Neves, professor titular

*Aos meus pais, Ioannis e Elizabeth, pelo amor, dedicação  
e por tudo que me ensinam a cada dia, principalmente, a  
ver e sentir a presença de Deus em tudo e em todos.*

# Agradecimentos

A Deus, criador de todas as coisas, fonte de toda ciência e conhecimento humano.

Ao professor Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota pela orientação, incentivo e dedicação em todas as etapas desse trabalho.

Ao professor Dr. Raimundo Oliveira de Souza pelo incentivo e apoio que sempre me dedicou.

Aos professores Dr. Ricardo Bezerra e Dr. Welliandre Alexandre pela dedicação, responsabilidade e atenção com que co-orientaram e supervisionaram as etapas finais desse estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa (FUNCAP) pelo apoio financeiro oferecido.

Aos professores do Curso de Pós-graduação em Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC), Dra. Regina Helena Vieira, Dra. Sandra Tédde, Dra. Ticiania Marinho Studart, Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro, Dr. Vicente Vieira, Dra. Carisia Carvalho e a todos os outros pelos incentivos recebidos.

Ao coordenador, professor Dr Horst Frischkorn, e à Secretaria do Curso de Pós-graduação, em especial, a Marisa Lopes Freire e Karine Gouveia Pontes pela dedicação, incentivo e atenção com que sempre se dispuseram a me ajudar.

Ao Secretário Geral da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), Godwin Obasi e ao Chefe da Divisão de Aplicações do Clima Mundial, Lars E. Olsson que atenciosamente enviaram-me bibliografias sobre o assunto.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, Estação Agroclimatológica da UFC, na pessoa do professor Raimundo Crisóstomo Jr., à FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), na pessoa do Dr. Roberto Sérgio Farias de Souza e ao Departamento de Aviação Civil (DAC – Fortaleza) do Aeroporto Internacional Pinto Martins, na pessoa do Chefe do DPVDT-26, Major – Av. Grossi, pela atenção com que atenderam a minha solicitação durante a fase de coleta de dados.

À Fátima e ao José Carlos da Secretaria de Desenvolvimento Urbano (SEDURB) e à Vera Feijão, Vera Braga e ao Carlos Maurício Matos Dourado do Instituto de Planejamento do Município (IPLAM) pela ajuda recebida durante a pesquisa de campo.

Agradeço também a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho: Neiliane Bezerra, Ada Soares, Telma Camboim, Altarina Souza, Eliete Oliveira, Marcos Malheiros, Umbelina Caldas Neta, professora Eliza, professor Jorge Neves, professor Paulo Cardoso, professor Amaurício Cortez, professora Zilsa Santiago, professora Ana Maria Souza, professor Jean Pierre, sargento Paulo Robério e a todos os meus amigos que, com carinho, me acompanharam durante todo o período de pesquisa.

A todos os professores que participaram e contribuíram na minha formação acadêmica e pessoal, em especial, aos professores Joaquim Aristides de Oliveira, Marcílio Luna (*in memorium*) e Dra. Teresinha Xavier que me iniciaram no estudo da climatologia das edificações e urbana.

Finalmente, quero expressar o meu mais profundo e sincero agradecimento aos meus pais, Ioannis e Elizabeth, e às minhas irmãs, Zoi e Ekaterini, pela compreensão, amizade, dedicação, incentivo e apoio em todos os momentos, principalmente, nos mais difíceis.

# Sumário

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| <i>Resumo</i>           | <i>xi</i>    |
| <i>Lista de Figuras</i> | <i>xiii</i>  |
| <i>Lista de Fotos</i>   | <i>xv</i>    |
| <i>Lista de Quadros</i> | <i>xv</i>    |
| <i>Lista de Tabelas</i> | <i>xvi</i>   |
| <i>Abreviações</i>      | <i>xviii</i> |

## Capítulo 1

### **Impacto ambiental da urbanização – Uma visão do problema**

- 1.1 Questões principais, 3**
  - 1.1.1 Introdução, 3
    - Alterações climáticas, 4*
  - 1.1.2 Tipos de impacto ambiental, 5
    - Classificação dos impactos, 5*
  - 1.1.3 Abordagens do problema, 8
  
- 1.2 Objetivos do estudo, 9**
  - 1.2.1 Objetivo principal, 9
  - 1.2.2 Objetivos específicos, 9
  
- 1.3 Definição de termos, 10**
  - 1.3.1 Urbanização, 10
  - 1.3.2 Espaço livre, 10
  - 1.3.3 Área verde, 10
  - 1.3.4 Cobertura vegetal, 11
  - 1.3.5 Densidade de construção, 11
  - 1.3.6 Clima urbano, 11
  - 1.3.7 Desenho urbano, 11
  - 1.3.8 Camada de Cobertura Urbana, 11
  
- 1.4 Delimitações do estudo, 12**
  - 1.4.1 Considerações sobre o clima de Fortaleza, 12
  - 1.4.2 Escalas de trabalho, 13
  - 1.4.3 Estações meteorológicas, 13
  - 1.4.4 Componentes do meio urbano, 14
  - 1.4.5 Estrutura do estudo, 14

## Capítulo 2

Impactos da urbanização – revisão  
bibliográfica

- 2.1 **Ecosistema urbano, 18**
- 2.2 **Impactos ambientais da urbanização e a importância das áreas verdes**
- 2.2.1 Considerações gerais, 21
- 2.2.2 Poluição atmosférica, 26
- 2.2.3 Poluição acústica, 31
- 2.2.4 Impactos da urbanização sobre o solo, 34  
*Considerações preliminares, 34*  
*Solo urbano, 37*  
*Importância das áreas verdes, 40*
- 2.2.5 Impactos da urbanização sobre as áreas verdes, 42
- 2.2.6 Impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, 50  
*Importância da água, 50*  
*A água dentro do contínuo solo-planta-atmosfera, 51*  
*Impactos no ciclo hidrológico, 53*  
*Importância das áreas verdes, 58*
- 2.3 **Impacto da urbanização sobre os parâmetros climáticos, 62**
- 2.3.1 Impactos nos parâmetros climáticos, 62  
*Estudos sobre o Clima Urbano em cidades brasileiras, 68*
- 2.3.2 Fatores condicionantes do clima, 70
- 2.3.3 Fatores globais, 73  
*Altitude e cadeias montanhosas, 73*  
*Massas de terra e água, 73*  
*Latitude, 74*  
*Circulação atmosférica, 75*  
*Radiação na atmosfera, 77*
- 2.3.4 Fatores dinâmicos e estáticos locais, 81  
*Radiação na superfície do solo, 81*  
*Radiação no meio urbano, 81*  
*Radiação em uma área verde, 84*  
*Radiação refletida, 86*  
*Radiação absorvida, 88*  
*Absorção da radiação em um espaço construído, 89*  
*Absorção da radiação em uma área verde, 90*  
*Absorção da radiação em corpos d'água, 91*  
*Radiação emitida pela superfície terrestre, 92*  
*Balço de radiação, 92*  
*Transferência de calor durante o dia – Temperatura máxima, 93*  
*Transferência de calor no espaço construído, 95*  
*Transferência de calor em uma área verde, 99*  
*Transferência de calor durante a noite – Temperatura mínima, 102*  
*Transferência de calor no espaço construído, 104*  
*Transferência de calor em uma área verde, 106*  
*Umidade atmosférica, 107*

*Capítulo 2 (cont.) Impactos da urbanização – revisão bibliográfica*

- Umidade no espaço construído, 109*
- Umidade do ar em uma área verde, 109*
- Nebulosidade e precipitação, 110*
- Precipitação no espaço construído, 113*
- Vento, 114*
- Ventilação no espaço construído, 115*
- Efeito das áreas verdes na ventilação, 121*
- Efeito do relevo no clima, 123*
- 2.3.5 *Conforto térmico, 125*
  - Efeito da vegetação no conforto térmico, 131*
  - Efeito mecânico do vento sobre o conforto humano, 132*
- 2.3.6 *Conclusão, 133*

**Capítulo 3****Fortaleza: caracterização climática e evolução urbana**

- 3.1 Caracterização do meio físico, 136**
  - 3.1.1 *Aspectos naturais, 136*
    - Localização, 136*
    - Fatores dinâmicos, 137*
    - Fatores estáticos, 139*
  - 3.1.2 *Características do ambiente construído, 141*
- 3.2 Perspectiva histórica da evolução urbana da cidade de Fortaleza, 152**
- 3.3 Aspectos gerais dos impactos em Fortaleza, 155**
- 3.4 Conclusão, 157**

**Capítulo 4****O desenho do estudo**

- 4.1 Metodologia de pesquisa, 160**
  - 4.1.1 *Embasamento teórico, 160*
  - 4.1.2 *Escolha do projeto de pesquisa, 162*
  - 4.1.3 *Formulação de hipóteses, 164*
- 4.2 Coleta de dados, 167**
  - 4.2.1 *Dados climáticos, 167*
    - Elementos meteorológicos utilizados, 168*
    - Dados calculados, 170*
  - 4.2.2 *Dados urbanos, 172*
  - 4.2.3 *Viés, 173*
- 4.3 Áreas de estudo, 174**
  - 4.3.1 *Localização e delimitação, 174*

*Capítulo 4 (cont.) O desenho do estudo*

- 4.4 Metodologia de análise dos dados, 176**
  - 4.4.1 Análise dos dados urbanos, 176
  - 4.4.2 Seleção da técnica estatística, 177

**Capítulo 5****Resultados e discussão**

- 5.1 Caracterização das áreas de estudo e teste da hipótese H.1**
  - 5.1.1 Caracterização INEMET- UFC, Área I, 181
  - 5.1.2 Caracterização FUNCEME, Área II, 182
  - 5.1.3 Teste da hipótese H.1, 191
- 5.2 Análise dos resultados e teste das hipóteses H.2 e H.3, 191**
  - 5.2.1 Correlações existentes entre as variáveis climáticas, 192
  - 5.2.2 Natureza do relacionamento entre as variáveis, 197
  - 5.2.3 Sazonalidade das variáveis climáticas, 201
  - 5.2.4 Procedimento para o Teste das Hipóteses H.2 e H.3, 210
  - 5.2.5 Natureza das alterações climáticas apresentadas, 213
- 5.3 Comportamento climático nas áreas de estudo, 217**
  - 5.3.1 Comportamento climático da Área I, INEMET-UFC, 217
  - 5.3.2 Comportamento climático da Área II, FUNCEME, 218

**Capítulo 6****Conclusão e recomendações**

- 6.1 Síntese dos principais resultados obtidos, 223**
  - 6.1.1 Relacionamento entre as variáveis climáticas, 223
  - 6.1.2 Comportamento climático das duas áreas de estudo, 223
    - Sazonalidade, 223*
    - Alterações climáticas, 224*
  - 6.1.3 Aspectos relevantes para o conforto térmico, 225
- 6.2 Recomendações, 226**
- 6.3 Sugestões para trabalhos posteriores, 226**
- 6.4 Limitações do estudo, 227**
- 6.5 Conclusão final, 227**
- Bibliografia, 229***

*Anexos*

- Anexo A: Caracterização climática de Fortaleza, 240*  
*Anexo B: Perspectiva histórica da evolução urbana de Fortaleza, 242*  
*Anexo C: Teste de hipóteses, 255*

## Resumo

A expansão urbana tem sido um dos principais responsáveis pelas alterações no meio ambiente, atingindo não só o meio físico como também o biótico e o antrópico. As modificações provocadas nas características do solo se manifestam na atmosfera, no ciclo hidrológico e na vida dos seres vivos, podendo limitar o desenvolvimento humano. Este estudo busca verificar o efeito da urbanização nos parâmetros climáticos dentro da Camada de Cobertura Urbana em duas áreas da cidade de Fortaleza, estado do Ceará, Brasil. Também procura descrever os impactos provocados pela urbanização como um todo, a fim de explicar como o homem interfere no seu meio. Antecedendo a identificação das alterações climáticas em Fortaleza, descreve-se, sumariamente, sua evolução urbana e caracteriza-a climaticamente. No desenho do estudo, apresentam-se as hipóteses levantadas com base no conhecimento teórico, com o objetivo principal de: verificar o efeito da urbanização nos parâmetros climáticos das estações da FUNCEME e do INEMET-UFC. Para tanto, é utilizado o Teste do Sinal (Cox-Stuart, não paramétrico) e a técnica de observação visual da área em torno de cada estação. Na análise dos resultados verifica-se que a FUNCEME (área mais urbanizada) apresenta um maior número de alterações que o INEMET-UFC (área menos urbanizada), confirmando as hipóteses levantadas. Todavia, não se pode afirmar que tais alterações estejam ocorrendo, *exclusivamente*, devido à urbanização.

# Abstract

The urban expansion has been one of the principal causes of the environmental changes, involving not only the physical environment, but the biotic and anthropic ones too. The changes occurring in the soil characteristics arise up to the atmosphere, in the hydrologic cycle and in the life of organisms, influencing human development. This study aims at verifying the effects of urbanization on the climatic parameters inside the Urban Canopy Layer over two areas of the city of Fortaleza, in the state of Ceará, Brazil. It also describes the impacts provoked by the urbanization as a whole, in order to explain how men interfere in their environment. Prior to identifying the climatic changes in Fortaleza, we briefly describe the city's urban evolution and its climatic characteristics. In the planning of the study, three hypotheses are formulated in accordance with the theoretical knowledge, with the principal objective of: verifying the urbanization effect on the climatic parameters of the FUNCEME and INEMET-UFC meteorological stations. For this, the Test of Sign (Cox-Stuart, non parametric) is used and the visual observation of the area around each station. In the analysis of the results, we find out that the FUNCEME area (more urbanized) presents more changes than that of the INEMET-UFC (less urbanized), corroborating the influence of urbanization. Nevertheless, one can not be affirm that these changes are happening *exclusively* due to urbanization.

# Figuras

- Capítulo 1**
- 1.1 Impacto ambiental no sistema natural e antrópico, 6
  - 1.2 Reação em cadeia, gerada pelo desmatamento, 7
  - 1.3 Divisão do meio urbano, 15
- Capítulo 2**
- 2.1 Ecossistema urbano, 20
  - 2.2 Impacto provocado pela construção de uma casa, 22
  - 2.3 Formação de inversão térmica em um *canyon* urbano, 27
  - 2.4 Faixa de proteção, 31
  - 2.5 Disposição de um cinturão verde, 31
  - 2.6 Ciclagem de nutrientes, 35
  - 2.7 O ciclo hidrológico, 51
  - 2.8 Esquema do movimento da água do solo para a atmosfera, através da planta, 53
  - 2.9 Comparação entre bacias hidrográficas, 57
  - 2.10 Características do balanço hídrico numa bacia urbana, 58
  - 2.11 Caminhos percorridos pela água, 59
  - 2.12 Esquema das principais modificações do Clima Urbano, 63
  - 2.13 Fatores condicionantes do clima, 72
  - 2.14 Movimento de translação da Terra, 74
  - 2.15 Diagrama dos ventos no Globo Terrestre, 77
  - 2.16 Diagrama de obstrução e fator de céu visível  $\psi$  para diferentes perfis de ruas, 82
  - 2.17 Distribuição espacial dos fluxos de radiação de acordo com a razão entre a altura dos edifícios e o espaçamento entre eles, 82
  - 2.18 Atenuação da radiação solar por uma árvore, 86
  - 2.19 Troca de calor, 94
  - 2.20 Perfil vertical da velocidade do vento, 116

|                                     |      |  |
|-------------------------------------|------|--|
| <b>Capítulo 2</b><br><i>(cont.)</i> | 2.21 | Efeito da 'sombra de vento' em fileiras paralelas, 119                         |
|                                     | 2.22 | Efeito do vento nas unidades dispostas em zigue-zague, 120                     |
|                                     | 2.23 | Fluxo turbulento do ar, 121  |
|                                     | 2.24 | Efeitos básicos da barreira vegetal, 122                                       |
|                                     | 2.25 | Troca de calor entre o homem e o meio, 126                                     |
| <b>Capítulo 3</b>                   | 3.1  | Localização de Fortaleza, 137  |
|                                     | 3.2  | Regiões administrativas, 141   |
|                                     | 3.3  | Densidade demográfica, 142   |
|                                     | 3.4  | Zoneamento – Lei nº 5.122 – A / 79, 148  |
|                                     | 3.5  | Evolução urbana, 149   |
|                                     | 3.6  | Área verde de Fortaleza, 1995, 150   |
| <b>Capítulo 4</b>                   | 4.1  | Estrutura lógica da pesquisa quantitativa, 163                                 |
|                                     | 4.2  | Representação gráfica das hipóteses principais, 165                            |
|                                     | 4.3  | Representação gráfica das hipóteses secundárias, 166                           |
|                                     | 4.4  | Localização das estações meteorológicas e delimitação das áreas de estudo, 175 |
| <b>Capítulo 5</b>                   | 5.1  | Zoneamento Lei nº 5.122 – A / 79, 184  |
|                                     | 5.2  | Evolução urbana, 185   |
|                                     | 5.3  | Área verde, 1995, 186  |
|                                     | 5.4  | Densidade populacional, 187  |
|                                     | 5.5  | Correlação linear para as variáveis do INEMET-UFC, 194                         |
|                                     | 5.6  | Correlação linear para as variáveis da FUNCEME, 195                            |
|                                     | 5.7  | Seqüência de processos climáticos, 202   |
|                                     | 5.8  | Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação da FUNCEME, 203               |
|                                     | 5.9  | Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação INEMET-UFC, 207               |

## Fotos

- Capítulo 3** 3.1 Fotografia aérea de Fortaleza, 1995, *151*
- Capítulo 5** 5.1 Área I, Estação INEMET-UFC, *189*  
5.2 Área II, Estação FUNCEME, *190*

## Quadros

- Capítulo 1** 1.1 Classificação dos impactos, *6*
- Capítulo 2** 2.1 Evolução da vegetação na paisagem urbana, *43*  
2.2 Percentagem da água interceptada pela vegetação, *52*  
2.3 Escalas especiais de trabalho do estudo do clima, *71*  
2.4 Condução em solos de diferente textura e teor de umidade, *89*  
2.5 Respostas fisiológicas e sensoriais, *127*

# Tabelas

- Capítulo 2**
- 2.1 Impactos da urbanização nos parâmetros sócio-econômicos e culturais, 23
  - 2.2 Tipos e fontes de poluentes atmosféricos, 27
  - 2.3 Impactos da poluição atmosférica nos centros urbanos, 28
  - 2.4 Sons mais comuns às atividades humanas, 32
  - 2.5 Causas e conseqüências da poluição sonora no meio urbano, 33
  - 2.6 Impactos da urbanização na topografia, 38
  - 2.7 Impactos da urbanização na geologia, 39
  - 2.8 Influência da vegetação nas características do solo, 41
  - 2.9 Fatores ambientais que influenciam as plantas, 45
  - 2.10 Efeitos danosos provocados nas plantas devido às alterações ocorridas nos fatores ambientais, 46
  - 2.11 Impactos provocados pela urbanização nas áreas verdes, 48
  - 2.12 Impactos provocados pela urbanização no ciclo hidrológico, 54
  - 2.13 Comparação dos parâmetros climáticos entre os meios urbano e rural, 64
  - 2.14 Impactos da urbanização nos parâmetros climáticos, 64
  - 2.15 Estudos sobre o clima urbano de cidades brasileiras, 69
  - 2.16 Espectro solar, 79
  - 2.17 Propriedades óticas médias das folhas, 85
  - 2.18 Albedo de algumas superfícies, na porção visível do espectro solar, 87
  - 2.19 Tempo de retardamento de paredes homogêneas, 97
  - 2.20 Sensações térmicas, 130
  - 2.21 Escala de Beaufort, 133

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Capítulo 3</b> | 3.1 Normais climatológicas, <i>138</i>   |
|                   | 3.2 Iluminação solar em uma superfície perpendicular aos raios do sol (lux) para a latitude de 4° S, <i>138</i>                          |
|                   | 3.3 Crescimento e densidade demográfica – 1970, 1980, 1991, 1996 e 2000, <i>145</i>  |
| <b>Capítulo 4</b> | 4.1 Relação entre as variáveis climáticas e estas com a urbanização, <i>161</i>  |
|                   | 4.2 Dados climáticos coletados no INEMET-UFC e na FUNCEME, <i>168</i>  |
|                   | 4.3 Modalidade de observação, <i>177</i>   |
| <b>Capítulo 5</b> | 5.1 Comparação entre as áreas das estações INEMET-UFC e FUNCEME, <i>191</i>  |
|                   | 5.2 Coeficientes de correlação entre as variáveis climáticas e estatística do teste para as estações da FUNCEME e INEMET-UFC, <i>193</i> |
|                   | 5.3 Resultado do teste para sazonalidade, <i>203</i>   |
|                   | 5.4 Tendência das variáveis climáticas para as estações da FUNCEME e INEMET-UFC, <i>211</i>  |

# Abreviações

|            |  |
|------------|--|
| BNH        | Banco Nacional de Habitação  |
| FUNCEME    | Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos                |
| INEMET     | Instituto de Meteorologia da Universidade Federal do Ceará           |
| N          | Norte  |
| OMM        | Organização Mundial de Meteorologia                                  |
| OMS        | Organização Mundial de Saúde   |
| PLAMEG/FOR | Plano de Metas Governamentais para Fortaleza                         |
| RA         | Região Administrativa  |
| S          | Sul  |
| SERFHAU    | Serviço Federal de Habitação e Urbanismo                             |
| SUPLAM     | Superintendência de Planejamento do Município                        |
| UFC        | Universidade Federal do Ceará  |
| UNESCO     | Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura |

## Capítulo 1

# Impacto ambiental da urbanização – Uma visão do problema

Com o avanço da civilização, o homem parece ter perdido a sensibilidade para com o ambiente em que vive, tornando as cidades um símbolo ou um subproduto desta falta de preocupação. O crescimento dos centros urbanos trouxe consigo problemas que afligem não só o ambiente físico e econômico, mas também a saúde física, emocional e mental dos habitantes.

Isto fez com que o homem começasse a sentir as conseqüências da sua intervenção na biosfera. No entanto, recentemente, nota-se que ele vem buscando melhorar a sua qualidade de vida urbana.

Visando solucionar esse problema, ele procura elaborar um modelo urbano que melhor se adapte às necessidades impostas pela população e economia. Também passa a ver as cidades como indivíduos distintos, onde a estrutura urbana deve responder às características social, cultural, econômica, ambiental e tecnológica

locais. Com o objetivo de organizar as relações existentes nos centros urbanos, faz uso das instituições políticas, como instrumentos reguladores e cumpridores de normas e leis.

No entanto, para isso, é necessário compreender o ambiente em que vive, tomar consciência da sua intervenção. Com esta finalidade, procura-se mostrar, através do estudo dos impactos ambientais provocados pela urbanização no meio físico urbano, as causas e conseqüências de muitas das situações, atualmente, encontradas nas cidades.

O objetivo principal desse estudo é verificar os impactos ambientais provocados pela urbanização, destacando-se, dentre eles, as alterações climáticas; embora também sejam comentados os impactos provocados nas condições atmosféricas e acústicas, no solo, na cobertura vegetal e no ciclo hidrológico. A urbanização também afeta a vida dos animais silvestres presentes nas cidades, entretanto este aspecto não será abordado.

Com a intenção de proporcionar uma melhor compreensão das alterações climáticas, procura-se descrever os processos climáticos em um ambiente natural e em um construído, permitindo que se saiba como o clima se comporta antes e após a intervenção do homem.

Sabe-se que o processo acelerado de desenvolvimento, muitas vezes, leva em consideração somente os interesses particulares e não permite que se considere a capacidade de recuperação do sistema. De acordo com os fatos históricos, a cidade de Fortaleza não é uma exceção a isso. Desde a década de 80, ela vem sofrendo um acelerado processo de verticalização, impulsionado pela especulação imobiliária, podendo trazer graves conseqüências ao clima local.

Visto que ainda encontram-se vazios urbanos dentro da cidade e que apesar do território de Fortaleza estar, praticamente, todo loteado, ele não está, totalmente, ocupado, podendo-se dizer que, este, ainda é um momento oportuno, para que decisões sejam tomadas em favor da qualidade de vida urbana desta cidade.

Modificar o que já está construído, muitas vezes, é algo economicamente inviável, mas preservar, proteger ou recuperar o que ainda não foi modificado é um dever, não só do poder público, mas também da população.

## 1.1 Questões principais

### 1.1.1 Introdução

O crescimento acelerado das cidades vem chamando a atenção para os problemas gerados pelas atividades humanas, que, juntamente, com a falta de mecanismos eficientes de controle, provocam diversos impactos ambientais. Tais impactos, normalmente, não se restringem a um determinado lugar, pois seus reflexos podem ter alcance regional e até mesmo global.

Dentre os principais impactos provocados pela urbanização, tem-se as alterações climáticas, as mudanças no ciclo hidrológico, o desmatamento, a erosão e, sobretudo, a poluição ambiental (visual, acústica, atmosférica, hídrica e do solo). Tal situação se reflete de maneira direta na qualidade de vida da população, trazendo, como consequência, o desequilíbrio social e econômico.

Foi dentro deste contexto que surgiu a necessidade de se relacionar o planejamento urbano com a qualidade ambiental, visando garantir o desenvolvimento sustentável. Isto é, o planejador dispõe, frente a frente, as três prioridades do planejamento: a preservação ambiental, o desenvolvimento econômico e a equidade social, as quais, em decorrência da sua utilização, geram conflitos.

Segundo Campbell (1996), a presença destes conflitos revela a divergência dos interesses e a fragmentação da prática profissional, ou seja, a distância existente entre a teoria e a prática. Os conflitos partem do desentendimento entre as linguagens ambientais, econômicas e políticas, as quais são tratadas como

disciplinas isoladas. No entanto, é, exatamente, nestes conflitos, onde estão as oportunidades de desenvolvimento, fundamentadas na interdisciplinariedade.

Portanto, a sustentabilidade de uma cidade depende da maneira como se concilia o desenvolvimento econômico, a equidade social e a proteção ambiental. Para tanto, se faz necessário assegurar, dentro de uma esfera global, os recursos naturais necessários ao bem estar das atuais e futuras gerações, assegurando, ainda, a sobrevivência das empresas e dos países dentro da competitividade dos mercados. Isto pode ser traduzido pelo pensamento de Silverstein (1993): 'Ecologicamente ou economicamente, aquilo que não se modifica e evolui, morre'.

### *Alterações climáticas*

Obasi (1997) atribui à urbanização e à arquitetura imprópria ao clima, a responsabilidade pelo aumento da poluição e da quantidade de calor emitido nos centros urbanos; provocando diversos impactos ambientais e afetando os recursos hídricos, a saúde, o conforto térmico e a economia da população.

De acordo com estudos realizados por diversos autores, as alterações climáticas observadas e produzidas pelas cidades consistem no (a):

- aumento da precipitação,
- redução da umidade relativa,
- decréscimo da velocidade do vento,
- aumento da nebulosidade local,
- redução da radiação,
- aumento da temperatura e
- aumento do albedo (poder refletor das superfícies).

Tudo isto ocorre quando, dentro do processo de urbanização, o homem, buscando satisfazer suas necessidades biológicas e culturais, nem sempre considera os aspectos básicos da natureza local. Somente um completo entendimento do clima e das características inerentes a cada cidade, poderá garantir a segurança das

mesmas, favorecer a atividade econômica e assegurar um aumento no conforto do homem urbano.

Caso contrário, como as cidades são responsáveis por diversas alterações ambientais, elas podem se tornar um fator limitante ao próprio desenvolvimento.

### **1.1.2 Tipos de impacto ambiental**

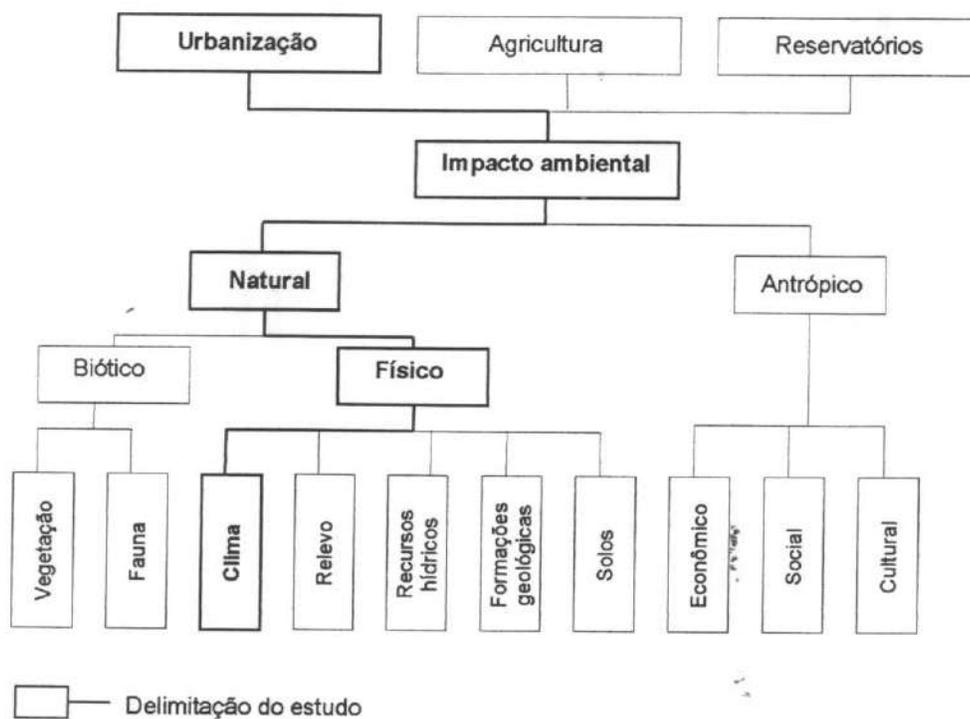
Os impactos ambientais não se restringem somente aos provocados pela urbanização propriamente dita. Na verdade, eles são gerados em decorrência da ação humana durante a execução das suas atividades. Assim, envolve, entre outras, a agricultura, a pecuária, a extração de madeira, a mineração e a construção de hidrelétricas e reservatórios. Todas essas atividades são capazes de produzir impactos no sistema natural e antrópico (veja Figura 1.1).

Como consequência de uma determinada ação, tem-se uma cadeia de efeitos, os quais representam impactos indiretos. A Figura 1.2 exemplifica, resumidamente, o que acontece a partir do desmatamento de uma área.

#### ***Classificação dos impactos***

Em todo impacto existe uma forte relação, não só com a atividade em si, mas, com a maneira como é feita a intervenção. Assim sendo, é possível classificar os impactos de acordo com o Quadro 1.1.

Figura 1.1 – Impacto ambiental no sistema natural e antrópico

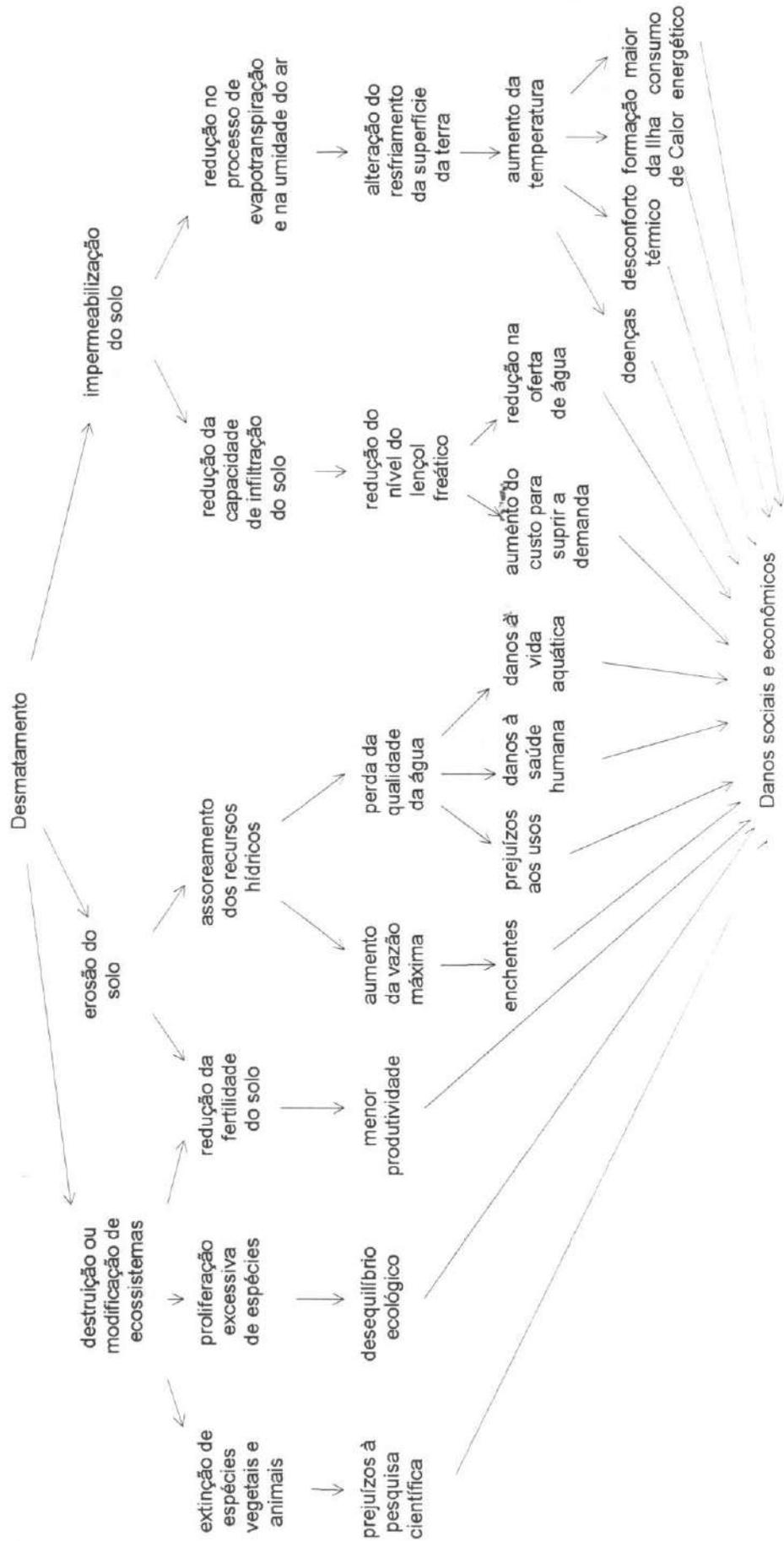


Fonte: Mota, 1999.

Quadro 1.1 – Classificação dos impactos

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Tipo</b>            | Positivo<br>Negativo                      |
| <b>Modo</b>            | Direto<br>Indireto                        |
| <b>Intensidade</b>     | Pequena<br>Média<br>Grande                |
| <b>Duração</b>         | Temporário<br>Permanente<br>Cíclico       |
| <b>Alcance</b>         | Local<br>Regional<br>Global               |
| <b>Efeito</b>          | Curto prazo<br>Médio prazo<br>Longo prazo |
| <b>Reversibilidade</b> | Reversível<br>Irreversível                |

Figura 1.2 – Reação em cadeia, gerada pelo desmatamento



Portanto, os processos que ocorrem na atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera não se superpõem uns aos outros, mas interagem em um fluxo contínuo de matéria e energia, onde, modificações em um deles se manifestam nos demais que, freqüentemente, retornam reagindo a elas (Ayoade, 1991).

Dessa forma, os impactos ambientais nada mais são que uma reação à ação humana. No entanto, o conhecimento das alterações e das suas intensidades, permite ao homem agir sobre elas, controlando ou evitando os efeitos indesejáveis, ou, dependendo da reversibilidade das mesmas, fazendo com que sejam corrigidas.

### 1.1.3 Abordagens do problema

Com relação ao desenho urbano e à arquitetura, as civilizações antigas procuravam observar a ação da diversidade das forças naturais. Faziam com que o ambiente natural funcionasse como um constante laboratório, mesmo que os condicionantes de ordem principal fossem a agricultura, a política, o comércio, as estratégias militares e o transporte. Nesse período, já se tinha consciência da influência da urbanização na temperatura e na diminuição da visibilidade.

A partir da industrialização, a urbanização se intensificou e, com ela, os problemas, criando-se a necessidade de se entender as modificações ocorridas dentro da estrutura física da cidade.

Atualmente, o desenho urbano, mesmo fazendo uso de métodos sofisticados de coleta de dados, parece não apresentar profunda compreensão do espaço que o circunda. Distancia-se do seu objetivo primário, que é o de promover um ambiente agradável e protegido para seus habitantes, levando em consideração a saúde, o bem-estar, a vida social e a produtividade dos mesmos (Ayoade, 1991; Golany, 1996; Jean e Guyot, 1983; Olgyay, 1992; Romero, 1988 e Spirn, 1995).

No Brasil, o crescimento acelerado e desorganizado de algumas cidades tem provocado significativas alterações no clima. Estudos realizados em cidades de pequeno e grande porte mostram que as alterações climáticas estão mais

relacionadas com o efeito da densidade das construções que, propriamente, com o tamanho da cidade.

## **1.2 Objetivos do estudo**

### **1.2.1 Objetivo principal**

Verificar o efeito da urbanização nos parâmetros climáticos dentro da Camada de Cobertura Urbana nas áreas das estações: INEMET – UFC e FUNCEME, em Fortaleza, Ceará, Brasil.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Fazer uma caracterização climática para a cidade de Fortaleza, com base nas normais climatológicas da Estação Agroclimatológica da UFC (INEMET – UFC).
- Analisar o comportamento climático sazonal e interanual ao longo do tempo.
- Identificar possíveis alterações climáticas.
- Analisar a influência da urbanização nos parâmetros climáticos.
- Verificar o relacionamento entre as variáveis climáticas.

### 1.3 Definição de termos

#### 1.3.1 Urbanização

Define-se urbanização como o processo de mudança do uso e ocupação do solo, resultando na conversão de terras rurais em urbanas, suburbanas e comunidades industriais. Neste conceito, a concentração de pessoas e o processo de ocupação do solo possuem uma estreita relação com o desenvolvimento econômico (Savini e Kammerer, 1961; Davis, 1965 *apud* Lazaro, 1990).

Entretanto, nesse estudo, o significado do termo urbanização delimita-se, basicamente, ao processo de ocupação da superfície do solo com sua respectiva transformação, não englobando os aspectos sócio-econômicos e os relacionados com a infra-estrutura urbana.

#### 1.3.2 Espaço livre

Espaço livre é todo espaço que, dentro das áreas urbanas, está livre de edificações. Nesta definição incluem-se: as praças, os parques urbanos e os jardins públicos e privados, bem como as superfícies pavimentadas, tais como ruas, calçadas, estacionamentos, entre outros.

#### 1.3.3 Área verde

Entende-se por área verde como o local onde há o predomínio de vegetação, englobando as praças, os jardins públicos e privados, os parques urbanos, os canteiros centrais de avenidas e as árvores que acompanham as vias públicas, mesmo que as calçadas apresentem-se impermeabilizadas.

#### **1.3.4 Cobertura vegetal**

Define-se cobertura vegetal como o local onde encontra-se, predominantemente, arbustos e / ou vegetação rasteira. Estes, juntamente com a vegetação de médio e grande porte, compõem a área verde de uma cidade.

#### **1.3.5 Densidade de construção**

É o quociente entre a área parcial de todos os pavimentos das edificações e a área total do município. Neste conceito, também devem ser observados as diferentes formas, texturas, disposições e volumes dos edifícios. A densidade também pode ser classificada, qualitativamente, como: compacta, dispersa ou agrupada.

#### **1.3.6 Clima urbano**

Define-se clima urbano como o clima local que é modificado pelo meio físico urbano, dentro do processo de urbanização de um dado espaço terrestre (Lombardo, 1985 e Lowry, 1988 *apud* Assis, 1990).

#### **1.3.7 Desenho urbano**

É o traçado que revela a intenção de um projeto humano, dentro de uma escala espacial e temporal, buscando uma interação entre o homem e o seu meio e a conciliação de interesses múltiplos (Goodey, 1979 *apud* Del Rio, 1990 *apud* Santana, 1997).

#### **1.3.8 Camada de Cobertura Urbana**

É o espaço climático onde se verifica o efeito do meio urbano sobre o clima local. Corresponde à distância entre a altura média das edificações e a superfície do solo. Ela exerce influência na camada superior, mesoclima, devido ao fluxo turbulento do ar gerado pela rugosidade da superfície e ao aquecimento da mesma.

## 1.4 Delimitações do estudo

### 1.4.1 Considerações sobre o clima de Fortaleza

Fortaleza é a quinta capital do país, seu território não se encontra totalmente ocupado e possui atrativos que impulsionam uma imigração por parte da população do Ceará e de outros estados, o que, juntamente com a taxa de natalidade, vem proporcionando um acelerado processo de crescimento urbano.

O fato das suas características físicas naturais não se constituírem em um obstáculo ao clima, faz com que se acredite que as alterações climáticas, percebidas mediante a sensação térmica, sejam decorrentes do processo de urbanização. Pois, até algum tempo atrás, a cidade era conhecida pelo seu clima agradável e, atualmente, há muitas queixas por parte da população.

A cidade situa-se em uma zona intertropical, com clima quente e úmido, onde as condições de conforto térmico estão no seu limite e podem ser consideradas estressantes. Por isso, pequenas alterações já são significativas, no que se refere ao conforto térmico.

Na região nordeste do Brasil, há uma carência de estudos sobre o clima. Em Fortaleza, alguns estudos identificam uma queda na velocidade do vento, umidade e evaporação, cuja causa é atribuída à intensificação do processo de verticalização. Também revelam que existem diferenças no comportamento climático quando se muda o uso e / ou a ocupação do solo.

Estudos dessa natureza fornecem respostas às intervenções, sejam públicas ou privadas, do homem, no meio urbano. Funcionam como subsídio para o desenvolvimento de novas diretrizes e são capazes de expressar a organização e o controle do homem sobre o seu próprio ambiente, ao longo da história.

Infelizmente, na sua grande maioria, o processo de ocupação do solo revela o desrespeito para com a natureza e a sociedade; onde o espaço privado se sobrepõe

ao público, e os elementos artificiais aos naturais. Provavelmente, em função da própria cultura, ou pelo desconhecimento dos efeitos que poderiam ser alcançados com uma associação entre o homem, a natureza e seus semelhantes.

#### 1.4.2 Escalas de trabalho

O clima pode ser estudado em vários níveis, onde cada um sofre a influência de diferentes tipos de fatores. O nível escolhido define o espaço climático que será analisado e a escala a ser adotada. A sua escolha depende, basicamente, dos fatores que se deseja analisar e dos meios utilizados para a observação. A partir de então, define-se, de acordo com o espaço climático, a unidade de superfície e a escala cartográfica na qual os dados serão tratados.

Aqui, procura-se ver a influência da urbanização sobre o clima, considerando as modificações ocorridas na superfície do solo, como por exemplo, pavimentação, desmatamento, verticalização e proximidade de corpos d'água; portanto, a escala utilizada é, basicamente, a topoclimática, ou Camada de Cobertura Urbana.

#### 1.4.3 Estações meteorológicas

Fortaleza possui quatro estações meteorológicas:

- Estação Agroclimatológica da UFC (INEMET-UFC),
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME),
- Aeroporto Internacional Pinto Martins e
- Estação Rádio-Sonda, Castelão – Fortaleza.

Entretanto, devido a limitações encontradas na coleta dos dados, só são utilizadas, nesse estudo, as estações:

- Estação Agroclimatológica da UFC (INEMET – UFC),
- Estação da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

#### 1.4.4 Componentes do meio urbano

O meio urbano é constituído pelo sistema natural, com seus aspectos físico-territoriais, e pelo meio antrópico, formado pelo homem e suas atividades (veja Figura 1.3). Dentro deste contexto, pretende-se estudar a relação entre dois dos componentes do meio urbano: o clima e o crescimento da mancha urbana.

Com base na integração desses elementos, torna-se possível desenvolver um planejamento integrado, considerando-se os problemas sociais, econômicos, físico-territoriais e administrativos. Tal planejamento ainda deve observar as oportunidades e restrições impostas a um determinado uso humano.

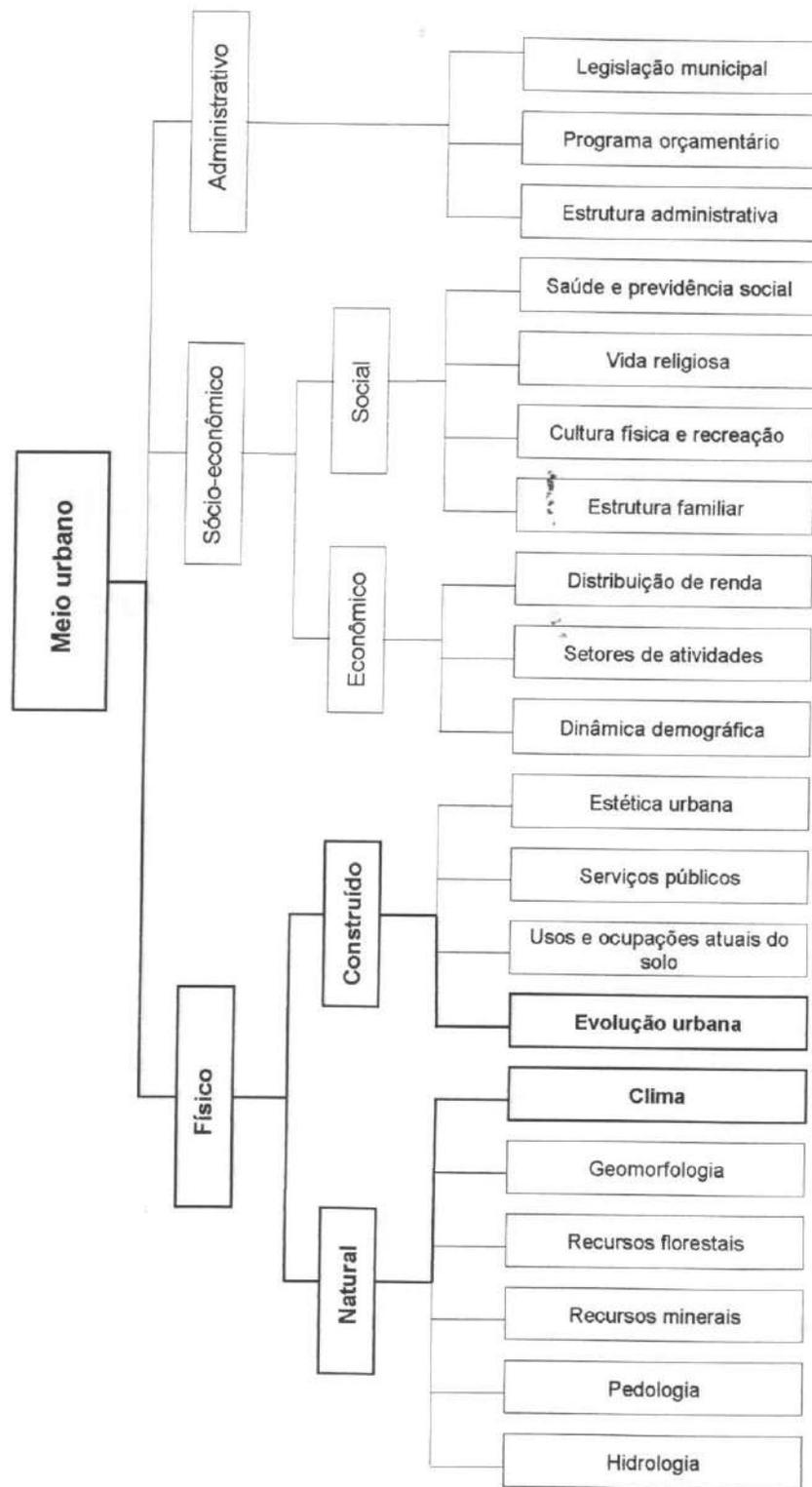
#### 1.4.5 Estrutura do estudo

Esse estudo está estruturado em seis capítulos. No primeiro, faz-se uma introdução, apresentando-se o tema, a sua importância, o estágio em que se encontra a teoria, a sua delimitação e os objetivos do estudo. Em seguida, a revisão da literatura, buscando o entendimento com o tema, o contato com as publicações feitas a esse respeito e o embasamento teórico para a análise dos resultados.

No terceiro capítulo caracteriza-se a cidade de Fortaleza. Em seguida, apresenta-se a metodologia de pesquisa e de análise utilizada para se alcançar os objetivos propostos no primeiro capítulo, os quais são vinculados à formulação de hipóteses. Os resultados encontrados são expostos no quinto capítulo, onde são testadas e discutidas as hipóteses levantadas.

Por fim, tem-se a conclusão, onde mostram-se os resultados mais relevantes e apresentam-se as principais dificuldades encontradas. No capítulo seguinte, dá-se seqüência ao estudo, apresentando-se a revisão bibliográfica, na qual se busca relacionar a urbanização com os impactos provocados nas componentes físicas naturais urbanas, destacando, em cada uma, o valor das áreas verdes no melhoramento das condições físicas dos centros urbanos.

Figura 1.3 – Divisão do meio urbano



Fonte: Ferrari, 1991.

Delimitação do estudo



## Capítulo 2

### Impactos da urbanização – revisão bibliográfica

**N**a história da Criação, narrada pela Sagrada Escritura, Deus criou o homem e a mulher à sua imagem e os abençoou dizendo:

‘Frutificai, disse ele, e multiplicai-vos, enchei a terra e submetei-a. Dominai sobre os peixes do mar, sobre as aves dos céus e sobre todos os animais que se arrastam sobre a terra.’ (Gen. 1, 28).

O homem, contudo, no seu processo de desenvolvimento, ao longo da história, confundiu dominar e reinar com destruir, provocando mudanças radicais no meio natural e constituindo novos ambientes com complexas interações entre os grupos humanos, seus trabalhos e a natureza.

A humanidade passou a utilizar e modificar a natureza, sem observar os princípios que a regem. Dessa forma, foi transformando a paisagem natural, com suas características físicas e biológicas, em paisagens artificiais, atribuindo funções de

acordo com os fatos históricos, culturais, inovações tecnológicas, necessidades sociais, econômicas e físicas.

No presente momento, ele é capaz de sentir e entender que a evolução da humanidade não precisa agredir a natureza e que há uma necessidade de se fazer uso dela, dos benefícios que oferece, dentro de um método que respeite e proteja os processos que regem os sistemas naturais.

Também observa que as conseqüências dos impactos em um elemento do meio físico natural se interrelacionam com os demais, incluindo com o meio social e econômico. Caso o conhecimento tecnológico e a implantação de tributos fossem considerados como imposição às limitações de uso ou danos causados, estas dimensões também estariam envolvidos.

Assim, teria-se os elementos geoambientais, sócio-econômicos, científico-tecnológicos e político-institucionais como alicerces dentro de um processo de interação dinâmica e sistêmica. Segundo o Projeto Áridas (1995), 'são as sinergias geradas nesta integração que potencializam as forças propulsoras do desenvolvimento e conferem dinamismo e sustentabilidade global'.

A capacidade do ambiente de assimilar os impactos provocados pela urbanização e industrialização é cada vez mais deficiente, enquanto o consumo dos recursos naturais é cada vez maior. No entanto, os efeitos destrutivos causados não desequilibram somente os ecossistemas das reservas naturais locais, mas o meio ambiente do planeta.

Foi neste cenário que o desenvolvimento passou a ser entendido como um processo global, envolvendo o ambiente, a economia, a sociedade e a política. Levantou-se, então, a questão da 'necessidade de se encontrar um equilíbrio entre o desenvolvimento sócio-econômico e a proteção e conservação do meio ambiente' (Setti, 1996). Isto é, do desenvolvimento sustentável, que significa o uso racional dos recursos naturais locais para que estes não prejudiquem os globais.

Como é na dimensão geoambiental que se concentram as áreas de conservação da natureza e proteção ambiental, e o ordenamento do espaço regional, as cidades passam a ser compreendidas dentro de uma visão ecossistêmica, onde as demais dimensões também são consideradas. Adota-se, então, como pressuposto básico, um planejamento integrado, no qual:

‘... os problemas sociais, econômicos, físico-territoriais e administrativos encontram-se entrelaçados e são interdependentes, de modo que a solução de um deles pressupõe o conhecimento e a solução dos outros... e tais aspectos, são apenas nomes diferentes de uma só e mesma realidade...’ (Ferrari, 1991).

Neste capítulo, pretende-se fazer uma revisão bibliográfica sobre os impactos locais provocados pelo crescimento das cidades no meio físico urbano. Para uma melhor compreensão, ele foi subdividido em três partes: na primeira, trata-se as cidades dentro de uma abordagem ecossistêmica.

Na segunda parte, comenta-se, brevemente, sobre os impactos provocados pela urbanização nas características do solo, no ciclo hidrológico e na cobertura vegetal. Também procura-se mostrar, dentro do contínuo solo-planta-atmosfera, a importância das áreas verdes no meio urbano.

A terceira parte é dedicada às alterações climáticas e às suas repercussões no conforto térmico. Para tanto, descreve-se como os fatores locais afetam as variáveis climáticas dentro de um ambiente construído e em uma área arborizada, relacionando-os, posteriormente, com o conforto térmico.

## 2.1 Ecossistema urbano

Tanto as paisagens naturais quanto as artificiais não são estáticas, mas realidades dinâmicas e complexas, influenciando, diretamente, os fluxos de matéria e energia, alterando as correntes, magnitude, ou diminuindo os depósitos de energia do ecossistema (Degreas, 1982; Ferrari, 1991; Lazaro, 1990 e McHarg, 1969).

Dentro da civilização ocidental, é comum se fazer uma dissociação entre homem e natureza, como se ele não fizesse parte do universo natural, abandonando-se a

unidade e entregando-se à simplicidade da divisão (McHarg, 1969). Nesta relação, segundo Trindade (1999) e Degreas (1982), é possível identificar três momentos distintos em que o homem:

- 1º. Desconhece a natureza, sente medo e preserva-a por ignorância dos fenômenos que a regem.
- 2º. Compreende melhor sobre si e estabelece, na sua consciência, que o mundo foi criado para que dele se tirasse tudo o que necessitava. Entretanto, desconhece a lógica da composição e ordenação do ambiente, provocando a destruição de grandes ecossistemas.
- 3º. Sofre as conseqüências dos danos provocados na natureza, compreende a necessidade de preservá-la e passa a buscar um entendimento holístico. Foi quando passou a estudar os ecossistemas e a perceber a necessidade de se associar à natureza.

De acordo com Mota (1981 e 1999), Odum (1988) e Sobral (1996), uma das maneiras de se amenizar os impactos provocados pela urbanização, é entender a cidade como um ecossistema urbano, seguindo o princípio da unidade ambiental. Isto é, os elementos formadores do meio urbano, e os processos estão inter-relacionados e são independentes, e uma modificação em um deles provoca alterações nos demais, pois a natureza passa a ser entendida como um sistema interagindo.

Tais alterações são inicializadas pela ação humana, em uma dinâmica social e econômica, durante o processo de transformação e utilização de matéria e energia extraídas do ambiente de entrada. Tendo como objetivo a produção de bens e serviços, para atender às necessidades da população, como mostra a Figura 2.1.

Posteriormente, é feito o lançamento de produtos e resíduos, através do ambiente de saída, constituindo, assim, um sistema complexo, heterogêneo e aberto, que troca matéria e energia com um ambiente mais amplo e não pode viver independente ou isolado de outras partes do mundo. Esta relação revela três

instantes em que se criam impactos ambientais, na entrada de matéria e energia, durante as suas transformações e na saída de produtos e resíduos.

Figura 2.1 – **Ecosistema urbano**



O ecossistema urbano também é formado por subsistemas, ou sistemas menores, como parques, lagos, bosques, onde a energia e a matéria também fluem em ciclos, ligando o ar, o solo, a água e os seres vivos. Novamente, a unidade faz parte do funcionamento do ecossistema como um todo e o mau funcionamento em um subsistema implicará na deficiência nos demais.

Portanto, o conhecimento de cada subsistema e da sua capacidade de suporte e absorção a mudanças, mesmo que superficialmente, oferece condições para um emprego mais eficiente de atividades, recursos e espaços, conservando a energia e respeitando a capacidade de recuperação de cada subsistema (Spirn, 1995).

A necessidade deste tipo de abordagem torna-se importante quando se percebe que os ambientes de entrada e saída de um subsistema urbano serão o próprio meio urbano. Por isso, uma visão fragmentada poderá trazer conseqüências desastrosas e onerosas, em virtude das perturbações provocadas nos demais sistemas, inicializando novas mudanças.

Uma visão ecossistêmica do meio urbano permite uma: compreensão do ambiente urbano como um todo, dos processos que fluem pela cidade, dos efeitos das atividades humanas e suas inter-relações, e numa melhor apreciação dos limites no espaço e no tempo (Spirn, 1995).

Portanto, pode-se ver que o crescimento urbano como uma expressão espacial dos valores de uma sociedade, incluindo seus efeitos e causas, resulta, como diz Detwyllér (1972 *apud* Sobral, 1996), da combinação de quatro dinâmicas dentro do meio ambiente físico: a econômica, a social, a cultural e a política, dentro de uma abordagem ecossistêmica.

A seguir, trata-se dos impactos provocados pela urbanização no meio físico urbano, o que permite perceber a importância dessa visão ecossistêmica e, principalmente, da natureza presente nas cidades.

## **2.2 Impactos ambientais da urbanização e a importância das áreas verdes**

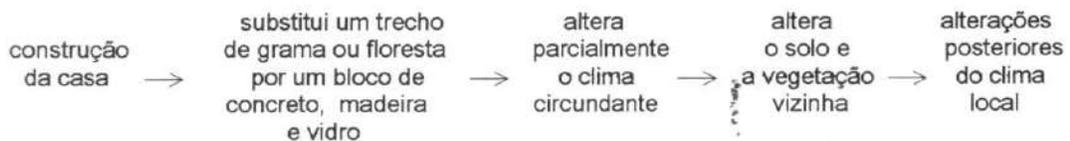
### **2.2.1 Considerações gerais**

O processo de urbanização, por si só, modifica um meio e produz impactos que podem ter maior ou menor intensidade e se refletem, diretamente, na qualidade de vida da população. Também é 'responsável por impelir os sistemas naturais para além do seu limiar', pois não permite a sua recuperação natural. Além disso, deve-se levar em conta que as mudanças efetuadas pela tecnologia são mais rápidas e intensas que as naturais (Drew, 1989).

Como ressaltado, isso gera reações em cadeia, onde um fato isolado pode ser considerado insignificante, mas, em escala maior, pode criar um ambiente completamente diverso.

Tais alterações, à princípio, não são perceptíveis, mas o seu grau de desenvolvimento cresce gradativamente e, quando percebe-se, já atingiu-se uma situação indesejável. Drew (1989) exemplifica, através da Figura 2.2, uma alteração isolada do homem no seu ambiente ao construir uma casa. A partir dela, é possível imaginar o que acontece quando se intensifica essa única alteração de uma maneira acelerada e desorganizada dentro do processo de urbanização.

Figura 2.2 – Impacto provocado pela construção de uma casa



Fonte: Drew, 1989.

Dessa forma, pode-se associar a intensidade das alterações que ocorrem no meio urbano com a densidade da área construída e habitada, à medida que ‘o homem transforma-se e transforma seu ambiente na sua luta pela vida e pela apropriação diferencial do produto do seu trabalho’ (Castells, 1969 *apud* Sobral, 1996).

Em toda intervenção pode-se alcançar pontos positivos e negativos, porém, são os negativos que merecem maior atenção, devido às conseqüências que trazem. Entretanto, o mais importante é a maximização dos benefícios e a minimização dos custos sociais dentro de comparações estabelecidas a curto e longo prazos.

O crescimento da população urbana se dá, principalmente, pelo êxodo rural e pela imigração entre os estados, buscando, preferencialmente, as áreas metropolitanas mais desenvolvidas. Isso acontece tanto por parte da população, quanto dos empresários, favorecendo um desenvolvimento econômico lucrativo e reforçando a propensão à expansão e à concentração econômica (Rattner, 1979).

Esta situação leva, muitas vezes, a um desequilíbrio da área que recebe os recursos econômicos e humanos, pois, estes, encontram-se acima da sua capacidade de absorção. Fazendo com que o planejamento urbano se posicione

mais como um instrumento corretivo que diretivo, e ainda, os efeitos positivos produzidos a curto prazo podem causar efeitos negativos a longo prazo (Lombardo, 1985; Mota, 1999; Rattner, 1979 e Spirn, 1995).

Os aumentos do poder econômico e da população urbana alteram a estrutura social e a distribuição espacial da mesma. Primeiramente, caracterizada pela horizontalização, com uma acelerada especulação imobiliária e a formação de favelas e periferias pobres. Posteriormente, pela verticalização, com crescente adensamento urbano e de material (Oliven, 1982; Rattner, 1979 e Souza, 1994).

O crescimento desordenado da população urbana tem proporcionado uma aglomeração humana e de edifícios. Como, na sua maioria, ele não vem acompanhado por uma infra-estrutura urbana adequada, gera diversos impactos, déficit de crescimento dos serviços públicos e ineficiência cada vez maior do sistema urbano e econômico (Leff, 1990 *apud* Mota, 1999 e Rattner, 1979). A Tabela 2.1, resume alguns dos impactos sócio-econômicos e culturais, que comumente ocorrem nas cidades.

Tabela 2.1 – Impactos da urbanização nos parâmetros sócio-econômicos e culturais

| Causa  | Impacto  | Consequência  |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Crescimento urbano desordenado.</li> <li>· Loteamentos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Carência de paisagens destinadas ao bem-estar mental e social do homem.</li> <li>· Falta de um centro de vida coletiva eqüidistante.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Doenças urbanas, tensões, angústias etc.</li> <li>· Individualidade.</li> <li>· Enfraquecimento da coletividade.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Distribuição do uso e ocupação do solo.</li> <li>· Incapacidade da área urbana de absorver toda a população.</li> <li>· Crescimento da população urbana.</li> <li>· Atividade econômica.</li> <li>· Equipamentos públicos insuficientes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Segregação social da população.</li> <li>· Diferenças culturais e desigualdades econômicas.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Contrastes, distâncias e conflitos sociais, visivelmente perceptíveis.</li> <li>· Favelas não urbanizadas.</li> <li>· Melhores condições de vida para poucos.</li> <li>· Elevação do custo social.</li> <li>· Degradação da paisagem.</li> <li>· Invasão de terras.</li> <li>· Áreas em condições precárias de habitação e infraestrutura básica.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Segregação social, econômica e espacial da população.</li> <li>· Aumento da densidade urbana e populacional.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Frustração e insatisfação geradas pela economia urbana.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Insegurança e medo.</li> <li>· Violência urbana.</li> <li>· Danos econômicos e sociais.</li> <li>· Pressões sociais.</li> </ul>  |

Continua

*Tabela 2.1 – Impactos da urbanização nos parâmetros sócio-econômicos e culturais (continuação)*

| <b>Causa</b>  | <b>Impacto</b>   | <b>Consequência</b>   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Pressão econômica e social, concretizada no meio urbano.</li> <li>· Desconsideração dos processos sociais no desenho e planejamento do meio urbano.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Sentimento de marginalidade, inferioridade e revolta.</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Insegurança e medo.</li> <li>· Violência urbana.</li> <li>· Danos econômicos e sociais.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Falta de infraestrutura básica.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Doenças.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Danos econômicos e sociais.</li> <li>· Redução do potencial de trabalho.</li> <li>· Queda na produção.</li> <li>· Falta de saúde física (doença cardíaca, tuberculose, disenteria, <i>stress</i>), mental e social (homicídio, droga, alcoolismo, roubo).</li> </ul>             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Carência de áreas destinadas ao bem-estar mental e social do homem.</li> <li>· Pressão econômica e social, concretizada no meio urbano.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Patologia urbana.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Falta de saúde física (doença cardíaca, tuberculose, disenteria, <i>stress</i>), mental e social (homicídio, droga, alcoolismo, roubo).</li> <li>· Insegurança e medo.</li> <li>· Violência urbana.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento da aglomeração dos fatores de produção.</li> <li>· Aumento do consumo, do conhecimento, dos serviços.</li> <li>· Maiores oportunidades de trabalho.</li> <li>· Facilidades de transporte.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Intensificação do processo de urbanização.</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Intensificação dos impactos.</li> <li>· Mutações econômicas.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Internacionalização e globalização.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Redução do crescimento econômico.</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Alteração da maneira de pensar e dos modos organizacionais e funcionais.</li> <li>· Maior competitividade e desemprego.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Desprezo do processo natural e histórico da cidade.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Degradação das áreas históricas e destruição de edifícios antigos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento dos custos sociais.</li> <li>· Gastos com recuperação e / ou restauração de áreas de valor histórico, paisagístico e cultural.</li> <li>· Perda da identidade natural e histórica da cidade e, conseqüentemente, da sua expressão e dos seus valores sociais.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Mau uso e ocupação do solo.</li> <li>· Especulação imobiliária.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Mudança agressiva do ambiente natural.</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Destruição total ou parcial de áreas de grande beleza.</li> <li>· Ocupação de áreas de importância ecológica, de proteção e reserva natural.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Determinismo econômico que rege os valores culturais do homem urbano.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Especulação imobiliária.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Resultados desastrosos para o meio urbano e social.</li> </ul>   |

Continua

*Tabela 2.1 – Impactos da urbanização nos parâmetros sócio-econômicos e culturais (continuação)*

| <b>Causa</b>   | <b>Impacto</b>   | <b>Consequência</b>  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Processo de crescimento das cidades.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Adensamento populacional intenso.</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Elevada densidade populacional em áreas restritas.</li> <li>· Deterioração da qualidade de vida.</li> <li>· Conflitos sociais.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Alterações climáticas.</li> <li>· Poluição do ar.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento da ação do intemperismo químico.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Deterioração de monumentos históricos e pinturas.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Sobreposição dos interesses particulares frente aos coletivos.</li> <li>· Especulação imobiliária.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Mau uso e ocupação do solo.</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aproveitamento máximo do terreno, visando maior lucratividade.</li> <li>· Maior poluição atmosférica.</li> <li>· Falta de hierarquização das vias.</li> <li>· Congestionamentos.</li> <li>· Falta de espaço para estacionamento.</li> <li>· Excassez de áreas verdes.</li> <li>· Irritabilidade.</li> <li>· Acidentes.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Especulação imobiliária.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Loteamentos mal projetados.</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Monotonia de lotes iguais.</li> <li>· Maior poluição atmosférica.</li> <li>· Conflitos entre vias e usos institucionais, entre veículos e pedestres.</li> <li>· Falta de hierarquização das vias.</li> <li>· Falta de espaço adequado e protegido para a recreação.</li> <li>· Irritabilidade.</li> <li>· Acidentes.</li> </ul>   |

Fontes: Ayoade, 1991; Ferrari, 1991; Golany, 1996; McHarg, 1969; Obasi, 1997; Oliven, 1982; Rossinot, 1997 e Souza, 1994.

Do ponto de vista sócio-cultural, quanto mais uma sociedade for consumista, maior será a quantidade de resíduos sólidos lançados e mais distante a cidade estará da sustentabilidade, contribuindo para a degradação dos recursos naturais nas cidades (McHarg, 1969; Mota, 1999 e Silverstein, 1993).

O conhecimento dos impactos negativos, provenientes da urbanização, torna-se importante como ponto de partida para o correto disciplinamento do uso e da ocupação do solo e para a amenização dos próprios impactos, podendo, inclusive, evitar alguns deles.

Se os valores sociais fossem divididos em custo e benefício sociais, seria possível observar que o desrespeito aos processos naturais na cidade, leva a custos tão altos quanto os que seriam necessários a uma boa qualidade de vida (McHarg, 1969 e Spirn, 1995).

### 2.2.2 Poluição atmosférica

A atmosfera terrestre é composta por uma mistura estável de gases ligados à terra pela força da gravidade. De acordo com Ayoade (1991) e Piersynski, Sims e Vance (1994), ela se subdivide em várias camadas, sendo a troposfera a que está em contato com a superfície terrestre e o local onde ocorrem os fenômenos meteorológicos. Sua temperatura diminui com a altitude e possui a maior pressão, densidade do ar e a totalidade do vapor d'água e aerossóis<sup>1</sup>. Seus principais componentes químicos são o N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, ar seco e CO<sub>2</sub>.

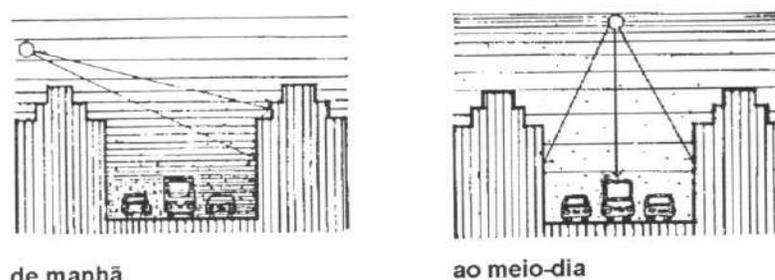
Os poluentes atmosféricos existem na forma de partículas, líquidos, ou gases, podem derivar de fontes naturais ou artificiais, como mostra a Tabela 2.2. Podem sofrer reações fotoquímicas (*smog* fotoquímico) na atmosfera, originando compostos secundários (Ayoade, 1991; Mota, 1999; Raven, Evert e Eichhorn, 1996; Smith, 1975 e Spirn, 1995). A Tabela 2.3 mostra um resumo dos principais impactos provocados pela poluição atmosférica em decorrência da urbanização.

Segundo Araújo e Farias (1998), Ayoade (1991), Georgii (1970 *apud* Givoni, 1989), Mota (1999), Oliveira (1988 *apud* Assis, 1990), Smith (1975) e Spirn (1995), a concentração de poluentes é influenciada pelo (a):

- Distribuição dos diversos usos do solo, principalmente, das indústrias;
- Morfologia urbana;
- Quantidade de poluentes emitidos;
- Tráfego de veículos;

1. Aerossóis são partículas de poeira em suspensão, fumaça, matéria orgânica, sal marinho etc, procedentes de fontes naturais e artificiais (Ayoade, 1991).

- Parâmetros climáticos, principalmente, o gradiente térmico vertical<sup>2</sup>, a direção e a velocidade do vento; e
- Relevo, especialmente, nos vales naturais ou artificiais, *canyons* urbanos (veja Figura 2.3), e em bacias confinadas entre montanhas.

Figura 2.3 – Formação de inversão térmica em um *canyon* urbano

A inversão térmica ocorre quando o ar mais frio, denso e pesado é incapaz de se elevar, ficando retido ao nível do solo.

Isto acontece, principalmente, em noites claras e calmas, favorecendo a concentração de poluentes.



Fonte: Spim, 1995.

Tabela 2.2 – Tipos e fontes de poluentes atmosféricos

| Tipo              | Fonte                                |   |
|-------------------|--------------------------------------|---|
|                   | Natural                              | Artificial  |
| CO <sub>2</sub>   | Erupções vulcânicas<br>Animais       | Queima de combustível fóssil<br>Processos industriais                         |
| CO                | Vulcões                              | Queima de combustível fóssil<br>Veículos automotores<br>Processos industriais |
| Óxidos de enxofre | Bactéria<br>Vulcões<br>Espuma do mar | Queima de combustível fóssil<br>Processos industriais                         |

Continua

2. O gradiente térmico vertical define a estabilidade e instabilidade do ar. Quanto menor, maior é a estabilidade, ou seja, se a temperatura do ar que se eleva for igual a do ar circundante, a sua densidade também será a mesma e a massa de ar apresentar-se-á em equilíbrio, caracterizando uma condição de estabilidade atmosférica. Entretanto, se a temperatura do ar que se eleva for maior que a do ar ambiente, sua densidade será menor e ele tenderá a subir, promovendo um movimento convectivo. Neste caso, a atmosfera é considerada instável, e favorece a dispersão de poluentes (Tubelis, 1980).

Tabela 2.2 – Tipos e fontes de poluentes atmosféricos (continuação)

| Tipo                 | Fonte  |  |
|----------------------|--|--|
|                      | Natural  | Artificial   |
| Hidrocarbonetos      | Decomposição vegetal<br>Bactérias  | Queima de combustível fóssil<br>Incineradores<br>Veículos automotores<br>Processos industriais |
| Óxidos de nitrogênio | Bactéria   | Queima de combustível fóssil<br>Processos industriais<br>Veículos automotores                  |
| Material particulado | Pólen<br>Partículas de poeira das erupções vulcânicas ou carregadas do solo pelo vento<br>Fumaça originada de incêndios florestais causados por raios<br>Meteoros<br>Espuma do mar | Queima de combustível fóssil<br>Incineradores<br>Veículos automotores<br>Processos industriais |

Fontes: Ayoade, 1991; Mota, 1999 e Varney e McCormac, 1971 *apud* Smith, 1975.

Tabela 2.3 - Impactos da poluição atmosférica nos centros urbanos

| Causa   | Impacto  | Consequência   |
|---|--|--|
| Reflexão e absorção da radiação solar em decorrência das características dos poluentes. | Alteração da quantidade e qualidade da radiação solar.                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da radiação direta que atinge a superfície terrestre.</li> <li>• Aumento da proporção entre a radiação difusa e direta do sol, principalmente, quando a altura solar é menor, devido ao maior poder refletor dos aerossóis.</li> <li>• Redução da clareza do contorno das sombras das árvores e edifícios, pois a luz difusa é recebida em todas as direções.</li> <li>• Redução do nível de luz e insolação.</li> <li>• Redução da radiação ultravioleta.</li> </ul> |
| Reflexão e absorção da radiação solar em decorrência das características dos poluentes. | Dificuldade no escoamento e na dispersão do calor.                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte da radiação emitida pela superfície terrestre é absorvida pelos aerossóis e gases como H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub>.</li> <li>• Redução da quantidade de radiação de onda longa que é emitida para o espaço.</li> </ul>  |
| Reflexão e absorção da radiação solar em decorrência das características dos poluentes. | Altera a estrutura vertical das temperaturas, retardando a dispersão do calor. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da temperatura ao nível da troposfera.</li> <li>• Intensificação da Ilha de Calor.</li> </ul>   |

Continua

Tabela 2.3 – Impactos da poluição atmosférica nos centros urbanos

(continuação)

| Causa   | Impacto  | Conseqüência   |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento dos núcleos de condensação</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento da nebulosidade.</li> <li>· Redução da insolação</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Alteração do balanço energético na superfície do solo.</li> <li>· Alteração do balanço energético na superfície das folhas, com conseqüente redução da fotossíntese.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Presença de material particulado.</li> <li>· Produção de brumas.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Redução da visibilidade.</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Acidentes.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Formação de oxidantes fotoquímicos (<i>smog</i>), a partir dos óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, originados do tráfego de veículos e processos industriais.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Danos à saúde humana e animal</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Doenças respiratórias</li> <li>· Irritação nos olhos e pulmões.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Formação de oxidantes fotoquímicos (<i>smog</i>), a partir dos óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, originados do tráfego de veículos e processos industriais.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento da ação do intemperismo químico.</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Danos materiais.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Formação de oxidantes fotoquímicos (<i>smog</i>), a partir dos óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, originados do tráfego de veículos e processos industriais.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Danos aos vegetais.</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Alteração na composição dos frutos.</li> <li>· Baixa produtividade.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Eliminação de substâncias nos processos industriais.</li> <li>· Depósitos de resíduos sólidos a céu aberto.</li> <li>· Poluição dos cursos d'água.</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Odores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Mal-estar.</li> </ul>   |

Fontes: Alcoforado, 1993; Assis, 1990; Ayoade, 1991; Drew, 1989; Ferrari, 1991; Geiger, 1950; Givoni, 1989 e 1997; Jean e Guyot, 1983; Lombardo, 1985; McHarg, 1969; Miess, 1979; Mota, 1981, 1997 e 1999; Raven, Evert e Eichhorn, 1996; Smith, 1975 e Souza, 1994.

A cobertura vegetal presente no meio urbano tem a capacidade de filtrar, diretamente, particulados e sujeiras com diâmetros inferiores a 50  $\mu\text{m}$ , em decorrência de dois processos:

- do efeito treliça, onde a vegetação reduz a velocidade e muda a direção do fluxo de ar dentro da folhagem, causando uma queda gradativa das partículas de maior dimensão; e

- do impacto causado por uma vegetação densa, onde as partículas grandes são capturadas pela vegetação e, depois do impacto, caem gradativamente.

Em ambos processos, as partículas de menor dimensão, por terem baixa inércia, seguem o movimento do ar (Givoni, 1989).

As plantas ainda retiram o CO<sub>2</sub> do ar, para a fotossíntese, liberando oxigênio e renovando o ar da cidade, especialmente, durante os períodos de calmaria. Devido aos efeitos que elas criam na ventilação, também podem produzir uma certa dispersão de poluentes (Assis, 1990; Ayoade, 1991; Brasil, 1996; Geiger, 1950; Givoni, 1989; Jean e Guyot, 1983; Olgyay, 1992; Pitt, 1979 e Spirn, 1995).

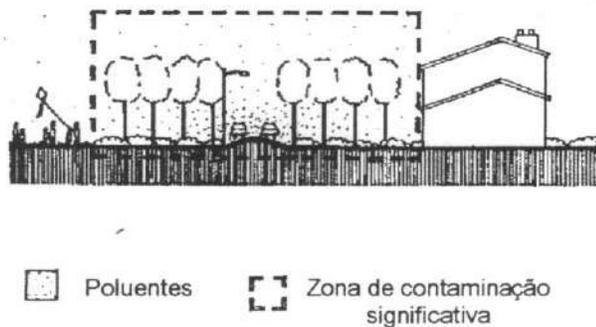
Segundo Givoni (1989 e 1997) 'a capacidade de filtragem da vegetação aumenta com o aumento da cobertura foliar por unidade de terra', sendo mais eficientes as árvores, depois os arbustos e por fim as gramas. A quantidade de poluentes retidos decresce do barlavento ao sotavento da área vegetada. Todavia, o efeito produzido pelas áreas verdes nos centros urbanos, depende da:

- localização,
- extensão da cobertura vegetal,
- espécies vegetais utilizadas, levando em consideração o arranjo entre elas e resistência aos contaminantes,
- duração à exposição, e
- intensidade de poluição.

Têm um efeito duvidoso quanto à proteção contra a poluição industrial devido ao tamanho das partículas e à altura das chaminés (Bach, 1970 *apud* Assis, 1990; Givoni, 1989 e 1997 e Spirn, 1995).

Dessa forma, a vegetação pode ser usada no controle da poluição dentro das cidades, como faixa de proteção nas vias, ou dispostas, radialmente, canalizando o ar fresco da zona rural até o centro urbano, conforme mostram as Figuras 2.4 e 2.5 (Spirn, 1995; McHarg, 1969; Mota, 1999 e Assis, 1990), favorecendo, ao mesmo tempo, a circulação do ar e a sua purificação, e o controle do clima urbano.

Figura 2.4 – Faixa de proteção



Neste caso, a vegetação é utilizada para filtrar particulados, minimizando a exposição à poluição do ar junto às ruas.

O tamanho do recuo é determinado pelo volume do tráfego.

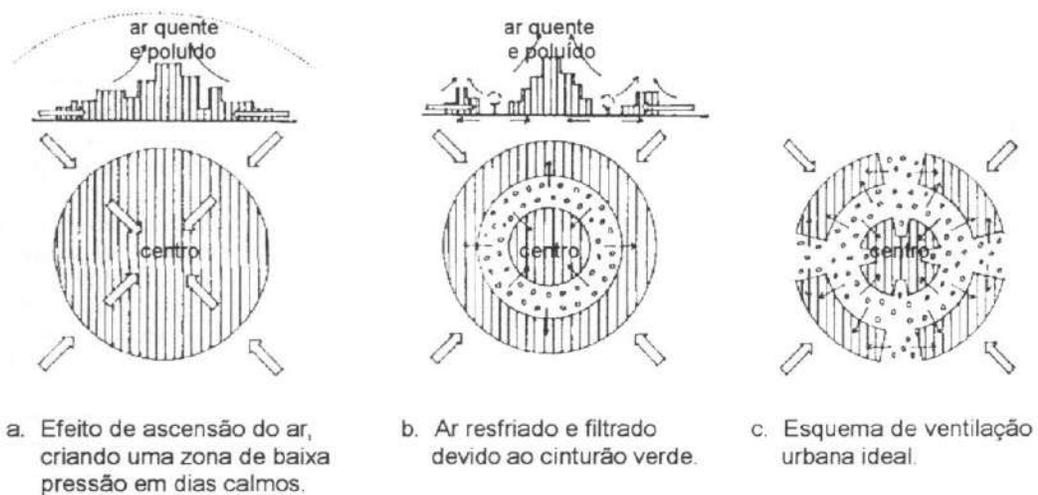
Entretanto a zona poluída deve estar distante das áreas residenciais, de lazer e recreação e a faixa de proteção não deve impedir a circulação do ar.

Poluentes
  Zona de contaminação significativa

Fonte: Spim, 1995.

pg 87

Figura 2.5 – Disposição de um cinturão verde



a. Efeito de ascensão do ar, criando uma zona de baixa pressão em dias calmos.

b. Ar resfriado e filtrado devido ao cinturão verde.

c. Esquema de ventilação urbana ideal.

Legenda:

Ar poluído e aquecido.  
 Suprimento de ar resfriado e filtrado.

Fonte: Bernatzky, 1982 *apud* Assis, 1990.

### 2.2.3 Poluição acústica

Durante as atividades urbanas são emitidos sons, muitas vezes, acima do limite tolerável pelo homem (de 0 dB, limiar inferior da audição humana a 130 dB, o

limiar de dor) como mostra a Tabela 2.4. Tais sons, dependendo da sua intensidade, podem causar danos à saúde e ao bem-estar do homem. A Tabela 2.5 mostra algumas causas e conseqüências da poluição sonora.

Tabela 2.4 – Sons mais comuns às atividades humanas

| Fonte                                       | Nível de pressão do som série em dB | Apreciação subjetiva |            |
|---|-------------------------------------|----------------------|------------|
| Limiar da audição                           | 0                                   | Muito fraco          |            |
| Respiração humana                           | 10                                  |                      |            |
| Roçar de folhas no vento                    |                                     |                      |            |
| Estúdio de transmissão de programa de rádio | 20                                  | Fraco                |            |
| Sussurro                                    | 30                                  |                      |            |
| Biblioteca                                  |                                     |                      |            |
| Quartos                                     |                                     |                      |            |
| Residência sem som                          |                                     |                      |            |
| Sala de estar                               | 40                                  | Moderado             |            |
| Escritório calmo                            |                                     |                      |            |
| Área residencial à noite                    |                                     |                      |            |
| Música suave                                |                                     |                      |            |
| Tráfego de veículos leves (a 30m)           | 50                                  | Alto                 |            |
| Ambiente de trabalho                        |                                     |                      |            |
| Aparelho de ar condicionado (a 6m)          | 60                                  |                      |            |
| Voz humana (a 1m)                           | 70                                  |                      |            |
| Tráfego em uma auto-estrada                 |                                     |                      |            |
| Restaurante barulhento                      |                                     |                      |            |
| Cortador de grama                           |                                     |                      |            |
| Secador de cabelos                          | 80                                  |                      | Muito alto |
| Despertador (a 0,6m)                        |                                     |                      |            |
| Motocicletas                                |                                     |                      |            |
| Barulho de fábrica                          | 90                                  |                      |            |
| Tráfego de cidades                          |                                     |                      |            |
| Caminhão pesado (a 15m)                     |                                     |                      |            |
| Caminhão coletor de lixo                    |                                     |                      |            |
| Trem de carga a 30.5m                       | 100                                 | Ensurdecedor         |            |
| Caminhão sem silenciador                    |                                     |                      |            |
| Bate estacas                                | 110                                 |                      |            |
| Limiar da sensibilidade                     | 120                                 |                      |            |
| Buzina de carro (a 1m)                      |                                     |                      |            |
| Discoteca                                   |                                     |                      |            |
| Ribombo de trovões                          |                                     |                      |            |
| Limiar da dor                               | 130                                 |                      |            |
| Jato decolando a 60m                        |                                     |                      |            |
| Sirene de ataque aéreo                      | 140                                 |                      |            |
| Jato em operação                            |                                     |                      |            |

Fontes: Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos da América, 1977

*apud* Mota, 1999; Canter, 1996 e Reethof e Heisler, 1976 *apud* Pitt, 1979.

Tabela 2.5 – Causas e conseqüências da poluição sonora no meio urbano

| Causas  | Conseqüências   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usos da terra incompatíveis com grandes ruídos sonoros, como locais próximos aos aeroportos.</li> <li>▪ Obras de construção civil, atividades industriais e locais de diversão.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perda gradativa da audição.</li> <li>▪ Irritabilidade, exaustão física, perturbações do sistema nervoso.</li> <li>▪ Mal-estar e danos à saúde da população.</li> </ul> |

Fontes: Ferrari, 1991; Mota, 1999 e Pitt, 1979.

As áreas verdes criam uma zona de amortecimento do barulho, reduzindo o nível de barulho dentro do espaço urbano, ou melhor o tempo de reverberação<sup>3</sup> na rua. Elas funcionam como barreiras sólidas, onde o som é absorvido pelo ar retido entre a folhagem, ou é refletido, ou difratado pelas folhas.

Quando localizadas próximas às edificações, reduzem as pressões e vácuos contra as paredes. Isto, porque o ar tem capacidade de absorver o som, principalmente, os de alta frequência. Dependendo das distâncias, os de baixa também podem ser absorvidos, pois o som decresce inversamente com o quadrado da distância da fonte (Mota, 1999 e Reethof, 1976 *apud* Pitt, 1979).

De acordo com Givoni (1989 e 1997), Jean e Guyot (1983) e Pitt (1979), a intensidade deste efeito depende da (s):

- dimensões das áreas verdes,
- distância entre a fonte de barulho e a área sensível,
- espécies vegetais utilizadas, da sua altura acima do solo e do arranjo entre elas,
- densidade da folhagem,
- inclinação do solo, pois cria uma sombra de barulho ao reduzir a sua reflexão, e
- direção do vento.

3. Reverberação é a continuação do som depois do original ter cessado, devido à multiplicidade de reflexões no espaço.

Muitos trabalhos têm provado este efeito, fazendo com que ela seja indicada em faixas de proteção, principalmente, ao longo de rodovias. Em geral, em um agrupamento vegetal de 10m de profundidade, a redução não é superior a 1dB, já em um agrupamento mais denso, o decréscimo pode chegar a 2dB ou mais (Givoni, 1989). Como o efeito redutor não é muito significativo, a vegetação pode ser usada em combinação com outros elementos, tais como: muros e depressões (Givoni, 1989 e 1997 e Wood, 1976 *apud* Mota, 1999).

Vilaça e Vieira (1983) verificaram que as espécies vegetais se comportam de maneira diferente. Em geral, o amortecimento do som está mais relacionado com a densidade da barreira que com as características anatômicas da planta. Também observaram que o efeito é mais notável para frequências entre 1000 e 12000Hz. O mesmo foi observado pela Universidade Técnica de Berlim (1966 *apud* Laugel, 1971 *apud* Givoni, 1989).

#### **2.2.4 Impactos da urbanização sobre o solo**

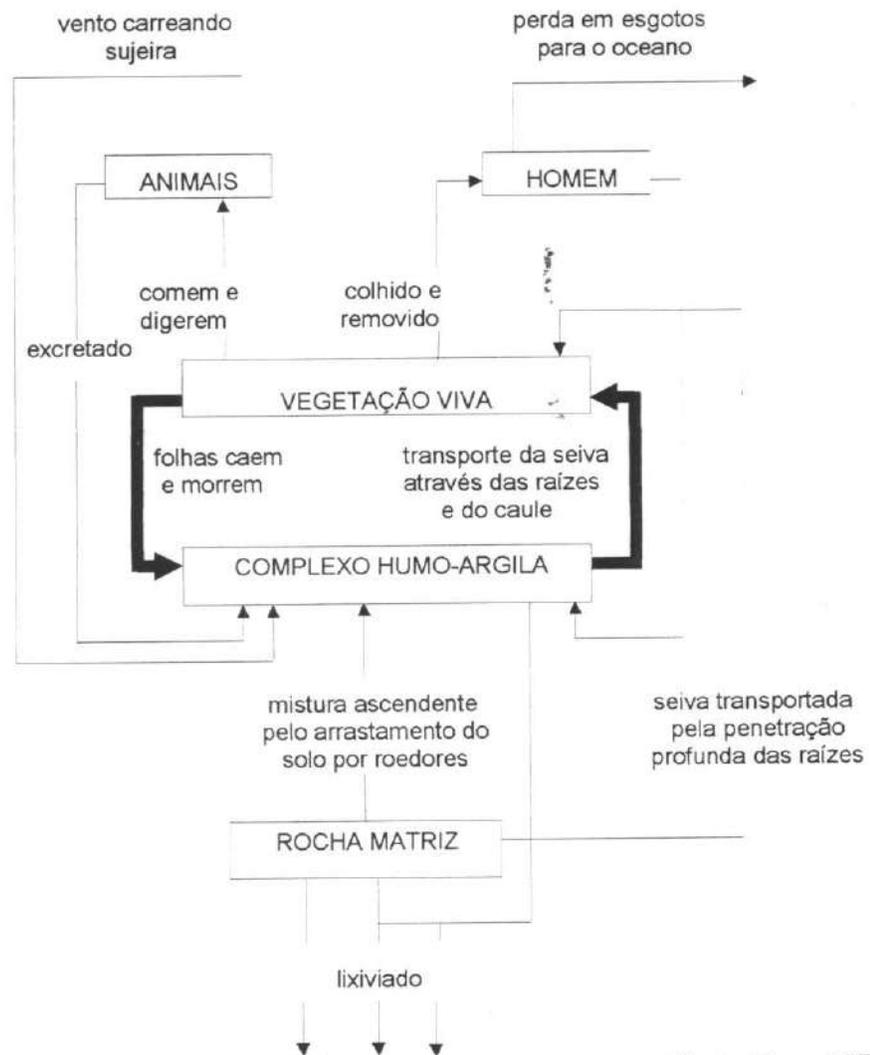
##### *Considerações preliminares*

Os solos, como corpos dinâmicos naturais, possuem características decorrentes das influências combinadas do clima e atividades bióticas, ao longo de certo período de tempo. De acordo com Brady (1989), Piersynski, Sims e Vance (1993), Primavesi (1984), Thompson e Troeh (1973), e Russell (1973), o solo é formado em função do (a): material rochoso, relevo, clima, tempo e porção viva do solo (vegetação, animais e microrganismos).

Ressalta-se a importância da porção viva do solo, visto que ela é responsável: pelo acúmulo de matéria orgânica, mesclagem dos perfis, reciclagem de nutrientes, estabilidade estrutural, permeabilidade da superfície, redução da erosão natural e do ritmo de remoção dos minerais da superfície, e pela determinação das características do solo. Sendo que, cada espécie tem sua própria influência sobre a formação do solo.

A Figura 2.6 representa a reciclagem de nutrientes, mostrando a influência do homem e dos animais, mas, principalmente da vegetação como um elo de ligação especial e indispensável ao desenvolvimento do solo.

Figura 2.6 – Ciclo de nutrientes



Fonte: Eyre, 1971.

Nela, os nutrientes retirados do solo, pelos vegetais, retornam a ele, após a morte das plantas e decomposição por ação dos microrganismos, os quais liberam e transportam os elementos presentes nos vegetais para dentro do solo. A partir de então, serão, novamente, absorvidos pelas plantas, mantendo, assim, a fertilidade do solo, ao evitar que os nutrientes sejam rapidamente removidos e perdidos por lixiviação.

Inicialmente, as novas superfícies não apresentam um tipo de solo definido, sendo preciso que ocorram muitas mudanças, alterando as camadas superiores da terra. A partir de então, pode-se associar classes de vegetação a certos tipos de solo, pois o seu desenvolvimento é acompanhado pelo desenvolvimento da vegetação. Entretanto, essa associação não é estática, mas sim, um sistema dinâmico que se acomoda às mudanças ambientais e à interferência humana (Eyre, 1971).

Fisicamente, o solo é formado por uma porção porosa, constituída de ar e água, e outra sólida, formada por partículas inorgânicas (minerais) e matéria orgânica em decomposição. A proporção, forma e arranjo desses componentes originam os diferentes tipos de solo, com características específicas.

A porção sólida é composta por minerais primários (parcela inorgânica) e por grandes partículas orgânicas. O tamanho e a arrumação dessas partículas determinam a forma e a continuidade dos canais da porção porosa.

As partículas orgânicas constituem a fração coloidal do solo, apresentam-se em diferentes estágios de decomposição e encontram-se em contato com a água e o ar, envolvendo os fragmentos minerais de maior tamanho. Retêm água e nutrientes nos solos e funcionam como reserva mineral para as plantas. São constituídas pelo acúmulo dos resíduos vegetais e animais, sendo influenciadas pelos organismos vivos (Brady, 1989; Kiehl, 1979; Merva, 1975; Russell, 1973; Taiz e Zeiger, 1991 e Thompson e Troeh, 1973).

A parcela inorgânica varia em escalas de tamanho e apresenta-se distribuída em proporções desiguais, originando texturas diferentes, que indicarão as características arenosa ou argilosa do solo (Brady, 1989; Kiehl, 1979; Merva, 1975; Russell, 1973 e Thompson e Troeh, 1973).

A estrutura do solo é o resultado da agregação das partículas primárias em grandes unidades, as quais, na presença da matéria orgânica ou outros componentes do solo, tendem a aderir umas as outras, formando agregados. Estes, de tamanhos e formas diferentes, que proporcionam uma adequada quantidade de macroporos e uma estabilidade estrutural quando expostos à água.

Também influenciam a aeração, a condutibilidade térmica, a capacidade de infiltração da água da chuva e o desenvolvimento das plantas (Brady, 1989; Kiehl, 1979; Merva, 1975; Piersynski, Sims e Vance, 1993; Russell, 1973 e Thompson e Troeh, 1973).

### *Solo urbano*

De acordo com Canter (1996), as atividades humanas, tais como o crescimento urbano, podem influenciar, benéficamente ou prejudicialmente, cada um dos cinco fatores fundamentais associados com a formação do solo, alterando, conseqüentemente, a sua textura e estrutura.

Como o ambiente do solo está relacionado com outros componentes ambientais, como a vegetação e o clima, estes estarão em função das características do solo. Dessa forma, é possível o solo alterar o clima, à medida que a vegetação presente é desmatada, provocando alterações climáticas cada vez mais freqüentes, que, conseqüentemente, modificarão as características do solo (Eyre, 1971; Larry, 1996; Mota, 1999 e Primavesi, 1984).

No meio urbano, a vegetação tem sido eliminada e o solo desaparecido debaixo de uma camada de asfalto, concreto, tijolo e telha. Assim, a presente paisagem é fruto da interação de duas forças: de um lado, os processos físicos e bióticos naturais, do outro, as atividades humanas (Eyre, 1971).

No entanto, esta interação tem sido freqüentemente simplificada e as modificações ocorridas na superfície do solo têm provocado significativas alterações nos fatores físicos e bióticos da formação do solo. Segundo Galerani *et al* (1995),

‘A ocupação do meio físico através da expansão urbana tem revelado problemas de relativa gravidade em função da falta de conhecimento dos fatores fisiográficos, que regem o comportamento e a resposta deste componente ambiental frente à ocupação’.

Normalmente, as cidades não são planejadas e o processo de ocupação do solo se dá em torno de um recurso natural que traga benefícios à população. Durante esse

processo, os rios são canalizados, as margens modificadas, o solo é nivelado e compactado, a vegetação é reduzida e simplificada.

Dessa forma, as características física, química e biológica do solo são alteradas, desencadeando uma série de impactos (veja Tabelas 2.6 e 2.7), os quais são resultados da ação de forças naturais relacionadas com as características do clima, relevo, solo e cobertura vegetal. À medida que a cidade vai crescendo e se desenvolvendo, esses problemas podem ser intensificados ou controlados e, até mesmo, alterados, dependendo da maneira como o crescimento é conduzido.

Portanto, o solo urbano pode ser entendido como o local onde as atividades humanas e os recursos naturais estão distribuídos, abrangendo, ao mesmo tempo, a porção acima dele, que caracteriza o clima, pois, as implantações, estabelecidas no solo, configuram a paisagem urbana e determinam as alterações climáticas. Dessa forma, não deve ser visto como uma entidade isolada, mas como um espaço urbano fracionado, onde se desenvolvem as atividades cotidianas de uma cidade, que procura acomodar-se a uma dada área.

Sob esse ponto de vista, assim como as características topográficas, a altura do lençol freático, os tipos de solo, dentre outros aspectos, são fatores que podem ser favoráveis ou criar restrições à ocupação urbana; os usos e ocupações impostas aos solos pelas atividades humanas, também exercem influência no meio urbano.

Tabela 2.6 - Impactos da urbanização na topografia

| Causa   | Impacto  | Consequência   |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimentos acelerados de terra em obras de construção.</li> <li>• Queda de taludes.</li> <li>• Escavações.</li> <li>• Aterros.</li> <li>• Construções e pavimentação.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificações nas características topográficas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração no escoamento.</li> <li>• Assoreamento de cursos d'água.</li> <li>• Prejuízos à paisagem e à qualidade do meio ambiente.</li> <li>• Formação de empoçamentos.</li> <li>• Proliferação de insetos transmissores de doenças.</li> <li>• Problemas de drenagem.</li> </ul> |

Continua

Tabela 2.6 – Impactos da urbanização na topografia (continuação)

| Causa   | Impacto   | Consequência   |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Mau uso do solo sem levar em consideração a natureza do solo, a topografia, o clima e o tipo de ocupação.</li> <li>Ocupação inadequada de terrenos em declive.</li> <li>Desmatamento.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Deslizamentos e desabamentos.</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Danos materiais e sociais.</li> <li>Carreamento do solo e de outros materiais para os recursos hídricos.</li> <li>Prejuízos econômicos.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Desestabilização das dunas.</li> <li>Diversas formas de uso e ocupação do solo.</li> <li>Desmatamento.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão e dispersão das dunas.</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Transformação de dunas fixas em dunas móveis, a médio e / ou longo prazo.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Verticalização.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Formação de vales artificiais.</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Altera a topografia inicial.</li> <li>Modifica a circulação e a velocidade do vento.</li> <li>Favorece a formação da Ilha de Calor.</li> <li>Favorece a poluição do ar.</li> <li>Inversões térmicas.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Verticalização.</li> <li>Mau posicionamento topográfico.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Menor ou maior incidência solar sobre a superfície do solo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Danos à saúde.</li> <li>Desconforto térmico.</li> </ul>   |

Fontes: Beasley, 1972; Drew, 1989; Lazaro, 1990; McHarg, 1969; Mota, 1981 e 1997 e Spim, 1995.

Tabela 2.7 - Impactos da urbanização na geologia

| Causa   | Impacto   | Consequência   |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Alteração da vegetação.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Modificação das propriedades do solo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudança no microclima.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Ocupação inapropriada de terras íngremes.</li> <li>Impermeabilização.</li> <li>Construção.</li> <li>Movimentos de terra (aterros e escavações).</li> <li>Alterações no escoamento das águas.</li> <li>Desmatamento.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão do solo.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Deslizamentos e desabamentos.</li> <li>Danos materiais, sociais e econômicos.</li> <li>Assoreamento de recursos hídricos.</li> <li>Aumento da turbidez da água.</li> <li>Danos à fauna aquática.</li> <li>Infertilidade do solo.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Impermeabilização.</li> <li>Construção.</li> <li>Movimentos de terra (aterros e escavações).</li> <li>Alterações no escoamento das águas.</li> <li>Desmatamento.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Carreamento da camada fértil do solo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Infertilidade do solo.</li> <li>Redução da produtividade.</li> <li>Custos com adubação.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Aterro de lagoas e pântanos.</li> <li>Deposição de sedimentos em estuários.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Formação de novas terras.</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução das áreas de recarga de aquíferos.</li> <li>Poluição da água.</li> </ul>  |

Continua

Tabela 2.7 - Impactos da urbanização na geologia (continuação)

| Causa   | Impacto   | Consequência   |
|---|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Formação de novas terras.</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução na capacidade de armazenamento da água superficial.</li> <li>Desequilíbrios ecológicos.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Crescimento populacional.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ocupação inadequada com o tipo de solo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Perdas econômicas.</li> <li>Acidentes.</li> <li>Utilização de solos férteis, em áreas de construção e de solos improdutivo, em áreas agricultáveis.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes.</li> <li>Dejetos de animais, contendo microrganismos patogênicos.</li> <li>Lançamento de resíduos líquidos, domésticos ou industriais, no solo.</li> <li>Depósitos de resíduos sólidos a céu aberto.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Poluição do solo.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Eutrofização da água.</li> <li>Turbidez.</li> <li>Destruição de microrganismos.</li> <li>Poluição da água.</li> <li>Doenças.</li> <li>Maus odores.</li> <li>Proliferação de insetos e roedores.</li> <li>Poluição do ar.</li> <li>Poluição visual devido ao aspecto estético desagradável.</li> <li>Desvalorização das áreas próximas aos depósitos.</li> </ul> |

Fontes: Beasley, 1972; Drew, 1989; Ferrari, 1991; McHarg, 1969; Mota, 1981, 1997 e 1999 e Spirn, 1995.

### *Importância das áreas verdes*

Freqüentemente, os solos urbanos encontram-se escondidos pelas calçadas, ruas, edifícios e praças pavimentadas. São poucas as áreas expostas que se apresentam na forma de jardins públicos, parques, praças arborizadas, áreas de recreação, preservação e proteção. Entretanto, são estes locais que oferecem oportunidades para o melhoramento das condições do solo urbano (Laurie, 1979 e Pitt, 1979).

A Tabela 2.8 mostra a importância da vegetação para o solo, de onde pode-se observar que ela atua nas características física, química e biológica do mesmo, sendo capaz de recuperar a sua estabilidade e fertilidade, mesmo que ele proporcione um ambiente hostil a ela.

Mas, à medida que o homem interage, criando ambientes artificiais, ele começa a alterar os ecossistemas, os quais procuram reequilibrar-se dentro do meio construído pelo homem. Daí a necessidade de se entender os processos que regem a natureza e estabelecer métodos e diretrizes que vão de acordo com as características do sistema natural, atendendo, também, as necessidades humanas.

Além disso, é necessário identificar as áreas mais adequadas para cada atividade humana é a intensidade do seu uso, tendo em vista os processos naturais, com o propósito de evitar possíveis impactos negativos e promover o bem-estar dos habitantes.

Tabela 2.8 – **Influência da vegetação nas características do solo**

| <b>Características do solo</b> | <b>Influência da vegetação</b>   |
|--------------------------------|--|
| <b>Aspectos físicos</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• O sistema radicular promove uma estabilidade estrutural.</li> <li>• Aumenta a capacidade de aeração do solo e, após morrerem deixam canais vazios, permitindo a penetração do ar no solo e melhorando a permeabilidade.</li> <li>• As raízes exercem uma ação agregante, ao eliminarem uma substância gelatinosa, denominada mucigel.</li> <li>• A matéria orgânica auxilia na aglutinação das partículas do solo, aumentando a capacidade de retenção d'água, o volume de água que o solo pode absorver e a permeabilidade à água.</li> <li>• A população microbiana, que vive em torno das raízes, produz 'colas' (<i>gums</i>), unindo as pequenas partículas do solo e ajudando a estabilizar a parede dos canais.</li> <li>• O tecido vegetal constitui a primeira e principal fonte de matéria orgânica do solo.</li> <li>• Reduz a erosão hídrica e eólica.</li> <li>• Participa do processo de intemperismo mecânico.</li> <li>• Mantém a umidade da superfície e a temperatura do solo.</li> </ul> |
| <b>Aspectos químicos</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As plantas influenciam os elementos que compõem o humo, fazendo com que ele varie de acordo com a espécie vegetal, devido aos diferentes nutrientes absorvidos por cada planta.</li> <li>• A matéria orgânica aumenta o suprimento e a disponibilidade de nutrientes, influenciando na fertilidade do solo.</li> <li>• Reduz o ritmo de remoção dos minerais da superfície.</li> <li>• Aumenta a fertilidade do solo através da permuta iônica com os colóides do mesmo.</li> <li>• É responsável pela reciclagem de nutrientes.</li> <li>• A matéria orgânica aumenta a resistência contra a modificação brusca do pH do solo.</li> </ul>  |
| <b>Aspectos biológicos</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As plantas carregam grandes concentrações de microrganismos em torno de suas raízes, os quais agem de maneira pronunciada em solos pobres, aumentando a sua fertilidade.</li> <li>• O tecido original da planta serve como fonte de nutriente e energia para a realização dos processos vitais dos organismos do solo.</li> </ul>   |

Fontes: Beasley, 1972; Brady, 1989; Branco e Rocha, 1987; Eyre, 1971; Galerane *et al*, 1995; Kiehl, 1979; Mota, 1997 e 1999; Primavesi, 1984; Russell, 1973 e Thompson e Troeh, 1973.

Dando continuação à revisão, a seguir, são tratados os impactos provocados na cobertura vegetal, onde observa-se a importância do solo e de outros fatores, para a mesma.

### 2.2.5 Impactos da urbanização sobre as áreas verdes

Há 400 ou 500 milhões de anos, os ancestrais de todas as plantas terrestres originaram-se dos oceanos, a partir de organismos simples, comparados às algas. Foram evoluindo, passando por modificações graduais, transformando-se e divergindo-se em novos organismos, durante os períodos geológicos (Eyre, 1971 e Ferri, 1983).

Esta evolução se deu através da seleção natural, onde, os organismos, cujas variações hereditárias permitiam melhores condições de vida e adaptação ao meio, sobreviviam e reproduziam-se mais que os menos favorecidos. Essas sucessivas variações continuam a ocorrer até que eles se tornem mais adaptados (Baker e Allen, 1975; Ferri, 1983 e Raven, Evert e Eichhorn, 1996).

As plantas constituem uma base para a produção de energia dentro de um ecossistema, pois, são capazes de capturar a energia do sol, iniciando um fluxo energético através da biosfera, o qual é mantido pela cadeia alimentar. Primeiramente, a energia luminosa é convertida em energia química pelo processo da fotossíntese. Em seguida, é passada de um nível trófico a outro, pela cadeia alimentar (Etherington, 1975; Larcher, 1986; Nobel, 1983; Odum, 1988 e Raven, Evert e Eichhorn, 1996).

As interações entre as plantas e os organismos, destes entre si e entre eles e o ambiente, produzem um ciclo ordenado de nutrientes, como o do fósforo e do nitrogênio, chamados ciclos biogeoquímicos. Esta ciclagem ocorre à medida que os organismos morrem, retornam ao solo e são decompostos pela bactérias e fungos.

Dentro de um grande ecossistema, a vegetação participa tanto em uma pequena escala (local) quanto em uma maior (global), envolvendo problemas que variam

de alterações microclimáticas a destruição da camada de ozônio e efeito estufa, em decorrência do desmatamento e da poluição.

No meio urbano, a cobertura vegetal, juntamente com os recursos hídricos, minerais e a fauna, compõe a natureza presente na cidade. É incorporada às áreas verdes, às zonas de proteção, de preservação e áreas destinadas ao lazer, funcionando como um elemento estruturador da paisagem. Encontra-se não somente nos quintais, jardins ou pátios privados, mas, também, fazendo parte dos espaços públicos, nas ruas, calçadas e nos grandes *boulevards*.

De acordo com Leite (1982), cada momento histórico tem uma paisagem, que reflete a relação entre o homem e a natureza, cultura, gostos e modas de uma época. Por este motivo, os princípios de organização da paisagem estão em constante evolução, sendo modificados pela sociedade, ciências e técnicas (veja Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Evolução da vegetação na paisagem urbana

| Época   | Características da paisagem   |
|---|---|
| Jardins sumérios (3500 a.C)                       | · A praça é fechada e formada por árvores e canais de irrigação.  |
| Parques de caça assírios (persas) (séc. XVII a.C) | · A área habitacional se expande formalmente, em direção ao ambiente circundante.   |
| 2º Império Babilônico (séc. VI a.C)               | · Jardins suspensos de 20 a 24m acima do nível do rio Eufrates.   |
| Sociedade grega (séc. XVI a.C)                    | · Com base na filosofia da razão e unidade entre todas as coisas, a arquitetura harmoniza-se com o ambiente; é tida como os prováveis precursores do parque urbano moderno.   |
| Sociedade romana (séc. X a.C)                     | · Visava satisfazer as necessidades essenciais do corpo ou do espírito, tendo como base a contemplação do crescimento das árvores, dos contrastes entre as folhagens e o desfrutar das sensações de paz dos campos e florestas. |
| Assentamentos muçulmanos (570 d.C)                | · Existe uma integração entre a casa e o jardim.  |
| Índia mongólica (1524 d.C)                        | · A paisagem exterior é grandiosa e selvagem, há uma preocupação em integrar os edifícios ao seu entorno.   |
| Idade média 1ª etapa (séc. V ao IX d.C)           | · Os elementos naturais eram observados individualmente e simbolizavam qualidades divinas.  |

Continua

*Quadro 2.1 – Evolução da vegetação na paisagem urbana (continuação)*

| <b>Época</b>   | <b>Características da paisagem</b>  |
|--|---|
| 2ª etapa<br>(séc. IX ao XII d.C)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Surge o jardim medieval, o espaço é fechado, íntimo, emparedado, fortemente defendido contra o mundo exterior, era usado para a plantação de alimentos e ervas medicinais.</li> </ul>  |
| 3ª etapa<br>(séc. XII ao XV d.C)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Com a redução do conflito político, o desenvolvimento do comércio e a acumulação de riquezas, os jardins tornam-se maiores, mais elaborados, desenhados para o prazer e não só para a utilidade.</li> </ul>  |
| Renascimento<br>(séc. XV) ao XVII)                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Os espaços verdes assumem grande importância. É atribuído um carácter monumental a eles. As praças são projetadas dentro de princípios rígidos de simetria e proporção, com desenhos geométricos e escalonamentos de grandes dimensões.</li> </ul>   |
| Barroco (séc. XV ao XVII)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Continua a existir o monumentalismo clássico das praças e jardins.</li> </ul>  |
| Início do século XVIII   | <ul style="list-style-type: none"> <li>O artificialismo geométrico dos jardins clássicos se atenua com o retorno à natureza. Os jardins são transformados em parques com arvoredo e córregos. O lugar onde as pessoas vivem passa a ser usufruído. O homem sente-se livre para questionar o funcionamento da natureza.</li> </ul> |
| Revolução industrial<br>(1760 a 1830)                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>A demanda por matéria-prima gera a dizimação de grandes florestas.</li> </ul>  |
| Classicismo ocidental,<br>escola inglesa e chinesa<br>(séc. XVIII)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>As fontes de beleza natural são identificadas. Os conceitos abstratos de beleza são associados ao arranjo das árvores, arbustos, gramados, pedras e água. As linhas naturais da paisagem são respeitadas e enfatizadas pelo desenho.</li> </ul>  |
| Final do século XVIII  | <ul style="list-style-type: none"> <li>A beleza não estava somente nas paisagens domesticadas, mas também nas paisagens selvagens, reagindo ao racionalismo opressivo do século XVIII e ao ambiente criado pela revolução industrial.</li> </ul>  |
| Século XIX   | <ul style="list-style-type: none"> <li>O homem envolve-se com os processos naturais. Com isso, os aspectos informais e arquitetônicos são associados em um estilo de paisagem que reconhece as restrições e as potencialidades de cada lugar.</li> </ul>  |
| Naturalismo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>A beleza não está nem nos objetos em si, nem no observador, mas deve ser descoberta na relação entre o indivíduo e o ambiente.</li> </ul>  |
| Funcionalismo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>A natureza não deve ser olhada como um refúgio, mas como um estímulo para o corpo e a mente, não podendo ser dominada ou sentimentalizada.</li> </ul>  |
| Final de 1960<br>(transição entre a idade<br>moderna e<br>contemporânea) | <ul style="list-style-type: none"> <li>A paisagem tem o papel de promover o encontro entre os grupos sociais, fazendo com que as atividades humanas se integrem a um dado conjunto de circunstâncias físicas. Os valores, os hábitos e os objetos passam a ditar as normas da paisagem.</li> </ul>                                |
| Idade contemporânea  | <ul style="list-style-type: none"> <li>A vida passa a se desenvolver nos espaços públicos, os quais devem abrigar os propósitos humanos e os processos naturais.</li> </ul>   |

Fontes: Ferrari, 1991 e Leite, 1982.

A célula é a unidade básica formadora de todo ser vivo e responde, fisiologicamente, às condições ambientais em que se encontra. Assim, as plantas, como seres vivos, são influenciadas pelo seu ambiente físico e biológico, podendo funcionar como um medidor ou indicador das condições ambientais na qual estão inseridas (Etherington, 1975). A Tabela 2.9 apresenta os fatores ambientais, diretamente, relacionados com as plantas.

Tabela 2.9 – Fatores ambientais que influenciam as plantas

| Fatores ambientais | Elementos   |
|--------------------|---|
| Clima              | Luminosidade<br>Precipitação<br>Movimento do ar   |
| Edáficos           | Propriedades físicas do solo<br>Propriedades químicas do solo   |
| Bióticos           | Relação de competição entre as espécies<br>Características hereditárias<br>Estrutura vegetal<br>Condições físicas<br>Estágio de desenvolvimento |

Fonte: Merva, 1975.

A diferenciação celular dá origem a formação de dois grandes sistemas, o radicular e o caulífero. Ambos realizam funções específicas e uma alteração física ou funcional em um deles, afetará o outro, pois existe um balanço entre eles. Assim, a planta mantém uma relação entre a área total da superfície disponível para a elaboração de alimento (superfície fotossintetizante) e a área disponível para a absorção de água e nutrientes (Raven, Evert e Eichhorn, 1996).

A planta, quando vista como agente influenciador do microclima e da região do solo diretamente ocupada por ela, passa a ser estudada dentro de um contínuo solo-planta-atmosfera, influenciando e sendo influenciada pelo solo e microclima (Merva, 1975).

Dentro deste contínuo, ela também estabelece a sua importância aos seres vivos, no que diz respeito a produção das substâncias orgânicas necessárias a eles. Assim, ela retira da luz solar, sua fonte de energia e, da água e dos nutrientes do solo, os elementos formadores dos seus produtos, devolvendo-os na forma de

oxigênio e alimento para os homens e animais (Primavesi, 1984 e Raven, Evert e Eichhorn, 1996).

Assim como o sistema caulífero está exposto à variabilidade dos elementos climáticos, da mesma maneira, ele afeta a intensidade da radiação solar que alcança o solo, a velocidade do ar, a umidade e a temperatura do ar e do solo, formando microclimas distintos. Portanto, cria-se, de acordo com Geiger (1950), ‘uma interação entre a planta, que depende do clima de seu habitat, e o clima, que é parcialmente dependente da planta’.

No entanto, as árvores, nas áreas urbanas, crescem sob condições muito diferentes das encontradas em florestas e nas áreas rurais. A Tabela 2.10 mostra alguns aspectos relacionados com o solo e o clima urbano, que impedem que algumas plantas sobrevivam. Além destes, ainda encontram-se problemas adicionais como os relacionados na Tabela 2.11. Todos estes aspectos criam um ambiente hostil que enfraquece as árvores e promove a disseminação de doenças (Pitt, 1979 e Spirn, 1995).

Tabela 2.10 – Efeitos danosos provocados nas plantas devido às alterações ocorridas nos fatores ambientais

| Planta            | Fisiologia                                 | Fatores e alterações ambientais  | Efeitos produzidos  |
|-------------------|--|----------------------------------|---|
|                   |  | Solo:                            |   |
|                   |  | • Solos muito ácidos             | • Prejudica o crescimento do sistema radicular.<br>• Presença de íons hidrogênio e alumínio, tóxicos aos vegetais.  |
|                   |  | • Solos muito alcalinos          | • Colapso das células vegetais devido ao seu movimento osmótico.  |
| Sistema radicular | • Absorção de água, minerais<br>• Excreção | • Deficiência de macronutrientes | • Afeta a formação da clorofila.<br>• Raquitismo vegetal.<br>• Sistema radicular restrito<br>• Limita o crescimento da planta.<br>• Frutos e sementes pequenos, leves e poucos.<br>• Perda da coloração verde das folhas (clorose). |

Continua

Tabela 2.10 – Efeitos danosos provocados nas plantas devido às alterações ocorridas nos fatores ambientais (continuação)

| Planta            | Fisiologia   | Fatores e alterações ambientais   | Efeitos produzidos   |
|-------------------|--|---|--|
| Sistema radicular | Absorção de água, minerais<br>Excreção                         | • Deficiência de micronutrientes  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Morte das porções meristemáticas.</li> <li>• Diminuição do fluxo de absorção d'água.</li> <li>• Lento crescimento das raízes.</li> <li>• Lenta síntese de proteínas.</li> </ul>   |
|                   |  | • Solos úmidos  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enriquecimento de gás carbônico, gerando uma competição entre as plantas e os microrganismos.</li> <li>• Bactérias, trabalhando em condição anaeróbica, liberam substâncias tóxicas às células das raízes.</li> <li>• Redução na taxa de transferência de água e nutrientes do solo para as células da raiz.</li> </ul>           |
|                   |  | • Falta de água   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distúrbios na planta.</li> <li>• Reduz a transpiração.</li> </ul>   |
|                   |  | • Solos compactados   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impede a expansão das raízes devido à deficiência de água, ar, nutrientes e espaços vazios.</li> <li>• Extermina os microrganismos que tornam os nutrientes acessíveis às plantas.</li> <li>• Reduz a capacidade fotossintética e acelera a respiração, alterando, conseqüentemente, a estrutura e a produção vegetal.</li> </ul> |
| Sistema caulífero | Fotossíntese<br>Respiração<br>Transpiração<br>Reprodução<br>çã | Clima:  |  |
|                   |  | • Radiação em excesso <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luz visível</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração no metabolismo.</li> <li>• Danos ao sistema fotossintético.</li> <li>• Inibição do crescimento.</li> </ul>  |
|                   |  | • Infravermelho   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estresse térmico.</li> <li>• Seca.</li> </ul>   |
|                   |  | • Ultravioleta  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Morte das células pigmentadas.</li> <li>• Inativação enzimática.</li> <li>• Inibição do crescimento.</li> <li>• Lesões bioquímicas.</li> <li>• Redução do tamanho da folha.</li> <li>• Desencadeamento de mutações genéticas e morte de células.</li> </ul>   |
|                   |  | • Vento forte   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Influencia no desenvolvimento, reprodução, distribuição e na morte da planta.</li> <li>• Pode deformar, fisicamente, a planta.</li> <li>• Pode quebrar, ou arrancá-la.</li> <li>• Dispersa ou promove o ingresso de pólenes, doenças, moléculas de gás e poluentes.</li> <li>• Provoca a queda de flores e frutos.</li> </ul>     |

Continua

Tabela 2.10 – Efeitos danosos provocados nas plantas devido às alterações ocorridas nos fatores ambientais (continuação)

| Planta            | Fisiologia  | Fatores e alterações ambientais  | Efeitos produzidos  |
|-------------------|---|--|---|
| Sistema caulífero | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotosíntese</li> <li>• Respiração</li> <li>• Transpiração</li> <li>• Reprodução</li> </ul> | Clima: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vento forte</li> <li>• Alta umidade do ar</li> <li>• Baixa umidade do ar</li> <li>• Elevada temperatura</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode provocar uma seca fisiológica na planta.</li> <li>• Reduz a taxa de transpiração e a intensidade da fotossíntese.</li> <li>• Fechamento dos estômatos.</li> <li>• Redução da fotossíntese.</li> <li>• Aumento da respiração.</li> <li>• Redução da taxa de crescimento.</li> <li>• Destruição da clorofila.</li> <li>• Queima da folha.</li> <li>• Fechamento dos estômatos e redução da taxa de transpiração.</li> <li>• Formação de produtos de decomposição tóxica.</li> </ul> |
|                   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa temperatura</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de cristais de gelo nos tecidos vegetais.</li> <li>• Colapso do metabolismo.</li> <li>• Redução da fotossíntese.</li> <li>• Redução da respiração.</li> <li>• Fechamento dos estômatos e redução da taxa de transpiração.</li> </ul>  |

Fontes: Budyko, 1974; Devlin, 1975; Geiger, 1950; Larcher, 1986; Levitt, 1980; Nobel, 1983; Ometto, 1981; Raven, Evert e Eichhorn, 1996 e Taiz e Zeiger, 1991.

Tabela 2.11 – Impactos provocados pela urbanização nas áreas verdes

| Causa   | Impacto  | Consequência  |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirada em grande escala de espécies vegetais de uma área natural para serem replantadas em jardins e praças.</li> <li>• Introdução de novas plantas.</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extinção ou modificação de espécies vegetais nativas, raras e de grande valor.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Miscigenação entre espécies, dando origem a uma planta intermediária.</li> <li>• Formação de climas similares.</li> <li>• Extinção de espécies nativas da vida selvagem</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirada em grande escala de espécies vegetais de uma área natural.</li> <li>• Introdução de novas plantas.</li> <li>• Construção civil.</li> <li>• Desmatamento.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução ou eliminação de habitats.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proliferação de certas populações animais, como baratas, ratos, moscas, formigas, cupins e aranhas.</li> <li>• Criação seletiva de outras espécies em novos habitats, como edifícios, parques, quintais, esgotos e depósitos de lixo.</li> </ul> |

Continua

Tabela 2.11 – Impactos provocados pela urbanização nas áreas verdes  
(continuação)

| Causa  | Impacto   | Consequência  |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmatamento.</li> <li>• Intensa ocupação.</li> <li>• Exploração inadequada.</li> <li>• Especulação imobiliária.</li> <li>• Aterro.</li> <li>• Depósito de lixo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificação ou destruição de ecossistemas importantes (estuários, manguezais, lagoas, florestas etc).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Danos à flora e à fauna.</li> <li>• Desequilíbrios ecológicos.</li> <li>• Prejuízos às atividades econômicas, sociais e culturais.</li> <li>• Alterações climáticas.</li> <li>• Desvalorização de áreas.</li> <li>• Desfiguração da paisagem.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento populacional.</li> <li>• Urbanização.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reprodução e / ou eliminação da cobertura vegetal (desmatamento).</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do albedo.</li> <li>• Maiores flutuações de temperatura.</li> <li>• Desfiguração da paisagem.</li> <li>• Redução do volume de água que é interceptada pelas plantas, passando a ser perdida por evaporação.</li> <li>• Redução da evapotranspiração.</li> <li>• Aumento da temperatura da água tornando-a inadequada a diversas espécies de organismos aquáticos.</li> <li>• Desestabilização dos solos.</li> <li>• Menor efeito amortecedor da chuva.</li> <li>• Maior escoamento superficial.</li> <li>• Menor infiltração.</li> </ul> |

Fontes: Drew, 1989; Tucci e Clarke, 1997; McHarg, 1969; Mota, 1981, 1997 e 1999 e Spim, 1995.

Todavia, são essas áreas verdes que oferecem oportunidades de recuperação das condições físicas urbanas e de uma aproximação do homem à natureza. A ausência da natureza, ou o descaso para com ela, tanto por parte dos profissionais envolvidos no desenho urbano, quanto da própria população, tornou o ambiente urbano esgotado, estressante e doentio (Laurie, 1979 e Pitt, 1979).

O descaso para com a vegetação no meio urbano pode ser sintetizado pela frase de Loren Eiseley (1961 *apud* McHarg, 1969):

‘O homem, no espaço, se permite desprezar a distante terra, uma órbita celestial, uma esfera giratória. Ele a vê sendo verde, das verduras no solo, algas esverdeando os oceanos, um fruto celestial verde. Aproximando-se dela, ele percebe manchas negras, marrons, cinzas e delas prolongam-se dinâmicos tentáculos sobre a epiderme verde. Ele reconhece essas

imperfeições como as cidades e as atividades humanas e pergunta: “O homem é apenas uma doença planetária?”<sup>4</sup>

Dentro do contínuo solo-planta-atmosfera, a água participa dos dois ambientes, à medida que é absorvida no solo e é eliminada pela transpiração e respiração. A seguir, na descrição sobre o ciclo hidrológico e os impactos provocados nele, poderá ser visto que, a vegetação, como componente deste ciclo, é um elo de ligação entre o solo e a atmosfera, sendo considerada um elemento importante para a drenagem urbana.

### 2.2.6 Impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico

#### *Importância da água*

A água, em quantidade adequada, é indispensável à comunidade biótica e aos fatores abióticos, pois:

- auxilia a ativação das camadas do solo em desenvolvimento;
- participa da maioria das reações químicas e da reciclagem de nutrientes;
- exerce influência sobre os horizontes e a atividade microbiana;
- contém gases e sais solúveis, formando a solução do solo;
- dependendo do seu pH, influencia a disponibilidade de nutrientes necessários ao crescimento vegetal;
- determina características climáticas;
- é o meio para o movimento de moléculas dentro e entre as células, e no qual a maioria das reações bioquímicas ocorrem; e
- influencia as estruturas moleculares e propriedades de proteínas, membranas, ácidos nucléicos e outros constituintes celulares (Brady, 1989; Kiehl, 1979; Larcher, 1986; Merva, 1975; Primavesi, 1984; Taiz e Zeiger, 1991 e Thompson e Troeh, 1973).

4. *Man in space is enable to look upon the distant earth, a celestial orb, a revolving sphere. He sees it to be green, from the verdure on the land, algae greening the oceans, a green celestial fruit. Looking closely at the earth, he perceives blotches, black, brown, gray and from these extend dynamic tentacles upon the green epidermis. These blemishes he recognizes as the cities and works of man and ask, "Is man but a planetary disease?"* (Loren Eiseley, 1961 apud McHarg, 1969).

De acordo com Smith (1974),

‘sem o ciclo da água, os ciclos biogeoquímicos não poderiam existir, conseqüentemente, os ecossistemas não funcionariam e a vida não poderia ser mantida’.

Leonardo da Vinci, citado por Smith (1974), escreveu: ‘A água é o condutor da natureza’ (*Water is the driver of nature*), pois ela interfere na rede de relações que existe entre todas as partes do ambiente, tanto vivas quanto não vivas.

### *A água dentro do contínuo solo-planta-atmosfera*

As plantas continuamente absorvem a água do solo pelo sistema radicular e perdem parte dela, pela superfície foliar, mediante a transpiração. A água do solo advém da chuva que compõe o ciclo hidrológico na natureza. Segundo Kiehl (1979), ele pode ser desdobrado em dois ciclos, um grande e um pequeno (veja Figura 2.7), onde, a vegetação é componente de ambos os ciclos.

Figura 2.7 – O ciclo hidrológico



Fonte: Kiehl, 1979.

Iniciando o menor ciclo a partir da evapotranspiração, a água é transferida para a atmosfera, aumentando o conteúdo de vapor d'água, formando as nuvens e, dependendo das condições atmosféricas, ela pode ser precipitada. Parte da chuva é interceptada e parte atinge o solo. A que alcança o solo pode ser infiltrada, escoar superficial e subterraneamente, em direção aos cursos d'água e percolar dentro de uma região do solo não saturada, até atingir o lençol freático.

Da água armazenada no solo, pela infiltração, parte é evaporada e parte é absorvida pelas plantas, sendo liberada para a atmosfera pela transpiração, fechando-se, então, o pequeno ciclo. No grande ciclo, introduz-se a evaporação da água dos mares e oceanos, a qual forma as nuvens, que, por ação do vento, são sopradas em direção aos continentes, entrando no pequeno ciclo.

Os galhos e folhas da vegetação interceptam a água da chuva, fazendo com que ela evapore e retorne à atmosfera, sem que atinja o solo. A quantidade interceptada depende da densidade foliar e da estrutura da cobertura vegetal (veja Quadro 2.2), bem como do tipo, intensidade e duração da precipitação e das condições meteorológicas predominantes durante a chuva, como elevada temperatura e velocidade do vento.

Quadro 2.2 – Percentagem da água interceptada pela vegetação

| Vegetação                          | Fração interceptada |
|------------------------------------|---------------------|
| Floresta de coníferas              | 20 a 35%            |
| Florestas mistas da zona temperada | 15 a 30%            |
| Florestas tropicais densas         | 35 a 70%            |
| Vegetação rasteira                 | 5 a 20%             |
| Arbustos                           | até 50%             |

Fonte: Larcher, 1986.

A água começa a gotejar das folhas e dos brotos e a escorrer pelo tronco, atingindo o solo, somente depois das plantas estarem completamente molhadas. Dessa forma, a vegetação amortece o impacto das gotas de chuva ao caírem no solo, mantendo a permeabilidade da superfície (Brady, 1989; Larcher, 1986; Mascaró, 1996 e Smith, 1974).

Ao atingir o solo, a água se infiltra na porção porosa do mesmo. O armazenamento de água no estado líquido é decorrente de fenômenos físicos de interação da porção sólida com a líquida, que determinam os estados de energia da água e, conseqüentemente, o seu movimento no solo.

Segundo Brady (1989), Ferri (1985) e Kiehl (1979), a retenção e a movimentação da água nos solos, a captação e o transporte pelas plantas e, a liberação da água para a atmosfera, são fenômenos relacionados com os estados de energia da água, onde ela se movimenta em busca do menor estado energético (veja Figura 2.8), sendo influenciados pelo (a):

- estação do ano,
- condições atmosféricas,
- hora do dia,
- estágio de crescimento,
- estado de nutrição,
- distribuição das raízes e tipo de planta e,
- características e conteúdo de água do solo.

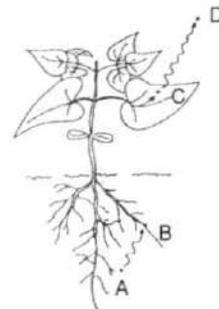
Figura 2.8 – Esquema do movimento da água do solo para a atmosfera, através da planta

A água move-se do solo para a raiz à medida que a planta absorve a água do solo, tornando-o mais seco em torno da raiz.

Da raiz para a folha, a água move-se por capilaridade, adsorção e pela força osmótica.

Da folha para a atmosfera, onde a água encontra-se no estado de vapor, com baixa energia livre, ou seja, há déficit de vapor d'água.

Assim, a água caminha de A → B → C → D.



Fonte: Ferri, 1985.

### *Impactos no ciclo hidrológico*

A quantidade e a qualidade da água superficial e subterrânea dependem de fatores naturais, tais como o clima, a vegetação, a topografia e a geologia e, de fatores humanos, como a urbanização, a agricultura e o desflorestamento (Pierzynski, Sims e Vance, 1994).

Os recursos hídricos têm sido um dos fatores decisivos na localização e desenvolvimento das cidades, principalmente, devido à sua utilização nas atividades humanas, tais como: indústria, recreação passiva e ativa, irrigação, abastecimento d'água, produção de energia, dentre outros usos. Mas, para tanto, é requerida em quantidade e qualidade adequadas para cada fim.

Muitos são os impactos provocados pela urbanização no ciclo hidrológico. O desmatamento é a causa de alguns deles. Apesar disso, é uma prática que está associada com o processo de ocupação das cidades e com o mau parcelamento do solo. A Tabela 2.12 apresenta outros impactos provocados pela urbanização, os quais atingem o ciclo hidrológico.

Tabela 2.12 – Impactos provocados pela urbanização no ciclo hidrológico

| Causa   | Impacto   | Consequência  |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aceleração do processo erosivo do solo.</li> <li>· Redução da cobertura vegetal.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Assoreamento dos cursos d'água.</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Alteração nas características físicas, químicas e biológicas da água.</li> <li>· Água imprópria ao consumo humano e animal.</li> <li>· Obstruções no fluxo.</li> <li>· Soterramento e / ou alteração da flora e fauna que vivem no fundo do canal.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aceleração do processo erosivo do solo.</li> <li>· Redução da cobertura vegetal.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Redução do armazenamento da água superficial.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento da vazão média do rio.</li> <li>· Enchentes e inundações.</li> <li>· Redução do escoamento subterrâneo.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aceleração do processo erosivo do solo.</li> <li>· Redução da cobertura vegetal.</li> <li>· Ocupação de terrenos em declive.</li> <li>· Modificações nas características topográficas de uma determinada área como os movimentos de terra, as escavações e os aterros.</li> <li>· Desmatamento.</li> <li>· Impermeabilização e / ou compactação do solo.</li> <li>· Drenagem artificial da água em canos de esgotos ou bueiros.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Escoamento superficial mais rápido.</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento da vazão média do rio.</li> <li>· Enchentes e inundações.</li> <li>· Redução do escoamento subterrâneo.</li> <li>· Secamento mais rápido do solo.</li> <li>· Aceleração do processo erosivo do solo.</li> <li>· Assoreamento dos recursos hídricos.</li> <li>· Problemas de drenagem.</li> <li>· Carreamento de resíduos líquidos, sólidos e gasosos durante os períodos de chuva.</li> <li>· Poluição das águas.</li> </ul> |

Continua

Tabela 2.12 – Impactos provocados pela urbanização no ciclo hidrológico  
(continuação)

| Causa  | Impacto  | Consequência  |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmatamento.</li> <li>• Impermeabilização e / ou compactação do solo.</li> <li>• Drenagem artificial da água em canos de esgotos ou bueiros.</li> <li>• Ocupação inadequada de solos propícios à recarga de aquíferos.</li> <li>• Aterro de lagoas.</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da infiltração e capacidade de absorção do solo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do escoamento subterrâneo.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupação inadequada de solos propícios à recarga de aquíferos.</li> <li>• Aterro de lagoas.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do escoamento subterrâneo.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução das vazões mínimas.</li> <li>• Redução do nível do lençol freático.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupação inadequada de solos propícios à recarga de aquíferos.</li> <li>• Aterro de lagoas.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obstrução e redução das áreas de recarga de aquíferos.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da infiltração.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de drenagem urbana da água pluvial em canos de esgoto e bueiros, reduzindo o tempo de retardamento.</li> <li>• Ocupação de áreas baixas.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enchentes e inundações.</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Danos sociais e econômicos.</li> <li>• Proliferação de doenças.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupação de terrenos em declive.</li> <li>• Desmatamento.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão do solo.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assoreamento dos recursos hídricos.</li> <li>• Redução da capacidade de armazenamento d'água.</li> <li>• Enchentes.</li> <li>• Carreamento do solo e outros materiais.</li> <li>• Obstruções no fluxo.</li> <li>• Soterramento e / ou alteração da flora e fauna que vivem no fundo do canal.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desmatamento.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da perda de água do solo por transpiração.</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da infiltração.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfuração de poços em áreas costeiras, facilitando a entrada de água salgada.</li> <li>• Disposição de resíduos tóxicos, descargas biológicas ou esgotos em áreas de recarga.</li> <li>• Fertilizantes, herbicidas e pesticidas utilizados em jardins e na limpeza das vias públicas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição da água subterrânea.</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Água imprópria ao consumo humano.</li> <li>• Poluição da água superficial nos pontos de troca com a subterrânea, durante os períodos de seca e pelo escoamento subterrâneo.</li> <li>• Escassez de recursos hídricos potáveis e seguros.</li> <li>• Aumento do custo para tratamento.</li> </ul>         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• A taxa de extração de água subterrânea é superior à da recarga natural.</li> <li>• Maior consumo de água devido o crescimento populacional e de suas atividades.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução no nível do lençol freático.</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Escassez de recursos hídricos potáveis e seguros.</li> <li>• Aumento do custo para suprir a demanda.</li> </ul>  |

Continua

*Tabela 2.12 – Impactos provocados pela urbanização no ciclo hidrológico  
(continuação)*

| <b>Causa</b>   | <b>Impacto</b>  | <b>Consequência</b>   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Carreamento de resíduos líquidos, sólidos e gasosos durante os períodos de chuva, através do escoamento.</li> <li>· Lançamentos de efluentes de fontes pontuais como as indústrias e os esgotos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Poluição da água superficial.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Elevação da concentração química e do conteúdo orgânico dos rios.</li> <li>· Excessiva turbidez.</li> <li>· Eutrofização.</li> <li>· Doenças veiculadas pela água.</li> <li>· Reações física, química e biológica, modificando a biota do rio.</li> <li>· Desequilíbrios ecológicos.</li> <li>· Poluição da água subterrânea nos pontos de troca entre a água superficial e subterrânea, durante os períodos de chuva e de seca.</li> <li>· Contaminação de águas limpas.</li> <li>· Água inapropriada à diversos usos.</li> <li>· Aumento do custo para tratamento.</li> <li>· Poluição das praias com prejuízos para o turismo e a pesca.</li> </ul> |

Fontes: Drew, 1989; Lazaro, 1990; McHarg, 1969; Mota, 1981, 1997 e 1999; Obasi, 1997; OMM, 1997; Spim, 1995; Tucci e Clarke, 1997 e Tucci e Genz, 1995.

A urbanização modifica a superfície natural da terra, onde o (a) (s):

- cobertura vegetal é substituída por superfícies impermeabilizadas e compactas,
- cursos d'água são cobertos e canalizados, e
- atividades urbanas, a densidade construída, o padrão de assentamento, o projeto do sistema de drenagem e de controle de enchentes produzem um regime hídrico urbano característico.

Neste contexto, os maiores danos causados à população advêm da (o):

- reduzida capacidade de infiltração e, conseqüente redução do nível do lençol freático;
- rápido escoamento superficial, devido à deficiência na drenagem natural das águas pluviais; e
- poluição hídrica.

Tendo em vista a importância da cobertura vegetal para o ciclo hidrológico, o desmatamento é um dos principais responsáveis pelas alterações no escoamento médio das bacias hidrográficas, na recarga dos aquíferos, na razão entre o transporte de calor sensível e latente e na umidade do solo, trazendo sérias conseqüências ao ciclo e, conseqüentemente, ao balanço hídrico e à drenagem natural das águas (Mota, 1999; Tucci e Clarke, 1997 e Tucci e Genz, 1995).

Normalmente, quanto mais densa é a cidade, maior é a proporção de áreas pavimentadas em relação às áreas verdes e maior é a eficiência do sistema de drenagem das águas pluviais. Conseqüentemente, as águas das chuvas alcançam os córregos e rios num menor espaço de tempo (Beasley, 1972; Mota, 1999; Spirn, 1995 e Tucci e Genz, 1995). A Figura 2.9 ilustra esquematicamente, como o escoamento se comporta em uma bacia hidrográfica natural e em uma totalmente urbanizada.

Figura 2.9 – Comparação entre bacias hidrográficas natural e urbana



Gráfico I – Bacia Hidrográfica Natural (antes da urbanização)

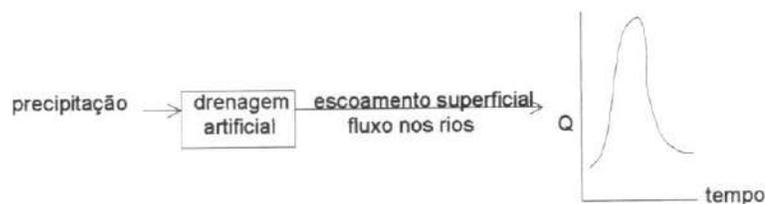


Gráfico II – Bacia Hidrográfica 100% impermeabilizada (depois da urbanização)

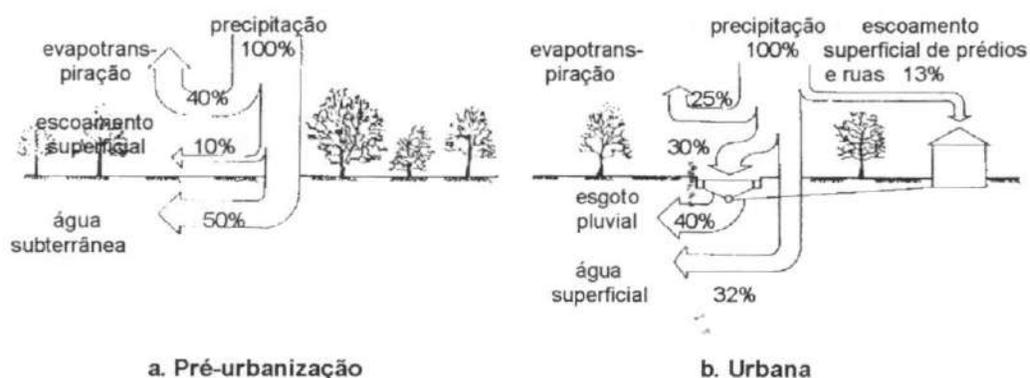
No gráfico I, parte da água da chuva é interceptada pela vegetação e o restante cai no solo. Assim que a vegetação e o solo começam a ficar saturados, o excedente escoar superficial e subterraneamente. Entretanto, como o fluxo subterrâneo é mais lento que o superficial, ele atingirá o curso d'água mais tarde.

No segundo gráfico, observa-se que a saturação e o escoamento acontecem mais cedo devido à redução na capacidade de armazenamento e infiltração do solo. Neste caso, o escoamento subterrâneo é inexistente e o superficial chega mais rápido ao rio, sem falar que a drenagem urbana é facilitada pelo sistema de esgotos. Reduzindo o tempo de retardamento ao comparar-se com os meios naturais e tendo-se, como resultado, vazões maiores que as naturais e um aumento na probabilidade de ocorrer inundações.

Fonte: Lazaro, 1990.

O aumento no volume do escoamento, juntamente com a redução da recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração, faz com que o balanço hídrico da bacia urbana também seja alterado (veja Figura 2.10). Uma das implicações disto é a redução na disponibilidade de água no solo para as plantas.

Figura 2.10 – Características do balanço hídrico numa bacia urbana



Fonte: OECD, 1986 *apud* Tucci e Genz, 1995.

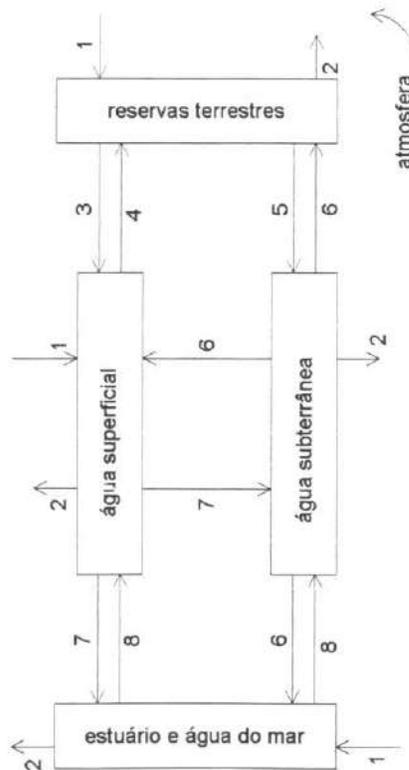
Durante a execução das atividades humanas, devido ao ciclo hidrológico, existem várias maneiras pelas quais a qualidade da água pode ser alterada. Os esquemas da Figura 2.11 mostram os caminhos percorridos por ela e identifica pontes de ligações entre os usos e os recursos hídricos. Também localiza os pontos em que o homem pode introduzir uma mudança na sua qualidade a fim de usá-la, ou tratá-la após o uso, para que retorne ao meio em condições apropriadas.

### *Importância das áreas verdes*

As áreas verdes atuam como locais que permitem a infiltração e percolação da água, conseqüentemente, a recarga de aquíferos, e reduzem o escoamento superficial. As plantas, juntamente com o solo e os microrganismos, têm capacidade de absorver a água, prevenindo enchentes, conservando e recuperando os mananciais.

Figura 2.11 – Caminhos percorridos pela água

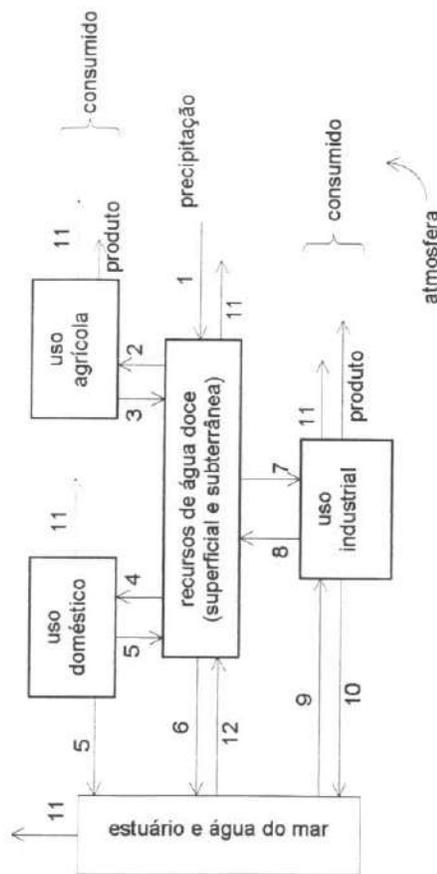
a. Sistema natural



Legenda:

| Sistema natural |   |   |
|-----------------|---|---|
| Nº              | Descrição                                 | Algumas características   |
| 1               | Precipitação                              | Gases dissolvidos (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> ), partículas de sujeira e fumaça, bactéria, sais. |
| 2               | Evaporação, atividade vulcânica, incêndio | Vapor d'água, sais, vapores da vegetação, partículas de sujeira orgânica e inorgânica, bactéria, fumaça, gases de combustão.                  |
| 3               | Escoamento superficial                    | Bactérias, fragmentos orgânicos e minerais, partículas do solo.   |
| 4               | Enchentes                                 | Material do solo.   |
| 5               | Infiltração                               | Minerais dissolvidos da superfície terrestre e das rochas primárias.  |
| 6               | Escoamento subterrâneo                    | Água mineralizada, intrusão de água salgada.  |
| 7               | Infiltração                               | Afloramento da água subterrânea.  |
| 8               | Águas de maré                             | Elevada salinidade e materiais dissolvidos.   |

b. Sistema modificado pelo homem



Legenda:

| Sistema modificado pelo homem |   |
|-------------------------------|---|
| Nº                            | Descrição   |
| 1                             | Precipitação<br>Gases dissolvidos (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S) e partículas de sujeira, fumaça e bactérias. |
| 2                             | Água para irrigação   |
|                               | Água doce.  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 3  | Retorno da água de irrigação                    | Lixiviação de água doce contendo sais e nutrientes, pesticidas, fragmentos orgânicos.              |
| 4  | Água para uso doméstico                         | Água doce tratada por processos como coagulação, filtragem..                                       |
| 5  | Resíduos líquidos                               | Matéria orgânica, sólidos dissolvidos, bactérias, vírus, resíduos industriais.                     |
| 6  | Descarga de água no oceano                      | Água doce contendo sais, pesticidas, fragmentos orgânicos, resíduos industriais, vírus, bactérias. |
| 7  | Água para uso industrial                        | Água tratada de acordo com o requerido pela indústria.   |
| 8  | Resíduos industriais                            | Matéria orgânica, Ions metálicos, sais, resíduos químicos.   |
| 9  | Refrigeração industrial                         | Recursos hídricos salinos.   |
| 10 | Retorno do uso industrial                       | Elevada temperatura e concentração de sais.  |
| 11 | Água consumida (evaporação e evapotranspiração) | Sais e vapores dissolvidos.  |
| 12 | Água de maré                                    | Aumento da salinidade e materiais dissolvidos.   |

Fonte: McGauhey, 1968.

Dessa forma, protegem a drenagem natural das águas e garantem uma melhor circulação da água. Assim, quanto mais estiverem espalhadas dentro da cidade, melhor, e sua localização nas margens dos cursos d'água, como faixas de proteção, assume extrema importância, sendo áreas de preservação de importância ecológica ou paisagística e favorecendo a segurança da população nos períodos chuvosos.

De acordo com Beasley (1972), Brady (1989), Branco e Rocha (1987), Galerane *et al* (1995), Givoni (1989), Mota (1997 e 1999), Primavesi (1984), Russell (1973) e Thompson e Troeh (1973), a presença da vegetação, seja ela árvores, arbustos, gramíneas ou resíduos orgânicos (cobertura morta): protege o solo, reduz a evaporação, serve de obstáculo ao transporte de matérias devido a sua rugosidade, reduz a velocidade com que a água se move na terra, contribui para a retenção e estabilização dos solos, eleva a porosidade do mesmo, minimiza, ou mesmo, previne a sua erosão e reduz o escoamento superficial.

Mota (1999) cita algumas medidas que vêm sendo utilizadas para assegurar a drenagem natural das água pluviais:

- adequada cobertura vegetal;
- controle da ocupação de encostas;
- preservação dos caminhos naturais das águas;
- controle do parcelamento e da ocupação do solo;
- preservação de áreas de amortecimento de cheias;
- proteção de áreas alagadas;
- adoção de faixas de proteção às margens dos recursos hídricos; e
- definição de taxas de permeabilidade de acordo com a infra-estrutura existente, o uso e a ocupação do solo, garantindo terrenos livres nas áreas onde a ocupação ainda não é intensa e assegurando o índice de escoamento superficial, onde a ocupação já é intensa.

A localização das áreas verdes, bem como os diversos usos e tipos de ocupações do solo, devem ter, como base, um levantamento dos recursos naturais, englobando os aspectos: geológicos, geomorfológicos, pedológicos, topográficos, climatológicos e hidrológicos da bacia. Somente assim, poderão ser identificadas

as áreas mais susceptíveis à erosão, as de valor paisagístico, as que constituem ecossistemas naturais e as inundáveis, onde o uso e a ocupação são restritos.

A partir de então, junto com o levantamento dos recursos humanos, sociais, culturais, administrativos, econômicos e da infra-estrutura existente, é possível fazer o zoneamento e estabelecer os usos, a ocupação do solo e os índices urbanísticos, de modo compatível com a área a ser ocupada (Ferrari, 1991; McHarg, 1969 e Mota, 1999). Segundo McHarg (1969), é necessário, antes de um projeto, 'descrever o processo natural e suas interações, e somente depois disso, estabelecer o grau de permissão ou proibição para dada área'.

Até o presente momento, descreveu-se como a água chega no solo, se comporta nele e a importância da vegetação para o meio físico urbano. As etapas do ciclo correspondentes à atmosfera, ou seja, a evaporação, evapotranspiração, formação de nuvens e precipitação, são tratadas a seguir, juntamente, com os processos climáticos ocorridos no solo nu, em um área verde e no espaço construído.

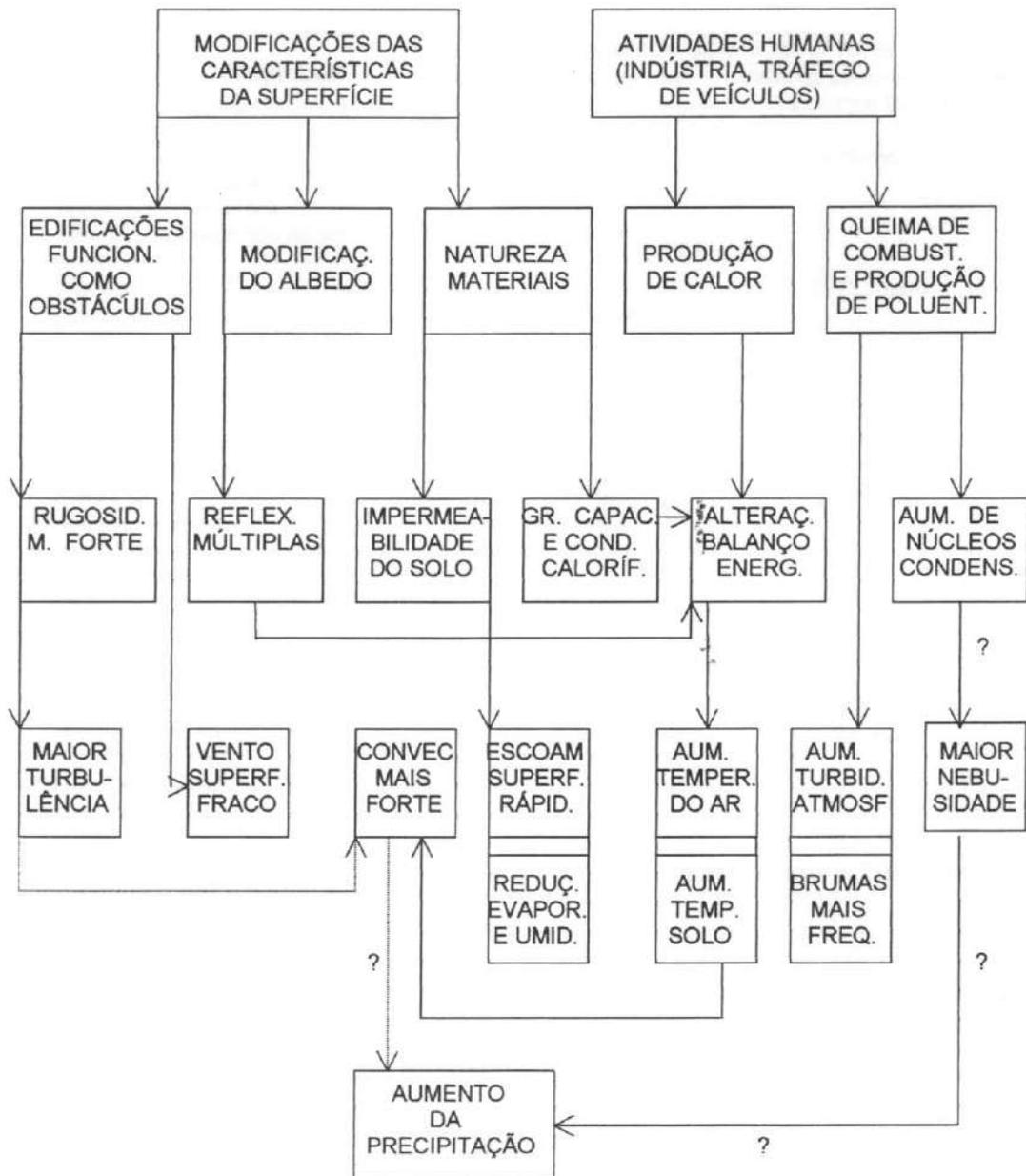
## **2.3 Impacto da urbanização sobre os parâmetros climáticos**

### **2.3.1 Impactos nos parâmetros climáticos**

No processo de urbanização, o homem provoca mudanças no meio natural. Modifica as superfícies e as condições atmosféricas e produz um clima específico para cada cidade, chamado de Clima Urbano, distinto do das áreas rurais circundantes (veja Tabela 2.13).

As alterações climáticas têm repercussão significativa no conforto humano e no consumo de energia pelas edificações, afetando, conseqüentemente, a qualidade de vida de cada ser. Advêm, principalmente, a partir das modificações das características da superfície e das atividades humanas (veja Figura 2.12 e Tabela 2.14).

Figura 2.12 - Esquema das principais modificações do Clima Urbano



Fonte: Dettwiller, 1970 *apud* Xavier, 1996c.

Tabela 2.13 – Comparação dos parâmetros climáticos entre os meios urbano e rural

| Parâmetros climáticos               | Comparação com o meio rural       |  |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--|
|                                     | Valores encontrados por Landsberg | Valores encontrados por Lowry e Brubel |
| <b>Radiação solar</b>               |                                   |  |
| global                              | 15 a 20% menor                    | 15% menor                              |
| ultravioleta (no inverno)           | 30% menor                         |  |
| ultravioleta (no verão)             | 5% menor                          |  |
| duração de exposição ao sol         | 5 a 15% menor                     |  |
| <b>Temperatura</b>                  |                                   |  |
| mínima diária                       |                                   | 2,5°C maior                            |
| média anual                         | 0,5 a 1,0°C maior                 |  |
| média das mínimas no inverno        | 1 a 2°C maior                     |  |
| <b>Contaminantes</b>                |                                   |  |
| núcleos e partículas de condensação | 10 vezes maior                    |  |
| misturas gasosas                    | 5 a 25 vezes maior                |  |
| <b>Velocidade do vento</b>          |                                   |  |
| média anual                         | 20 a 30% menor                    | 25% menor                              |
| rajadas extremas                    | 10 a 20% menor                    |  |
| calmarias                           | 5 a 20% maior                     |  |
| <b>Precipitação</b>                 |                                   |  |
| total                               | 5 a 10% maior                     | 10% maior                              |
| dias com menos de 5mm               | 10% maior                         |  |
| neve                                | 5% menor                          |  |
| <b>Nebulosidade</b>                 |                                   |  |
| cobertura                           | 5 a 10% maior                     | 10% maior                              |
| nevoeiro (no inverno)               | 100% maior                        | 100% maior                             |
| nevoeiro (no verão)                 | 30% maior                         |  |
| <b>Umidade relativa</b>             |                                   |  |
| no inverno                          | 2% menor                          |  |
| no verão                            | 8% menor                          | 8% menor                               |

Fontes: Landsberg, 1970 e Lowry e Brubel, citados em Peavy, Howe e Tchobanoglous *apud* Mota, 1999.

Tabela 2.14 – Impactos da urbanização nos parâmetros climáticos

| Causa                                  | Impacto   | Consequência                          |
|--|---|---------------------------------------|
| · Pavimentação e drenagem de pântanos. | · Redução da radiação de ondas longas e ondas curtas.   | · Maior absorção de calor.            |
| · Poluição atmosférica.                | · Maior frequência de ocorrência de brumas, nevoeiros e neblinas.                             | · Aquecimento do ar.                  |
| · Poluição atmosférica.                | · Aumento das concentrações de poeira na atmosfera que funcionam como núcleos de condensação. | · Prejuízo à visibilidade.            |
| · Poluição atmosférica.                | · Aumento das precipitações máximas e redução das mínimas.                                    | · Aumento da ocorrência de enchentes. |
| · Poluição atmosférica.                | · Maior nebulosidade.   | · Redução da garoa.                   |
|  |   | · Aumento da precipitação.            |
|  |   | · Intensificação da Ilha de Calor.    |

Continua

Tabela 2.14 – Impactos da urbanização nos parâmetros climáticos (continuação)

| Causa  | Impacto  | Consequência   |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudanças na direção dos ventos predominantes.</li> <li>Estabilidade atmosférica.</li> <li>Ocupação em vales naturais e / ou artificiais, resultando na falta de ventilação suficiente para realizar a dispersão dos poluentes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Inversão térmica.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Intensificação da Ilha de Calor.</li> <li>Aumento da concentração de poluentes nas proximidades do solo.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Ocupação inadequada do solo, resultando na falta de ventilação suficiente para ajudar no processo de evaporação.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução no processo de evapotranspiração.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alteração do resfriamento da superfície da terra com um conseqüente aumento de temperatura.</li> <li>Aquecimento mais rápido do ar, pois a parte da energia não utilizada para a evaporação é usada para aquecer o ar.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Impermeabilização do solo.</li> <li>Desmatamento</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução da umidade.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução no processo de evaporação.</li> <li>Aquecimento mais rápido do ar, pois a parte da energia não utilizada para a evaporação é usada para aquecer o ar.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Queima de combustíveis fósseis, indústrias, veículos automotores etc.</li> <li>Formação de <i>canyons</i>.</li> <li>Mau posicionamento das indústrias com relação às cidades.</li> <li>Verticalização.</li> <li>Desmatamento.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alteração da composição química da atmosfera.</li> <li>Poluição atmosférica.</li> <li>Aumento da concentração de poluentes atmosféricos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da absorção de ondas longas.</li> <li>Aumento da concentração de gás carbônico.</li> <li>Aumento da precipitação.</li> <li>Formação de novos compostos, que sob a ação da luz solar, constituem o <i>smog</i> fotoquímico.</li> <li>Redução da visibilidade, devido à reflexão da radiação solar.</li> <li>Acidentes.</li> <li>Aumento na formação de brumas.</li> <li>Danos à saúde humana, aos vegetais, aos animais e aos materiais em geral.</li> <li>Inversão térmica.</li> <li>Poluição dos interiores através do movimento de turbulência do ar nos <i>canyons</i>, pois criam uma zona de elevada acumulação.</li> <li>Formação de núcleos de condensação.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Verticalização.</li> <li>Desmatamento.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Desconforto térmico.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação de um clima artificial no interior das habitações.</li> <li>Maior consumo energia elétrica.</li> <li>Maior emissão de calor.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Verticalização.</li> <li>Desmatamento.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Formação da Ilha de Calor.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alterações no vento, temperatura, umidade, precipitação e radiação.</li> </ul>  |

Continua

Tabela 2.14 – Impactos da urbanização nos parâmetros climáticos (continuação)

| Causa  | Impacto   | Consequência   |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipos e materiais de construção e pavimentação inapropriados ao clima local.</li> <li>Produção de calor em decorrência das atividades humanas.</li> <li>Mau uso e ocupação do solo.</li> <li>Adensamento urbano.</li> <li>Aumento da rugosidade.</li> <li>Crescimento desordenado.</li> <li>Reduzidas áreas verdes e corpos d'água.</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Formação da Ilha de Calor.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Perigos à saúde, desconforto térmico e aumento do stress calorífico.</li> <li>Maior consumo elétrico.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Mudanças bruscas na forma, altura e orientação das ruas, edifícios e loteamentos.</li> <li>Adensamento urbano e verticalização.</li> <li>Plantação de faixas de abrigo.</li> <li>Desconsideração do padrão do vento.</li> <li>Crescimento desordenado.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alteração dos parâmetros aerodinâmicos.</li> <li>Redução da velocidade do vento próximo à superfície do solo.</li> <li>Redução da brisa do mar.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Remoção parcial ou total de dunas.</li> <li>Criação de uma corrente miniatural de ar, com fluxo em alta velocidade (<i>jet-stream</i>) que se encontram em grandes espaços abertos.</li> <li>Criação de zonas de ascensão e rebaixamento dos fluxos do vento.</li> <li>Aumento da turbulência na superfície próxima ao solo.</li> <li>Inversão térmica.</li> <li>Influencia a dispersão de poluentes.</li> <li>Encanamento do ar e formação de redemoinhos.</li> <li>Redução da troca de ar da cidade com o campo.</li> <li>Redução dos processos evaporativos, responsáveis pelo resfriamento da superfície da terra.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Desmatamento.</li> <li>Substituição inadequada das superfícies naturais por superfícies artificiais, modificando a reflectância das mesmas.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Modificação do albedo.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da temperatura.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento do tráfego de veículos automotores e congestionamento do trânsito, aumentando a concentração de CO<sub>2</sub>, presente na composição atmosférica.</li> <li>Troca de calor por convecção com as superfícies aquecidas pela absorção da radiação solar durante o dia.</li> <li>Emissão de calor produzido por equipamentos presentes nas atividades humanas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da temperatura.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Desconforto térmico.</li> <li>Formação da Ilha de Calor.</li> <li>Maior consumo energético.</li> <li>Doenças físicas e alteração do comportamento.</li> <li>Maiores gastos econômicos para refrigeração.</li> <li>Maior consumo energético</li> </ul>   |

Continua

Tabela 2.14 – Impactos da urbanização nos parâmetros climáticos (continuação)

| Causa  | Impacto   | Consequência   |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>· Produção de calor, resultante das propriedades térmicas das cidades, pois os edifícios, pavimentos e ruas absorvem e armazenam energia durante o dia e liberam-na gradualmente durante a noite.</li> <li>· Poluição atmosférica, pois, enquanto as partículas de fumaça refletem e difundem a radiação, o ozônio e o gás carbônico absorvem-na.</li> <li>· Desmatamento, substituindo a cobertura vegetal por superfícies artificiais.</li> <li>· Modificação do albedo, ou seja, da refletividade das superfícies.</li> <li>· Redução da umidade.</li> <li>· Redução no fluxo dos ventos, reduzindo a troca de ar da cidade com o campo e afetando os processos evaporativos, responsáveis pelo resfriamento.</li> <li>· Mau uso e ocupação do solo urbano.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Aumento da temperatura.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· Desconforto térmico.</li> <li>· Formação da Ilha de Calor.</li> <li>· Maior consumo energético.</li> <li>· Doenças físicas e alteração do comportamento.</li> <li>· Maiores gastos econômicos para refrigeração.</li> <li>· Maior consumo energético</li> </ul> |

Fontes: Ayoade, 1991; Budyko, 1974; Drew, 1989; Geiger, 1950; Golany, 1992; McHarg, 1969; Mota, 1981, 1997 e 1999; Obasi, 1997; OMM, 1997; Spim, 1995 e Xavier, 1994, 1996a e 1996b.

Todo o processo de alteração inicia-se, basicamente, a partir do desmatamento, onde as superfícies vegetadas são substituídas por superfícies artificiais, impermeabilizadas, que mudam a configuração natural da paisagem. Assim, o albedo, a rugosidade e as propriedades térmicas e hidrológicas naturais são modificados, resultando, em geral, numa maior produção de calor. Com o crescimento e o adensamento urbano, as alterações climáticas tornam-se, cada vez mais, evidentes.

Neste estágio, o que passa a importar já não é mais o tamanho da cidade, mas a densidade das construções, que, juntamente, com as atividades humanas e com o padrão de vida da população, influencia no nível de poluição do ar e na alteração do balanço energético (Assis, 1990; Ayoade, 1991; Givoni, 1989; Lombardo,

1985; Mascaró, 1996; Miess, 1979 e Spirn, 1995). A influência da densidade de construção é um fato constatado por:

- Lombardo e Zamparoni (1996), para as cidades de pequeno porte, Barra do Bugres e Tangará da Serra, situadas em Mato Grosso, Brasil;
- Wanner & Harting (1994 *apud* Xavier, 1996c), para cidades suíças de pequeno e médio portes;
- Kopec (1970 *apud* Xavier, 1996c), para as pequenas cidades norte-americanas de Chapel Hill e Carrboro;
- Hutcheon (1967 *apud* Xavier, 1996c), para a cidade de Corvallis, em Oregon;
- Norwine (1972 *apud* Givoni, 1997), em um *shopping center* vertical, próximo à cidade de Chicago; e
- Copra e Pritchard (1972 *apud* Givoni, 1997) em dois *shopping center* na Virgínia.

Landsberg (1968 *apud* Mota, 1999), também verificou que existem variações na temperatura de acordo com o uso do solo urbano, alcançando o máximo durante a noite. Todavia, é importante saber que a origem das mudanças climáticas não é somente antropogênica, pois o clima pode sofrer modificações a partir de causas naturais. Segundo Ayoade (1991) e Xavier (1981), tais modificações estão ligadas a (o):

- variações do fluxo de radiação solar,
- certas flutuações da transparência atmosférica como cinzas vulcânicas, variações seculares do teor de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e ozônio,
- fenômeno *El Niño* e
- periodicidade na geometria orbital da terra.

### ***Estudos sobre o Clima Urbano em cidades brasileiras***

De acordo com Santana (1997), os estudos sobre clima urbano no Brasil, começaram a se intensificar a partir da década de 70. No início dos estudos, consideravam a cidade como um todo, sem buscar uma aproximação entre o clima e as diversas maneiras como o solo era usado e ocupado, durante a divisão territorial da cidade.

O estudo desenvolvido por Lombardo (1985) para a região metropolitana de São Paulo, mostra essa primeira aproximação e identifica a formação de Ilha de Calor. A Tabela 2.15 mostra um levantamento aproximado dos estudos sobre o clima urbano de cidades brasileiras, também revelando a escassez de estudos dessa natureza para as cidades da região nordeste.

Tabela 2.15 - Estudos sobre o Clima Urbano de cidades brasileiras

| <b>Cidade</b>         | <b>Campo Termodinâmico ou Térmico</b>  |
|-----------------------|--|
| São Paulo             | Junot, 1942; Lombardo <i>et al.</i> , 1981; Lombardo e Tarifa, 1981; Lombardo, 1985; Monteiro, 1986; Xavier, Xavier e Dias, 1996a.   |
| São José dos Campos   | Tarifa, 1977.  |
| Presidente Prudente   | Fonzar, 1981.  |
| Rio Claro             | Pitton, 1991.  |
| Rio de Janeiro        | Nishizawa, 1983; Nishizawa <i>et al.</i> , 1983; Brandão, 1987.  |
| Porto Alegre          | Dani, 1980 e 1987; Hasenack <i>et al.</i> , 1982.  |
| Santa Maria           | Santori, 1979.   |
| Florianópolis         | Monteiro e Sezerino, 1990.   |
| Blumenau              | Silva <i>et al.</i> , 1987.  |
| Curitiba              | Schmidt, 1982; Dani, 1992.   |
| Salvador              | Sampaio, 1981.   |
| Patos/Campina Grande  | Yamashita <i>et al.</i> , 1988; Imamura, 1991.   |
| Marabá                | Monteiro e Tarifa, 1977.   |
| B. Bugres/T. da Serra | Zamparoni, 1995.   |
| <b>Cidade</b>         | <b>Campo Dispersão ou Poluição</b>   |
| São Paulo             | Agata, 1978; Zanatti <i>et al.</i> , 1979; Zetzer <i>et al.</i> , 1979; Orsini, 1982; Oliveira <i>et al.</i> , 1983.   |
| Rio de Janeiro        | Alcantara <i>et al.</i> , 1990; Maia <i>et al.</i> , 1990.   |
| São Luís              | Tarifa <i>et al.</i> , 1980.   |
| Fortaleza             | Araujo e Farias, 1998.   |
| <b>Cidade</b>         | <b>Campo hidrometeorológico ou Inundações</b>  |
| São Paulo             | Junot, 1943; Monteiro, 1978, 1980 e 1984; Paschoal, 1981; Tarifa, 1982; Xavier, Xavier e Dias, 1994.   |
| Salvador              | Gonçalves, 1992.   |
| <b>Cidade</b>         | <b>Clima Urbano/Clima Local</b>  |
| São Paulo             | França, 1946 e 1958; Tavares, 1974; Conti, 1978 e 1979; Ferreira, 1981; Titarelli, 1982; Oliveira <i>et al.</i> , 1982; Machado <i>et al.</i> , 1982; Almeida, 1988; Cabral, 1997. |
| Bauru                 | Ribeiro, 1975.   |
| Manaus                | Tarifa, 1973.  |
| Londrina              | Moriya, 1986; Mendonça <i>et al.</i> , 1992.   |
| Belo Horizonte        | Assis, 1990.   |
| Natal                 | Vidal, 1991.   |
| Cuiabá                | Maitelli, 1995.  |
| Belém                 | Brasil, 1996.  |
| Fortaleza             | Xavier e Xavier, 1996b; Santana, 1997.   |

Fonte: Levantamentos de Mendonça, 1994; Maitelli, 1995; Santana, 1997.

O estudo do clima encontra-se subdividido em escalas espaciais de trabalho cujas delimitações variam entre autores. Aqui, adota-se as subdivisões esquematizadas no Quadro 2.3, as quais se baseiam nos estudos desenvolvidos por Alcoforado

(1993), Ayoade (1991), Lombardo (1985), Monteiro (1976 *apud* Assis, 1990) e Oke (1976 *apud* Assis, 1990).

### 2.3.2 Fatores condicionantes do clima

O clima representa o conjunto de estados do tempo<sup>5</sup> a que o homem está sujeito num determinado local. Envolve fatores estáticos e dinâmicos (veja Figura 2.13), afetando a composição dos solos, o ciclo hidrológico, a vegetação, a fauna e a vida humana em diferentes regiões do globo terrestre (Alcoforado, 1993; Ayoade, 1991; Mascaró, 1991 e 1996; Olgyay, 1992 e Romero, 1988).

Os fatores estáticos condicionam o clima de um lugar<sup>6</sup> e alteram os valores dos elementos climáticos. Subdividem-se em: globais, os quais determinam os climas zonais e regionais, e locais, que caracterizam um clima local e o microclima. As variáveis meteorológicas, também denominadas parâmetros, dados ou elementos climáticos, são mostradas em variações diárias, mensais, anuais, sazonais e espaciais.

Tomando como objetivo principal, a descrição dos processos climáticos ocorridos em um Solo Nu, em um Espaço Construído e em uma Área Verde, procura-se mostrar as alterações climáticas e a maneira como influenciam o conforto térmico humano em uma escala local e microclimática, pois, neste nível, as alterações climáticas podem ser controladas por arquitetos e planejadores urbanos.

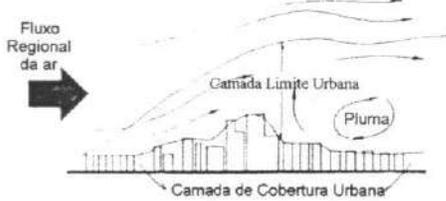
No entanto, antecedendo essa descrição, é importante falar, sucintamente, sobre os fatores globais. Os locais serão mencionados à medida que os processos climáticos estiverem sendo abordados.

---

5. Tempo refere-se ao estado atmosférico (variáveis meteorológicas) em um dado momento.

Quadro 2.3 – Escalas especiais de trabalho do estudo do clima

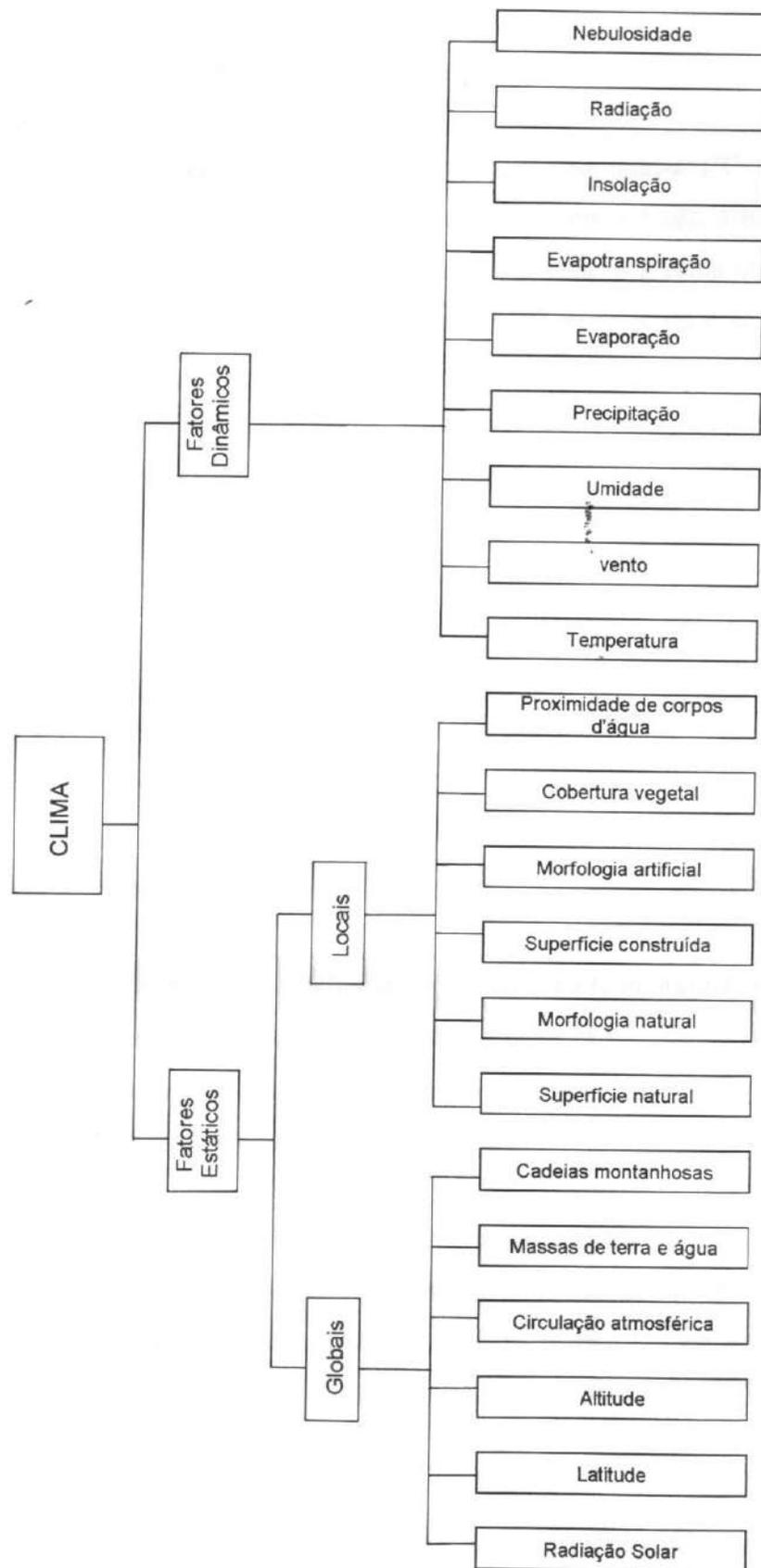
| ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DO CLIMA, ÁREAS DE ABRANGÊNCIA E FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA |                                   |   |  |   |   |
|--|-----------------------------------|---|--|---|---|
| UNIDADE DE SUPERFÍCIE HORIZONTAL   | ESCALA CARTOGRÁFICA DE TRATAMENTO | ESPAÇOS CLIMÁTICOS  | EXEMPLOS   | ESTRATÉGIAS DE ABORDAGEM  |   |
|  |                                   |   |  | MEIOS DE OBSERVAÇÃO   | TÉCNICAS DE ANÁLISE                       |
| 10 <sup>5</sup> a 10 <sup>8</sup> m  | 1: 45.000.000<br>1: 2.000.000     | Macroclima ou<br>Clima Zonal  | -  | Satélites, cartas<br>sinópticas, rede<br>meteorológica de<br>superfície | Caracterização<br>geral<br>comparativa    |
| 10 <sup>4</sup> a 2 x<br>10 <sup>5</sup> m   | 1: 1.000.000<br>1: 100.000        | Mesoclima, ou<br>Clima Regional, ou<br>Camada Limite<br>Atmosférica | Clima urbano de uma<br>área metropolitana,<br>mesoclima de planície,<br>do topo de uma<br>montanha | Postos<br>meteorológicos  | Redes transeptos<br>e análise<br>espacial |
| 10 <sup>2</sup> a 5 x<br>10 <sup>4</sup> m   | 1: 50.000<br>1: 10.000            | Topoclima, ou<br>Clima local, ou<br>Camada de<br>Cobertura Urbana   | Topoclima urbano de<br>um bairro, de uma<br>floresta, de campos<br>cultivados                      | Registros móveis  | Especiais                                 |
| 10 <sup>2</sup> a 10 <sup>3</sup> m  | 1: 5.000<br>1: 2.000              | Microclima  | Microclima de uma<br>rua, de um pátio, de<br>uma praça, do interior<br>de um edifício              | Instrumentos<br>especiais   | Especiais                                 |



Fonte: Ayoade, 1991; Alcoforado, 1993; Monteiro, 1976 *apud* Assis, 1990; Oke, 1976 *apud* Assis, 1990 e Givoni, 1997; Galindo, 1986 e Lombardo, 1985.

6. A circulação atmosférica primária corresponde à circulação geral da atmosfera dentro de uma escala global de vento e pressão que se mantém ao longo do ano ou se repetem sazonalmente, determinando o padrão dos climas do mundo. A secundária está dentro da primária e inclui os sistemas produtores de tempo, isto é, os sistemas de circulação que causam variações diárias e semanais no tempo e são mencionados como perturbações atmosféricas ou meteorológicas (Ayoade, 1991).

Figura 2.13 – Fatores condicionantes do clima



Fontes: Alcoforado, 1992; Ayoade, 1991; Mascaró, 1991 e 1996; Olgay, 1992 e Romero, 1988.

### 2.3.3 Fatores Globais

#### *Altitude e cadeias montanhosas*

A altitude exerce influência sobre a temperatura, diminuindo-a 1°C a cada 100 metros acima do nível do mar, com pouca variação com relação à latitude e às estações do ano. Isto ocorre pelo fato do ar apresentar-se, à medida que se eleva, mais leve, com menor pressão, fazendo com que ele se expanda e se resfrie. O reduzido conteúdo de vapor d'água, o qual absorve a radiação solar, e o aumento da nebulosidade também contribuem para esse decréscimo (Ayoade, 1991; Geiger, 1950; Givoni, 1976, 1989 e 1997 e Romero, 1988).

Ao mesmo tempo, as cadeias montanhosas influenciam o clima das terras baixas próximas a elas, pois forçam as massas de ar úmidas a subirem. Conseqüentemente, se resfriam e se condensam, precipitando à barlavento da encosta e criando à sotavento uma região mais árida (Givoni, 1997 e Romero, 1988).

#### *Massas de terra e água*

A proporção entre as massas de terra e água influencia a temperatura devido à sua capacidade de armazenamento de calor. Isto é, o calor específico da água é quase o dobro do da terra, e isto significa dizer que a água necessita de maior quantidade de energia para igualar a sua temperatura à da terra.

Mas, sob as mesmas condições de radiação, ela necessitará de mais tempo para aquecer-se porque tanto se aquece quanto se resfria mais lentamente que a terra, reduzindo a amplitude térmica. Assim, da mesma forma que ela ganhou maior quantidade de energia durante o aquecimento, ao resfriar-se, a água a perde através da evaporação.

A camada de ar úmido que se forma sobre os oceanos torna as áreas costeiras mais frescas no verão e mais quentes no inverno. Este fenômeno é denominado

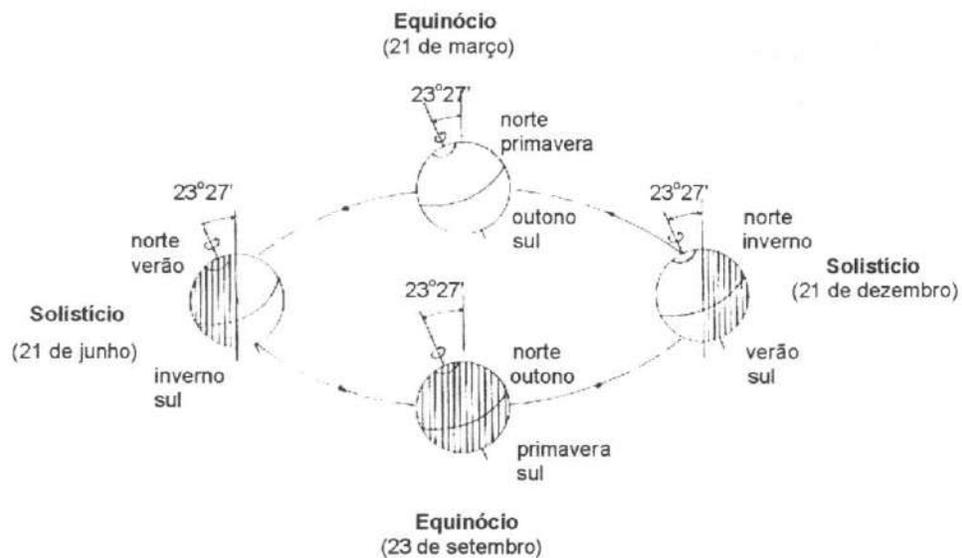
Continentalidade, e é capaz de se estender até, aproximadamente, 20km continente a dentro (Frota e Schiffer, 1988 e Romero, 1988).

Considerando que a distribuição das massas de terra é desigual, pode-se dizer que, em média, dentro de uma mesma faixa latitudinal, mas em hemisférios opostos, o norte, dada a maior extensão de terra, apresentará invernos mais frios e verões mais quentes que o sul (Frota e Schiffer, 1988; Givoni, 1997; Romero, 1988 e Tubelis, 1980).

### *Latitude*

O movimento da Terra em torno do seu eixo N / S dá origem ao dia e à noite. À medida que nos distanciamos do Equador, em latitude, a duração entre dia e noite se modifica de acordo com o movimento de translação da Terra em torno do Sol, que, por sua vez, define o ano e as estações (veja Figura 2.14).

Figura 2.14 – Movimento de translação da Terra



Fontes: Givoni, 1976 e Petalas, 1996.

O dia é marcado pelo nascer do sol e pelo seu percurso na abóbada celeste até ele se pôr. Este movimento faz com que cada hora do dia corresponda a uma altura solar. Mas, como o eixo da Terra tem um ângulo de declinação de  $23^{\circ} 27'$  em relação ao plano elíptico do sol, o sol caminha até o limite de  $23^{\circ} 27'$  para o Norte e  $23^{\circ} 27'$  para o Sul, durante o ano.

Assim, ocupará a posição de zênite na região tropical compreendida entre as latitudes de  $23^{\circ} 27'N$  e  $23^{\circ} 27'S$  na proporção que os dias vão passando. Acima destas latitudes, o sol nunca ocupará a posição zenital, fato este que influenciará, marcadamente, na intensidade da radiação solar e, conseqüentemente, em todos os outros parâmetros que dependem dela (Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

A latitude, juntamente com o movimento de translação da Terra em torno do Sol, determina a (o):

- espessura da camada de ar, ou massa de ar, que os raios solares terão que atravessar para chegar à superfície da terra,
- duração da presença do sol na abóbada celeste (insolação) e
- ângulo de incidência dos raios solares no plano do horizonte de um dado local (altura solar), que, em geral, diminui com o aumento da latitude.

Dessa forma, influencia a intensidade de iluminação e radiação solar recebida pela superfície terrestre, e, conseqüentemente, a circulação geral da atmosfera devido ao balanço de radiação da superfície terrestre (Frota e Schiffer, 1988; Givoni, 1976 e Romero, 1988).

Além disso, a distribuição média anual da nebulosidade (quantidade de nuvens) varia com a latitude, sendo maior nas altas latitudes, menor em torno do equador e muito baixa nas zonas subtropicais (Ayoade, 1991).

### *Circulação Atmosférica*

A circulação geral da atmosfera é resultante de um movimento vertical, dependente da estrutura térmica e da umidade atmosférica sobre a superfície terrestre, e de um movimento horizontal, gerado pela força de fricção que os obstáculos da superfície terrestre exercem, pela força centrífuga, por fatores

térmicos e pelo movimento de rotação da Terra (Força de Coriolis) (Ayoade, 1991; Frota e Schiffer, 1988; Givoni, 1976; Romero, 1988 e Tubelis, 1980).

Como a absorção da energia solar sobre a Terra é desigual, cria-se uma diferença de pressão entre dois pontos da atmosfera e, conseqüentemente, fluxos de ar devido ao deslocamento de massas de ar das zonas de alta pressão (regiões mais frias) para as de baixa (regiões mais quentes).

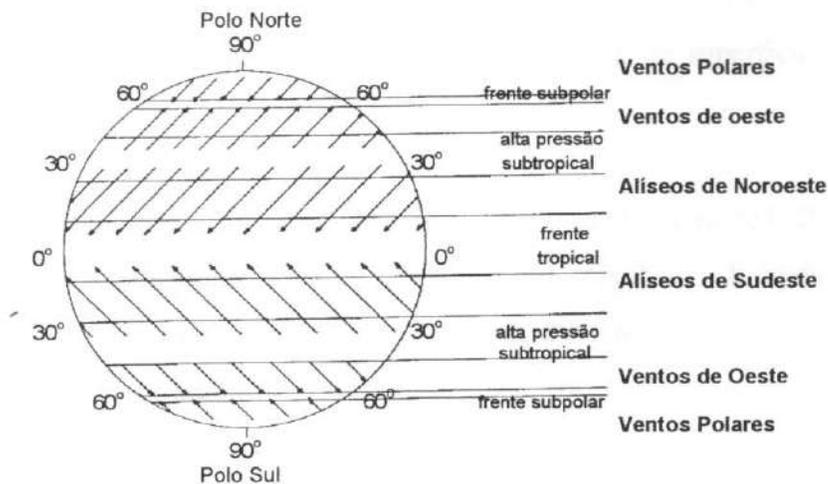
Assim, na zona entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, em torno do Equador (zona mais quente), a massa de ar se aquece, se expande e se divide, fluindo em direção aos Pólos no sentido norte e sul, e caindo sobre a zona subtropical, enquanto o ar denso e frio dos Pólos e das zonas subtropicais se deslocam em direção ao Equador, encontrando-se na chamada zona inter-tropical (Ayoade, 1991; Frota e Schiffer, 1988; Givoni, 1976; Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969; Romero, 1988 e Tubelis, 1980).

Portanto, sobre cada hemisfério, criam-se zonas de alta e baixa pressão atmosférica conforme nos mostra a Figura 2.15. O Equador sempre será uma zona de baixa pressão e os Pólos, de alta, porém de pressão mais baixa que a das zonas subtropicais.

A atmosfera acompanha o movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo N/S (Força de Coriolis), girando de oeste para leste. No entanto, o fluxo do ar sofre um desvio para oeste porque a velocidade rotacional da superfície da terra decresce do equador para os pólos, fazendo com que a massa de ar equatorial mova-se mais rápido que a terra abaixo dela e, conseqüentemente, pareça vir do sudoeste.

Assim, toda massa de ar movendo-se para o norte, sofre uma deflexão leste com relação à terra e, movendo-se para o equador, sofre uma deflexão oeste, ou seja, no hemisfério norte a inclinação da direção do ar será para a direita, seguindo o sentido horário e, no hemisfério sul, para a esquerda, no sentido antihorário (veja Figura 2.15) (Givoni, 1976 e Tubelis, 1980).

Figura 2.15 – Diagrama dos ventos no Globo Terrestre



Fontes: Koenigsberger *et al*, 1977 *apud* Frota e Schiffer, 1988 e Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969.

Desses movimentos resultam, para cada hemisfério, três tipos de vento:

- os alísios, originados nas regiões subtropicais e que se deslocam em direção ao equador,
- os de oeste, também originados nas regiões subtropicais, mas se deslocando para as áreas de baixa pressão dos pólos, e
- os polares, formados pelas massas de ar frias das regiões polares de alta pressão.

Na região do Equador, ocorre o encontro dos alísios de nordeste e sudeste, criando a região de Convergência Inter-Tropical, caracterizada por ventos fracos e calmarias frequentes (Frota e Schiffer, 1988; Givoni, 1976 e Tubelis, 1980).

### ***Radiação na atmosfera***

‘A radiação solar é a energia recebida pela terra, na forma de ondas eletromagnéticas provenientes do sol’ (Tubelis, 1980). Devido a reações nucleares, o Sol apresenta uma temperatura de superfície de aproximadamente 6.000°K, fazendo com que seu espectro solar se assemelhe ao de um corpo negro<sup>7</sup> a, aproximadamente, esta mesma temperatura.

Como todo objeto com temperatura absoluta acima de zero é capaz de emitir energia por radiação, dentro de uma faixa de comprimento de onda, o Sol emite energia por radiação de acordo com a sua temperatura de superfície (Budyko, 1974).

A energia radiada, que alcança a superfície da Terra, cai na faixa de 0,29 a 8,0  $\mu\text{m}$  (microns), correspondendo ao espectro solar. Encontra-se dividida em três regiões: 5% na radiação ultravioleta ( $< 0,4 \mu\text{m}$ ), 28% na radiação visível (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) e 67% na radiação infravermelha ( $> 0,7 \mu\text{m}$ ), conforme representado na Tabela 2.16 (Etherington, 1975; Galindo, 1986; Givoni, 1976; Nobel, 1983 e Tubelis, 1980).

A radiação também pode ser exibida como uma pequena partícula denominada *fóton*, que interage com um objeto material. Cada *fóton* contém uma quantidade de energia chamada *quantum* (no plural: *quanta*), esta energia é diretamente proporcional a sua frequência e inversamente proporcional ao comprimento de onda (Raven, Evert e Eichhorn, 1996).

O comprimento de onda da radiação ainda pode ser caracterizado pela frequência de propagação. Desta forma, de acordo com a Tabela 2.16, tem-se que, quanto maior for a temperatura de um corpo, maior será a frequência de propagação e a energia transmitida, e, menor, será o comprimento de onda (Etherington, 1975; Devlin, 1975; Nobel, 1983 e Taiz e Zeiger, 1991).

Mas, a energia total emitida pelo Sol não chega à Terra na sua intensidade original, pois a intensidade decresce em proporção inversa ao quadrado da distância, que se modifica durante o ano devido ao movimento elíptico da Terra em torno do Sol (Movimento de Translação) (Tubelis, 1980).

---

7. Corpo negro é 'aquele que absorve totalmente a energia eletromagnética de todos os comprimentos de onda' (Tubelis, 1980).

Tabela 2.16 – Espectro Solar

| Cor           | Intervalo do comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ) | Comprimento de onda representativo ( $\mu\text{m}$ ) | Frequência (hertz)     | Energia ( $\text{kJmol}^{-1}$ ) |
|---------------|--|--|------------------------|---------------------------------|
| Ultravioleta  | Abaixo de 0,400                                    | 0,254  | $11,80 \times 10^{14}$ | 471                             |
| Violeta       | 0,400 a 0,425                                      | 0,410  | $7,31 \times 10^{14}$  | 292                             |
| Azul          | 0,425 a 0,490                                      | 0,460  | $6,52 \times 10^{14}$  | 260                             |
| Verde         | 0,490 a 0,560                                      | 0,520  | $5,77 \times 10^{14}$  | 230                             |
| Amarela       | 0,560 a 0,585                                      | 0,570  | $5,26 \times 10^{14}$  | 210                             |
| Laranja       | 0,585 a 0,640                                      | 0,620  | $4,84 \times 10^{14}$  | 193                             |
| Vermelho      | 0,640 a 0,740                                      | 0,680  | $4,41 \times 10^{14}$  | 176                             |
| Infravermelho | acima de 0,740                                     | 1,400  | $2,14 \times 10^{14}$  | 85                              |

Fonte: Nobel, 1983.

Assim, no topo da atmosfera terrestre, a uma distância média Sol – Terra, em uma superfície perpendicular aos raios solares, a radiação alcança uma intensidade aproximada de  $2,0 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ , chamada de constante solar (Budyko, 1974 e Tubelis, 1980).

Ao penetrar na atmosfera terrestre, uma porção da radiação atravessa a atmosfera sem qualquer interação com ela, atingindo a superfície do solo como radiação solar direta. A parcela que interage com a atmosfera é atenuada (veja Figura 2.19a página 94), parte é:

- refletida pela superfície superior das nuvens retornando ao espaço,
- dispersa, difusamente, em todas as direções, pelas moléculas de ar, vapor d'água e por matérias suspensas na atmosfera, e
- absorvida em certos comprimentos de onda, por alguns constituintes atmosféricos.

Somente uma pequena porção é dispersa para o espaço (Etherington, 1975; Geiger, 1950; Givoni, 1976; Olgyay, 1992 e Tubelis, 1980).

Dependendo do estado do céu, a porção refletida pode ser bem significativa. Os constituintes atmosféricos refletem a radiação de maneira similar a uma fonte de radiação, cuja luz é branca, provendo iluminação mesmo na ausência da luz solar direta (Budyko, 1974; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

Quando os diâmetros das partículas atmosféricas são menores ou iguais aos comprimentos de onda da radiação e o ar está livre de impurezas, a luz do céu é

azul brilhante. Isto porque a eficiência da difusão é proporcional ao inverso da quarta potência do comprimento de onda da radiação, ou seja, as moléculas de ar dispersam melhor em comprimentos de onda menores.

Se os diâmetros das partículas forem maiores que os comprimentos de onda, o céu torna-se esbranquiçado. Mas, se o céu apresentar-se encoberto, a luz difusa e, conseqüentemente, o número de horas de brilho solar que houve em determinado dia, é reduzido (Ayoade, 1991; Givoni, 1976; Nobel, 1983 e Tubelis, 1980).

Os raios ultravioletas e todos os comprimentos de onda inferiores a  $0,29\mu\text{m}$  são absorvidos pelo ozônio, oxigênio e nitrogênio. Já os infravermelhos ( $1,4$  a  $8,0\mu\text{m}$ ) são absorvidos pelo vapor d'água e  $\text{CO}_2$ , evitando os efeitos prejudiciais às plantas e animais. Portanto, o intervalo que, verdadeiramente, chega à superfície está entre a faixa de  $0,3$  a  $1,39\mu\text{m}$ .

Devido a esses pequenos comprimentos de onda, a radiação solar é chamada radiação de onda curta. Por ser a radiação que rege a troca de calor durante o dia, ela também é denominada radiação de entrada. Portanto, a radiação solar, ao atravessar a atmosfera terrestre, é atenuada, pois sua intensidade decresce e parte da sua distribuição espectral é alterada pela absorção, reflexão e difusão (Budyko, 1974; Etherington, 1975; Galindo, 1986; Geiger, 1950; Givoni, 1976; Nobel, 1983; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

Dessa forma, da radiação que penetra na superfície terrestre, uma porção vem como radiação solar direta e a outra como radiação dispersa do céu. Seu valor varia amplamente com a hora do dia, a estação do ano, a latitude, a altitude e as condições atmosféricas.

No entanto, é como luz e calor que a radiação é percebida pelo ser humano. Sua intensidade é medida em lux e refere-se ao fluxo luminoso emitido pelo sol e pelo céu, acompanhando a radiação solar. Por isso, também depende da latitude, do estado do céu (limpo, parcialmente encoberto e encoberto) e do movimento aparente do sol na abóbada celeste (Hopkinson, Petherbridge e Longmore, 1980).

### 2.3.4 Fatores dinâmicos e estáticos locais – descrição dos processos climáticos

#### *Radiação na superfície do solo*

Em um solo nu, da radiação que atinge a sua superfície, parte é absorvida pelo solo e parte é refletida. A porção absorvida é transformada em calor e eleva a temperatura do solo, fazendo com que este emita calor radiante de acordo com a sua temperatura. Visto que, a radiação emitida pela superfície terrestre cai na faixa, de intensidade máxima, entre 8 a 13 $\mu$ m, ela é denominada de ondas longas ou radiação de saída (Budyko, 1974; Galindo, 1986; Geiger, 1950 e Tubelis, 1980).

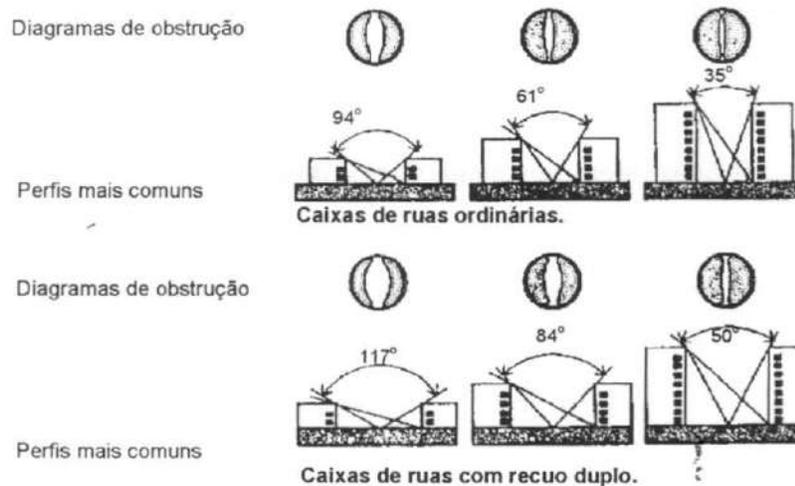
#### *Radiação no meio urbano*

No meio urbano, a quantidade de radiação de onda curta que alcança as superfícies horizontais e verticais, além de depender dos fatores já mencionados e ser reduzida pelos poluentes atmosféricos, também depende da altura e do afastamento entre os edifícios e, da largura e orientação das ruas (veja Figura 2.16), pois determinam o (a) (s):

- fator de céu visível,
- padrões diário e anual da radiação solar nos edifícios e nos espaços entre eles,
- a presença simultânea de sol e sombra, e
- potencial de iluminação natural (Givoni, 1989; Mascaró, 1996 e Miess, 1979).

De acordo com a Figura 2.17, observa-se que a radiação solar (direta e indireta) alcança, primeiramente, as superfícies superiores das edificações (telhados e lajes). Depois, parte atinge as superfícies verticais (paredes) e, de acordo com a altura do sol e a relação entre a altura dos edifícios e a distância entre eles, uma pequena porção poderá alcançar, diretamente, o solo, ou só o atingirá após sucessivas reflexões. Neste último caso, sua intensidade depende do albedo das superfícies verticais (Miess, 1979).

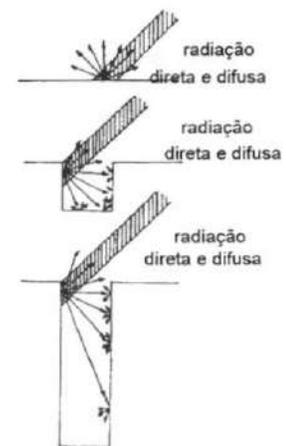
Figura 2.16 – Diagrama de obstrução e fator de céu visível  $\Psi$  para diferentes perfis de ruas



Fonte: Oke, 1976 *apud* Mascaró, 1996.

Figura 2.17 - Distribuição espacial dos fluxos de radiação de acordo com a razão entre a altura dos edifícios e o espaçamento entre eles

- Em uma área plana, a maioria da radiação solar que atinge é refletida, ou emitida como onda longa para o céu, após de ter sido absorvida.
- Quando a razão entre o espaçamento e a altura é em torno de 1, a maioria da radiação refletida alcança outros edifícios ou o solo e é, eventualmente, absorvida próximo ao nível do solo.
- Quando a razão entre o espaçamento e altura em torno de 4, a maioria da absorção acontece acima do nível do solo, conseqüentemente, a quantidade de radiação alcançando o solo e o aquecimento do ar próximo a ele, é menor que nos casos anteriores.



Fontes: Givoni, 1989 e Ludwing, 1970 *apud* Miess, 1979.

A radiação incidente que não é refletida, é absorvida. Da porção absorvida, uma parte é armazenada nos materiais para ser liberada à noite e, outra, é transferida para o ar como calor sensível e latente, dependendo do teor de umidade (Givoni, 1989 e 1997 e Lombardo, 1985).

Devido às várias reflexões, somente uma pequena parte da radiação, que atinge as paredes, é refletida para o céu, resultando numa diminuição do albedo. A maior parte é absorvida pelas superfícies, elevando as temperaturas de superfície e sendo convertida em calor sensível, que, ao interagir com o ar, é capaz de aquecer grandes volumes deste.

A elevação das temperaturas, juntamente com o calor advindo da ação antropogênica, aumentam a quantidade de radiação de onda longa emitida pela cidade, principalmente, à noite e em condições de calmaria, aumentando também, na mesma razão, a contraradiação dos constituintes atmosféricos (Alcoforado, 1993; Givoni, 1989; Lombardo, 1985 e Miess, 1979).

A radiação solar que alcança os telhados não tem efeito direto nas temperaturas do solo e do ar próximo a ele. A quantidade absorvida e refletida depende do albedo dos telhados e da percentagem da área urbana coberta por edifícios, devido ao fator de céu visível.

Dessa forma, em uma área densamente construída, é possível ocorrer uma inversão de temperatura durante o dia, quando não se tem ventos fortes, pois a porção mais significativa da radiação solar que atinge os edifícios é absorvida a uma certa distância do nível do solo, elevando a temperatura neste local. Abaixo dele, próximo ao solo, a temperatura pode encontrar-se mais fria.

As ruas estreitas reduzem o fator de céu visível e melhoram o sombreamento para os pedestres. Mas reduzem a emissão de radiação de onda longa, prejudicam a ventilação e reduzem a penetração do sol, tornando as ruas mais susceptíveis a situações de inversão térmica (Givoni, 1997; Mascaró, 1996 e Spirn, 1995).

A cor dos telhados e paredes controla a reflexão e absorção da luz. Pode mudar, completamente, o efeito das edificações no balanço de radiação e temperatura urbana, ou seja, em uma área densamente construída com a maioria dos edifícios possuindo telhados e paredes brancos, a radiação refletida para o céu será maior. Isto faz com que se aumente o albedo, reduza o balanço de radiação durante o dia,

proporcione um menor ganho de calor pelas superfícies e, conseqüentemente, uma menor temperatura do ar.

Entretanto, a claridade e o estresse térmico gerados pela reflexão da luz podem ser inoportunos aos pedestres. Neste caso, pode-se usar trepadeiras cobrindo as paredes, ou árvores ao longo das calçadas. As árvores reduzem a claridade refletida, a radiação que alcança a parede e o calor radiante, além de proteger os pedestres da radiação solar direta (Givoni, 1989 e 1997; Olgyay, 1992; Pitt, 1979 e Spirn, 1995).

### *Radiação em uma área verde*

A radiação solar que alcança a superfície de uma planta chega de diferentes direções, podendo ser:

- refletida pelas folhas, juntamente com a infravermelha, emitida pela circunvizinhança,
- transferida como radiação difusa, visto que a folha não é opaca à radiação solar, e
- absorvida, elevando sua temperatura e fazendo com que emita radiação infravermelha e calor para o ambiente, mediante a condução, convecção e evaporação (Larcher, 1986; Mascaró, 1996; Merva, 1975; Nobel, 1983 e Taiz e Zeiger, 1991).

A energia armazenada é muito pequena, sendo utilizada na fotossíntese, em outras atividades metabólicas e nas alterações da temperatura da folha. Os dois primeiros usos correspondem a, aproximadamente, 1% da taxa de radiação absorvida, podendo-se ignorar. O último só adquire importância sob intensa radiação e baixa perda de calor, pois poderá trazer danos à planta (Larcher, 1986; Merva, 1975; Nobel, 1983 e Taiz e Zeiger, 1991).

A absorção, reflexão e transmissão da radiação pela folha depende, além das características das plantas, do comprimento de onda, variando com a região espectral como mostra a Tabela 2.17.

Tabela 2.17 – Propriedades óticas médias das folhas

| Comprimentos de onda ( $\mu\text{m}$ ) | 0,4 – 0,5 (azul) | 0,5 – 0,6 (verde – laranja) | 0,6 – 0,7 (vermelho) | 0,4 – 0,7 (branca) |
|--|------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| Refletida                              | 5 – 10           | 15 – 20                     | 10                   | 10 – 15            |
| Absorvida                              | 80 – 95          | 60 – 80                     | 70 – 90              | 70 – 90            |
| Transmitida                            | 0 – 5            | 10 – 20                     | 5 – 10               | 5 – 10             |

Fonte: Corte, 1975 *apud* Ometto, 1981.

Assim, a porção absorvida situa-se entre 0,4 – 0,7 $\mu\text{m}$  devido, principalmente, aos pigmentos fotossintéticos, sendo baixa em torno de 0,55 $\mu\text{m}$ , porção correspondente à luz refletida e transmitida, e mínima, no intervalo entre 0,7 – 1,2 $\mu\text{m}$ , o qual corresponde à radiação infravermelha emitida pela superfície circunvizinha. Já a radiação emitida pela folha possui comprimento de onda superior a 2 $\mu\text{m}$ , apresentando baixa energia (Larcher, 1986; Nobel, 1983; Ometto, 1981 e Taiz e Zeiger, 1991).

A luz transmitida através da vegetação depende da (o):

- transparência,
- cor,
- espessura das folhas,
- distribuição e adensamento dos troncos e ramos e
- ângulo de incidência dos raios solares.

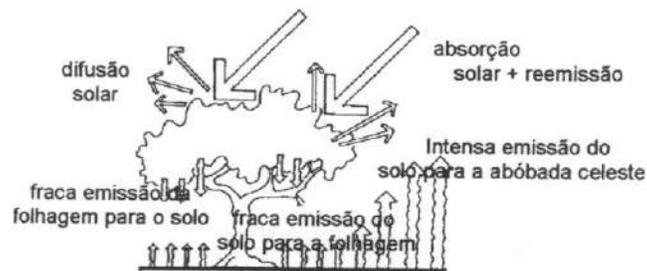
Ela provê iluminação sob um agrupamento vegetal, mesmo nos dias de céu encoberto, pois a vegetação apresenta maior transmitância quando a radiação solar é difusa. O céu encoberto faz com que as áreas sob arborização sejam mais iluminadas e o contorno das sombras das árvores e edifícios diminua, pois a luz passa a ser recebida de todas as direções (Mascaró, 1996 e Miess, 1979).

A intensidade da luz transmitida, ou percentual de sombra, é influenciada pela forma do agrupamento (esparso, denso ou árvore isolada), ou pelo percentual de cobertura arbórea. Mas, de maneira geral, ela decresce com o aumento da densidade foliar, sendo menor, na região próxima ao tronco e, máxima, nos espaços vazios da cobertura foliar (Brasil, 1996; Mascaró, 1996 e Miess, 1979).

A sobreposição das folhas faz com que umas ensombrem as outras, reduzindo, gradualmente, a intensidade da radiação solar incidente (veja Figura 2.18). Também altera a composição espectral, à medida que a radiação vai penetrando, devido à reflexão, absorção e transmissão. Assim, pouca radiação atinge o solo, provendo sombreamento.

Dependendo do tipo vegetal, da densidade da folhagem, do arranjo e da posição das folhas, da copa e do seu período de crescimento, a planta poderá obstruir (bloquear) ou filtrar (interceptar parcialmente) a radiação solar incidente ou refletida (Bueno, Labaki e Santos, 1997; Geiger, 1950; Givoni, 1997; Larcher, 1986; Mascaró, 1996; Nobel, 1983; Olgay, 1992; Pitt, 1979 e Romero, 1988).

Figura 2.18 - Atenuação da radiação solar por uma árvore



Fonte: Jean e Guyot, 1983.

### *Radiação refletida*

A porção refletida depende do poder refletor da superfície, isto é, do seu albedo, que, por sua vez, varia com os tipos e as condições da superfície do solo. A Tabela 2.18 exemplifica o albedo, na porção visível do espectro, para algumas superfícies.

Tabela 2.18 – Albedo de algumas superfícies, na porção visível do espectro solar

| Superfície              | Albedo (%) | Superfície                               | Albedo (%) |
|-------------------------|------------|--|------------|
| <b>Solo nu</b>          |            | <b>Água</b>                              |            |
| Solo arado úmido        | 15         | Superfície do mar                        | 8 – 10     |
| Solo escuro             | 5 – 15     | Água (altura solar >40°)                 | 2 – 4      |
| Solo claro              | 27         | Água (altura solar 5 – 30°)              | 6 – 40     |
| Solo cinza úmido        | 10 – 20    | <b>Homem</b>                             |            |
| Solo seco               | 20 – 35    | Branco                                   | 35         |
| Areia úmida             | 9 – 18     | Negro                                    | 18         |
| Areia seca              | 35 – 45    | <b>Vegetação</b>                         |            |
| Areia branca            | 37         | Gramados                                 | 15 – 30    |
| Barro seco              | 20 – 35    | Gramma seca                              | 32         |
| Solo negro e seco       | 14         | Campinas                                 | 15 – 25    |
| Solo negro e úmido      | 8          | Estepe seca                              | 20 – 30    |
| Rocha                   | 12 – 15    | Tundra                                   | 15 – 20    |
| Pântano salobro         | 42         | Floresta de conífera                     | 10 – 15    |
| <b>Plantações</b>       |            | Floresta caduca                          | 15 – 20    |
| Batata                  | 15 – 25    | Savana e semideserto na<br>estação seca  | 24         |
| Beterraba               | 26         | Savana e semideserto na<br>estação úmida | 18         |
| Cevada, centeio e trigo | 10 – 15    | Folhas verdes                            | 25 – 32    |
| Feijão                  | 24         | Florestas densas                         | 5          |
| Milho                   | 20         | <b>Outros</b>                            |            |
| Fumo                    | 22         | Tijolo, dependendo da cor                | 25 – 48    |
| Tomate                  | 23         | Concreto                                 | 22         |
| Abacaxi                 | 15         | Asfalto                                  | 7          |
| Sorgo                   | 20         | Superfície das nuvens                    | 60 – 90    |
| Algodão                 | 20 – 25    | Deserto                                  | 24 – 28    |
| <b>Neve e gelo</b>      |            | Cidades                                  | 14 – 18    |
| Neve recém caída        | 80 – 95    |  |            |
| Neve velha              | 50 – 70    |  |            |
| Neve clara e úmida      | 60 – 70    |  |            |
| Neve suja               | 40 – 50    |  |            |
| Gelo do mar             | 30 – 40    |  |            |

Fontes: Ayoade, 1991; Budyko, 1974; Geiger, 1950; Mascaró, 1996; Olgyay, 1992 e Tubelis, 1980.

O fato de um corpo apresentar uma baixa absorção e alta reflexão para um determinado comprimento de onda, significa dizer que, dentro da mesma temperatura, para este mesmo comprimento, a emissividade também será baixa (Geiger, 1950; Givoni, 1976 e 1989 e Tubelis, 1980). Assim, um solo com alto índice de reflexão aquece menos durante o dia que um com alto poder de absorção, influenciando a temperatura do ar próximo a ele, pois, quanto maior for o poder de absorção, maior será a temperatura durante o dia.

O albedo da superfície terrestre, em uma superfície horizontal, apresenta uma mudança anual e diária de acordo com a posição do sol na abóbada celeste, variando com a altura solar; isto é, será menor, quando a altura solar é maior, pois

a intensidade da radiação é mais concentrada, promovendo uma maior absorção e menor reflexão. Também é dependente da nebulosidade, pois, à medida que ela aumenta, a altura solar deixa de exercer tanta influência, visto que a incidência direta é reduzida e a radiação difusa é aumentada (Ayoade, 1991; Budyko, 1974 e Geiger, 1950).

### ***Radiação absorvida***

A absorção da radiação solar é dependente da altura solar, sendo máxima, para uma superfície horizontal, quando o sol se encontra no zênite. Ela cria um fluxo vertical de calor, ou gradiente de temperatura, acima e abaixo do solo.

O gradiente de temperatura abaixo do solo se dá por meio da condução. O calor é transferido para as camadas mais profundas, chegando em quantidades diferentes. Simultaneamente, visando manter um equilíbrio e reduzir o aquecimento, inicia-se o processo de aquecimento da camada de ar na interface solo – atmosfera. Neste processo, as temperaturas máximas se atrasam, à medida que se distancia da superfície do solo (Brady, 1989; Budyko, 1974; Geiger, 1950; Russell, 1973 e Tubelis, 1980).

Durante a condução no solo, as moléculas da camada superficial, que recebem radiação, são agitadas, transmitindo energia para as moléculas adjacentes mais inertes. Assim, as moléculas aquecidas emitem calor para as frias, com perda do seu próprio calor, estabelecendo um fluxo descendente de calor.

A velocidade com que esta transferência é feita depende do (a):

- gradiente de temperatura,
- capacidade térmica, ou calor específico do solo,
- densidade aparente e
- condutibilidade térmica característica de cada tipo de solo (Brady, 1989; Geiger, 1950; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

O solo será melhor quanto maior for a sua capacidade de reter calor, evitando quedas bruscas de temperatura. Devido esta variabilidade, os tipos e as condições

do solo exercem grande influência no clima próximo a ele pois apresentam grande variabilidade. O Quadro 2.4 apresenta três exemplos de como a condução pode se comportar, tomando como base o teor de umidade e a dimensão da porção porosa.

Quadro 2.4 – **Condução em solos de diferente textura e teor de umidade**

| Solo   | Característica  |
|--|---|
| Solo úmido, areia molhada.                         | Favorece uma variação mais lenta da temperatura, pois o calor se transfere do solo para a água mais facilmente (a condutibilidade térmica é maior) que do solo para o ar.   |
| Solo seco e com grandes espaços de ar, areia seca. | Devido à baixa condutibilidade térmica do ar, ele apresentará uma menor capacidade de reter calor, uma maior variação de temperatura e atingirá níveis menos profundos devido à resistência que os espaços de ar criam ao fluxo de calor. |
| Solo seco e com pequenos espaços de ar, rocha.     | O calor alcançará níveis mais profundos, apresentando-se como um melhor armazenador de calor e com uma menor variação de temperatura em comparação à areia.   |

Fontes: Brady, 1989; Frota e Schiffer, 1988; Geiger, 1950 e Tubelis, 1980.

A condição em que o solo se encontra também é um fator importante. Por exemplo, um solo frouxo, mais arado, possui baixa condutibilidade térmica, logo retém menos calor e apresenta um maior esfriamento à noite e aquecimento durante o dia, que o denso (Geiger, 1950).

#### *Absorção da radiação no espaço construído*

No espaço construído, o processo de absorção é o mesmo. A porção absorvida também é dependente da cobertura do solo, da propriedade dos materiais e das cores das superfícies, só que, na sua grande maioria, o solo é coberto por superfícies pavimentadas e edifícios, e os materiais são artificiais. Ainda deve-se levar em consideração:

- a densidade das áreas construídas, modificando as condições de vento, temperatura do ar próximo ao nível do solo e o balanço de radiação; e
- as alturas e espaçamentos entre os edifícios, pois afetam a ventilação, a exposição do edifício e da rua à radiação solar e o potencial de iluminação (Assis, 1990; Givoni, 1976, 1989 e 1997; Golany, 1996; Lombardo, 1985; Miess, 1979; Olgyay, 1992 e Vidal, 1997).

A morfologia urbana faz com que a absorção se comporte de forma diferente, o que influenciará na quantidade de calor transferido para o ar, na amplitude térmica, no conforto térmico dentro e fora dos edifícios e no consumo de energia para climatização das edificações.

Por exemplo, superfícies artificiais como o asfalto e o concreto, ao se comparar com as superfícies naturais, apresentam maneiras diferentes de armazenar energia, devido às suas propriedades físicas. Em geral, têm boa condutibilidade térmica e capacidade calorífica, absorvendo maior quantidade de calor durante o dia e liberando-o à noite, quando a velocidade do vento é menor e, conseqüentemente, a troca de calor por convecção (Assis, 1990; Givoni, 1976 e 1989; Lombardo, 1985; Miess, 1979; Olgyay, 1992 e Spirn, 1995).

#### *Absorção da radiação em uma área verde*

A presença da cobertura vegetal, seja morta ou viva, também influencia a quantidade de energia que o solo absorve, reduzindo as variações diárias e sazonais e evitando as temperaturas máximas em torno do meio dia, pois suas folhas interceptam parte da radiação de entrada e a emitida pela superfície terrestre, protegendo o solo da forte radiação.

Portanto, o calor é transferido mais lentamente da superfície da cobertura vegetal para o solo, devido à baixa condutibilidade térmica do ar e da planta e à baixa capacidade térmica da planta, fazendo com que ela funcione como isolante térmico. A vegetação também permite uma melhor infiltração e reduz a evaporação, retendo a água no solo, o que influenciará na condutibilidade térmica do mesmo (Geiger, 1950; Givoni, 1989 e 1997 e Russell, 1973).

O efeito da vegetação no fluxo de calor do solo depende da espessura e da altura da mesma. Isto é, em uma grama densa, o ar, entre suas folhas, apresenta-se quase parado, isolando a superfície do solo contra o fluxo de calor e fazendo com que ele se dissipe mais lentamente. Já em um agrupamento de árvores, há uma faixa de ar, onde pode haver transferência de calor por convecção sempre que o ar tornar-se mais frio que o solo (Larcher, 1986 e Russell, 1973).

*Absorção da radiação em corpos d'água*

A absorção da radiação solar que incide em corpos d'água difere da absorção pela superfície terrestre. Grande parte da porção visível penetra profundamente na água, entretanto, depende da pureza da água e da altura solar, esta, quanto mais próxima for de 90°, maior é a penetração e menor, a reflexão. Quase toda a porção infravermelha é absorvida logo no primeiro centímetro d'água e a ultravioleta alcança uma pequena profundidade (Ayoade, 1991; Budyko, 1974 e Geiger, 1950).

O calor absorvido é transferido para as camadas inferiores pelo movimento da água, mediante a convecção, alcançando níveis mais profundos que no solo. Devido ao seu alto calor específico, retém maior quantidade de calor que o solo, proporcionando uma menor variação diária da temperatura do ar próxima a ela. Nos oceanos, essa variação não excede 0,5°C, pois a maior parte da radiação é usada na evaporação e somente uma pequena porção aquece o ar (Ayoade, 1991; Geiger, 1950; Santana, 1997; Smith, 1975 e Tubelis, 1980).

Entretanto, segundo Ayoade (1991), Geiger (1950) e Olgyay (1992), a intensidade da redução provocada na temperatura, por corpos d'água, e a área de influência que ela exerce dependem do (a):

- tamanho da superfície,
- volume d'água,
- transparência da água e
- se a água está parada, pois a reflexão é maior, ou em movimento.

A diferença entre o calor específico da água e da terra é responsável pelas brisas terrestres e marítimas. Durante o dia, quando a temperatura do ar na terra é mais elevada que a das superfícies aquáticas, o ar quente se expande e se eleva, e as correntes baixas de ar frio do mar movem-se em direção à terra, resultando na redução da temperatura e trazendo alívio ao intenso calor do dia.

À noite, o sentido se inverte, gerando uma brisa terrestre. As brisas ocorrem com maior força e regularidade onde as temperaturas diárias são mais regulares, como

é o caso das regiões equatoriais (Ayoade, 1991; Frota e Schiffer, 1988; Geiger, 1950; Givoni, 1976; Olgyay, 1992; Smith, 1975 e Tubelis, 1980).

Os corpos d'água, além do seu valor paisagístico, da sua importância no ciclo hidrológico e da função de ser receptor da água escoada superficialmente, amenizam o microclima circundante devido ao processo de evaporação, que é contínuo e cria sempre uma camada de ar úmido sobre as superfícies aquáticas. Este efeito é aumentado com o incremento da temperatura e velocidade do ar. Portanto, em conjunto com a vegetação, constituem um importante elemento para a climatização.

### *Radiação emitida pela superfície terrestre*

A radiação de onda longa ou de saída emitida pela superfície terrestre acompanha a radiação de entrada. No entanto, seu efeito é mais pronunciado à noite, devido à ausência da luz solar. Ela aumenta, lentamente, após o nascer do sol, atingindo o ponto máximo até o pôr-do-sol, quando decresce com o decréscimo da temperatura.

Sua grande maioria é absorvida pelo vapor d'água, aerossóis e CO<sub>2</sub>, aquecendo a atmosfera e impedindo que a radiação de onda longa se perca para o espaço. A porção que não é absorvida e nem perdida para o espaço, é refletida pela parte inferior das nuvens e reemitida pelos constituintes atmosféricos, retornando à superfície. Desta forma, grande parte da radiação emitida pela superfície terrestre é compensada pela radiação refletida pelas nuvens e pela contraradiação da atmosfera, retendo o calor na terra (Budyko, 1974; Geiger, 1950; Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

### *Balanço de radiação*

A diferença entre a radiação de entrada e a que efetivamente sai, se perde para o espaço e, é denominada balanço de radiação da superfície terrestre. É positivo durante o dia, até um pouco antes do sol se pôr, e negativo à noite, quando a

radiação de onda longa governa a troca de calor até uma ou duas horas depois do sol nascer.

A variação diária é provocada pelo movimento do sol na abóbada celeste, obedecendo também, conseqüentemente, ao movimento de translação e a latitude do local. É exatamente essa variação que provoca as variações diárias e anuais na temperatura do solo e do ar. Em torno do equador, as diferenças de temperatura e as séries anuais são pequenas (Ayoade, 1991; Budyko, 1974 e Tubelis, 1980).

A temperatura é medida como mínima, máxima e média, mas os valores médios, sejam diários, mensais ou anuais, não traduzem a real condição do tempo, caso as séries sejam heterogêneas, pois tendem aos valores extremos (Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969).

#### *Transferência de calor durante o dia - Temperatura máxima*

A temperatura da camada de ar adjacente ao solo é determinada pela transferência do calor absorvido pela superfície do solo, que, por sua vez, acompanha o ciclo da radiação solar. Dessa forma, a radiação solar e a temperatura do ar agem juntas, produzindo também uma sensação de calor no corpo humano.

A transferência é feita por meio de quatro processos: a condução molecular, a convecção, a falsa condução radiativa e a evaporação, representados na Figura 2.19a. Os três primeiros, caracterizam o fluxo de calor sensível, enquanto o último, o de calor latente (Geiger, 1950; Tubelis, 1980 e Budyko, 1974).

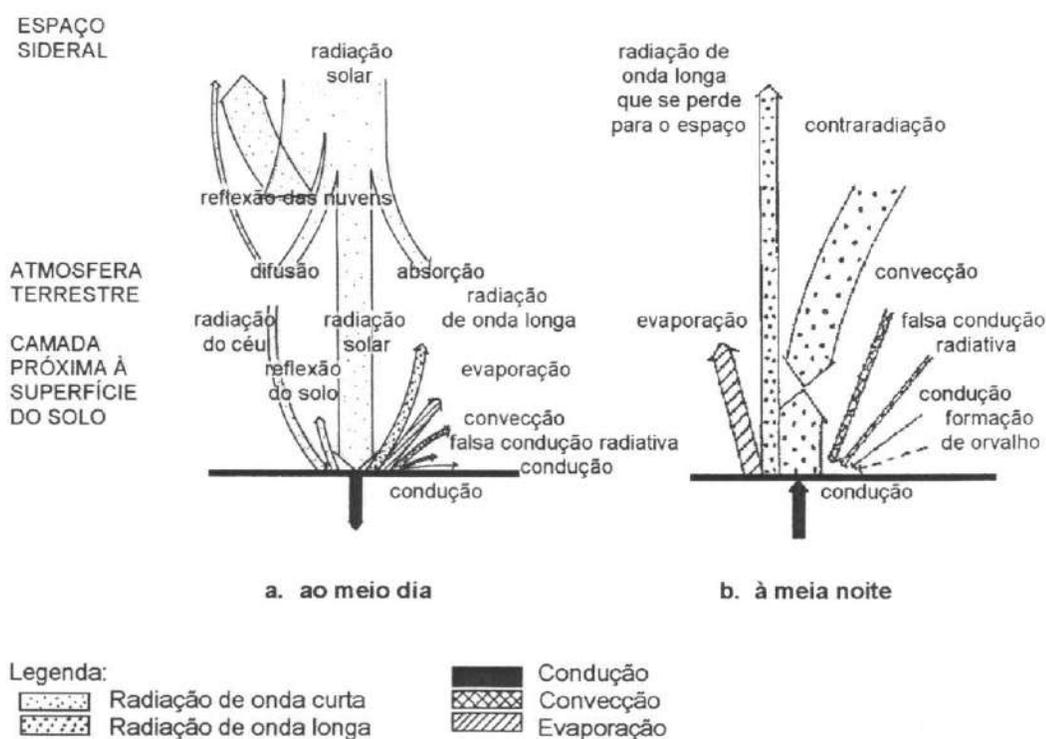
Os processos de transferência de calor, elevando a temperatura do ar, ocorrem simultaneamente, sendo que, dentre eles, a convecção é o mais significativo. Na condução, as moléculas de ar próximas à superfície quente se agitam, movendo-se para cima através do movimento molecular. A velocidade com que ocorre essa transferência depende do gradiente de temperatura (Geiger, 1950).

Paralela à condução, ocorre a falsa condução radiativa, ou seja, o ar absorve em faixas de radiação, em determinados comprimentos de onda. Assim, o calor é levado do solo através de um movimento lento da onda de calor.

Inicialmente, a convecção é realizada sem movimentos giratórios, ou seja, o ar aquecido, por condução, se expande, se eleva e é substituído pelo ar frio, de maior densidade. Este processo de troca de calor é denominado convecção livre e é o responsável pelo gradiente térmico nos dias calmos.

À proporção que se afasta da superfície, há um aumento da velocidade do vento e, com ele, da intensidade e velocidade com que o calor é transportado. A partir de então, inicia-se um fluxo turbulento que facilita uma mistura de massas de ar, transferindo-as para uma nova localização e proporcionando uma maior homogeneização da temperatura e umidade. A esta troca de calor dá-se o nome de convecção forçada (Geiger, 1950; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

Figura 2.19 – Troca de calor



Fonte: Geiger, 1950.

A presença de água na superfície terrestre faz com que o fluxo ascendente do ar quente seja acompanhado pela evaporação, onde o calor presente na circunvizinhança, calor sensível utilizado para aquecer o ar, é usado como energia calorífica para mudar o estado da água, transformando-a em vapor. Isto provoca uma mudança na umidade do ar e do solo e um esfriamento do solo por evaporação.

A quantidade evaporada depende do conteúdo de umidade do solo, da sua temperatura, da umidade atmosférica e da intensidade do fluxo turbulento de calor sensível na camada de ar próxima à superfície. Em terrenos inclinados, o conteúdo de umidade do solo é reduzido devido à dificuldade de infiltração e de retenção d'água, influenciando a umidade atmosférica e a evaporação (Budyko, 1974; Geiger, 1950 e Ometto, 1981).

O gradiente de temperatura do ar permite ver a influência exercida pela:

- água, pois a superfície do solo está mais sujeita a alterações entre seco e úmido que as camadas mais elevadas; e
- nebulosidade, porque o seu aumento, durante o dia, causa uma menor estratificação vertical e um maior atraso entre as temperaturas máximas e, à noite, uma distribuição vertical mais uniforme (Geiger, 1950).

### *Transferência de calor no espaço construído*

Os processos de transferência de calor no meio urbano são os mesmos citados anteriormente. Sendo que, a convecção, que é a troca de calor mais significativa, e a evaporação, que é o processo mais eficiente, responsável pelo resfriamento das superfícies, são reduzidos. Isto se deve devido à:

- redução da velocidade do vento e da umidade,
- deficiência de vegetação e superfícies aquáticas,
- elevada capacidade térmica e condutibilidade dos materiais de construção, e
- uma certa resistência criada por eles na transferência de calor para a atmosfera, ou seja, a sua inércia térmica.

Dessa forma, os contrastes térmicos, gerados entre o espaço livre vizinho à zona urbana e as áreas densamente construídas, são aumentados, visto que, nas cidades, a maior parte do fluxo térmico é de calor sensível, enquanto no campo, o calor é perdido por meio do resfriamento evaporativo (calor latente) (Assis, 1990 e 1997; Givoni, 1989 e 1997; Lombardo, 1985 e Miess, 1979).

A inércia térmica é definida por Assis (1990), Frota e Schiffer (1988) e Olgay (1992) como sendo a propriedade que tem uma superfície (parede ou cobertura) de diminuir a amplitude da onda de calor, atrasá-la, ou transmiti-la do ambiente exterior para o interior e vice-versa.

Normalmente, os materiais, devido às suas capacidades caloríficas, apresentam um comportamento diferente sob as mesmas condições climáticas. De maneira geral, quando a temperatura exterior excede a interior, inicia-se um fluxo de calor através da parede, o qual não a atravessa de imediato. Primeiro a aquece, atravessando com um certo atraso e amortecimento.

O atraso e amortecimento também dependem do peso e da espessura da parede. As estruturas pesadas possuem um atraso, ou tempo de retardamento maior, conseqüentemente, um amortecimento do fluxo de calor também maior. Isto significa dizer que elas retardam os impactos externos nos períodos em que a carga de calor é maior, e, dependendo das suas características, poderá transmitir o aquecimento durante a noite e o resfriamento durante o dia (Frota e Schiffer, 1988 e Olgay, 1992). A Tabela 2.19 apresenta o tempo de retardamento de algumas paredes homogêneas (constituídas de um único material).

Portanto, a radiação solar recebida pela cidade vai sendo armazenada no solo e nas superfícies impermeabilizadas, como ruas, paredes e telhados, as quais transferem calor sensível. Ao mesmo tempo, há um aumento adicional de calor gerado pelas atividades antropogênicas, principalmente, pelo uso de ar condicionados, pelo sistema viário, processos industriais e pelo próprio calor metabólico do homem, elevando ainda mais a temperatura urbana.

Tabela 2.19 – Tempo de retardamento de paredes homogêneas

| Material | Espessura (polegadas) | T. Ret. (horas) | Material                 | Espessura (polegadas) | T. Ret. (horas) |
|----------|-----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|
| Pedra    | 8                     | 5.5             | Tijolo comum             | 4                     | 2.3             |
|          | 12                    | 8.0             |                          | 8                     | 5.5             |
|          | 16                    | 10.5            |                          | 12                    | 8.5             |
|          | 24                    | 15.5            |                          | 16                    | 12.0            |
|          |                       |                 |                          | ½                     | 0.17            |
| Concreto | 2                     | 1.1             | Madeira                  | 1                     | 0.45            |
|          | 4                     | 2.5             |                          | 2                     | 1.3             |
|          | 6                     | 3.8             |                          | ½                     | 0.08            |
|          | 8                     | 5.1             | 1                        | 0.23                  |                 |
|          | 12                    | 7.8             | Tábua (Insulating Board) | 2                     | 0.77            |
|          | 16                    | 10.2            |                          | 4                     | 2.7             |
|          |                       |                 |                          | 6                     | 5.0             |

Fonte: Olgyay, 1992.

Como as áreas verdes e a disponibilidade de água na superfície são deficientes, a maior parte da energia radiante é usada para aquecer o ar. Somente uma pequena parte é utilizada nos processos de evaporação e evapotranspiração, os quais proporcionam um certo resfriamento ao requererem 600 calorias para evaporar 1 grama de água (Alcoforado, 1993; Givoni, 1989; Lombardo, 1985 e Miess, 1979).

Durante o dia, as diferenças de temperaturas entre a cidade e a área circundante são mínimas, sendo incrementadas quando as temperaturas máximas do ar são alcançadas, em torno de uma ou duas horas após o sol passar pelo zênite. Dependendo da magnitude do fluxo de calor sensível da superfície e da estabilidade do ar, a pluma de calor pode estender-se verticalmente, por dezenas de quilômetros, aumentando em altitude, a Camada Limite Atmosférica ou Mesoclima (Oke, 1982 *apud* Assis, 1990).

A grande quantidade de alvenaria da cidade faz com que ela se aqueça e se esfrie mais lentamente que seu entorno, tendo-se, como resultado, um atraso no aquecimento pela manhã e uma retenção de calor à noite, elevando as temperaturas mínimas, pois dificulta a liberação do fluxo de calor sensível (Alcoforado, 1993; Geiger, 1950; Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969; Oke, 1982 *apud* Assis, 1990 e Spirn, 1995).

As diferenças criadas no aquecimento e resfriamento entre as áreas urbana e rural, podem gerar e manter circulações atmosféricas mesoclimáticas e modificar a temperatura e o regime de umidade do Macroclima. Com a introdução da vegetação, essas diferenças são reduzidas e, desta forma, a vegetação pode modificar as características ambientais nas escalas micro, meso e macroclimáticas (Avisar, 1996; Lombardo, 1985 e Sattler, 1992 *apud* Brasil, 1996).

De acordo com o estudo feito por Assis (1990), para a cidade de Belo Horizonte, existe uma relação entre a temperatura e a densidade de ocupação, em função da tipologia da ocupação (horizontal ou vertical), observando-se um comportamento diferenciado na evolução das temperaturas máximas e mínimas.

A partir de certa densidade, as máximas tendem a ser mais acentuadas para a ocupação horizontal, pois este tipo de ocupação encontra-se, praticamente, sem proteção à radiação solar e sem áreas verdes, enquanto a ocupação vertical, devido ao fator de céu visível, está menos exposta à radiação solar. Entretanto, as mínimas são mais elevadas na ocupação vertical, devido ao maior número de obstrução à exposição do céu e à inércia térmica dos materiais.

Terjung e O'Rourke (1981) ao mostrarem a influência da vegetação e do tipo de ocupação nas trocas de energia e temperaturas de superfície, verificaram que:

- A ocupação vertical apresentava menores valores para a temperatura de superfície, balanço de radiação e fluxo de calor sensível, devido à obstrução à entrada da radiação solar e à redução da velocidade do vento, a qual favorece a perda de calor sensível.
- As superfícies vegetadas apresentam menor temperatura, emissão de radiação pela superfície e fluxo de calor sensível durante o dia. Enquanto, à noite, a temperatura passa a ser maior, devido ao efeito isolante da folhagem, e o balanço de radiação torna-se menor devido à menor emissão de radiação pela superfície da copa das árvores.

Santana (1997) também verificou a relação existente entre a ocupação e o uso do solo com a distribuição das temperaturas dentro da área urbana. Nas análises feitas, constatou diferenças em usos diversos, devido à diferença de tamanho entre

as massas edificadas, à quantidade de solo exposto à radiação solar e à existência de vegetação e corpos d'água.

Portanto, as diferentes formas físicas, volume, orientações, alturas, agrupamentos de edifícios, densidade de construção, espaçamento entre os edifícios, condições de sombra, orientação e dimensão das ruas, a própria atividade humana, a disposição e agrupamento de áreas verdes e a presença de corpos d'água, devido aos seus comportamentos térmicos, são capazes de criar pacotes de microclimas diferenciados dentro de uma cidade. Isto faz com que as condições climáticas de um dado lugar sejam completamente diferentes das existentes em outro (Givoni, 1997; Golany, 1996; Lombardo, 1985; Santana, 1997 e Spirn, 1995).

### *Transferência de calor em uma área verde*

O processo de transferência de calor sensível é o mesmo que ocorre na interface solo-ar. Aqui, a condução também não é muito significativa; nela, o calor é conduzido a partir da diferença de temperatura existente entre a folha e o ar. A convecção é o processo de maior importância, sendo mais eficaz quando as folhas são menores e mais subdivididas e a velocidade do vento é maior, dissipando mais calor (Larcher, 1986; Nobel, 1983 e Taiz e Zeiger, 1991).

A transpiração afeta a troca de calor latente entre a planta e o meio e representa um modo de perda de calor pela folha, controlando a sua temperatura através da evaporação. Este resfriamento por evaporação depende da concentração do vapor d'água da folha e do ar, da temperatura de ambos, da luz e do vento, dentre outros fatores relacionados com a fisiologia vegetal (Avisar, 1996; Etherington, 1975; Devlin, 1975; Larcher, 1986; Nobel, 1983; Raven, Evert e Eichhorn, 1996 e Taiz e Zeiger, 1991).

O ar acima de uma cobertura vegetal é tão afetado quanto o ar acima de uma rocha, ou areia, ou asfalto. À medida que o sol se eleva, o orvalho formado durante a noite começa a evaporar e o ar próximo à planta torna-se, lentamente, mais aquecido, aumentando a diferença entre a temperatura sob a cobertura vegetal e o ar acima dela. Entretanto,

‘A vegetação não afeta a intensidade de radiação, ou seja, não recebe mais ou menos calor que um solo nu. O que altera é a distribuição da quantidade de ganho ou perda de calor, pois modifica a flutuação de temperatura do clima próximo ao solo. Enquanto, no solo nu, toda a troca acontece na interface solo-ar, na vegetação, ela ocorre a uma certa altura’ (Geiger, 1950).

De acordo com o percentual de vegetação presente na área urbana, a temperatura e a umidade se comportam diferentemente durante o dia. Brasil (1996), num estudo para a cidade de Belém, no Pará, verificou que, durante o dia, as áreas com quase nenhuma vegetação apresentam temperaturas mais elevadas, e um aquecimento e resfriamento mais rápido que as áreas com 20 a 40% de cobertura vegetal.

À noite, a situação se inverte e as maiores temperaturas encontravam-se nas áreas mais arborizadas. Comparando os dados coletados em campo, com os da estação meteorológica local, também verificou que as áreas menos arborizadas eram as que mais se aproximavam dos dados da estação, comprovando a influência da vegetação no microclima.

As áreas verdes com mais sombras, menos luminosidade e menos calor irradiado torna o clima mais ameno até certa distância. Este efeito depende da extensão da vegetação (Givoni, 1997 e Jean e Guyot, 1983). A composição dos agrupamentos vegetais, com diferentes portes de plantas e arranjos, também influencia na redução e na estratificação da temperatura do ar.

Quando existem plantas em torno dos edifícios, pode-se reduzir: as temperaturas radiante e do ar, a radiação solar refletida e a radiação de onda longa emitida para a parede, reduzindo a condutividade e a infiltração dos ganhos de calor, conseqüentemente, a temperatura (Givoni, 1997 e Spirn, 1995).

Todo o efeito da vegetação na temperatura inicia-se a partir da atenuação da intensidade da radiação de entrada, fazendo com que a troca de calor seja mais intensa na superfície superior das plantas e bastante reduzida à medida que se aproxima do solo. Neste nível, a absorção da radiação pelo solo é mínima, a radiação atmosférica é limitada pelas folhas protetoras e a maior parte da radiação de entrada é consumida na evaporação.

A evapotranspiração causa um significativo esfriamento das folhas e do ar em contato com elas, além de aumentar a umidade. No espaço situado entre o solo e a copa, a condução e a convecção são limitadas e a troca de calor acontece mais por radiação, fazendo com que esta camada apresente um clima mais ameno e com temperaturas mais estáveis (Geiger, 1950; Pitt, 1979; Jean e Guyot, 1983; Tubelis, 1980; Givoni, 1989; Larcher, 1986; Etherington, 1975; Olgyay, 1992 e Mascaró, 1996).

Em comparação com um gramado, a distância criada entre a copa das árvores e o solo intensifica o efeito de isolamento térmico. Além disso, em geral, o vento que entra é mais seco, aumentando a transpiração e fazendo com que o ar interior seja, freqüentemente, mais úmido e frio que o exterior. Já em um gramado, o processo de evaporação é menor porque a área da folhagem também é menor. Mesmo assim, é possível observar uma redução de 5 a 7°C com relação à superfície construída (Bernatzky, 1982 *apud* Assis, 1990; Etherington, 1975; Geiger, 1950; Larcher, 1986; Mascaró, 1996; Olgyay, 1968 *apud* Romero, 1988 e Tubelis, 1980).

Estudos realizados por Huang *et al* (*apud* Mao *et al*, 1993 *apud* Brasil, 1996) para Sacramento, nos Estados Unidos da América, demonstram que um aumento de 25% na cobertura vegetal urbana, poderia economizar 40% da energia consumida para refrigeração, durante o verão.

Ichinose (1996), estudando a área central de Tokyo, cujo consumo energético é de 400W/m<sup>2</sup>, e o efeito do calor antropogênico, observou que se 20% de toda a área construída fosse transformada em parque, a temperatura cairia por volta de 0.5°C. Caso existisse espelho d'água, o decréscimo máximo chegaria a 1°C.

Assis (1990), avaliando a influência da massa de vegetação urbana sobre as temperaturas, através do uso de imagens de satélite, verificou que o efeito de resfriamento é muito restrito às áreas ocupadas por vegetação densa, decrescendo com as áreas gramadas, de campo ou vegetação menos densa. Isto porque

'as plantas têm uma baixa taxa de aquecimento durante o dia, e uma maior taxa de resfriamento à noite quando comparadas com os materiais de construção e outras estruturas compactas urbanas' (Givoni, 1997).

Avissar (1996) também observou o efeito da vegetação na temperatura urbana. Mostrou que em terras secas e sem cobertura vegetal, a energia radiante é usada para aquecer a atmosfera e o solo, enquanto nas terras úmidas e cobertas por vegetação, parte dessa energia radiante é usada para a evapotranspiração, proporcionando um resfriamento e elevando a umidade do ar.

Ao considerar uma área metropolitana com a maior parte coberta por vegetação, ainda verificou que as diferenças nos fluxos de calor sensível e latente entre as áreas urbana e rural eram reduzidas, resultando numa redução da intensidade de circulações que foram desenvolvidas pela diferença de temperatura entre ambas áreas. Isto porque a temperatura da área construída era reduzida.

Entretanto, segundo Givoni (1989 e 1997),

‘a quantidade total de energia solar absorvida dentro da cobertura urbana não é maior, e pode até ser menor que a quantidade de energia solar absorvida por uma área verde, devido às obstruções criadas pelas edificações. A diferença reside no resultado térmico da radiação absorvida’.

Isto é, enquanto na área verde a maior parte da radiação absorvida é transformada em calor latente pelo processo de evapotranspiração e somente uma pequena parte é convertida em calor sensível, elevando a temperatura, no meio urbano, a situação se inverte (Givoni, 1989 e 1997 e Spirn, 1995).

### *Transferência de calor durante a noite – Temperatura mínima*

Após o meio dia, a situação começa a se inverter e, antes do sol se pôr, inicia-se o processo de esfriamento da superfície terrestre, o qual é governado pela radiação de saída, em conjunto com a evaporação. Este processo dura até algumas horas depois do amanhecer, inicia-se a partir do solo e, nele, também estão presentes as quatro formas de transferência de calor representadas na Figura 2.19b (página 94).

A radiação que se perde para o espaço aumenta e alcança o seu ponto máximo antes da meia noite, sendo mais intensa nas noites de céu limpo e baixa umidade atmosférica. Ela é compensada pela radiação que retorna como contraradiação, ou

pela reflexão na superfície inferior das nuvens (Geiger, 1950; Givoni, 1976 e Tubelis, 1980).

Devido à ausência da radiação solar e como a radiação de saída que retorna é inferior a ela e os processos de transferência de calor continuam, a superfície do solo se resfria mais rápido que as camadas mais profundas. Isto cria um fluxo ascendente de calor no solo, o qual é responsável pelo seu resfriamento.

Portanto, o calor armazenado nas camadas mais profundas é reduzido e, da mesma forma como durante o dia, observa-se um retardamento das temperaturas mínimas com a profundidade. As mínimas ocorrerão durante a passagem do balanço negativo para positivo (Geiger, 1950; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

Com o objetivo de reduzir a queda de temperatura da superfície do solo, inicia-se um fluxo de calor do ar para a superfície por condução, convecção, falsa condução radiativa e pela formação do orvalho. Assim, o ar das camadas adjacentes ao solo é resfriado até que sua temperatura na interface solo-atmosfera atinja o ponto mínimo, que também é retardado à medida que se distancia do solo (Geiger, 1950 e Tubelis, 1980).

Através da falsa condução radiativa, as camadas de ar mais distantes da superfície do solo transferem calor para as mais próximas. A superfície do solo, ao receber este calor, transforma-o em radiação, que, ao ser emitida pelo solo, é absorvida pelo vapor d'água e CO<sub>2</sub>. Parte dela perde-se para o espaço e parte retorna para a terra como contraradiação, entretanto, em menor intensidade, devido à perda de energia decorrente da transformação do comprimento de onda<sup>8</sup> (Geiger, 1950).

Dentre os processos de transferência, a convecção também está presente, todavia, em menor intensidade que durante o dia, devido ao reduzido movimento do ar à noite. Apesar de ter menor importância e dimensão, também existe uma pequena troca causada, termicamente, por condução.

---

8. Segundo Geiger (1950), transformação do comprimento de onda é 'a diferença entre a radiação emitida pelo corpo negro do solo e a faixa de radiação do ar absorvida por ele'.

Durante as noites longas, com céu limpo, ar seco e ausência de vento, a radiação de saída que se perde para o espaço é intensificada, proporcionando um maior esfriamento da superfície terrestre que do ar próximo a ela. Isto provoca uma inversão no gradiente de temperatura, pois o ar frio e denso se estabiliza neste local, não permitindo uma renovação do mesmo. Este fenômeno é conhecido como inversão térmica e é frequente em vales naturais e artificiais (Geiger, 1950 e Givoni, 1976).

### *Transferência de calor no espaço construído*

Durante o período noturno, no meio urbano, o calor armazenado pelos materiais de construção, pela manhã, é liberado, mas o resfriamento é retardado com relação às áreas circunvizinhas. Isto faz com que a condensação do vapor d'água raramente ocorra, pois a radiação que retorna ao solo é inibida (Assis, 1990 e Golany, 1996).

A intensidade da radiação de saída é dependente do fator de céu visível, isto é, mesmo se tratando de um único edifício, as paredes, emitem somente a metade da radiação emitida pelo telhado, porque as superfícies verticais não estão diretamente expostas para o céu, resfriando-se mais lentamente (Givoni, 1989 e 1997 e Miess, 1979).

Como, em geral, a maior parte da abóbada celeste é bloqueada por outros edifícios, a troca de radiação de onda longa não resulta numa perda significativa de calor, pois a radiação é reabsorvida pelas paredes. A emissão de radiação de onda longa é restrita e leva a uma redução do esfriamento na região próxima ao nível do solo.

A radiação emitida pela cobertura de uma edificação também dependerá da altura das construções vizinhas. Se todas apresentarem a mesma altura, a radiação de saída se comporta como num espaço livre. Mas, se forem de alturas diferentes, os edifícios mais altos obstruem o fator de céu visível e reduzem a quantidade de radiação de saída dos mais baixos. Assim, o fator de céu visível determina a área de absorção e emissão de calor, alterando, além da taxa de resfriamento, o balanço

energético (Givoni, 1989 e 1997; Lowry, 1988 e Oke, 1982 *apud* Assis, 1990 e Miess, 1979).

A redução na radiação de saída provoca um resfriamento mais lento da área urbana em comparação com o seu entorno. A temperatura mínima é elevada e a amplitude térmica reduzida, levando a uma diferença no balanço de radiação, com conseqüente aumento da temperatura média na área urbana.

Este fenômeno é denominado Ilha de Calor e é mais evidente durante as noites claras e ventos calmos, quando as diferenças de temperatura são maiores. Já durante o dia, as diferenças são menores e, em situações de boa ventilação, chegam a ser insignificantes (Alcoforado, 1993; Assis, 1990; Givoni, 1989 e 1997 e Lombardo, 1985).

A geração de calor em decorrência das atividades urbanas, a quantidade de energia solar armazenada no conjunto dos edifícios, a menor quantidade de vegetação e a redução da evaporação do solo, também contribuem para o desenvolvimento da Ilha de Calor. Todavia, a importância de cada um destes fatores depende da organização do espaço urbano, do clima do local, da estação do ano e do tipo de atividade desenvolvida na cidade (Givoni, 1989 e 1997 e Lombardo, 1985).

A Ilha de Calor também se manifesta verticalmente, onde seu limite coincide, aproximadamente, com a Camada Limite Urbana. Entretanto, no interior do tecido urbano, não se pode falar de uma única Ilha de Calor, mas de uma alternância entre áreas mais quentes e mais frias.

Segundo Oke (1984 *apud* Givoni, 1989), o fato dos edifícios, em muitas cidades tropicais, possuírem baixa altura e terem uma disposição mais compacta, faz com que seus telhados sejam mais importantes que as paredes, em termos de energia de superfície. Isto traz implicações para o albedo, emissividade, sombra, iluminação difusa, duração do dia e rugosidade aerodinâmica da superfície.

Lombardo (1985), num estudo realizado para a Metrópole de São Paulo, observou que a intensidade da ilha de calor reflete a grande dimensão da mancha urbanizada e a distribuição dos diferentes tipos de usos do solo. As temperaturas mais elevadas foram encontradas nas áreas com maiores índices de poluição, com crescimento vertical intenso, densamente ocupadas e com pouca vegetação. Enquanto as que tinham maior número de espaços livres, vegetação e próximas à corpos d'água, apresentaram menores temperaturas.

Posterior a este trabalho, Xavier, Xavier e Dias (1996a) mostram, através da análise de variância, as tendências de crescimento das temperaturas, principalmente, a média e a mínima, o que os levou à confirmação da hipótese de que a própria ilha de calor pode influenciar no crescimento da temperatura na área urbana.

Givoni (1989) observa que o fenômeno da Ilha de Calor faz com que a área urbana seja menos sensível aos fatores que promovem um elevado resfriamento noturno, principalmente, durante noites de fortes inversões. Assim, uma das suas conseqüências é a baixa frequência de inversões nas áreas urbanas.

Segundo Obasi (1997), as Ilhas de Calor são capazes de promover mudanças no vento, temperatura, umidade, precipitação e balanço de radiação, onde, nos impactos resultantes, pode-se incluir um aumento no estresse térmico e outros danos à saúde.

#### *Transferência de calor em uma área verde*

A camada de ar acima da vegetação se esfria pelo contato com as folhas, principalmente as externas, que transpiram lentamente. Nesta camada, a temperatura é quase a mesma em todos os pontos. Com o aumento do esfriamento, a condição da radiação de saída prevalece até as primeiras horas da manhã, entretanto, a radiação de saída ainda é emitida.

Na vegetação arbórea, o ar abaixo da copa das árvores apresenta-se mais quente que o das suas partes superiores, pois a radiação de saída é menor, reduzindo o

esfriamento do solo e do ar. Este é o local onde a temperatura é mais baixa durante o dia e mais elevada à noite.

Quando o balanço de radiação torna-se negativo, as folhas apresentam-se mais frias que o ar, fazendo com que o calor seja transferido para elas, por condução, convecção ou condensação sob a forma de orvalho ou geada (Etherington, 1975; Geiger, 1950; Larcher, 1986 e Nobel, 1983).

Durante o período noturno, com vento calmo e fraca formação de orvalho, Assis (1990) e Geiger (1950) notaram que a presença de uma amplo gramado é capaz de modificar, consideravelmente, a temperatura e a umidade do ar, à medida que se distancia dele, pois sobre ele, a camada de ar é fria e úmida, enquanto nas superfícies construídas, ela é quente e seca.

#### *Umidade atmosférica*

O vapor d'água é o constituinte atmosférico responsável pela umidade do ar, que, normalmente, é medida como umidade relativa. Esta, representa o percentual de concentração do vapor d'água em relação à capacidade máxima do ar de retê-lo, a uma mesma temperatura e pressão, ou seja, diz o quanto o ar está próximo do ponto de saturação.

A quantidade de umidade varia de um lugar para outro e acompanha o balanço de radiação da superfície terrestre, pois sua concentração na atmosfera está em função da temperatura do ar. Por isso, quanto maior for a temperatura, maior é a capacidade do ar em reter vapor d'água. Logo, a sua concentração é maior onde as temperaturas são mais elevadas, isto é, na camada de ar próxima ao solo, e diminui, à medida que se afasta da superfície (Ayoade, 1991; Geiger, 1950; Givoni, 1976; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

O vapor d'água origina-se a partir da evaporação da água presente na superfície do solo, nos oceanos e em pequenos corpos d'água, e da evapotranspiração das superfícies com vegetação. A evaporação é o processo pelo qual a água passa da forma líquida à gasosa, mediante a adição de energia. Já a evapotranspiração

envolve a transpiração vegetal e a perda da água contida no solo e depositada na superfície vegetal (Ayoade, 1991; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

Tanto a evaporação quanto a evapotranspiração dependem do (a):

- disponibilidade de água da superfície,
- conteúdo de vapor d'água presente na atmosfera, pois determina a capacidade do ar de conservar umidade,
- suprimento energético da superfície, fornecido pela radiação solar e temperatura, e
- velocidade do vento.

Além disso, a transpiração depende do tipo de vegetação, do seu estágio de desenvolvimento, das suas condições físicas, nutricionais e sanitárias e do conteúdo de água no solo.

A radiação solar cria um fluxo de calor sensível do solo para a camada de ar adjacente a ele, elevando a temperatura do ar. A partir de então, as moléculas d'água presentes no solo consomem essa energia, passando do estado líquido para o gasoso, transformando-a em calor latente de evaporação, responsável pelo resfriamento do ar. Este processo continua até atingir o ponto de saturação, quando o ar contém 100% de vapor d'água, ou enquanto a superfície for úmida.

O vapor d'água formado é transferido para as camadas de ar superiores, através da convecção livre, renovando a massa de ar em contato com a superfície, substituindo-a por um ar fresco e relativamente seco, e homogeneizando-a com relação a sua umidade. Esta substituição será maior quanto mais intensa for a velocidade do vento (Assis, 1990; Ayoade, 1991; Brady, 1989; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

A umidade relativa varia inversamente com a temperatura, devido às suas variações diárias e anuais, as quais determinam a capacidade do ar de reter vapor d'água. Isto significa dizer que ela será menor durante o dia, quando a evaporação, o conteúdo de vapor d'água e a capacidade do ar de reter calor são maiores e, maior à noite, quando o processo se inverte (Ayoade, 1991; Geiger, 1950; Givoni, 1976 e Tubelis, 1980).

### *Umidade no espaço construído*

Devido às mudanças no padrão do escoamento superficial no meio urbano, ao baixo índice de permeabilidade do solo e à deficiência de superfícies evaporativas, como vegetação e corpos d'água, as cidades prejudicam o processo de evaporação, que é um fator decisivo nas trocas de energia. Conseqüentemente, produzem alterações no regime térmico e nos níveis de umidade relativa, tornando-as mais secas e quentes que o seu entorno, pois a maior parte da energia é usada para aquecer o ar (Ayoade, 1991; Geiger, 1950; Lombardo, 1985; Miess, 1979; Oliveira, 1988 *apud* Assis, 1990 e Santana, 1997).

De acordo com Ayoade (1991), a umidade nas áreas urbanas provém, basicamente, da evaporação, dos processos industriais e dos automóveis, que emitem grande quantidade de vapor d'água. Juntamente com a poluição atmosférica, provoca um aumento na nebulosidade e na intensidade de nevoeiros.

Entretanto, é bom lembrar que a vegetação presente nas áreas rurais também provê um suprimento de vapor d'água. A umidade é trazida pelo fluxo de ar gerado pela diferença de temperatura entre a área urbana e rural. Ao alcançar os centros urbanos, é misturada e, junto com os núcleos de condensação, gera as nuvens (Avissar, 1996).

### *Umidade do ar em uma área verde*

Dentro de um agurpamento vegetal, verifica-se uma elevada umidade atmosférica, por dois motivos:

- as plantas retardam a evaporação da água do solo e
- fisiologicamente, elas liberam vapor d'água mediante a transpiração e durante a respiração.

Ambos motivos fazem com que haja uma elevação da umidade à medida que se penetra na vegetação, permanecendo constante durante todo o dia (Geiger, 1950). No meio urbano, o consumo de calor latente na evapotranspiração permite um decréscimo da temperatura ambiente, podendo existir uma diferença de 3 a 4°C

entre uma área verde com profundidade de 50 a 100m e uma área exposta à radiação solar (Jean e Guyot, 1983).

A quantidade de água evaporada depende mais da temperatura da superfície da folha que do conteúdo de vapor d'água do ar entre elas, pois, ao iniciar a evaporação, a superfície da folha é resfriada, conseqüentemente, há uma redução na emissão do vapor d'água. Com o resfriamento da folha, o ar transfere calor para ela, inicializando, novamente, a evaporação (Etherington, 1975; Geiger, 1950; Givoni, 1997; Mascaró, 1996 e Ometto, 1981).

Como resultado da evapotranspiração, o ar próximo do solo, nas áreas verdes, é mais frio que o ar nas áreas construídas, cobertas por asfalto ou concreto. Outrossim, a radiação de onda longa emitida pelas folhas é menor que a emitida pelas superfícies compactas, devido à sua menor temperatura. Por isso, nas áreas verdes, o homem está sujeito a uma baixa carga de calor radiante (Givoni, 1997).

A umidade do ar em uma área verde também depende do percentual de cobertura vegetal, das características inerentes a cada espécie vegetal e do tipo do agrupamento:

- Em agrupamentos abertos, a radiação refletida pelo solo chega às plantas como calor, elevando a sua temperatura. Isto causa uma certa elevação do conteúdo de umidade do ar entre as folhas e uma redução em direção ao solo.
- Em agrupamentos fechados, a diferença de temperatura entre o ar e o solo é menor e a umidade relativa aumenta em direção ao solo, devido ao sombreamento do solo.
- Em gramados, a umidade aumenta em direção ao solo devido à redução da evaporação do mesmo e à liberação de vapor d'água pela transpiração (Geiger, 1950 e Smith, 1975).

### *Nebulosidade e precipitação*

O aumento da quantidade de vapor d'água na atmosfera, até o ponto de saturação, mantendo a pressão e a temperatura, ou o resfriamento do ar úmido até a

temperatura do ponto de orvalho, mantendo a quantidade de vapor d'água constante, dá início à condensação do vapor d'água. Isto é, através da liberação de energia na forma de calor latente, a água passa do estado gasoso para o líquido. A condensação dá origem aos nevoeiros, ao orvalho, à geada e às nuvens com uma infinidade de formas.

No entanto, para que haja condensação é necessário que exista uma superfície de contato chamada de núcleo de condensação, que, em geral, são impurezas sólidas de origem natural, como o sal marinho, ou artificial, como os óxidos de enxofre e fósforo, decorrentes da poluição atmosférica (Ayoade, 1991; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

As nuvens são constituídas por partículas de água líquida e/ou gelo em suspensão. Mas, para que ocorra a precipitação é necessário que a força gravitacional seja maior que a ascendente, ou seja, quando as gotículas crescem de tamanho através da coalescência<sup>9</sup> das gotas. A união das gotículas d'água se dá devido a diferenças de temperatura, tamanho, a movimentos turbulentos, ou existência de cargas elétricas entre elas.

O ponto de saturação de uma massa de ar fria pode ser alcançado quando ela se aproxima de uma superfície aquática mais quente, provocando uma rápida evaporação e saturação do ar frio, originando um nevoeiro sobre a superfície. O resfriamento do ar úmido envolve quatro processos.

#### 1. Resfriamento por contato ou condução de calor.

O ar úmido e quente entra em contato com uma superfície fria e libera energia, na forma de calor latente, para ela e para o ar adjacente. Como a concentração de vapor d'água no ar é maior que a capacidade de retenção da superfície, há um aumento na concentração de vapor d'água sobre ela, ocasionando a deposição de orvalho. No caso da temperatura do ar ser inferior a 0°C, poderá ocorrer geada (Ayoade, 1991; Etherington, 1975; Larcher, 1986; Nobel, 1983; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

---

9. Coalescência é a união das gotículas de água.

## 2. Resfriamento devido à radiação.

A camada de ar próxima ao solo com elevada temperatura e umidade, irradia mais calor para as camadas superiores que recebe delas, perdendo seu próprio calor. Este resfriamento provoca o nevoeiro<sup>10</sup>, que, quando é muito intenso, produz uma chuva leve, conhecida como garôa, presente nas média e altas latitudes (Ometto, 1981). A elevada umidade impede a perda de radiação para o espaço e reduz a evaporação, tomando o sistema mais aquecido.

## 3. Resfriamento pela mistura de massas de ar saturado.

Acontece em decorrência da distribuição desigual da radiação solar no Globo Terrestre. Forçando um movimento de massas de ar de diferentes temperaturas, que se misturam, estruturando diferentes tipos de nuvens.

Tal processo envolve aspectos globais da circulação atmosférica e possibilita a precipitação de gotículas por um longo período, caracterizando uma chuva leve. Dependendo da intensidade e umidade dessas massas de ar que se encontram, poderá ocasionar chuvas moderadamente intensas e de duração prolongada (Ayoade, 1991; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

## 4. Resfriamento por expansão adiabática.

A expansão adiabática ocorre quando a superfície do solo, por qualquer razão, seja devido à topografia, vegetação, ou coloração, se aquece de maneira diferente ao do meio adjacente, fazendo com que o ar se aqueça mais que o ar circundante e, conseqüentemente, se eleve. À medida que sobe, se expande, sofrendo uma queda de temperatura.

Quando a quantidade de vapor d'água iguala-se ao ponto de saturação, ou mesmo antes, inicia-se a condensação parcial sobre os núcleos existentes e o processo de coalescência. A ascensão continua até o ponto em que as gotículas passam a ser gotas grandes superresfriadas, podendo alcançar o estágio de gelo ou neve (Ayoade, 1991; Givoni, 1976 e Tubelis, 1980).

---

10. Nevoeiro ou *fog* 'é um conjunto de partículas microscópicas de água líquida, em suspensão na atmosfera junto ao solo, capaz de reduzir a visibilidade e provocar neblina'. Quando há presença de partículas de fumaça ele é denominado *smog*. Prevalece em vales e depressões topográficas, podendo aparecer nas regiões costeiras (Ayoade, 1991; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

Quando a partícula atinge um grande volume, a força da gravidade começa a atuar sobre ela, ocasionando um movimento descendente. Durante este movimento, ela perde massa por evaporação, podendo continuar a cair, ou retornar a ascensão, caso não atinja um nível de massa suficiente para cair (Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

Os dois primeiros processos constituem a condensação superficial. O último é o mais efetivo e importante na formação de nuvens, sendo capaz de produzir precipitação moderada e intensa de curta duração. Ocorre, principalmente, nas regiões tropicais, durante as estações quentes (Ayoade, 1991; Givoni, 1976; Ometto, 1981 e Tubelis, 1980).

### *Precipitação no espaço construído*

No meio urbano, em larga escala, os processos de precipitação associados com as frentes (frias ou quentes – resfriamento pela mistura de massas de ar saturado) não são afetados pelas áreas construídas. Mas, o aumento da frequência de temporais sobre as cidades é causado pelo quarto processo de resfriamento, expansão adiabática, produzindo precipitação moderada e intensa de curta duração. Isto decorre do (a):

- superaquecimento do ar próximo ao solo, causando uma convecção térmica,
- presença abundante de núcleos de condensação,
- acréscimo no conteúdo de vapor d'água devido aos processos de combustão e
- turbulência no ar, criada pela rugosidade da superfície urbana.

Ao mesmo tempo, as frequências de chuvas fracas são reduzidas devido ao aumento da temperatura média, resultante da elevação das temperaturas mínimas. Entretanto, o aumento na quantidade de precipitação não significa um melhoramento no regime hídrico pois se tratam de chuvas fortes e, devido à impermeabilização, há um rápido escoamento superficial, aumentando a probabilidade de ocorrência de enchentes (Ayoade, 1991; Geiger, 1950; Gomez *et al*, 1993; Miess, 1979; Smith, 1975 e Xavier, Xavier e Dias, 1994).

### *Vento*

O ar se movimenta horizontal e verticalmente, envolvendo aspectos globais da circulação geral atmosférica e aspectos locais. Dentre os fatores locais, o deslocamento horizontal é provocado por um gradiente de pressão horizontal, originado pela força de atrito com a superfície e pela diferença de temperatura entre duas áreas. A componente vertical acompanha o balanço de radiação, pois depende do gradiente de temperatura do ar próximo à superfície terrestre (Ayoade, 1991; Ometto, 1981; Romero, 1988 e Tubelis, 1980).

O atrito causado pela superfície do solo provoca uma redução na velocidade do vento, fazendo com que seja diminuída à medida que se aproxima dele, bem como uma mudança na sua direção. Entretanto, o perfil da velocidade do vento depende da velocidade original do mesmo, da rugosidade da superfície e do gradiente de temperatura do ar (Ayoade, 1991; Ometto, 1981; Smith, 1975 e Tubelis, 1980).

Assim, a uma mesma velocidade, quanto maior for a rugosidade do terreno, maior será o desvio do vento, provocando um aumento na altura da Camada Limite Atmosférica, pois o deslocamento vertical do ar é proporcional à altura do obstáculo (Koenigsberger, 1977 e Villas Boas, 1983 *apud* Romero, 1988).

Próximo à superfície do solo, o fluxo do ar apresenta-se laminar, onde o vento encontra-se em repouso e sua velocidade tende a zero. À medida que se distancia, identifica-se um fluxo turbulento, apresentando flutuações de posição e velocidade, as quais são responsáveis pela transferência de vapor d'água, calor e outras substâncias, para as camadas de ar adjacentes.

A turbulência pode ser: térmica, gerada a partir das diferenças de temperatura na superfície do solo, provocando a ascensão da massa de ar, ou forçada, quando a massa de ar, ao encontrar um obstáculo, é forçada a se elevar, provocando diferentes pressões em torno dele. Este é um dos principais efeitos provocados pelo relevo, alterando a direção e a velocidade do vento (Ometto, 1981; Smith, 1975 e Tubelis, 1980).

As diferenças térmicas entre duas áreas vizinhas pode gerar um gradiente de pressão horizontal, fazendo com que o ar se movimente de uma área de alta pressão para uma de menor. A velocidade com que o ar se movimenta será maior quanto maior for esta diferença. Um bom exemplo disto são as brisas marítimas e terrestres, que ocorrem ao longo da costa, perto de grandes lagos, próximas a grandes massas aquosas (Ayoade, 1991; Romero, 1988 e Tubelis, 1980).

O movimento vertical é causado pela superfície da terra e sua continuação é dependente da estrutura térmica e da umidade sobre ela. Isto é, as diferenças no balanço de radiação, provocadas pelas alterações no albedo das superfícies, pelo aquecimento desigual do ar e do solo e pela evaporação, criam um gradiente de pressão atmosférica, que gera ventos. A velocidade desses ventos acompanha os valores do balanço de radiação, sendo, relativamente, calma durante o período de transição entre o balanço positivo e negativo (Atkinson, 1972 *apud* Ayoade, 1991; Geiger, 1950 e Tubelis, 1980).

A ocorrência desse movimento vertical é acentuada nas regiões de relevo acidentado, vales e encostas, onde, durante o dia, as superfícies mais expostas são mais aquecidas que os fundos dos vales, gerando ventos leves que se deslocam vertente acima. À noite, dependendo da cobertura do céu, o solo é resfriado rapidamente e, por ação da gravidade, se desloca vertente abaixo. Este vento frio e denso contribui para o desenvolvimento de inversões térmicas no fundo dos vales, favorecendo a concentração de poluentes atmosféricos (Ayoade, 1991 e Tubelis, 1980).

### *Ventilação no espaço construído*

No meio urbano, o primeiro fator que influencia a ventilação é o vento regional e a localização da cidade. Em seguida, a diferença de temperatura criada entre a área urbana e seu entorno e, por fim, a própria estrutura da cidade.

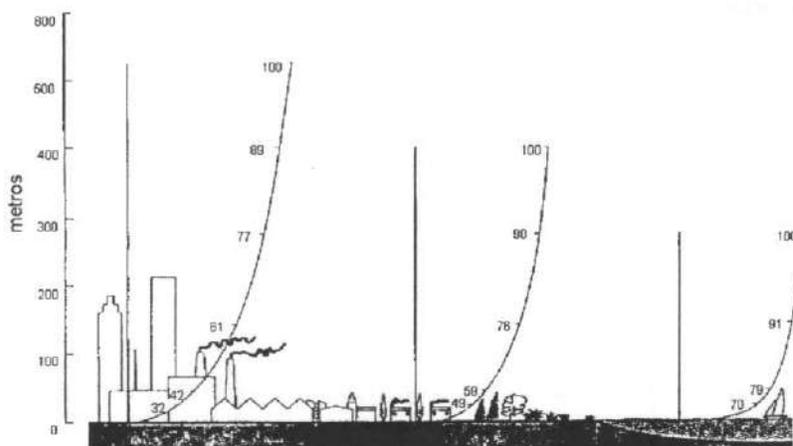
Uma ventilação urbana adequada ao clima é importante para a saúde e o conforto humano, influencia nas condições de ventilação das ruas, na dispersão dos poluentes atmosféricos, na troca de ar da cidade com o campo, na troca de calor

por convecção e na demanda de energia, pois determina o potencial de ventilação natural das edificações (Assis, 1990; Ayoade, 1991; Givoni, 1989 e 1997 e Golany, 1996).

O vento regional, ao alcançar uma cidade, é enfraquecido ao nível da cobertura urbana devido à elevada rugosidade da superfície. O atrito criado faz com que a velocidade média do vento aumente à medida que se distancia do solo. Entretanto, a velocidade do vento e a variação da velocidade com a altura é muito menor que num espaço livre, à mesma altura (veja Figura 2.20).

Mas, como esse perfil não leva em consideração a elevada turbulência criada pelo atrito do vento com as construções, ele não representa as condições reais próximas ao nível do solo urbano. Pois, neste nível, a velocidade do vento pode chegar a ser maior que no espaçamento entre os edifícios situados a favor do vento, em virtude do efeito provocado pelas obstruções (Chichierchio, 1983 e Bernatzky, 1982 *apud* Assis, 1990; Givoni, 1989 e 1997 e Santana, 1997).

Figura 2.20 – Perfil vertical da velocidade do vento



Fontes: Chandler, 1976 *apud* Givoni, 1989 e Mascaró, 1996.

O gradiente de temperatura influencia a ventilação urbana tanto vertical quanto horizontalmente. O movimento vertical depende do perfil da temperatura. Isto é

bem evidente na situação de inversão térmica, quando a calmaria se estabelece dentro da camada de inversão, entretanto, acima dela, a velocidade do vento aumenta com a altura.

Horizontalmente, o fluxo de ar gerado pela cidade resulta da diferença de temperatura dentro da área urbana. Em geral, são correntes de ar muito fracas, que durante a noite podem ser aumentadas, de acordo com o desenho urbano e só se manifestam nas horas em que o vento regional apresenta-se calmo. Entretanto, durante este período, o fluxo de ar dentro da cidade torna-se mais forte que o do seu entorno (Givoni, 1989 e 1997).

Durante o dia, a radiação solar atinge paredes de várias cores e fachadas, em várias direções, resultando num aquecimento diferenciado. O ar, ao entrar em contato com as superfícies quentes, se aquece e se eleva, enquanto o ar que entra em contato com as paredes sombreadas ou superfícies frias, cai gradativamente, fluindo para a área em que o ar se elevou. À noite, este fluxo pode ser aumentado, deslocando-se através de grandes avenidas, ou áreas verdes (Givoni, 1989 e 1997; Golany, 1996 e Mascaró, 1996).

Este processo também acontece durante a noite, só que em uma escala espacial maior. Manifesta-se nas noites claras e sem vento, quando o ar quente do centro urbano se eleva, dando lugar a um fluxo de ar frio, ao nível do solo, advindo dos espaços livres adjacentes à área urbana. Desta forma, quanto maior e densa for a cidade e maior for a intensidade da Ilha de Calor, maior será a velocidade do vento.

O fluxo horizontal pode trazer consigo, partículas de poluentes, elevando a sua concentração nos centros urbanos, ou ar fresco com algum efeito benéfico para o clima. No entanto, é importante que a rugosidade não se constitua um obstáculo a essas correntes de ar, impedindo a renovação do ar e favorecendo a concentração de poluentes (Assis, 1990; Avissar, 1996; Givoni, 1989 e 1997; Golany, 1996; Lowry, 1967 *apud* Lombardo, 1985; Mascaró, 1996; Miess, 1979 e Smith, 1975).

A morfologia urbana é o fator mais significativo na modificação das condições do vento. Ela engloba os principais elementos urbanos que alteram a velocidade e a direção do vento, fazendo com que ele não se comporte de forma constante e mude tanto no tempo como entre dois pontos próximos.

As edificações não deveriam servir de barreira à ventilação, principalmente, nas entradas de vento na cidade, mas, em geral, os edifícios obstruem a passagem do vento, provocam um desvio do seu fluxo padrão, fazendo com que ele retorne a sua posição original somente após certa distância (Gut e Ackerknetcht, 1993 *apud* Ary Neto, 1997; Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969 e Olgyay, 1992).

O tamanho da sombra de vento formada atrás da edificação depende da forma do edifício, a qual também determinará a distância do retorno do fluxo de ar à sua posição padrão. Normalmente, quanto mais elevado e profundo for o edifício, maior será a área da sombra de vento criada atrás dele. Essa distância pode chegar até mais de dez vezes a altura do obstáculo (Gut e Ackerknetcht, 1993 *apud* Ary Neto, 1997).

Como trata-se de uma distância muito grande a ser considerada no meio urbano, deve-se observar como o vento se comporta diante dos elementos urbanos, como estes influenciam a ventilação e como podem ser usados para melhorá-la.

Segundo Assis (1990), Bittencourt, Cruz, Lobô *et al* (1997), Givoni (1989 e 1997), Golany (1996), Miess (1979), Olgyay (1992), Romero (1988), Santana (1997) e Spirn (1995), os principais elementos urbanos que influenciam na ventilação são:

1. Densidade total da área urbana.

Em geral, à medida que se aumenta a área construída, se reduz o fluxo de ar próximo ao solo. Contudo, isto não pode ser a regra, pois, sob o ponto de vista da ventilação, o que interessa é a diferença de altura e espaçamento entre as edificações. Assim, mesmo com uma alta densidade é possível obter uma boa ventilação, dependendo da disposição entre edifícios altos e baixos e dos possíveis efeitos aerodinâmicos que possam ser criados.

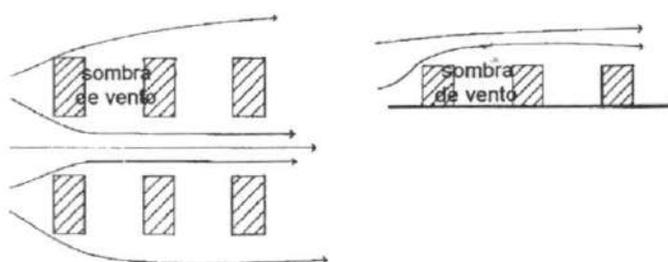
2. Largura, orientação das ruas e disposição de edifícios de alturas semelhantes, com relação à direção do vento.

É possível criar variações na velocidade do vento entre e em torno dos edifícios, permitindo a entrada do vento no centro da cidade. Dependendo do arranjo entre eles, pode-se distinguir três situações:

- 1ª. Edifícios e ruas perpendiculares à direção do vento.

Cria-se zonas de proteção entre os edifícios, onde a primeira fila barra o vento e o desvia para cima e laterais como resultado do atrito. A ventilação dos espaços localizados na 'sombra' do vento vem da turbulência gerada pelo atrito do vento com o telhado (veja Figura 2.21).

Figura 2.21 – Efeito da sombra de vento em fileiras paralelas



Fonte: Olgyay, 1992.

A intensidade da turbulência é proporcional às diferenças de pressão entre os edifícios. Neste caso, a altura dos edifícios não é muito significativa e, normalmente, a velocidade do vento decresce à medida que penetra na cidade. Quando se aumenta o espaçamento entre os edifícios, tende-se a melhorar a velocidade do vento e quando se dispõe as unidades em ziguezague, permite-se a ventilação das unidades adjacentes (veja Figura 2.22).

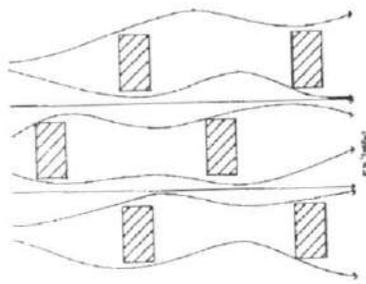
- 2ª. Edifícios e ruas paralelos à direção do vento.

Nesta situação, os edifícios não bloqueiam o vento e permitem que ele flua melhor nas ruas e nos espaços livres, melhorando a ventilação urbana e a dispersão de poluentes.

## 3ª. Edifícios e ruas oblíquos à direção do vento.

Essa disposição faz com que a a ventilação no lado da calçada que recebe a incidência direta seja mais concentrada que no lado oposto, o qual é protegido pelo edifício, estabelecendo uma área de baixa pressão em torno dele e um fluxo suave. Neste caso, as ruas largas melhoram a ventilação dentro dos edifícios e nas ruas.

Figura 2.22 – Efeito do vento nas unidades dispostas em zig-zague



Fontes: Golany, 1996 e Olgyay, 1992.

## 3. Existência de edifícios altos e sua disposição entre os baixos.

A combinação entre edifícios altos e baixos modifica o fluxo padrão do vento e a sua velocidade ao nível do solo, pois podem criar zonas de alta e baixa pressão acima da área construída, gerando correntes verticais que movimentam a massa de ar urbana.

O fluxo de ar em torno de um edifício alto depende da:

- Razão entre sua largura e altura.

Um edifício tipo 'torre' gera maior pressão nas laterais que em cima e apresenta pouco efeito à sotavento. Ao aumentar a largura da sua parede à barlavento, cria-se maior pressão em cima do edifício, gerando um forte fluxo turbulento de ar à sotavento e ao nível do solo (veja Figura 2.23).

- Forma da fachada.

Se for convexa, desvia o ar mais para as laterais que para baixo e para cima e reduz a turbulência nas laterais da parede e à barlavento, se for côncava, concentra o fluxo e aumenta a turbulência na parede à barlavento.

Figura 2.23 – Fluxo turbulento do ar



Fonte: Miess, 1979.

- Existência de edifícios baixos em torno dele.  
A presença de edifícios baixos gera uma forte corrente de ar em torno dos altos, devido aos desvios provocados. Isto cria uma elevada pressão do ar, gerando uma forte corrente de ar para baixo. Entretanto, este efeito depende da localização dos edifícios altos dentro da malha urbana.
  - Direção do vento com relação às fachadas dos edifícios.
  - Próprio desenho do edifício, como, por exemplo, o uso de proteções contra a chuva e o sol.
4. Existência, tamanho e distribuição de espaços livres urbanos, áreas verdes e corpos d'água, bem como, de elementos da paisagem como árvores, arbustos, muros.

#### *Efeito das áreas verdes na ventilação*

A presença da vegetação também influencia a velocidade e a direção do vento. Ela constitui uma barreira, aumentando a fricção e retardando a velocidade do vento próximo ao solo. Assim, de modo geral, o regime do vento próximo à vegetação é caracterizado por um fluxo turbulento, mas com reduzida velocidade e fracas flutuações próximas ao solo (Givoni, 1997 e Nobel, 1983).

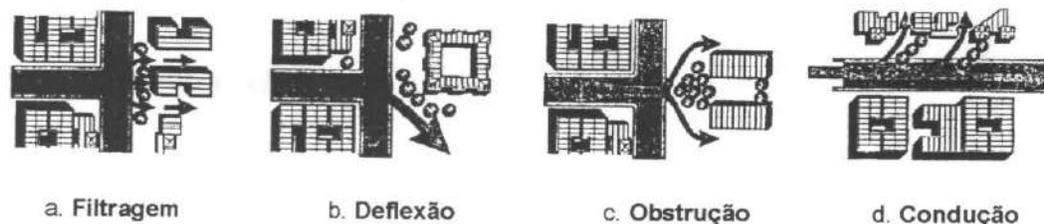
O efeito da vegetação nas condições do vento depende do tipo de vegetação, da sua extensão, quantidade, altura, composição, estrutura e arranjo. De acordo com estas características e o fim desejado, são identificadas, segundo Robinette (1972 *apud* Mascaró, 1996), quatro efeitos básicos (veja Figura 2.24):

- Obstrução, bloqueia o fluxo de ar,
- Deflexão, desvia a direção do fluxo de ar e sua velocidade,
- Filtragem, reduz a velocidade do vento conforme a permeabilidade do agrupamento e,
- Condução, direciona o fluxo do ar modificando sua velocidade.

Através desses quatro efeitos, árvores e arbustos podem:

- direcionar o vento para uma área desejada, podendo melhorar a ventilação dos ambientes, incluindo ruas que se situam na sombra do vento,
- aumentar as trocas de calor,
- controlar o fluxo de ar em torno e através dos edifícios, e
- impedir ventos fortes ao nível dos pedestres
- servir como uma abertura para a entrada de ventilação,
- concentrar o fluxo de ar abaixo da copa das árvores e
- reduzir a turbulência do vento (Etherington, 1975; Geiger, 1950; Givoni, 1989; Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969; Mascaró, 1996; Olgyay, 1992; Ometto, 1981 e Pitt, 1979).

Figura 2.24 – Efeitos básicos da barreira vegetal



Fonte: Mascaró, 1996.

Quando o agrupamento vegetal é denso e extenso, a passagem do vento, dentro dele, é muito reduzida. A maioria se concentra na superfície superior da copa, criando, junto ao solo, no lado oposto ao da incidência do vento, uma forte turbulência, o que provoca uma rápida descida do fluxo de ar para junto do solo.

Os agrupamentos abertos, apesar de alterarem a estrutura do fluxo do ar, permitem uma certa permeabilidade, mesmo que seja com a velocidade bem reduzida. Logo, causam um menor impacto e reduzem a turbulência. Para evitar a turbulência, Robinett (1972 *apud* Pitt, 1979) sugere que as barreiras tenham uma razão de 1:1,5 entre a altura e a extensão. Assim, a intensidade da turbulência gerada e o tamanho da área que sofrerá a atenuação do vento são determinados pela capacidade de permeabilidade da barreira (Etherington, 1975 e Ometto, 1981).

A incidência do vento em um agrupamento vegetal influencia a estratificação térmica da massa de ar e a umidade. Sua velocidade é reduzida dentro da copa das plantas devido à dificuldade de penetração, ocasionando uma redução na troca de calor ao nível do caule e na superfície superior da copa. Também reduz as diferenças de temperatura e umidade do ar entre as áreas sombreadas e ensolaradas, principalmente, quando a velocidade é superior a 1,5m/s (Mascaró, 1996).

Uma superfície gramada produz um efeito de freio na velocidade do vento próximo ao solo, retardando-o, trazendo-o para junto dele e mantendo o ar relativamente parado entre as folhas. A intensidade deste efeito depende da altura e da espécie da cobertura vegetal (Geiger, 1950 e Smith, 1975).

### *Efeito do relevo no clima*

O relevo, com as diferentes inclinações e exposições, também exerce influência sobre o clima. Produz microclimas específicos, pois determina a duração da insolação, bem como as condições térmicas estabelecidas pela ação combinada entre o ângulo com que os raios do sol incidem sobre o solo e a sua direção.

A absorção pelo solo é maior, quando os raios solares atingem a encosta de frente e quanto mais perpendicular o ângulo de incidência do sol estiver com a superfície do solo. Além disso, à medida que se eleva do nível do mar, observa-se uma redução na massa de ar, menor pressão e uma menor interferência da atmosfera, favorecendo um aumento na intensidade da radiação solar e da luz.

Entretanto, devido à redução da nebulosidade, há uma menor contraradiação e maior radiação de saída para o espaço, contribuindo para o decréscimo da temperatura em 1°C a cada 100m de elevação (Ayoade, 1991; Brady, 1989; Geiger, 1950; Givoni, 1976; Olgyay, 1992; Romero, 1988 e Smith, 1975).

O relevo também influencia a distribuição da precipitação devido ao efeito que produz no fluxo padrão do vento, que é desviado vertical e horizontalmente, antes de atingir a elevação. O desvio causa altas velocidades próximo ao topo da montanha e uma região de 'sombra de vento' na parte mais baixa dela, forçando um deslocamento da massa de ar quente e úmida à barlavento da encosta. À medida que o ar se eleva, há um aumento no seu teor de vapor d'água, podendo atingir a saturação e dar origem à formação de nuvens.

Em comparação com o barlavento, à sotavento, cria-se condições de menor turbulência, fazendo com que a precipitação trazida pelo vento, atinja a inclinação e deságüe à sotavento.

Em elevadas montanhas, devido à continuação do movimento ascendente do vento, ocorre um aumento de pressão, forçando-o a descer. Nesta situação, a massa de ar sofre um aumento na temperatura e na sua capacidade de reter vapor d'água, e uma redução na umidade, ocorrendo, conseqüentemente, a dissolução das nuvens que se formaram à barlavento.

O efeito produzido na distribuição das precipitações influencia o clima das terras baixas, pois, normalmente, as massas de ar úmidas que sobem e se condensam, precipitam à barlavento da encosta, criando à sotavento uma região árida (Ayoade, 1991; Geiger, 1950; Givoni, 1976; Olgyay, 1992; Romero, 1988; Smith, 1975 e Tubelis, 1980).

### 2.3.5 Conforto térmico

As alterações no balanço de radiação, intensificadas pela Ilha de Calor, influenciam tanto o conforto das pessoas dentro das edificações, quanto nas ruas e nas áreas verdes, pois, mesmo na sombra, elas podem liberar menos calor por radiação de onda longa, se expondo a uma maior carga térmica.

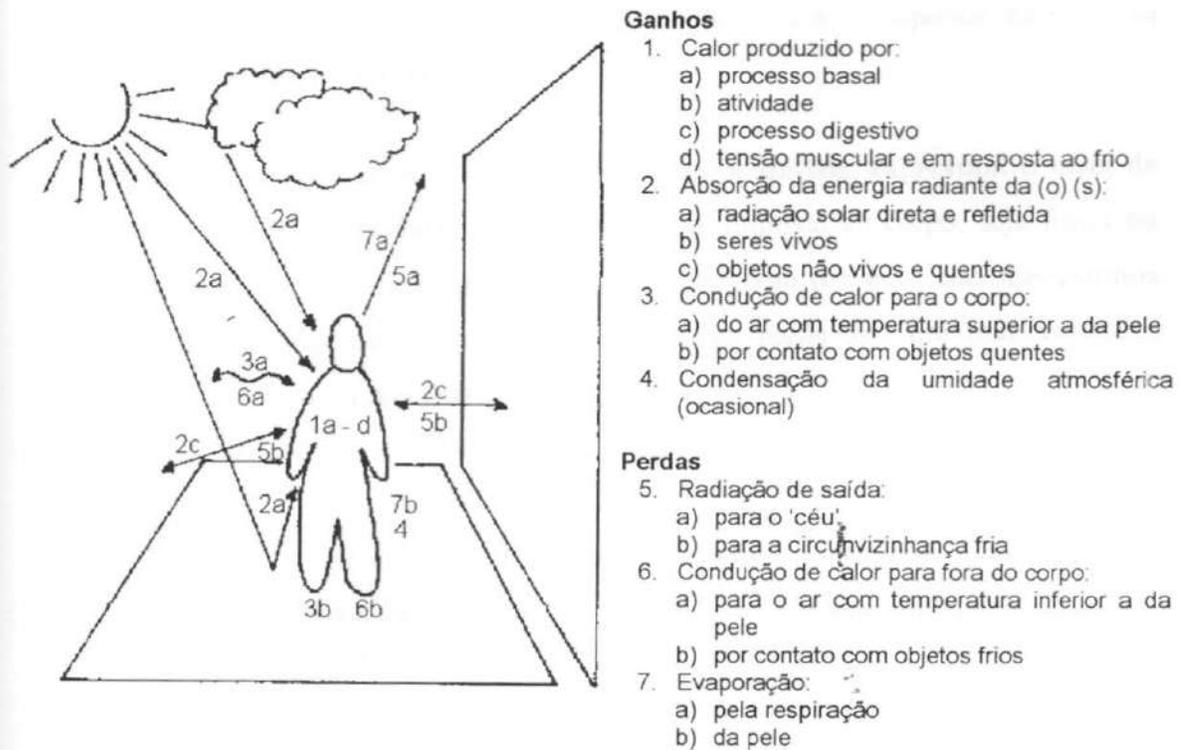
As alterações no conforto térmico se manifestam diferentemente com a região climática e estações do ano. Por exemplo, dependendo da latitude, no inverno, as temperaturas elevadas podem ser bem aceitas, mas, em regiões quentes de clima estressante, sob condições de calor excessivo, elas devem ser evitadas, mesmo no inverno (Givoni, 1989 e Olgyay, 1992).

O estado de conforto térmico é definido como a ausência de sentimento de desconforto. Para isso, é necessário a manutenção de um equilíbrio térmico entre o corpo humano e o seu ambiente, envolvendo fatores humanos individuais, como a atividade física e a aclimatização, e fatores ambientais, tais como a temperatura do ar, umidade, radiação e movimento do ar (veja Figura 2.25).

O organismo humano, através do metabolismo, produz energia de acordo com a atividade física, sendo uma pequena parte transformada em trabalho e o restante em calor, o qual é dissipado para o ambiente. Esta troca de calor entre o corpo e o ambiente acontece através da: convecção e radiação entre o corpo, o ar ambiente e as superfícies circunvizinhas, e da perda de calor do corpo pela evaporação do suor e da água nos pulmões, durante a respiração (Frota e Schiffer, 1988; Givoni, 1976 e Olgyay, 1992).

As trocas de calor são regidas por leis físicas e tratam-se dos mesmos processos de transferência ressaltados anteriormente. Entretanto, são os mecanismos fisiológicos, tais como nível metabólico e taxa de transpiração, que habilitam o corpo a regular as taxas de produção de calor e os métodos de perda do mesmo.

Figura 2.25 – Troca de calor entre o homem e o meio



Fonte: Olgyay, 1992.

Pode-se dizer que estas taxas são as respostas fisiológicas do homem às alterações do ambiente térmico, ou seja, a fim de estabilizar a temperatura interna do corpo, que se situa em torno de 37°C, a produção de calor interno deve ser balanceada com a perda e o ganho de calor do e para o ambiente, dependendo se o meio é mais frio, ou quente, que a superfície do corpo (Givoni, 1976 e 1989 e Olgyay, 1992).

De maneira geral, segundo Givoni (1976), a troca de calor entre o corpo e o ambiente ( $Q$ ) é expressa, basicamente, pela fórmula:

$$Q = M \pm R \pm C - E$$

### Equação 2.1

onde:  $M$ , taxa de produção metabólica,

$R$ , troca de calor por radiação, dependente da temperatura da pele e das superfícies circunvizinhas (temperatura radiante),

- C, troca de calor por convecção, dependente da temperatura do ar e da pele e da velocidade do vento,
- E, troca de calor por evaporação, dependente da umidade na superfície da pele e da capacidade evaporativa do ar.

As respostas fisiológicas, em conjunto com as sensoriais, expressam o nível de estresse térmico. Revelam o esforço adicional imposto ao corpo, seja físico ou mental, para que ele se mantenha em equilíbrio com o meio. São mecanismos termo-reguladores usados para ajustar a taxa de perda de calor para variações térmicas do meio (veja o Quadro 2.5).

Quadro 2.5 – Respostas fisiológicas e sensoriais

| Respostas fisiológicas  | Respostas sensoriais  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulação do fluxo sanguíneo e do resfriamento evaporativo do suor.</li> <li>• Troca entre a temperatura interna do corpo e a da pele.</li> <li>• Média da temperatura da pele.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensação térmica de excesso de calor.</li> <li>• Transpiração sensível ou sensação de pele úmida.</li> </ul> |

Fonte: Givoni, 1976.

As respostas sensoriais subjetivas identificam o sentimento de desconforto, devido à sensação térmica e à transpiração sensível. Varia entre os indivíduos expostos a um dado ambiente, e com a mesma pessoa, em horas diferentes (Givoni, 1976).

A sensação térmica é a percepção de um ambiente quente ou frio, como resultado de uma atividade neurológica. Através dela, o conforto térmico pode apresentar uma sensação negativa, quando o clima produz efeitos negativos sobre o homem, manifestando situações de estresse e desconforto, ou positiva, refletindo um ambiente agradável. É expressa dentro de uma escala de sensação entre frio e calor.

A transpiração sensível é aplicada às condições quentes da zona de conforto, em combinações específicas com a temperatura, umidade, velocidade do ar e taxa metabólica. Ela é definida dentro de uma escala que vai de pele completamente seca a corpo e roupas encharcados de suor (Givoni, 1976 e 1989).

A junção dos fatores ambientais, respostas fisiológicas e sensoriais define um estado de conforto térmico, medido através de índices térmicos. Os índices são desenvolvidos em cima de uma série de fatores limitantes, que indicam a sua aplicabilidade. Dentre eles, tem-se:

- temperatura do ar,
- vapor de pressão,
- velocidade do ar,
- radiação solar,
- taxa de metabolismo,
- tipo de vestuário, e
- se devem ser empregados para ambientes internos, externos ou em ambos.

Além disso, os limites da zona de conforto podem estar acima ou abaixo dos limites da região para qual a zona foi definida, visto que as condições térmicas internas do corpo não são mantidas em um nível exato, pois os sistemas termoreguladores são capazes de alcançar o conforto dentro de uma dada zona de condições, e os indivíduos de várias regiões não respondem às variações climáticas de maneira semelhante, devido à aclimatização psicológica, (Givoni, 1976 e Olgyay, 1992).

Por esses motivos, suas aplicações são restritas e requerem muita precaução na hora de se adotar um índice. A importância deles é a possibilidade de saber como o corpo está se relacionando com as condições climáticas atuais e qual é a correção natural necessária para recuperar o sentimento de conforto.

Os autores Frota e Schifer (1988), Givoni (1976 e 1997), Lippsmeier, Kluska e Edrich (1969), Olgyay (1992), Quayle e Doehring (1981), Rodriguez, Mateos e Garmendia (1985) e Taesler (1986) comentam alguns índices como a (o):

- Carta Bioclimática,
- Temperatura Efetiva e Corrigida,
- Índice de Conforto Equatorial,
- Temperatura Aparente,
- Temperatura Operativa,

- Temperatura Aerodinâmica,
- Temperatura Biometeorológica,
- *Humidex*,
- *Humiture*,
- Temperatura Resultante,
- Taxa de Suor Perdido em Quatro Horas,
- Índice de Estresse Calorífico e
- Índice de Estresse Térmico.

De acordo com a descrição dos efeitos biofísicos dos fatores ambientais, elaborada por Givoni (1976), incluindo algumas observações de Cabral (1995 *apud* Brasil, 1996), Lippsmeier, Kluska e Edrich (1969), Olgyay (1992) e Quayle e Doehring (1981), conclui-se que:

- As roupas criam uma barreira para a troca de calor convectivo e radiativo entre o corpo e o meio, interferem no processo de evaporação do suor, reduzem a sensibilidade do corpo às variações na temperatura e velocidade do ar e interceptam os raios solares a uma certa distância da pele, dissipando o calor para o meio.
- Elevando-se a produção de calor metabólico, será necessário mais oxigênio para realizar o trabalho. Ao mesmo tempo, maiores quantidades de calor serão transferidas do corpo para a pele, a fim de serem dissipadas para o meio. Assim, as necessidades de conforto variam com as diversas intensidades das atividades humanas.
- A temperatura do ar afeta a troca de calor do corpo com o ar, por convecção e radiação.
- A umidade do ar não afeta, diretamente, a quantidade de calor no corpo, mas determina a capacidade evaporativa do ar e a eficiência do resfriamento.

- A velocidade do ar determina a troca de calor convectivo do corpo e afeta a capacidade evaporativa do ar e, conseqüentemente, a eficiência do resfriamento.
- O efeito térmico da radiação depende da postura do corpo com relação ao sol, das roupas, da reflexividade das superfícies circundantes e da velocidade do vento. O corpo sentado recebe mais radiação solar que o em pé ou andando, entretanto, a radiação de onda curta refletida pelas superfícies e o calor radiante de onda longa emitido pelas superfícies circunvizinhas atingem mais o homem em pé que o sentado.

A partir dessa descrição, os autores referidos criaram uma série de combinações entre esses fatores e identificaram quatro sensações, que variam em graus de sentimento e que podem ser produzidas de diferentes formas (veja Tabela 2.20).

Tabela 2.20 – Sensações térmicas

| Sensações         | Formas como são produzidas ou manifestadas   |
|-------------------|--|
| <b>Calor</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade e umidade do ar constantes e elevada temperatura do ar.</li> <li>• Temperatura do ar é superior a da pele, e a velocidade do ar é elevada, causando uma elevação na troca de calor convectivo e aquecendo o corpo.</li> <li>• Exposição do corpo, diretamente, à radiação solar.</li> <li>• Elevada energia radiante, implicando em um ganho de calor pelo corpo.</li> </ul>         |
| <b>Frio</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura do ar é inferior à da pele, e a velocidade do ar é elevada.</li> </ul>  |
| <b>Pele seca</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada temperatura e velocidade do ar fosse elevada, e baixa umidade.</li> <li>• Baixa temperatura do ar e elevada evaporação.</li> <li>• Elevada umidade, a velocidade do ar e a evaporação.</li> <li>• Elevada temperatura, a velocidade do ar e a evaporação, somente enquanto a pele estiver úmida. A partir daí, inicia-se o aquecimento convectivo.</li> </ul>                           |
| <b>Pele úmida</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura do ar constante, elevada umidade e baixa velocidade.</li> <li>• Temperatura do ar igual a 50°C, a da pele, inferior a 37°C e a umidade em torno de 50%. Pois, nesta situação, a evaporação torna-se impossível.</li> <li>• Elevada umidade e produção de suor maior que a capacidade evaporativa.</li> <li>• Temperatura do ar superior a 25°C e umidade entre 30 – 85%.</li> </ul> |

Fontes: Givoni, 1976; Cabral, 1995 *apud* Brasil, 1996; Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969; Olgyay, 1992 e Quayle e Doehring, 1981.

*Efeito da vegetação no conforto térmico*

Relacionando os efeitos da vegetação com cada uma das sensações térmicas, pode-se supor que a vegetação contribui para o conforto térmico através da:

- sua absorção de parte dos raios solares;
- capacidade de sombreamento;
- redução da temperatura, visto que interceptam a radiação direta, difusa e a refletida pelas superfícies próximas;
- redução do fluxo de calor sensível;
- produção de um efeito de isolamento térmico, reduzindo as variações na temperatura;
- transpiração e evaporação do solo, produzindo um resfriamento do ar pelo processo de evapotranspiração; e
- permeabilidade ao movimento do ar, o que influenciará na evaporação, no conteúdo de umidade e na temperatura e elevação da umidade atmosférica.

Tomando como pressuposto que as condições ambientais podem estimular e animar as atividades humanas, bem como depreciar os esforços físicos e mentais e reduzir a produtividade, o estudo do conforto humano assume importância para o desenho das edificações e o planejamento urbano, pois estas atividades alteram as condições climáticas, que, por sua vez, afetam, diretamente, o homem.

Devido aos efeitos da vegetação no conforto térmico, a sua presença deixa de ter uma atribuição puramente estética, ou exclusivamente ecológica, e passa a ser considerada uma variável ambiental capaz de amenizar ou reduzir os impactos provocados pela urbanização no clima.

O ideal não é concentrar um grande volume de área verde em poucos lugares dentro da cidade, mas criar um sistema interligado, com um grande número de pequenas áreas bem distribuídas em vários pontos, pois o seu efeito, dentro da área construída, não se propaga a longas distâncias.

Oke (1973 *apud* Assis, 1990) sugere o emprego de 30% da superfície da cidade para a cobertura vegetal, para que o efeito de refrigeração seja eficiente. Já Sobral (1996) mostra que o índice recomendado pela Organização Mundial de Saúde é da ordem de 12m<sup>2</sup> por habitante.

Entretanto, é importante saber que o efeito das plantas no clima de uma área construída depende do tamanho da área verde, dos tipos de plantas utilizadas, do arranjo entre elas, enfim, dos detalhes de um projeto paisagístico e da classificação climática local, levando em consideração as estações do ano e os efeitos desejados (Givoni, 1997; Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969 e Superintendência de Meio Ambiente, 1996).

### ***Efeito mecânico do vento sobre o conforto humano***

Os efeitos do vento sobre o homem são decorrentes da sua ação: térmica, devido à convecção e evaporação, abordadas anteriormente, e mecânica, provocada pela velocidade média e turbulência gerada pelo seu atrito com as edificações, podendo originar ventos fortes e perigosos (Givoni, 1989; Jean e Guyot, 1983 e Mascaró, 1996).

Isyumov e Davenport (1978 *apud* Givoni, 1989) e Jean e Guyot (1983) descrevem várias mudanças na ventilação, ao nível dos pedestres, trazidas pelas construções. Dentre elas, destacam-se: ventos acelerados próximos às esquinas, fluxo contrário na frente do edifício e turbulência em áreas estreitas (pilotis, arcadas).

O efeito mecânico é manifestado por um aumento da velocidade perceptível. A Escala de Beaufort (veja Tabela 2.21) mostra uma escala de velocidade do vento baseada nos efeitos observados. Mascaró (1996), tomando como base a velocidade média em 10 minutos a 2 m do chão, determinou que quando:

V = 5 m/s, início do desconforto

V = 10 m/s, claramente desconfortável

V = 15 m/s, controle do caminhar afetado

V = 20 m/s, perigo para pessoas mais frágeis.

Tabela 2.21 – Escala de Beaufort

| Beaufort número | Descrição do vento | Velocidade (m/s) | Descrição dos efeitos dos ventos  |
|-----------------|--------------------|------------------|---|
| 0               | Calmo              | menor que 0,4    | Vento não perceptível.  |
| 1               | Ventos leves       | de 0,4 a 1,5     | Vento não perceptível.  |
| 2               | Brisa leve         | de 1,6 a 3,3     | Vento sentido no rosto.   |
| 3               | Brisa suave        | de 3,4 a 5,4     | Ventos que levemente estendem as bandeiras / cabelos desarrumados / roupas balançando.  |
| 4               | Brisa moderada     | de 5,5 a 7,9     | Ventos levantando poeira / solo seco / papéis soltos / cabelos desordenados.  |
| 5               | Brisa fresca       | de 8,0 a 10,7    | Força dos ventos sentidos no corpo / neve acumulada surgida pelo vento / limite do vento agradável sobre a terra.   |
| 6               | Brisa forte        | de 10,8 a 13,8   | Uso de sombrinhas com dificuldade / cabelos golpeados imediatamente / dificuldade de caminhar com firmeza / ventos ruidosos, desagradável no ouvido / ventos nascidos da neve em torno da altura da cabeça. |
| 7               | Ventania moderada  | de 13,9 a 17,1   | Sentida de maneira inconveniente, quando caminhando.  |
| 8               | Ventania fresca    | de 17,2 a 20,7   | Geralmente impede de progredir / grande dificuldade com o balanço das rajadas.  |
| 9               | Ventania forte     | de 20,8 a 24,4   | Pessoas golpeadas por cima pelas rajadas.   |

Fonte: Penwarden, 1975 *apud* Mascaró, 1996.

### 2.3.6 Conclusão

No início dos estudos sobre clima, o maior interesse consistia na observação das diferenças climáticas existentes entre a área urbana e o seu entorno, não levando em consideração as características físicas da cidade e o efeito que elas produzem no clima, ou seja, o entendimento dos fatores que afetam as relações entre o clima regional e o local modificado. Assim, desconsideravam que ‘existe uma complexa interação e realimentação (*feedback*) entre os edifícios e seu ambiente externo’ (Chandler, 1976 *apud* Givoni, 1989).

Entretanto, tais considerações e uma ampla compreensão dos processos climáticos se fazem necessárias para que seja possível estabelecer um desenho urbano e do edifício adequados ao clima, bem como, uma legislação urbana apropriada.

Assegurando, aos habitantes da cidade, o conforto térmico e lumínico nas ruas e dentro dos edifícios e visando uma redução no consumo de energia e uma melhor qualidade de vida nas cidades.

### Capítulo 3

Para este fim, as áreas verdes constituem um dos mais importantes instrumentos de planejamento urbano, pois entram na forma do desenvolvimento das cidades e na organização dos serviços urbanos. Além disso, a elas é atribuído um valor estético, um impacto psicológico sobre as pessoas e podem ser consideradas como marco referencial (Assis, 1990; Givoni, 1989; McHarg, 1969 e Pitt, 1979).

Nos capítulos seguintes, procura-se, primeiramente, fazer uma breve caracterização climática para a cidade de Fortaleza - Ce, considerando seus fatores globais, e uma descrição histórica da sua evolução urbana. Em seguida, dá-se seqüência à análise dos dados climáticos, buscando identificar a existência de possíveis alterações climáticas em duas áreas da cidade.

## Capítulo 3

# Fortaleza: caracterização climática e evolução urbana

**F**ortaleza, fundada em 1726, é, atualmente, a quinta maior cidade do Brasil, exerce forte influência nos municípios adjacentes e, por suas condições favoráveis, vem destacando-se na atividade turística.

Durante o início do seu crescimento urbano, as decisões tomadas foram fundamentais para a organização física da cidade. Entretanto, a partir da década de 30, os interesses particulares começaram a se sobrepôr aos coletivos, comprometendo, em alguns aspectos, o meio ambiente e a qualidade de vida dos seus habitantes. Somente na década de 70, retomou-se essa preocupação com o desenvolvimento urbano.

Normalmente, o processo de ocupação traz contrastes entre o passado e o presente, revelando impactos que podem ser visualizados no meio físico. Fortaleza não é uma exceção a essa regra e pode-se ver que, enquanto, no passado, possuía extensas áreas de dunas, hoje em dia, as dunas são encontradas isoladas,

ameaçadas pelas atividades comerciais ligadas à construção civil. Possuía inúmeras lagoas de vários tamanhos. Atualmente, muitas encontram-se aterradas, ou com seu espelho d'água reduzido, ou ameaçadas pela especulação imobiliária.

Muitas casas foram destruídas para dar lugar a grandes edifícios, alterando a circulação dos ventos. As margens de muitos rios foram ocupadas, causando transtornos durante os períodos chuvosos. Grande parte dos leitos dos rios menores correm como canais cimentados ou em galerias subterrâneas.

Neste capítulo, primeiramente, procura-se localizar e caracterizar, fisicamente, a cidade de Fortaleza, abordando alguns dos seus aspectos naturais e a organização do espaço construído. Em seguida, descreve-se, sumariamente, sua evolução urbana, com o objetivo de localizar, dentro de um contexto histórico, as décadas mais significativas no tocante à ocupação urbana.

### **3.1 Caracterização do meio físico**

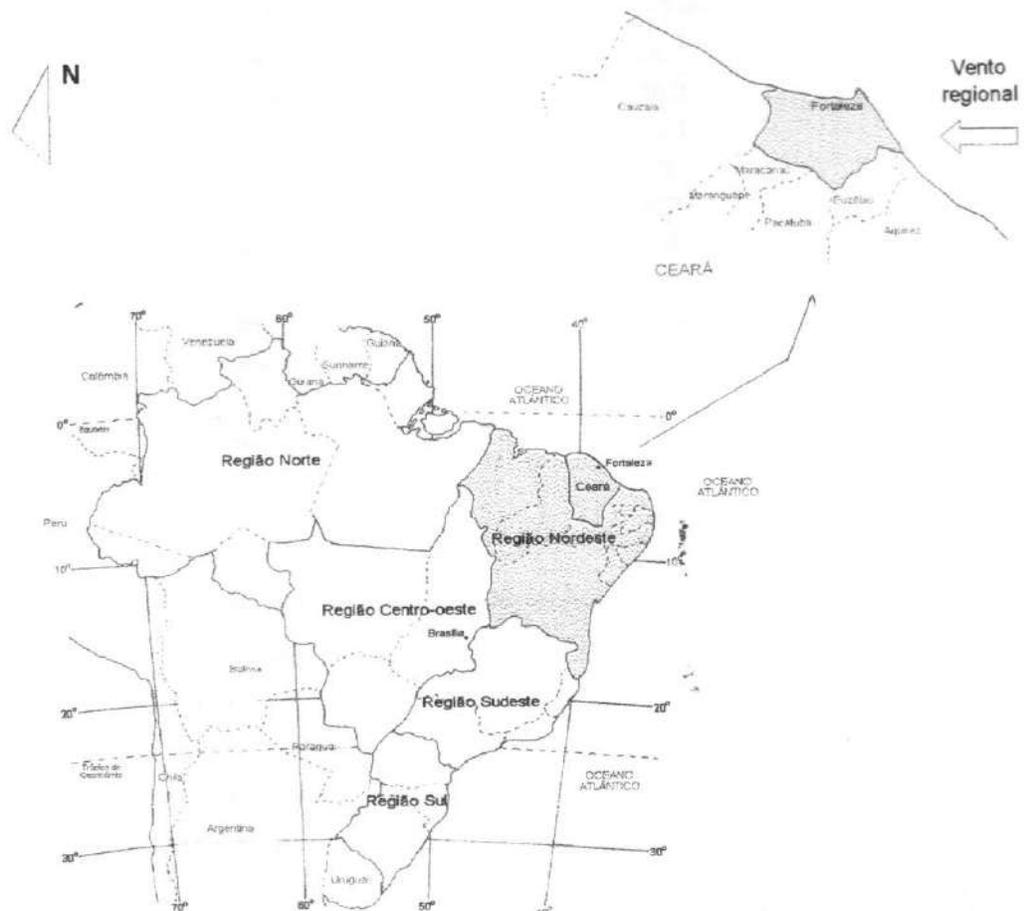
#### **3.1.1 Aspectos naturais**

##### *Localização*

A cidade de Fortaleza encontra-se na zona litorânea do Estado do Ceará, na região Nordeste do Brasil, a 3°46' de latitude sul e 38°33' de longitude oeste (veja Figura 3.1). Cobre uma área de, aproximadamente, 336 km<sup>2</sup>, com uma população estimada, para o ano 2.000, em 2.474.052 habitantes (PDDU-FOR, 1991 – Síntese Diagnóstica).

Limita-se, ao Norte, com o oceano Atlântico, ao Sul, com os municípios de Pacatuba, Eusébio, Maracanaú e Itaitinga, a Leste, com Aquiraz e o oceano Atlântico e, a Oeste, com Caucaia.

Figura 3.1 – Localização de Fortaleza



### *Fatores dinâmicos*

Com relação a sua latitude, Fortaleza situa-se em uma zona intertropical com elevados índices de insolação e radiação solar, influenciando a temperatura a evaporação e a luminosidade (veja Tabelas 3.1 e 3.2). Em decorrência da sua proximidade com o Equador, a cidade apresenta uma baixa amplitude térmica diária e anual, não possui as quatro estações do ano bem definidas, considerando-se, somente, uma estação chuvosa e outra não, denominadas, respectivamente, verão e inverno.

Tabela 3.1 – Normais climatológicas (1966/1998)

| Parâmetros climáticos                       | Normal  |
|---|---------|
| Temperatura média (°C)                      | 26,7    |
| Temperatura máxima (°C)                     | 30,2    |
| Temperatura mínima (°C)                     | 23,5    |
| Umidade relativa (%)                        | 79      |
| Evaporação (mm)                             | 2.527,6 |
| Precipitação (mm)                           | 1.642,4 |
| Nebulosidade (0/ 10)                        | 5,2     |
| Insolação (hora/ mês)                       | 2.776,4 |
| Radiação solar (cal/ cm <sup>2</sup> / mês) | 147.592 |
| Velocidade do vento (m/s)                   | 3,9     |

Fonte: Estação INEMET-UFC.

Tabela 3.2 – Iluminação solar em uma superfície perpendicular aos raios do sol (lux) para a latitude de 4° S

| Hora do dia | Estações do ano       |                 |                  |                         |                 |                  |                       |                 |                  |
|-------------|-----------------------|-----------------|------------------|-------------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
|             | 21 de Dez.            |                 |                  | 21 de Mar. e 21 de Set. |                 |                  | 21 de Jun.            |                 |                  |
|             | Altura Solar* (graus) | Massa de ar (m) | Iluminação (lux) | Altura Solar* (graus)   | Massa de ar (m) | Iluminação (lux) | Altura Solar* (graus) | Massa de ar (m) | Iluminação (lux) |
| 8:00        | 30                    | 2,00            | 72.427           | 31                      | 1,95            | 79.420           | 26                    | 2,36            | 78.373           |
| 10:00       | 57                    | 1,25            | 92.413           | 61                      | 1,14            | 96.193           | 51                    | 1,28            | 94.787           |
| 12:00       | 72                    | 1,04            | 96.487           | 87                      | 1,01            | 99.560           | 64                    | 1,11            | 98.327           |
| 14:00       | 57                    | 1,25            | 92.413           | 61                      | 1,14            | 96.193           | 51                    | 1,28            | 94.787           |
| 16:00       | 30                    | 2,00            | 72.427           | 31                      | 1,95            | 79.420           | 26                    | 2,36            | 78.373           |

Fonte: Hopkinson, 1980 e Lippsmeier, Kluska e Edrich, 1969.

\* Corresponde ao valor aproximado da altura que o sol faz com a linha do horizonte, retirada da carta solar elaborada por Lippsmeier, Kluska e Edrich (1969) para a latitude de 4°S.

A Figura A.1 (Anexo A) mostra os períodos máximo e mínimo, sazonalidade, dos elementos climáticos, de acordo com os dados da Estação Agroclimatológica do PICI (INEMET – UFC). Com estas características, segundo a classificação de Köeppen, Fortaleza possui um clima tropical chuvoso, quente e úmido.

Sua estação chuvosa situa-se, em média, de janeiro a junho, chegando a atingir 1.401,9mm, o que corresponde a, aproximadamente, 85% do total anual. A umidade relativa acompanha o regime pluvial, e é elevada em decorrência da

proximidade com o mar e da alta taxa de evaporação. Possui ocorrência de orvalho e, raramente, há nevoeiro ou névoa seca.

No que diz respeito ao conforto térmico, os períodos de maior reclamação, por parte da população, correspondem aos períodos antes e após a estação chuvosa, devido à elevada umidade do ar (Repelli *et al*, 1997).

Fortaleza situa-se em uma Região de Convergência Inter-Tropical, caracterizada por ventos fracos e calmarias freqüentes, havendo predominância dos ventos alísios de sudeste, sendo que a maior influência é exercida pela direção leste (veja Figura A.1 – Anexo A). Por localizar-se em uma zona litorânea, próxima ao Equador, sofre grande influência das brisas marítimas, responsáveis pelo alívio do calor nos períodos mais quentes.

#### ***Fatores estáticos***

A cidade de Fortaleza possui um relevo com altitude média de 26,36 metros acima do nível do mar (veja Figura A.2 – Anexo A), apresentando pequenos desníveis. Isto lhe confere uma topografia quase plana, sendo interrompida pela faixa de dunas, principalmente, na costa leste. As dunas, além de serem as áreas de maior altitude, também possuem as maiores declividades.

Na sua formação geológica, destacam-se as formas de acumulação, as quais dominam 80% da paisagem. São elas:

- planície litorânea, que acompanha toda a faixa costeira e é caracterizada pela ocorrência de dunas e de praias largas e planas;
- planícies fluviais, representadas pelos rios Ceará, Cocó e Pacoti, que estão situados ao longo de todo o município; e
- áreas lacustres.

Ainda encontram-se tabuleiros pré-litorâneos, os quais apresentam uma leve inclinação em direção ao litoral (Sales, 1993 e PDDU-FOR, 1991 – Síntese Diagnóstica).

As dunas, formação de restingas, áreas alagadas ou planícies de inundação, o assoreamento e a migração das desembocaduras dos rios sofrem intensa ação dos ventos, ondas e marés, em conjunto com o sistema de correntes costeiras (PDDU-FOR, 1991 – Síntese Diagnóstica).

Os rios, lagos, lagoas, açudes e riachos compõem os recursos hídricos de Fortaleza. Encontram-se ao longo de todo o município e funcionam como áreas coletoras do escoamento das águas pluviais. Os rios de maior importância são: o Cocó e o Maranguapinho, afluente do rio Ceará.

Com relação à tipologia dos solos, 70% da área do território é ocupada pelo solo podzólico vermelho - amarelo distrófico, o qual tem por característica:

- baixa fertilidade natural,
- boa drenagem, exceto o plântico, no qual a drenagem é de moderada a imperfeita,
- deficiência em água e
- susceptibilidade à erosão.

Os solos correspondentes às faixas de dunas são arenosos, excessivamente porosos e inférteis. Possuem relevo variável e sofrem a ação da erosão eólica, impondo limites ao uso e à ocupação urbana (PDDU-FOR, 1991 – Síntese Diagnóstica).

A vegetação predominante é a introduzida pelo homem. A natural encontra-se quase totalmente dizimada, restando apenas poucas espécies vegetais representantes das unidades:

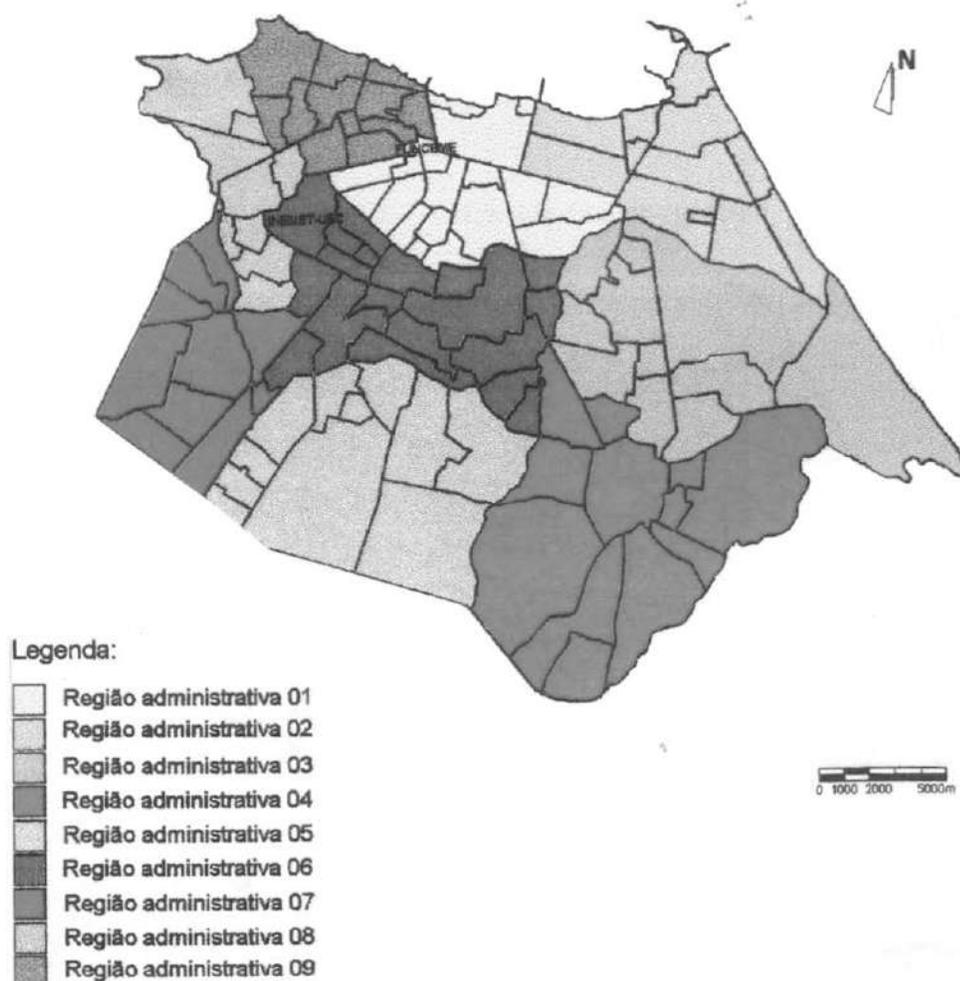
- Vegetação Pioneira,
- Mata à Retaguarda de Dunas,
- Vegetação de Tabuleiro Litorâneo,
- Vegetação de Mangue,
- Vegetação Ribeirinha e
- Vegetação Lacustre

De modo geral, a vegetação do território encontra-se distribuída entre: os passeios, calçadas, praças, parques, nos quintais e jardins das residências, em sítios e chácaras, às margens dos recursos hídricos e em áreas ainda não ocupadas.

### 3.1.2 Características do ambiente construído

Visando a uma melhor administração, Fortaleza foi dividida em nove regiões administrativas (veja Figura 3.2), as quais são responsáveis pela prestação de serviços à comunidade, dentre eles, os que se referem ao meio físico urbano. Atualmente, estas regiões receberam novas delimitações e nomenclaturas.

Figura 3.2 – Regiões administrativas



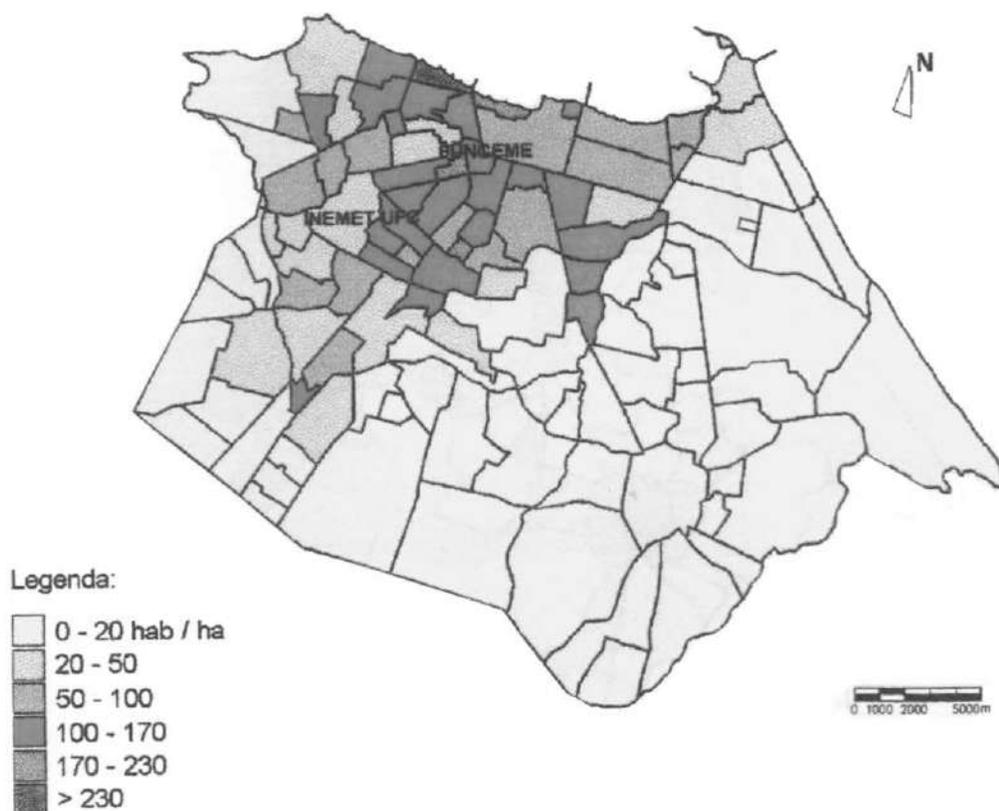
Fonte: pesquisa de campo.

Um dos indicadores de crescimento de uma cidade, é o uso da densidade e incremento populacional. De acordo com a Síntese Diagnóstica do PDDU-FOR (1991) e com os censos de 1991 e 1996 (veja Tabela 3.3 e Figura 3.3), as regiões que mais cresceram nas últimas décadas foram:

- RA 07, Conjunto Ceará,
- RA 08, Antônio Bezerra,
- RA 09, Barra do Ceará,
- RA 02, Mucuripe e
- RA 01, Centro.

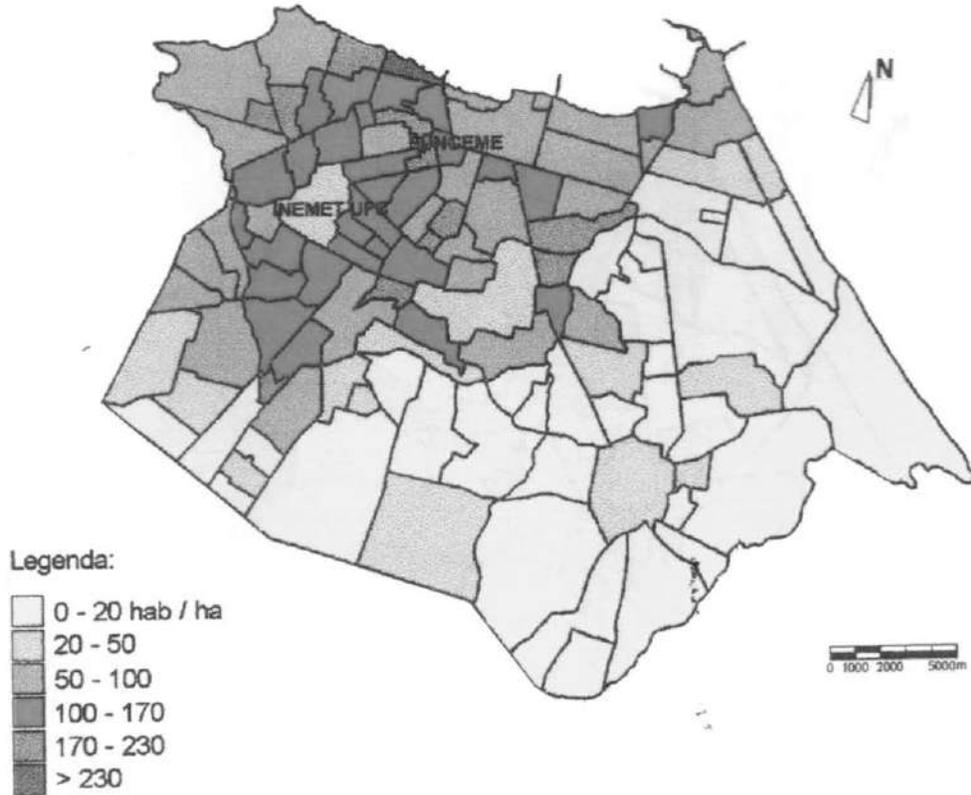
As três primeiras são caracterizadas por bairros densamente povoados, com predomínio de famílias de baixa renda. O Mucuripe, por sua vez, corresponde à área mais valorizada da cidade. Neste conjunto, destaca-se a Barra do Ceará e o Centro, no que se refere ao crescente processo de verticalização, principalmente, os bairros Monte Castelo, São Gerardo, Fátima, Dionísio Torres e São João do Tauape.

Figura 3.3 – Densidade demográfica

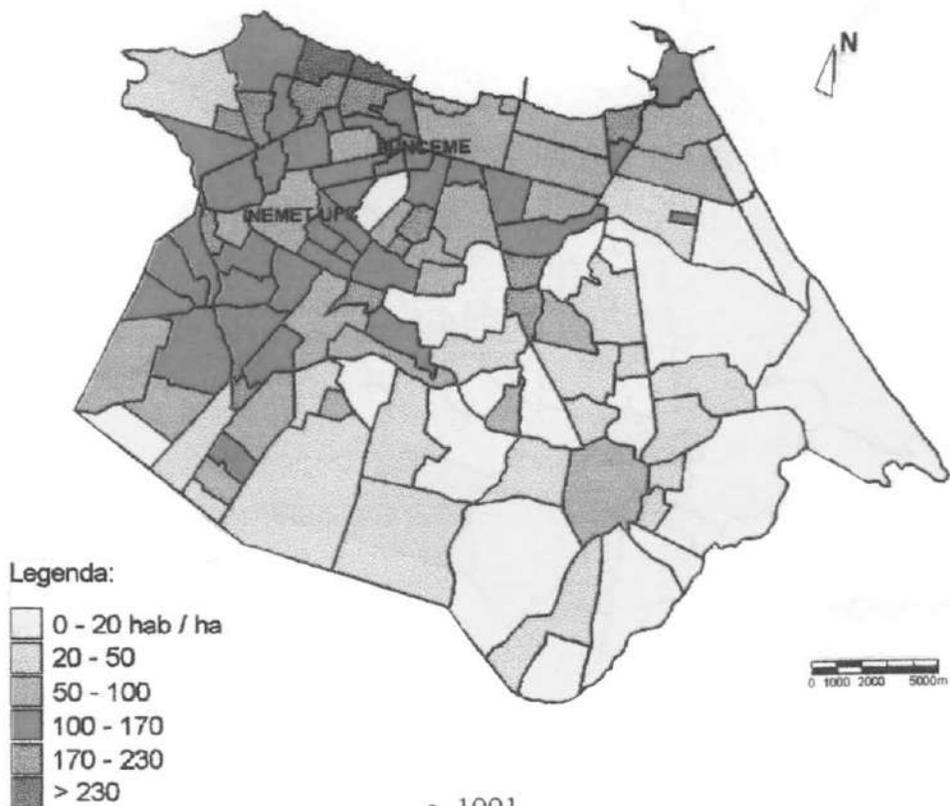


a. 1970

Figura 3.3 – Densidade demográfica (continuação)

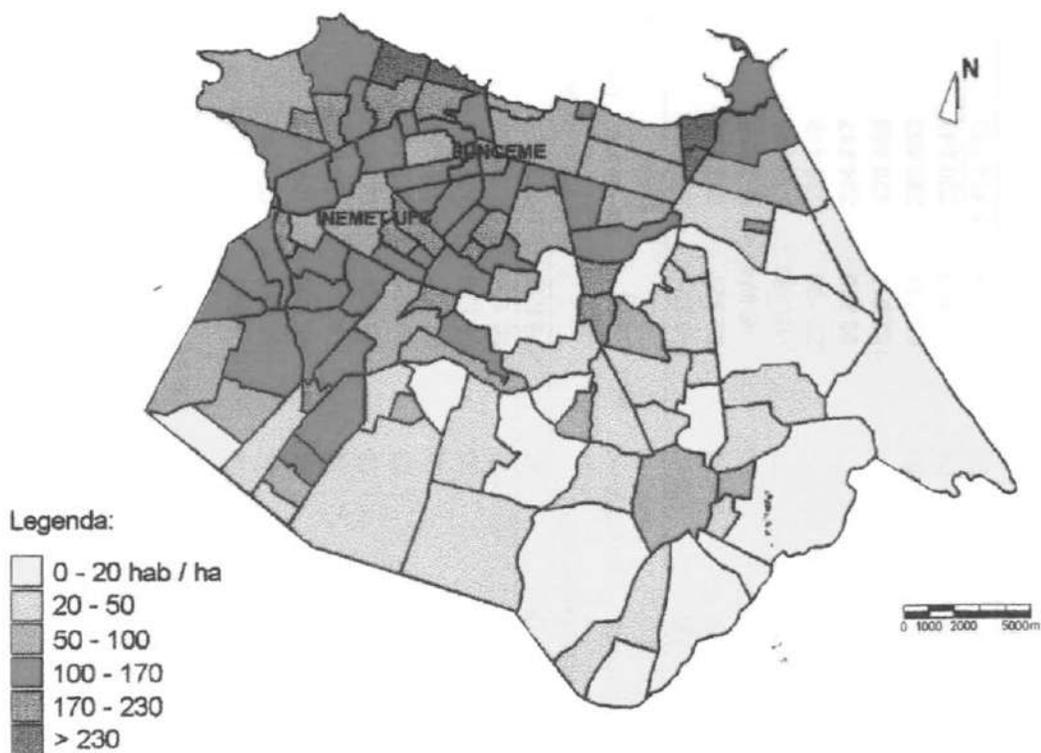


b. 1980

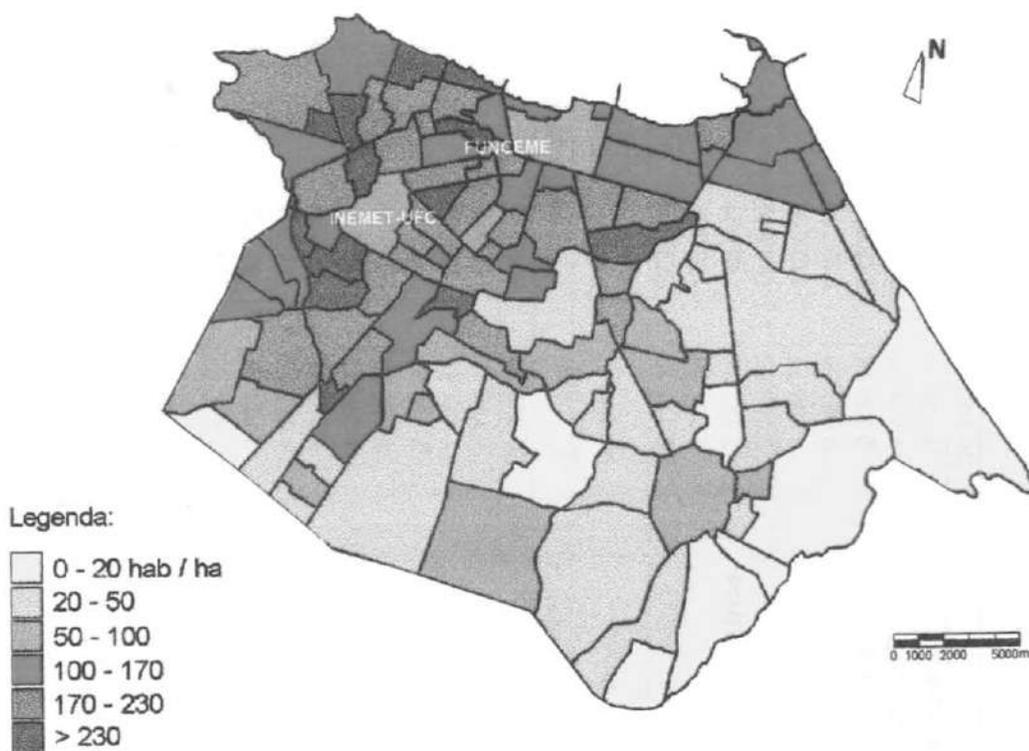


c. 1991

Figura 3.3 – Densidade demográfica (continuação)



d. 1996



e. 2000

Fontes: PDDU-FOR, Síntese Diagnóstica, 1991 e pesquisa de campo.



No entanto, ao locar essas áreas na planta de zoneamento constante da Lei 5122-A/79 (veja Figura 3.4), verifica-se que a análise do crescimento populacional não denota uma situação real da ocupação física da cidade. Além dela, é necessário a identificação de dados urbanos, referentes às edificações.

Todavia, esses dados não estão dispostos de maneira acessível, dificultando o seu levantamento e análise. As transferências de informações, mudanças de atribuições entre os órgãos públicos e a descentralização também dificultam a sua obtenção.

O instrumento utilizado para orientar o crescimento da cidade é a lei de uso e ocupação do solo, a qual utiliza dispositivos que permitem, impedem ou induzem determinados usos. Até o ano de 1997, a lei em vigor era a Lei nº 5.122 – A / 79. Atualmente, ela foi substituída pela de nº 7.987, de 23 de dezembro de 1996.

Sobrepondo o crescimento populacional, o zoneamento estabelecido pela Lei nº 5.122 – A / 79 (veja Figura 3.4), o crescimento da mancha urbana (veja Figura 3.5), a área verde de Fortaleza (veja Figura 3.6) e a fotografia aérea de 1995 (veja Foto 3.1), conclui-se que:

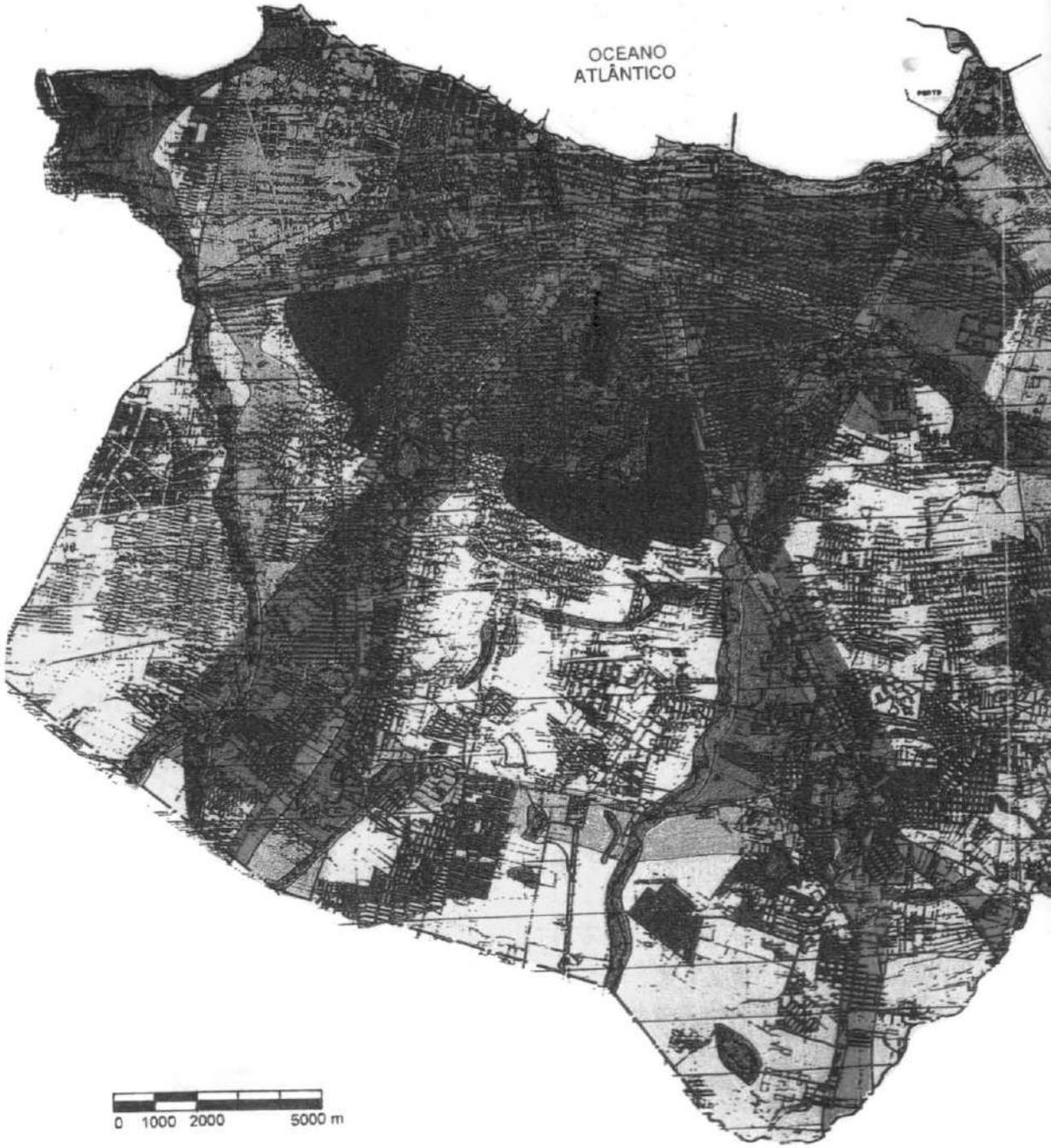
- A região oeste de Fortaleza, apesar de possuir um baixo índice de verticalização e situar-se em uma zona estabelecida como de baixa densidade populacional, é a que apresenta maior densidade. Pode ser caracterizada por uma ocupação horizontal com densidade de construção compacta.
- A divergência existente nessa região também caracteriza o nível de renda da população que reside nessa área e permite visualizar a segregação social.
- As regiões que apresentam um processo de verticalização correspondem às que já estão completamente ocupadas e localizam-se, principalmente, nas áreas adjacentes ao intenso comércio e serviços.

- As áreas mais valorizadas são as que mais sofrem com a especulação imobiliária, que visa a um aproveitamento máximo do terreno, trazendo implicações ambientais, especialmente, devido à carência de áreas verdes públicas.
- A verticalização na orla marítima, com edifícios compactos, muito próximos, dispostos paralelamente e de formas semelhantes, cria um relevo artificial e funciona como barreira à entrada da brisa do mar. Também contribui para a redução e o desvio dos ventos de predominância leste.
- A substituição de residências unifamiliares, locadas em lotes amplos, por edifícios que ocupam, quase totalmente, o terreno, acentua, ainda mais, a carência do verde na cidade, a produção de calor e os problemas com a drenagem urbana.

A Lei nº 7.987, de 23 de dezembro de 1996, tem, como um dos objetivos, a compatibilidade da densidade das atividades urbanas com as condições naturais e a infra-estrutura instalada e projetada. Tal lei regulamentará o novo plano diretor de Fortaleza. Pelo fato do seu uso ser muito recente, ela não será abordada nesse estudo, visto que, ainda não é possível avaliar a sua repercussão.

A seguir, trata-se, resumidamente, como se deu o processo de ocupação do solo na cidade de Fortaleza. A descrição sumária toma, como referência, a perspectiva histórica feita a partir dos estudos de diversos autores (veja Anexo B).

Figura 3.4 - Zoneamento - Lei nº 5.122 - A





Fluxo regional de ar

OCEANO ATLÂNTICO

Legenda:

-  ZR 1 - Zona residencial de baixa densidade
-  ZR 2 - Zona residencial de média densidade
-  ZR 3 - Zona residencial de alta densidade
-  ZC - Zona comercial
-  ZE 1 - Zona especial de proteção verde, paisagística e turística
-  ZE 3 - Zona especial de uso institucional
-  ZCA - Zona de comércio atacadista
-  ZI - Zona industrial
-  ZE 2 - Zona de renovação urbana
-  ZE 4 / ZE 5 / ZE 6 - Zonas especiais de praia
-  ZE 7 - Zona especial de praia e dunas

Figura 3.5 – Evolução urbana

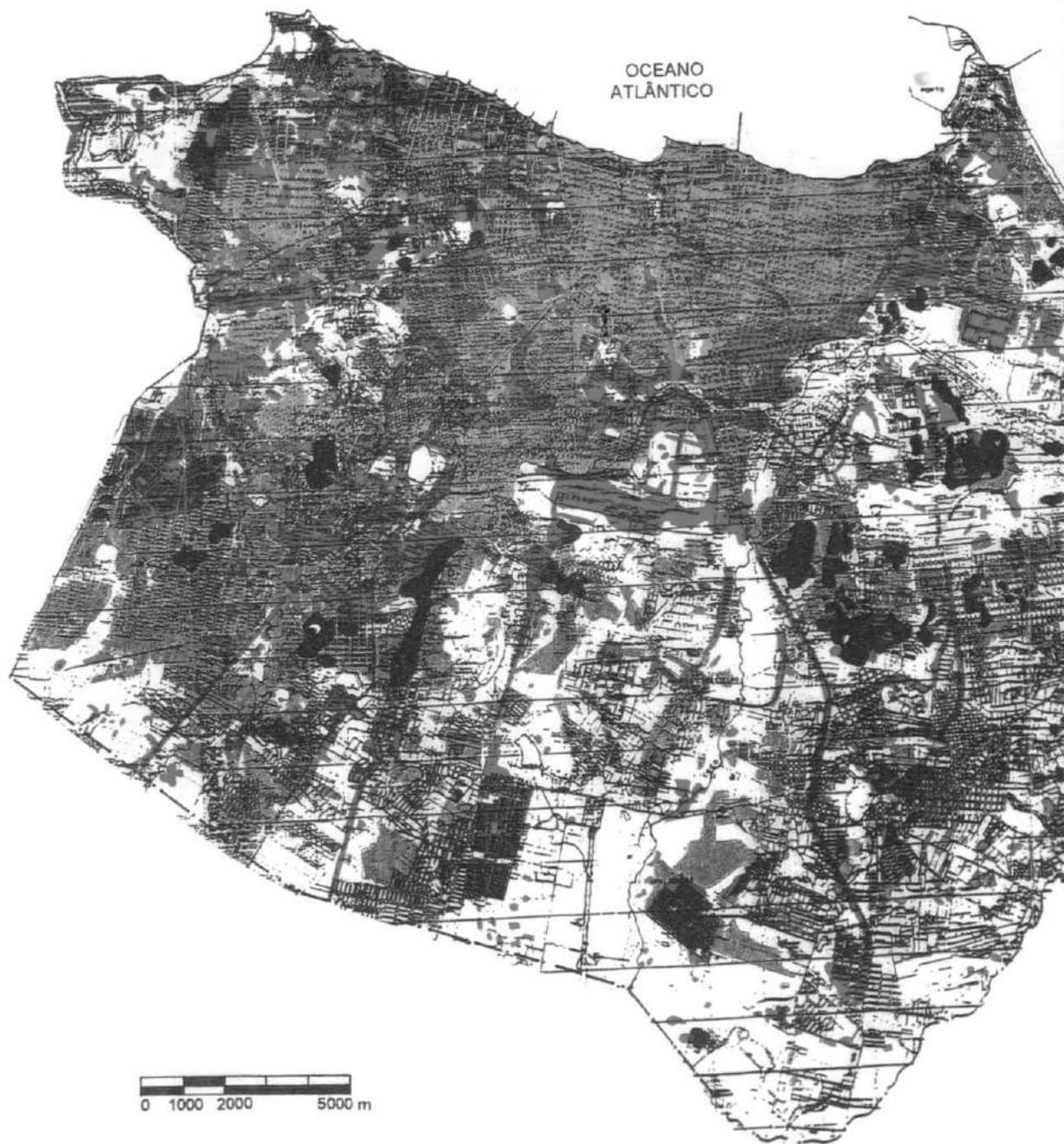


Figura 3.6 – Área verde de Fortaleza

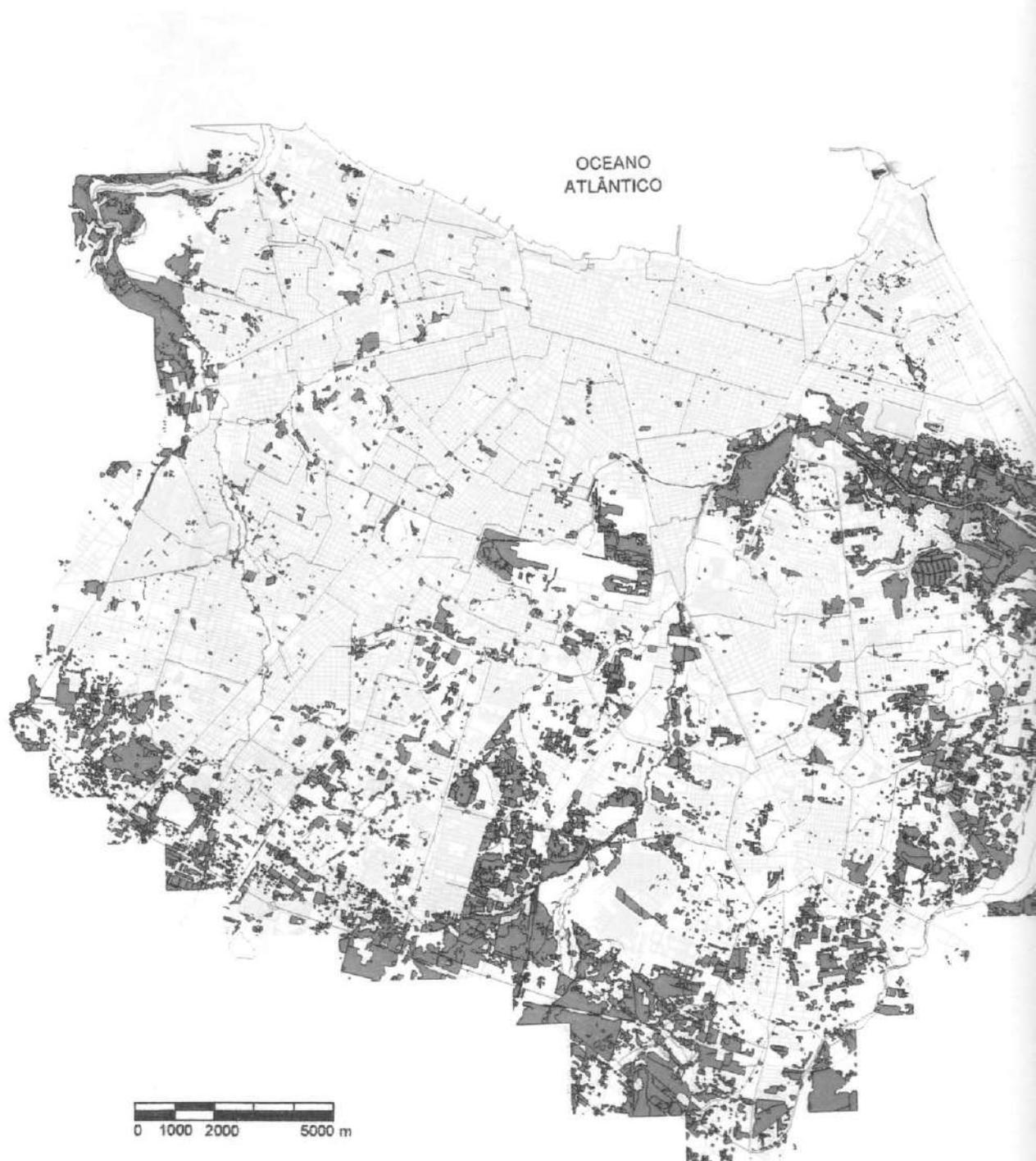
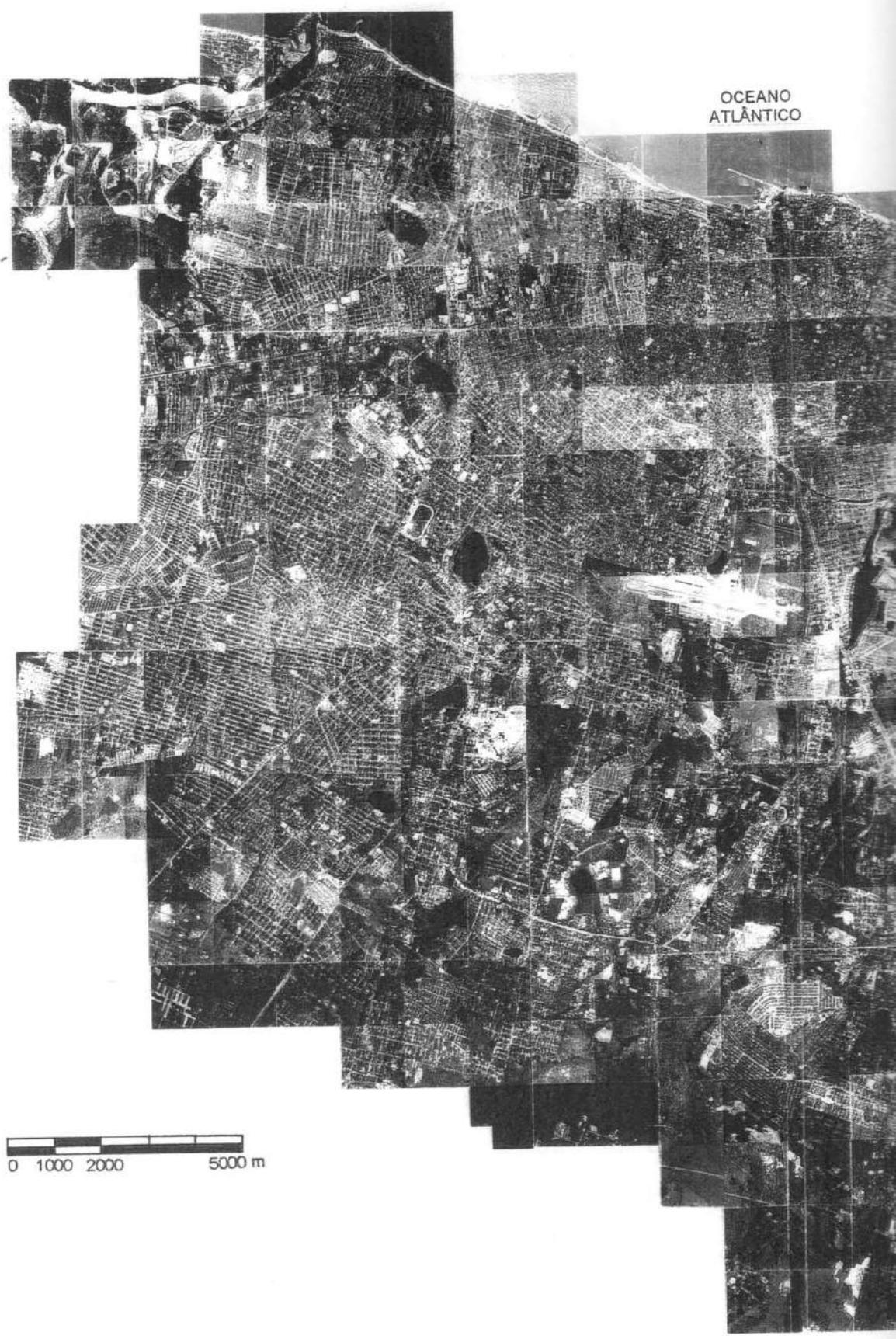


Foto 3.1 – Fotografia aérea de Fortaleza, 19



### 3.2 Perspectiva histórica da evolução urbana da cidade de Fortaleza

No Anexo B tem-se a descrição mais detalhada do processo de ocupação da cidade de Fortaleza. Tal descrição tomou, como base, os estudos dos seguintes autores: Lemenhe (1991), Aderaldo (1993), Castro (1982), Fortaleza (1992), Freire (sem data), Santana (1997), Júnior (1981), PDDU-FOR Síntese Diagnóstica (1991), Lei nº 7061/92 do PDDU-FOR (1992), SUPLAM (1979), Ribeiro (1955), Sales (1996), Prefeitura Municipal de Fortaleza (1969) e a Lei nº 7.987/96 de Uso e Ocupação do Solo. Aqui, trata-se somente alguns aspectos mais relevantes desse processo de ocupação.

De acordo com a evolução urbana de Fortaleza, verifica-se que o Ceará ficou desconhecido durante muito tempo, especificamente, durante todo o século XVI. O principal motivo era por se encontrar fora da rota das especiarias, sem produtos que desafiassem a cobiça dos descobridores.

Além disso, o território era ocupado por índios rebeldes e o litoral apresentava certas peculiaridades que dificultavam o acesso. Assim, só tornou-se conhecido no século XVII, pois situava-se no meio do caminho entre o litoral leste, ocupado produtivamente, e o Maranhão, ameaçado pelos franceses.

Neste processo de ocupação, o Riacho Pajeú teve um papel preponderante na formação de Fortaleza, que passou a apresentar um crescimento mais acelerado e uma preocupação com a estrutura urbana somente após desligar-se da dependência de Pernambuco, por volta de 1799.

O primeiro plano elaborado para Fortaleza, em 1812, juntamente com a administração do boticário Antônio Ferreira, foi de fundamental importância para o estabelecimento do traçado em xadrez, utilizado até hoje. Dentro desse período até o início da década de 30, por volta de 1933, enquanto os planos elaborados eram aplicados, a cidade era dotada de um bom número de praças.

A partir de então, o próprio desenvolvimento da malha urbana revelava uma despreocupação com relação à organização física, mas, principalmente, ao estabelecimento de áreas verdes de uso comum.

Nesta década, em consequência das secas, iniciou-se um processo de crescimento urbano devido ao êxodo rural. Porém, sem um plano diretor e uma política habitacional, a cidade crescia desordenadamente, os imigrantes construíam favelas e se instalavam na região central.

Esse fato, além de provocar problemas sociais e físicos, foi responsável pelo deslocamento da população mais abastada para a região oeste. Alguns anos depois, com a instalação de indústrias nesta região e a concentração operária em torno dela, ocorreu um novo deslocamento da população, agora para o sentido leste, dando início à segregação social no espaço urbano, atualmente, bem definida.

Na década de 60, a construção do trecho inicial da avenida Beira Mar voltou a cidade para o mar, onde, futuramente, se tornaria uma área de interesse turístico e de alta densidade populacional. Ainda nesta década, com a criação do Banco Nacional de Habitação (BNH) e do Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (SERFHAU) e o incentivo à implantação de sistemas de financiamento de habitação, a paisagem começava a mudar com a verticalização.

O crescimento urbano se acentuou a partir da década de 70 e, com ele, as ocupações indevidas de dunas na Praia do Futuro e na Barra do Ceará, sem uma preocupação com o saneamento e a infra-estrutura básica. Nesse período, a malha urbana começava a penetrar nos municípios vizinhos, levando o Município e o Estado a criarem, com base na constituição de 1967, a Região Metropolitana de Fortaleza, que definiu-se, mais precisamente, no início da década de 70.

No início do processo de verticalização, os edifícios tinham, em média, 3 pavimentos. Com a aprovação da Lei nº 5122 – A/79, acentuou-se o processo de verticalização da capital.

O Plano de Metas Governamentais para Fortaleza (PLAMEG / Fortaleza), regulamentado pela Lei nº 5122 – A/79, deu uma grande contribuição para o aumento do índice de áreas verdes para a cidade, contabilizado em 3,67m<sup>2</sup>/hab. Entretanto, continuando aquém do estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), 12m<sup>2</sup>/hab. Este plano previa a implantação de Parques Urbanos, a urbanização de praças e a arborização da cidade, resgatando uma preocupação com as áreas verdes de Fortaleza.

A concentração de equipamentos de infra-estrutura no bairro da Aldeota tornou os imóveis mais valorizados, provocando uma mudança no tipo de moradia. As antigas residências, com amplos jardins, vão sendo substituídas por edificações verticais, no início, caracterizadas por apartamentos grandes e luxuosos, posteriormente, devido à supervalorização imobiliária, continuavam a ser luxuosos, porém de menores dimensões.

Na década de 90, o elevado preço dos imóveis nos bairros Aldeota e Meireles, induziu a ocupação e verticalização de novos bairros, dentre eles, a Varjota, Papicu e Cocó. Ao mesmo tempo, as benfeitorias realizadas provocavam um aumento no valor dos imóveis e, conseqüentemente, a expulsão da população de baixa renda, ou, em alguns casos, a permanência de favelas e ocupações clandestinas.

No final da década de 90, foi aprovada a Lei nº 7987/96, atualmente em vigor. Ela visa à compatibilidade da densidade das atividades urbanas com as condições naturais e a infra-estrutura instalada e projetada. Nela, foram introduzidos, como indicadores urbanos, a taxa de permeabilidade do solo e a fração do lote. Neste final de década também observa-se um incentivo à implantação de equipamentos voltados ao turismo e à indústria, o que, provavelmente, alterarão a organização física de Fortaleza.

### 3.3 Aspectos gerais dos impactos em Fortaleza

A evolução histórica revela a causa de muitos dos problemas atuais, causados nas áreas mais adensadas, especialmente, a falta de áreas verdes e espaços livres, com conseqüentes impactos no clima e na drenagem urbana. No entanto, há mais de um século atrás, o Dr. Thomás Pompeu já tinha apontado para a necessidade fisiológica da existência de tais áreas.

Em 1981, foi observado que a maioria das praças concentrava-se na zona central, ou na periferia urbana, confirmando este período de inobservância da legislação e de descontrole da administração (Montenegro Júnior, 1981). Mesmo assim, não houve uma continuidade dos estudos urbanos, principalmente, no que se refere às áreas verdes.

Com base nos levantamentos feitos em 1981, grande parte das áreas verdes do município encontram-se em propriedades particulares, ficando sujeitas a modificações e desmatamento. Linheiro, Bormann e Lima (1999) também observaram esta carência de verde público, especialmente, nos bairros de população de baixa renda.

O verde público, além de escasso, não compõe uma estrutura organizada em seqüência, apresentando-se como pontos isolados, sem unidade (veja Figura 3.6 página 150). Também está sujeito a uma precária manutenção e conservação, o que favorece a invasão dos limites de preservação e faz com que a população não usufrua destas áreas (Linheiro, Bormann e Lima, 1999 e PDDU-FOR, Síntese Diagnóstica, 1991).

Inúmeras destas áreas foram destinadas à implantação de equipamentos, edifícios institucionais, conjuntos habitacionais etc, afastando-se da sua finalidade de bem de uso comum. Outras foram ocupadas, com a autorização do poder público, por postos de gasolina, bancas de revista, dentre outras atividades (PDDU-FOR, Síntese Diagnóstica, 1991).

Segundo Aragão (1998), a verticalização é um dos fatores que contribuem para a redução do índice de verde nas áreas privadas. Entretanto, além dela, a impermeabilização do solo, a carência de calçadas largas, a fiação elétrica e telefônica atuais e as condições climáticas e físicas geradas pelo tráfego de veículos também causam danos à arborização urbana.

Dentre os impactos ambientais, também presencia-se o desrespeito à própria história local, não preservando as margens do riacho Pajeú. Atualmente, só resta um pequeno trecho urbanizado e de poder público. A própria nascente apresenta-se aterrada, sob um edifício de apartamentos. Como este córrego, outros encontram-se em situações semelhantes, como é o caso do riacho Maceió.

O rio Ceará, também de importância histórica, e seu afluente, o rio Maranguapinho, são outros exemplos. Apesar de serem áreas de proteção ambiental, as suas margens vêm sendo ocupadas pela população de baixa renda, ou assoreadas em virtude do desmatamento e da deposição de lixo. A deficiência de saneamento básico e o nível elevado do lençol freático faz com que, em alguns trechos, o leito do rio funcione como esgoto a céu aberto (Linheiro, Bormann e Lima 1999; PDDU-FOR, Síntese Diagnóstica, 1991 e Pompeu, 1998).

As características físicas naturais de Fortaleza apontam fatores, tais como hidrografia significativa, relevo praticamente plano e nível elevado do lençol freático, que condicionaram a ocupação de determinadas áreas. No entanto, devido à sua peculiaridade e ao uso do solo de forma inadequada, eles sofrem muitos dos impactos ambientais encontrados. Pode-se citar, como exemplo, a:

- diminuição da mancha de dunas;
- erosão do solo;
- redução da recarga de aquíferos;
- descaracterização das planícies dos rios e áreas de acumulação lacustre devido à ocupação inadequada das margens dos mananciais, à deposição de lixo e ao lançamento de efluentes industriais e domésticos; e
- poluição do lençol freático e dos corpos d'água.

Com relação à drenagem urbana, o sistema artificial passa a predominar. No entanto, a manutenção precária, a ocupação de áreas inundáveis e o subdimensionamento de bueiros e galerias, geram problemas como o alagamento de vias e desabrigo da população carente, durante os períodos chuvosos.

No que se refere ao clima, o estudo realizado por Xavier e Xavier (1996b) aponta alterações significativas, dentro de um período de 1974 a 1995, para os parâmetros velocidade do vento, umidade e evaporação.

### 3.4 Conclusão

Poderia-se perguntar porque as alterações ambientais acontecem. Mas, a resposta seria a mesma para todos os lugares, naturalmente, 'quanto mais a cidade cresce, menos as condições da natureza são respeitadas' (Cárta de Atenas, 1960). A diferença consiste na imposição e cumprimento de limites dentro de uma visão a longo prazo, visando a um equilíbrio do ambiente artificial, do ecossistema urbano.

Entretanto, a sobreposição dos interesse particulares é um dos fatores que provocam um impedimento desse equilíbrio. Além disso, causa uma desastrosa divergência entre as forças econômicas, por um lado, e o controle administrativo e a busca pela equidade social, por outro. Também, impõe limites para o uso coletivo, resultando em elevados gastos com desapropriações.

Todos estes fatos repercutem no indivíduo urbano, seja física, psicológica ou emocionalmente. Só que, não são feitas restrições e os impactos atingem a todos por igual, tanto diretamente, como a enfermidade corporal, irritação, acidentes, quanto indiretamente, como por exemplo, quando se tem, de um lado, a marginalidade e a rebeldia, e do outro, o medo e a insegurança, reflexos da segregação social expressa na estrutura urbana.

A seguir, com o objetivo de verificar o comportamento climático em duas áreas de Fortaleza, apresenta-se a metodologia utilizada.

## Capítulo 4

### O desenho do estudo

O desenho do estudo traz toda a metodologia e técnicas utilizadas durante a pesquisa. Segundo Lakatos e Marconi (1991), método é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permitem alcançar determinado objetivo, direcionando, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista. Para que ele seja considerado científico, é necessário:

- Descobrir e definir um problema, o qual deve estar associado a uma série de condições que possam torná-lo um elemento de reconhecimento e estudo.
- Buscar conhecimentos ou instrumentos importantes ao problema.
- Obter uma solução do problema com o auxílio do instrumental conceitual ou empírico disponível.
- Dizer algo original ou rever, sob uma nova ótica, o que já foi dito.
- Fornecer elementos para verificação e contestação de hipóteses.

- Contribuir para o progresso do conhecimento humano (Bunge, 1980 *apud* Lakatos e Marconi, 1991 e Eco, 1995 *apud* Alexandre, 1999).

Todo projeto, método e técnica empregados em uma pesquisa científica devem estar, diretamente, relacionados com o problema em estudo. Normalmente, não se utiliza somente um método ou uma técnica de pesquisa, mas uma combinação de dois ou mais deles.

Com a finalidade de identificar a metodologia de pesquisa que melhor se adapta ao estudo em questão, é importante, antes de mais nada, fazer uma distinção entre projeto, método e técnica de pesquisa.

De acordo com Bryman (1989 *apud* Alexandre, 1999) e Lakatos e Marconi (1991), o projeto de pesquisa é uma das etapas que compõem a elaboração, execução e apresentação da pesquisa, ela estrutura e orienta todo o processo de investigação. Dentre os principais projetos de pesquisa, tem-se: pesquisa experimental, de levantamento, qualitativa, quantitativa, estudo de caso e ação.

Método é o conjunto de técnicas utilizadas para obtenção dos dados. Lakatos e Marconi (1991 e 1992) fazem uma distinção entre método de abordagem e métodos de procedimento. O primeiro, caracteriza uma abordagem mais ampla e pode ser: indutivo, dedutivo, hipotético-dedutivo e dialético. O segundo, é mais restrito e pressupõe uma atitude concreta em relação ao fenômeno estudado. Normalmente, os mais utilizados são: histórico, comparativo, estudo de caso e estatístico.

As técnicas de pesquisa são conjuntos de processos empregados pela ciência no levantamento de dados para a obtenção dos seus propósitos. Os dados podem ser obtidos de duas maneiras: mediante documentação indireta, envolvendo a pesquisa documental e bibliográfica e, direta, através da pesquisa de campo ou de laboratório (Lakatos e Marconi, 1991 e 1992).

Com o objetivo de analisar possíveis alterações climáticas decorrentes do processo de urbanização e o relacionamento entre as variáveis climáticas, a seguir, apresenta-se o projeto de pesquisa, sua estrutura, os métodos e técnicas utilizados na obtenção e na análise dos dados.

## 4.1 Metodologia de pesquisa

### 4.1.1 Embasamento teórico

Pesquisas desenvolvidas no meio físico urbano envolvem aspectos naturais e artificiais, possíveis de serem medidos quantitativamente. Cada aspecto físico é composto por uma série de elementos, chamados componentes urbanos (veja Figura 1.3, página 15). Esse estudo se delimita ao meio urbano físico como um todo, conforme está definido no primeiro capítulo (veja página 10), e ao comportamento das variáveis climáticas dentro da Camada de Cobertura Urbana.

As limitações encontradas na coleta dos dados urbanos levaram ao uso de uma abordagem qualitativa ou interpretativa para classificar o grau de urbanização entre as duas áreas, considerando-a um dado nominal. Neste caso, cada área revela o que é importante e relevante para a urbanização.

Segundo Alexandre (1999), a distinção entre pesquisa quantitativa e qualitativa não deve ser fundamentada, simplesmente, na ausência ou presença de quantificação. A principal diferença reside no fato de que a pesquisa qualitativa ‘busca focar a perspectiva do que está sendo investigado, enfatizando a interpretação e a realidade’, enquanto a quantitativa ‘é impelida por um conjunto *a priori* de interesses, derivados de uma teoria ou da revisão de uma literatura’.

As alterações climáticas, por sua vez, podem ser quantificadas. São influenciadas por fatores, envolvendo, como ressaltado na revisão da literatura, causas naturais, regionais e locais. Nesse estudo, consideram-se somente fatores locais, associando-os à urbanização.



Aqui, só é considerado, como fator de influência, a urbanização, a qual é caracterizada por observação visual. Portanto, não se isolam as demais causas que possam estar interferindo nas alterações climáticas, conseqüentemente, não se eliminam os demais fatores envolvidos e também, não permite um relacionamento direto entre dados urbanos e climáticos.

Além disso, por se tratarem de fenômenos físicos naturais, torna-se muito difícil o controle das variáveis envolvidas. Em alguns pontos, identificam-se situações cíclicas, como é o caso da temperatura e do vento, ou seja, à medida que a temperatura se eleva, há um incremento na velocidade do vento devido à turbulência gerada pelas diferenças de temperatura; ao mesmo tempo, o aumento da velocidade do vento faz com que haja uma redução na temperatura.

Dessa forma, na tentativa de validar as hipóteses formuladas, presume-se que:

1. Não se pode afirmar que as possíveis alterações climáticas sejam decorrentes, *exclusivamente*, da urbanização.
2. Mesmo que se isolasse os demais fatores que influenciam as alterações climáticas, deve-se observar que a intensidade das alterações estão relacionadas com o grau de urbanização e que este pode não se encontrar em um nível significativo para provocar tais alterações.

#### **4.1.2 Escolha do projeto de pesquisa**

A intenção desse estudo não é estabelecer uma relação de dependência e independência entre as variáveis, mas sim, verificar o relacionamento entre as variáveis climáticas e analisar as possíveis alterações de acordo com a intensidade de urbanização. Portanto, trata-se de uma pesquisa de campo de caráter quantitativo-descritivo, seguindo como método de pesquisa, o método hipotético-dedutivo segundo Popper (Lakatos e Marconi, 1991).

O método hipotético-dedutivo segundo Popper pressupõe:

- a existência de um problema,
- a dedução de proposições passíveis de teste e

- o falseamento das proposições, na tentativa de refutação, utilizando, entre outros meios, a observação e experimentação.

Quando a hipótese não supera os testes, ela é refutada e exige uma nova reformulação do problema e da hipótese. No entanto, a superação dos testes não significa que a hipótese está definitivamente confirmada; na verdade, a sua confirmação é provisória (Lakatos e Marconi, 1991).

Segundo Bryman (1989 *apud* Alexandre, 1999), a pesquisa quantitativa tem, como ponto inicial, a 'Teoria, a qual fornece a estrutura de explanação sobre um fenômeno da realidade. Desta teoria, hipóteses são formuladas e testadas através da coleta de informações que, após as análises dos resultados, validarão, ou não, estas hipóteses' (veja Figura 4.1).

Figura 4.1 – Estrutura lógica da pesquisa quantitativa



Fonte: Bryman, 1989 *apud* Alexandre, 1999.

### 4.1.3 Formulação de hipóteses

A hipótese é uma afirmação, a partir de uma teoria, sobre um fenômeno que se deseja testar. Ela exprime relações existentes entre, pelo menos, duas variáveis (Alexandre, 1999 e Lakatos e Marconi, 1992). Segundo Bryman (1989 *apud* Alexandre, 1999) a hipótese deve:

- conter conceitos que possam ser medidos,
- se preocupar com a relação de causalidade,
- buscar uma generalização dos resultados para além dos limites específicos da investigação e
- possibilitar que qualquer pesquisador, empregando os mesmos procedimentos, possa checar a validade das investigações.

Dentro dos objetivos desse estudo, elaboram-se as seguintes hipóteses:

H.1: *A urbanização na FUNCEME é maior que no INEMET-UFC.*

H.2: *Existem alterações climáticas nas estações do INEMET-UFC e FUNCEME, ao longo dos anos.*

Tomando-se estas hipóteses, como base, pode-se formular uma terceira, onde considera-se que:

H.3: *A FUNCEME apresenta um maior número de alterações climáticas que o INEMET-UFC.*

A Segunda hipótese, pode ser desdobrada em onze hipóteses secundárias, onde verifica-se o sentido das alterações, se crescente ou decrescente:

H.2.1: *A nebulosidade cresce ao longo do tempo.*

H.2.2: *A radiação solar que chega à superfície terrestre decresce.*

H.2.3: *O número de horas de brilho solar, insolação, decresce.*

H.2.4: *A evaporação decresce ao longo dos anos.*

H.2.5: *A evapotranspiração decresce ao longo dos anos.*

H.2.6: *A umidade relativa decresce ao longo dos anos.*

H.2.7: *A precipitação aumenta ao longo dos anos.*

H.2.8: *A temperatura máxima cresce ao longo dos anos.*

H.2.9: *A temperatura mínima cresce ao longo dos anos.*

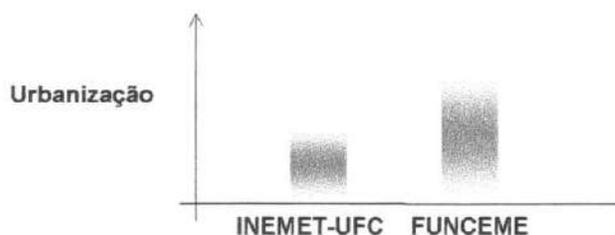
H.2.10: *A temperatura média cresce ao longo dos anos.*

H.2.11: *A velocidade do vento decresce ao longo dos anos.*

Seguindo a metodologia de formulação e apresentação gráfica de hipóteses proposta por Bezerra *et al* (1998 *apud* Bezerra, 1999), as hipóteses, além de serem formuladas verbalmente, podem ser representadas graficamente (veja Figura 4.2 e 4.3).

Figura 4.2 – Representação gráfica das hipóteses principais

#### H.1 Urbanização / INEMET-UFC / FUNCEME



#### H.2 Alterações climáticas / tempo

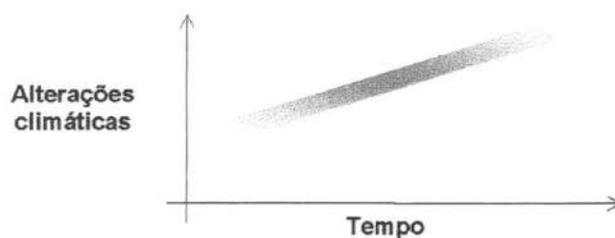


Figura 4.2 – Representação gráfica das hipóteses principais (continuação)

## H.3 Número de alterações climáticas / INEMET-UFC / FUNCEME

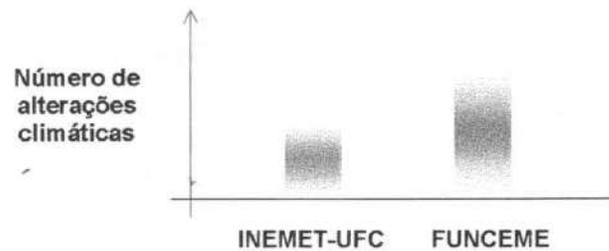
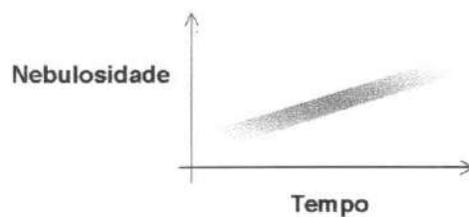
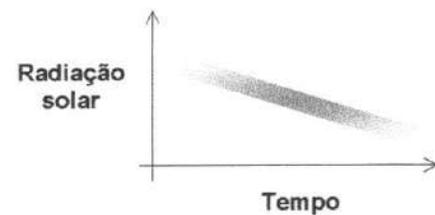


Figura 4.3 – Representação gráfica das hipóteses secundárias

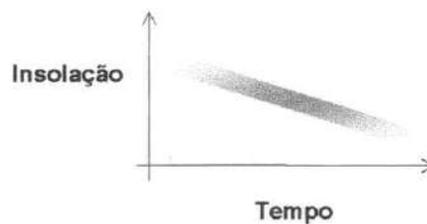
## H.2.1 Nebulosidade / tempo



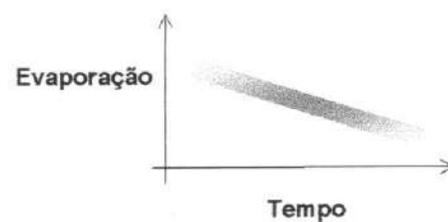
## H.2.2 Radiação solar / tempo



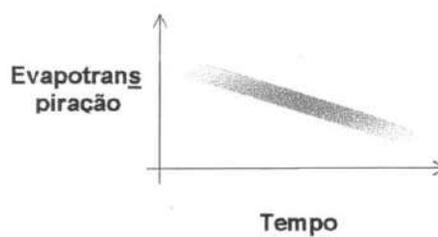
## H.2.3 Insolação / tempo



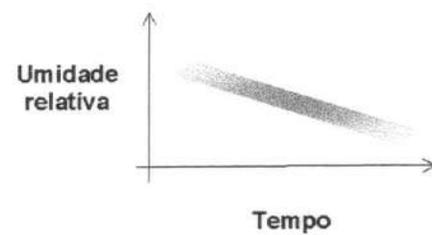
## H.2.4 Evaporação / tempo

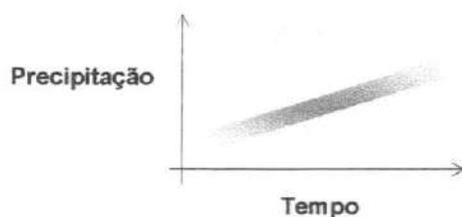
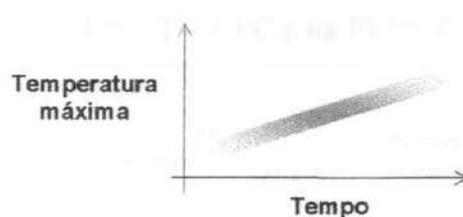
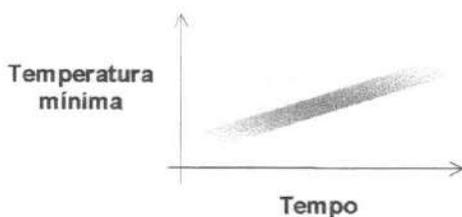
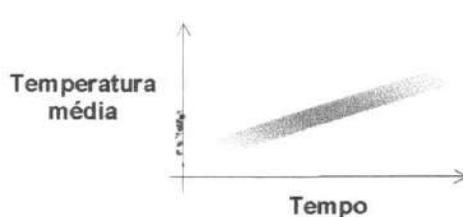
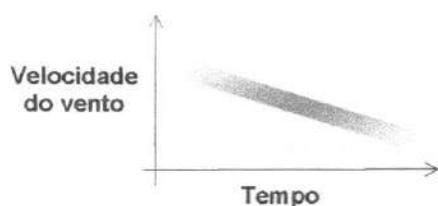


## H.2.5 Evapotranspiração / tempo



## H.2.6 Umidade relativa / tempo



*Figura 4.3 – Representação gráfica das hipóteses secundárias (continuação)***H.2.7 Precipitação / tempo****H.2.8 Temperatura máxima / tempo****H.2.9 Temperatura mínima / tempo****H.2.10 Temperatura média / tempo****H.2.11 Velocidade do vento / tempo****4.2 Coleta de dados****4.2.1 Dados climáticos**

Normalmente, os dados podem ser coletados das seguintes maneiras: mediante a pesquisa documental e / ou bibliográfica, constituindo a documentação indireta e, através da pesquisa de campo e / ou de laboratório, caracterizadas como uma documentação direta.

Os dados climáticos utilizados nesse estudo foram coletados na FUNCEME e no INEMET-UFC, através de uma pesquisa de campo, por documentação indireta,

mediante ‘informação de arquivo’. As variáveis coletadas para cada estação, com suas respectivas unidades de medida, são apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados climáticos coletados no INEMET – UFC e na FUNCEME

| Estação         | Médias mensais         |        |       |                  |         | Período de observação |
|-----------------|------------------------|--------|-------|------------------|---------|-----------------------|
|                 | Temperatura do ar (°C) |        |       | Vento            |         |                       |
|                 | Máxima                 | Mínima | Média | Velocidade (m/s) | Direção |                       |
| INEMET--<br>UFC | X                      | X      | X     | X                | X       | 1966 / 98             |
| FUNCEME         | X                      | X      | X     | X                | X       | 1974 / 98             |

| Estação        | Médias mensais       |                     |                   |                 |                   | Período de observação |
|----------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
|                | Umidade relativa (%) | Nebulosidade (0/10) | Precipitação (mm) | Evaporação (mm) | Insolação (horas) |                       |
| INEMET-<br>UFC | X                    | X                   | X                 | X               | X                 | 1966 / 98             |
| FUNCEME        | X                    | X                   | X                 | X               | X                 | 1974 / 98             |

Dados utilizados e fornecidos pelas estações

Os dados da velocidade e direção do vento para a estação da FUNCEME se restringem até o ano de 1996, visto que, a partir de então, estas medidas não estão sendo mais coletadas, por consequência, impossibilita o cálculo das variáveis que dependem da velocidade do vento.

Os períodos de observação das estações possibilitam o levantamento de dados diários, mensais, anuais e no horário do padrão internacional estabelecido pela OMM (09:00, 15:00 e 21:00 horas). Entretanto, para os fins desse estudo, considerou-se as médias mensais para cada ano.

### *Elementos meteorológicos utilizados*

#### *Vento*

O vento é considerado um vetor definido por uma grandeza, a velocidade, medida em m/s, e por uma direção, expressa pelo ponto cardeal de onde vem o vento. A condição de calmaria é estabelecida quando a velocidade do vento é igual ou

inferior a 1 km/h, sem rumo determinável (Alcoforado, 1993). As medições são feitas através do anemôgrafo, o qual registra a velocidade e a direção do vento a 10m do solo.

#### *Temperatura do ar*

Segundo Retallack (1979 *apud* Alcoforado, 1993), 'para efeitos de meteorologia, a temperatura atmosférica à superfície refere-se ao ar livre a uma altura compreendida entre 1,25 e 2m acima do nível do solo. Em geral, esta temperatura é considerada representativa das condições experimentadas pelos seres humanos'.

Para os termômetros darem uma indicação correta da temperatura ao ar livre, eles devem estar protegidos da radiação solar direta e difusa, da precipitação e, convenientemente, ventilados. Por isso é utilizado um abrigo meteorológico onde estão os termômetros de:

- Máxima, mede a máxima temperatura do dia,
- Mínima, mede a mínima temperatura do dia,
- Bulbo seco, mede a temperatura do ar e
- Bulbo úmido, mede a temperatura úmida do ar.

#### *Precipitação*

A medida da precipitação é feita por pluviômetro e proveta, os quais medem a chuva ou altura da precipitação em mm, e por pluviógrafo, que registra num gráfico a quantidade de chuva ocorrida, fornecendo o início e o final do horário da chuva.

#### *Insolação*

A insolação mede o número de horas de sol descoberto num determinado local, medindo, portanto, a radiação solar direta. Sua medição é feita através do heliógrafo, o qual fornece a quantidade de horas de sol no dia.

#### *Evaporação*

A evaporação é medida pelo evaporímetro de piche, o qual fornece a evaporação da água à sombra e pelo Tanque de evaporação, juntamente, com um micrômetro

de gancho. Neste último instrumento, a evaporação da água é proporcional à evaporação potencial, fornecendo a evaporação da água ao ar livre, medindo-a em milímetros de altura de água.

#### *Umidade relativa*

O termohigrógrafo registra, em um gráfico, a temperatura do ar e a umidade relativa. Ele deve estar localizado na sombra, em um local ventilado e protegido da precipitação.

#### *Nebulosidade*

Tubelis (1980) e Ayoade (1991) definem nebulosidade como sendo a fração do céu que se apresenta coberta por qualquer tipo de nuvem no momento da observação. É expressa em décimos de céu coberto, o zero correspondendo ao céu limpo e o 10, ao céu totalmente coberto de nuvens, dentro do campo de visão do observador.

#### *Dados calculados*

A partir da insolação, temperatura, umidade e velocidade do vento é possível calcular a radiação solar ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{mês}$ ) e a evapotranspiração (mm), seguindo os cálculos descritos por Tubelis (1980).

#### *Radiação*

A radiação solar global ( $Q_g$ ) representa a radiação que efetivamente atinge a superfície terrestre, após atravessar a atmosfera. Portanto, é a soma da radiação solar que atinge diretamente a superfície terrestre com a radiação difusa.

A quantidade de radiação que chega à superfície terrestre depende do estado do céu e da quantidade diária de radiação solar que chega em uma superfície horizontal, no topo da atmosfera ( $Q_0$ ). Ambos fatores dependem da latitude local e da declinação do Sol e influenciam a insolação diária (Tubelis, 1980).

De acordo com Tubelis (1980), a estimativa da radiação solar global pode ser feita a partir da insolação diária, mediante a equação abaixo:

$$Q_g = Q_o \left( a + b \frac{n}{N} \right)$$

#### Equação 4.1

onde:

$Q_g$ , radiação solar global (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

$Q_o$ , radiação solar em uma superfície horizontal no topo da atmosfera (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

$n$ , insolação diária

$N$ , número diário possível de horas de brilho de sol

Para latitudes de 0° a 60°, as constantes são iguais:

$$a = 0,29 \cos \phi$$

$$b = 0,52$$

$\phi$ , latitude do local

#### Evapotranspiração

A evapotranspiração é um processo físico fisiológico no qual a planta realiza trocas com o meio. Ela depende do balanço de energia da superfície evaporante e da quantidade de água existente no ar atmosférico. Além disso, é influenciada pelas características da vegetação, como o estágio de desenvolvimento e o estado nutricional.

O termo evapotranspiração potencial significa a perda máxima em água por uma cultura, bem como a demanda máxima de água por esta, para que tenha crescimento e desenvolvimento ideais. Nesta definição adota-se que não há restrições de água no solo ou de perda d'água por transpiração (Tubelis, 1980 e Ometto, 1981).

Segundo Tubelis (1980), dessa forma, a evapotranspiração potencial torna-se função exclusiva das condições atmosféricas e pode ser estimada com base na equação utilizada para o cálculo da evaporação potencial, considerando-se as características da vegetação:

$$EP = \frac{1}{59} \left[ \frac{\Delta Q + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \right] \quad \text{Equação 4.2}$$

$$Q = Q_{oc} + Q_{ot} \quad \text{Equação 4.3}$$

$$Q_{oc} = (1 - r) Q_g \quad \text{Equação 4.4}$$

$$Q_{ot} = 1440\sigma T_a^4 (0,09\sqrt{e} - 0,56) \left(0,1 + 0,9\frac{n}{N}\right) \quad \text{Equação 4.5}$$

$$E_a = 20,65 \left(k + \frac{u_2}{160}\right) (e_s - e) \quad \text{Equação 4.6}$$

onde:

EP, evapotranspiração potencial (mm/dia)

$\Delta/\gamma$ , coeficiente dependente da temperatura média diária do ar (adimensional)

Q, balanço diário da radiação, para albedo de 25% para a vegetação (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

1/59, transformação da energia na altura equivalente de água evaporada

$E_a$ , poder evaporante diário do ar (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

k, fator de rugosidade da superfície, considerado como 1,0 para a vegetação

$u_2$ , vento percorrido diário a 2m de altura (km/dia)

$e_s$ , tensão de saturação de vapor d'água na temperatura média do ar (mmHg)

e, tensão média de vapor d'água do ar (mmHg)

$Q_{oc}$ , radiação solar absorvida (radiação de ondas curtas) (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

$Q_{ot}$ , emissão efetiva terrestre (radiação de ondas longas) (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

R, albedo (poder refletor da superfície)

$Q_g$ , radiação solar global (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

n, insolação diária

N, número diário possível de horas de brilho de sol

$1440\sigma T_a^4$ , emissão diária de radiação de um corpo negro em função da temperatura (cal/cm<sup>2</sup>/dia)

#### 4.2.2 Dados urbanos

O grau de urbanização pode ser medido através de índices capazes de caracterizar diferentes padrões de uso e ocupação do solo, como, por exemplo, o de vegetação.

Esses parâmetros, normalmente, são levantados e estimados pelo poder público. No entanto, a falta de continuidade desses levantamentos, principalmente, de um cadastro de imóveis e áreas verdes, fez com que se tomasse, como base, a Lei nº 5.122 – A / 79 de uso e ocupação do solo para determinar as classes predominantes de uso e ocupação do solo para cada área.

O fato de se considerar essa lei e não a atual, deveu-se ao seu período de influência na ocupação física da cidade. Em outras palavras, a lei em vigor é muito recente para que se possa perceber a sua interferência no processo de ocupação territorial.

Na densidade de ocupação, considerou-se os dados dos censos de 1970, 1980, 1991 e 1996, computados para cada bairro. Como as áreas em estudo não coincidem com os limites das unidades de informação, definiu-se, de acordo com o PDDU-FOR (Síntese Diagnóstica, 1991), seis intervalos de densidade (0 – 20, 20 – 50, 50 – 100, 100 – 170, 170 – 230 e >230 hab/ha) representados em mapa sobre o qual, estão delimitadas as duas áreas em estudo.

Para o levantamento das áreas verdes utilizou-se a planta de vegetação adquirida, em pesquisa de campo, nos arquivos do IPLAM. Nela, é identificada e localizada toda a área verde de Fortaleza existente no ano de 1995. Além desses recursos utilizou-se as fotografias aéreas do ano de 1995, constantes nos arquivos da biblioteca do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará, e fotografias e filmagens feitas em trabalho de campo.

### 4.2.3 Viés

De acordo com Abercrombie *et al* (1994 *apud* Bezerra, 1999), viés ou erro sistemático é definido como ‘a diferença existente entre o valor verdadeiro de uma característica e o valor médio obtido pelas investigações repetidas’... no entanto, ‘qualquer influência, condição ou série de condições, que, juntas ou isoladas, causam distorção ou aberração dos dados que foram obtidos sob condições de puro acaso...’ também é considerada viés (Leedy, 1985 *apud* Bezerra, 1999).

Em uma pesquisa, o viés ocorre, principalmente, durante a coleta dos dados. No caso específico desse estudo, por se tratar de dados secundários, não é possível controlar, por completo, o viés. Apesar de ambas estações seguirem os padrões internacionais estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), sabe-se que ele pode ocorrer, basicamente, devido a erros de leitura, tabulação dos dados, problemas de manutenção e/ou mudanças dos instrumentos utilizados.

### 4.3 Áreas de estudo

#### 4.3.1 Localização e delimitação

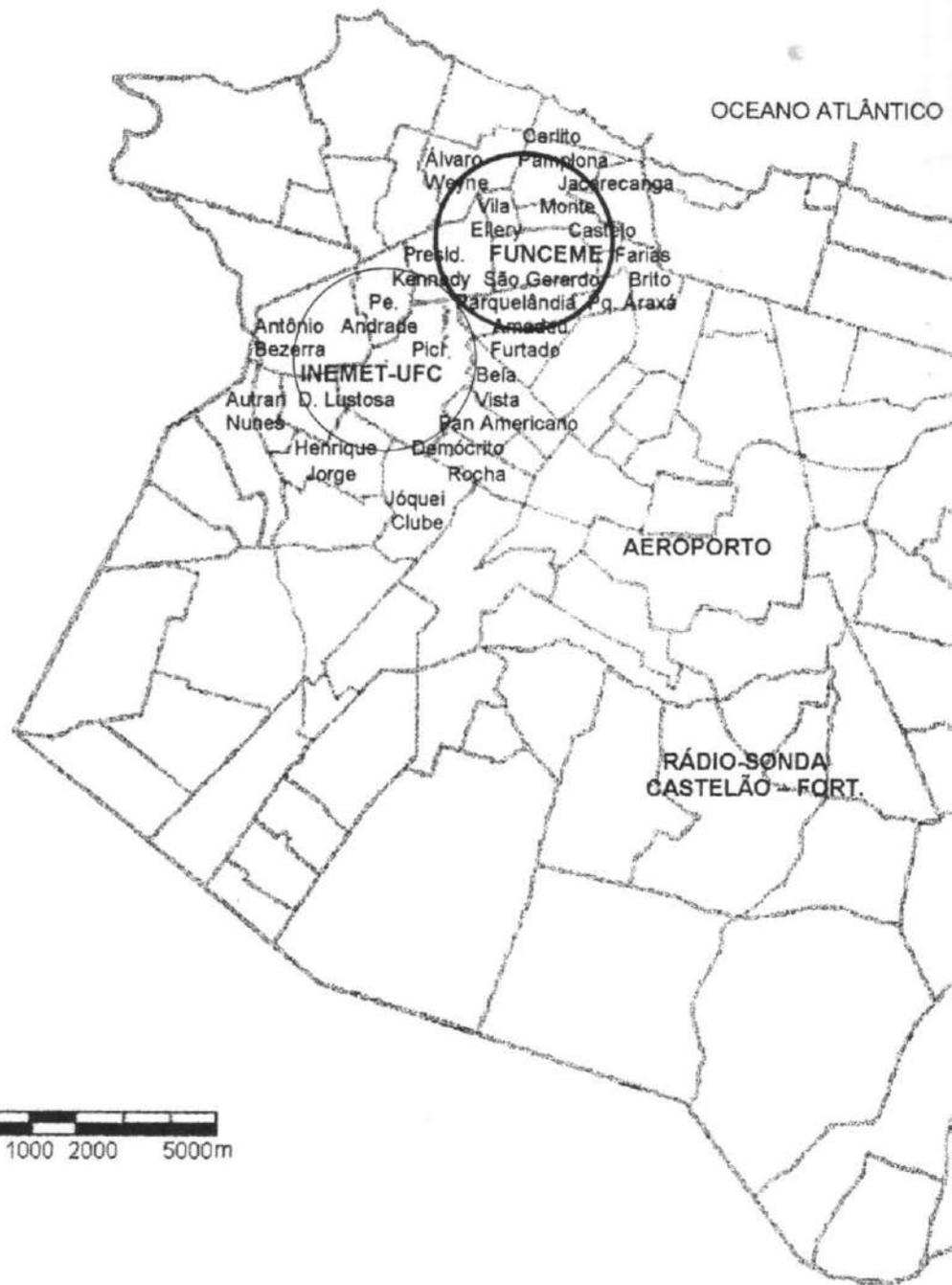
Fortaleza possui quatro estações meteorológicas de superfície:

- Estação Agroclimatológica da UFC (INEMET-UFC),
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME),
- Aeroporto Internacional Pinto Martins e
- Estação Rádio-Sonda, Castelão – Fortaleza.

Encontram-se situadas, respectivamente, nos bairros Pici, São Gerardo, Aeroporto e Passaré (veja Figura 4.4). Devido a limitações na obtenção de dados, considerou-se, para análise, somente a:

- Estação Agroclimatológica da UFC (INEMET – UFC), localizada dentro do Campus do Pici, numa zona de uso predominantemente institucional, a  $3^{\circ} 44'$  de latitude sul e  $38^{\circ} 33'$  de longitude oeste.
- Estação da FUNCEME, localizada no Parque de Exposições da Secretaria de Agricultura, numa zona urbanizada, a  $3^{\circ} 46'$  de latitude sul e  $38^{\circ} 33'$  de longitude oeste.

Figura 4.4 – Localização das estações meteorológicas



A inclusão da estação Rádio-Sonda, Castelão-Fortaleza seria de fundamental importância, visto que se localiza a sudeste da cidade, sem barreiras ao vento; além disso, é uma área que apresenta uma ocupação mais lenta, destinada a chácaras e a projetos que ocupam grandes lotes, onde a vegetação rasteira e arbustiva deu lugar a árvores de grande porte, favorecendo as condições climáticas locais.

De um modo geral, a repartição das estações meteorológicas é irregular. Torna-se mais grave quando se observa, neste levantamento, a falta de uma estação na região leste do município, exatamente a zona que apresenta um processo de verticalização mais intenso e uma maior carência de verde.

Para ambas estações, foi delimitada uma área de influência, tomando, como base, um valor dentro do intervalo da unidade de superfície horizontal referente ao espaço climático em estudo (Camada de Cobertura Urbana), ou seja, de  $10^2$  a  $5 \times 10^4$  m. Dessa forma, traçou-se, sobre cada estação, um raio de, aproximadamente,  $1,5 \times 10^3$  m, delimitando a área de influência do INEMET-UFC, Área I, e da FUNCEME, Área II (veja Figura 4.4).

## 4.4 Metodologia de análise dos dados

### 4.4.1 Análise dos dados urbanos

De acordo com os estudos climáticos de Lombardo (1985) e Assis (1990), a medição dos dados climáticos é relacionada com a intensidade de urbanização e os diversos usos do solo urbano. Esses estudos associam a interpretação de fotografias aéreas às imagens de satélite, atribuindo classes de uso do solo, medidas através de percentuais que variam de acordo com os tipos de ocupação.

No entanto, por se tratarem de áreas menores e pela possibilidade de se obter aspectos mais reais, uma outra maneira de se classificar o grau de urbanização, juntamente com informações arquivadas em material cartográfico, é através da

observação direta intensiva ou observação visual, onde o pesquisador pode identificar e obter provas do objeto investigado.

Ander-Egg (1978 *apud* Lakato e Marconi, 1991) apresenta quatro modalidades de observação (veja Tabela 4.3). Aqui, adota-se a observação assistemática, não-participante, individual e efetuada na vida real, onde não se detêm, de antemão, os aspectos relevantes a serem observados. O pesquisador presencia o fato, mas não participa dele e os dados são registrados, espontaneamente, no local. Assim, cada área revela os elementos mais importantes capazes de estabelecer diferenças.

Tabela 4.3 – Modalidade de observação

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Meios utilizados           | Assistemática<br>Sistemática                 |
| Participação do observador | Não-participante<br>Participante             |
| Número de observações      | Individual<br>Em equipe                      |
| Lugar onde se realiza      | Vida real (trabalho de campo)<br>Laboratório |

Fonte: Ander-Egg, 1978 *apud* Lakato e Marconi, 1991.

No estudo em questão, os parâmetros climáticos podem ser mensurados e possibilitam uma análise quantitativa, enquanto, os dados urbanos, devido à dificuldade na sua obtenção, passam a ser tratados como dados nominais envolvendo duas categorias para efeito de comparação. Dessa forma, tem-se, como objetivo final, a classificação das duas áreas como: maior e menor urbanização.

#### 4.4.2 Seleção da técnica estatística

Antecedendo à análise estatística propriamente dita, elaboram-se gráficos das variáveis climáticas de cada estação, buscando investigar o comportamento da série quanto à tendência e sazonalidade. Em seguida, com o objetivo de verificar se realmente existe tendência e sazonalidade nas variáveis climáticas, utiliza-se a técnica de séries temporais.

**Sazonalidade**

Para testar a existência de sazonalidade nas variáveis climáticas, aplica-se o Teste de Friedman – teste não paramétrico, ou seja, não se conhece, totalmente, a distribuição de probabilidade. O desenvolvimento do teste consiste em ordenar as observações dentro de cada ano. As observações são substituídas por seus postos, após a ordenação (Morettin e Toloi, 1986). As hipóteses do teste são:

$$\begin{cases} H_0: \text{não existe sazonalidade determinística} \\ H_1: \text{existe sazonalidade determinística} \end{cases}$$

A estatística do teste é dada por:

$$T_2 = \frac{12}{ps(s+1)} \sum_{j=1}^s (R_{\cdot j}^*)^2 - 3p(s+1) \quad \text{Equação 4.7}$$

onde:  $p$  = número de anos

$s$  = período da sazonalidade (12 meses)

$R_{\cdot j}^*$  = soma dos postos na  $j$ -ésima coluna ( $j$ -ésimo mês). Isto é:

$$R_{\cdot j}^* = \sum_{i=1}^p R_{ij}^* \quad \text{Equação 4.8}$$

onde:  $R_{ij}^*$  é o ponto da  $Z_{ij}$  observação dentro do  $i$ -ésimo ano, com  $j = 1, \dots, s$ .

Rejeita-se  $H_0$  se  $T_2 \geq T_{2c}$  (valor crítico), onde  $T_{2c}$  é tal que  $P_{H_0}(T_2 \geq T_{2c}) = \alpha$ , onde  $\alpha$  é o nível de significância.

**Tendência**

Após identificada e removida a componente sazonal, para testar a tendência, utilizou-se o Teste do Sinal (Cox-Stuart – não paramétrico) para cada variável climática. As hipóteses estatísticas testadas são:

$$\begin{cases} H_0: \text{não existe tendência na série} \\ H_1: \text{existe tendência na série} \end{cases}$$

O processo de execução do teste, segundo Morettin e Toloí (1986), consiste em agrupar as observações em pares  $(Z_1, Z_{1+c}), (Z_2, Z_{2+c}), \dots, (Z_{n-c}, Z_n)$  onde  $c = n/2$ , se  $n$  for par, e  $c = n+1/2$ , se  $n$  for ímpar. A cada par é associado o sinal + se  $Z_i < Z_{i+c}$ , e o sinal - se  $Z_i > Z_{i+c}$ , eliminando-se os empates. Define-se  $n$  = número de pares, onde  $Z_i \neq Z_{i+c}$ . Neste teste, as hipóteses acima são equivalentes às hipóteses abaixo:

$$\begin{cases} H_0: P(Z_i < Z_{i+c}) = P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i \\ H_1: P(Z_i < Z_{i+c}) \neq P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i \end{cases}$$

A estatística do teste é dada por:  $T_2$  = número de pares com sinal +. Para  $n \leq 20$ , a regra de decisão é baseada na distribuição binomial com parâmetros  $n$  e  $p = 1/2$ . Para um dado nível de significância  $\alpha$ , rejeita-se  $H_0$  se  $T_2 \leq b$  ou  $T_2 \geq n-b$ , onde  $b$  é o  $\alpha/2$  - quantil da binomial  $(n, p)$ . Como  $n > 20$ , aplica-se a distribuição normal, como aproximação:

$$T_2 \approx N(np, np(1-p))$$

**Equação 4.9**

*Coefficiente de correlação*

Aplica-se o Teste de Correlação Linear de Pearson para testar as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \text{não existe correlação entre as variáveis} \\ H_1: \text{existe correlação entre as variáveis} \end{cases}$$

A estatística do teste, sob  $H_0$ , é dada por:

$$t = \frac{r}{\sqrt{(1-r^2)/(n-2)}} \quad \text{Equação 4.10}$$

onde:  $t$  segue uma distribuição  $t$ -studart com  $(n-2)$  graus de liberdade e  $r$  é o coeficiente de correlação linear de Pearson, dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n(\bar{x})^2\right)\left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n(\bar{y})^2\right)}} \quad \text{Equação 4.11}$$

Rejeita-se  $H_0$  se  $|t| \geq |t_c|$ ,  $t_c =$  ponto crítico, tal que  $P(t > t_c) = P(t < -t_c) = \alpha/2$ .

Para os procedimentos estatísticos utiliza-se o SPSS, EXCEL e WORD for WINDOWS. A análise estatística foi realizada com o apoio do Laboratório de Estatística e Matemática Aplicada (LEMA) do Departamento de Estatística e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Ceará (DEMA-UFC). Os resultados e discussões da pesquisa são apresentados no capítulo seguinte.

## Capítulo 5

# Resultados e discussão

No presente capítulo, apresentam-se os resultados encontrados e as discussões referentes a cada um. Visando a uma melhor compreensão, ele foi dividido em três partes: na primeira, caracterizam-se as duas áreas de estudo e testa-se a hipótese H.1, na segunda, verifica-se o relacionamento linear entre as variáveis climáticas e mostra-se a análise dos resultados, testando as hipóteses H.2 e H.3. Na terceira parte, é feita a interpretação dos dados, verificando o comportamento climático para as áreas em estudo.

### 5.1 Caracterização das áreas de estudo e teste da hipótese H.1

#### 5.1.1 Caracterização INEMET- UFC, Área I

A estação INEMET-UFC localiza-se no bairro Pici, em uma zona especial de uso institucional. A área em torno dela é caracterizada por zonas residenciais de baixa

densidade (70 hab/ha), com, no máximo, dois pavimentos, e por zonas residenciais de média densidade (150 hab./ha), com edifícios de até 12 pavimentos e altura máxima de 48m (veja Figura 5.1a).

Apesar de ser uma área de baixa e média densidade, com exceção do bairro do Pici, a maioria dos bairros presentes nesta área apresenta, desde 1980, uma densidade entre 100 e 170 hab/ha. No entanto, observa-se que a maior parte da área é ocupada pelo Pici, o qual somente em 1991 apresenta um acréscimo, passando para a faixa correspondente de 50 a 100 hab/ha (veja Figura 5.4a).

Pela evolução urbana (veja Figura 5.2a), percebe-se que, até 1969, a ocupação nesta área era pequena, localizando-se principalmente, nos bairros Antônio Bezerra e Henrique Jorge. A partir de 1985, observa-se um aumento, especialmente, entre a região oeste e sul.

Atualmente, por localizar-se em uma área de uso institucional, o bairro do Pici não é muito ocupado, possui uma vegetação significativa (veja Figura 5.3a) e um índice de verticalização muito baixo; as construções mais densas localizam-se, principalmente, entre as direções noroeste e sudeste, não oferecendo grandes obstáculos à penetração do vento. Além disso, tratam-se de edificações pequenas de uso residencial, caracterizada por famílias de baixa renda (veja Foto 5.1).

### 5.1.2 Caracterização FUNCEME, Área II

A estação da FUNCEME localiza-se no bairro São Gerardo, entre a avenida Bezerra de Menezes e a Sargento Hermínio, dentro de uma zona especial de proteção verde, paisagística e turística (veja Figura 5.1b).

O bairro São Gerardo localiza-se em uma zona residencial de média densidade (150 hab./ha), com uma taxa de ocupação do terreno de 60%, para residências unifamiliares e, 50% para residências multifamiliares e uso misto. As edificações podem ter, no máximo, 12 pavimentos com altura de até 48m. Todavia, a avenida Bezerra de Menezes, de acordo com a Lei nº 5122 – A/79, é um corredor de

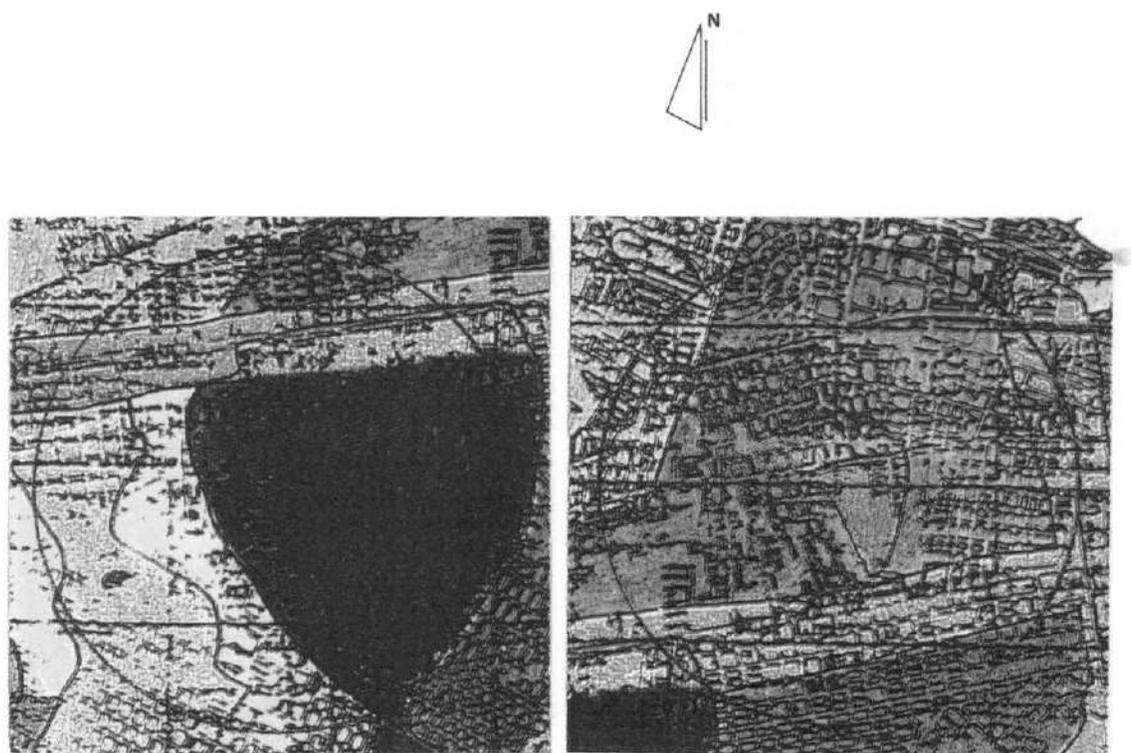
adensamento, onde são permitidas edificações com 18 pavimentos de até 72m de altura.

Em 1970, a área em torno do bairro São Gerardo apresentou um adensamento populacional de 100 a 170 hab/ha, mantendo-se, praticamente, na mesma faixa, até 1996. O bairro São Gerardo sofreu um acréscimo em 1980, mantendo-se estável a partir de então (veja Figura 5.4b).

A área não apresenta muita verticalização, entretanto, existem algumas edificações de porte que atraem novos investimentos. Possui uma arborização significativa, mas concentrada em determinados pontos, principalmente, no Parque de Exposições da Secretaria de Agricultura (veja Figura 5.3b). Também observa-se que a arborização é pequena nos lotes residenciais (veja Foto 5.2).

Até 1969 (veja Figura 5.2b), praticamente, toda a área está ocupada. De 69 até 76, houve uma pequena ocupação em torno da estação. No final dos anos 80, inicia-se um processo de verticalização residencial, proporcionando um incremento populacional, principalmente na zona destinada ao comércio. Atualmente, ainda encontram-se vazios urbanos, sendo que alguns deles são destinados a áreas de proteção.

Figura 5.1 – Zoneamento Lei nº 5.122 – A / 79



a. INEMET-UFC

b. FUNCEME

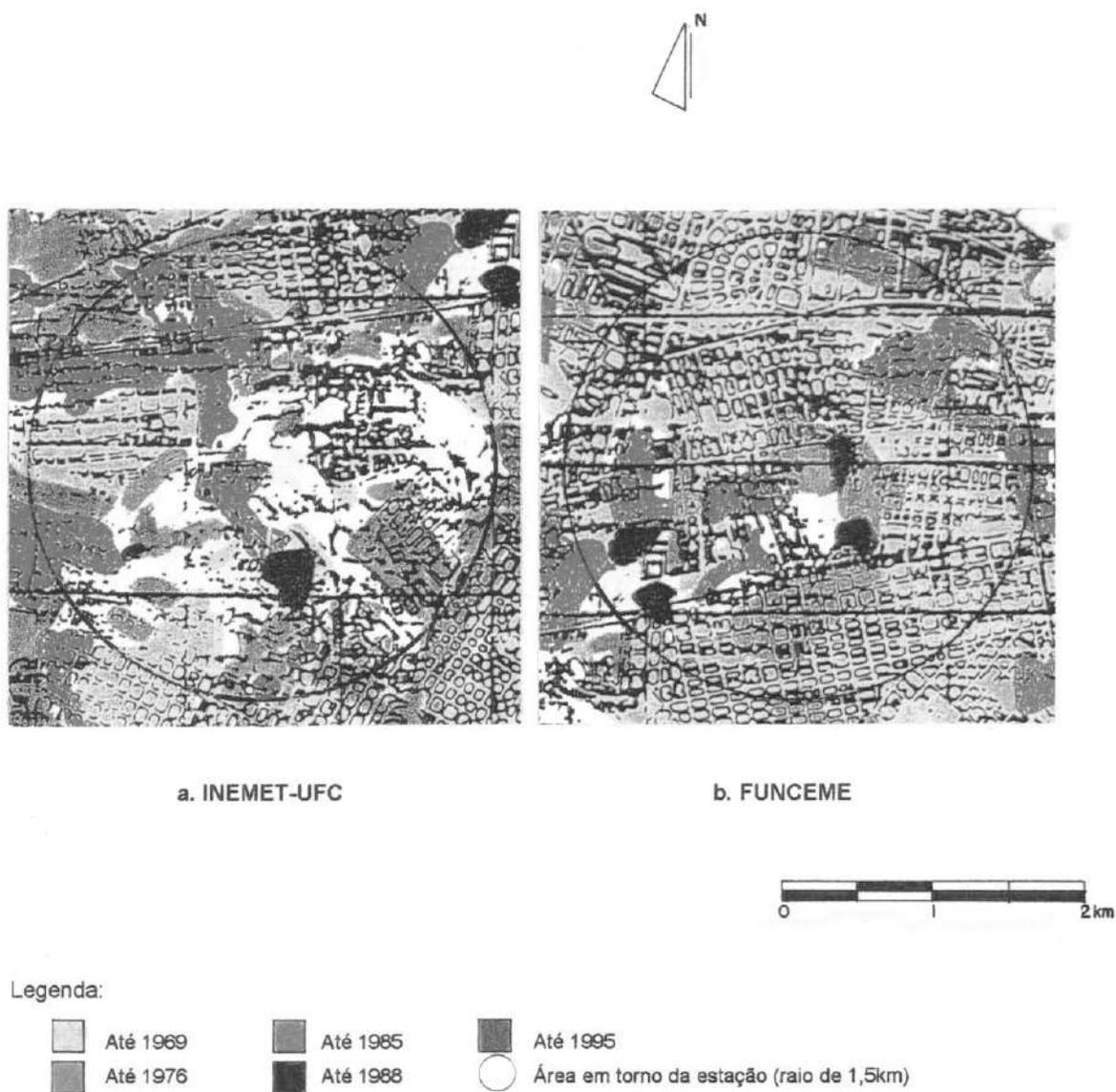


Legenda:

- |   |   |
|---|---|
|  ZR3 – Zona residencial de alta densidade    |  ZE3 – Zona especial de uso institucional |
|  ZR2 – Zona residencial de média densidade   |  ZCA – Zona de comércio atacadista       |
|  ZR1 – Zona residencial de baixa densidade   |  ZI – Zona industrial                    |
|  ZE1 – Zona especial de proteção verde       |  ZC2 – Polo e corredor de adensamento    |
|  Área em torno da estação<br>(raio de 1,5km) |   |

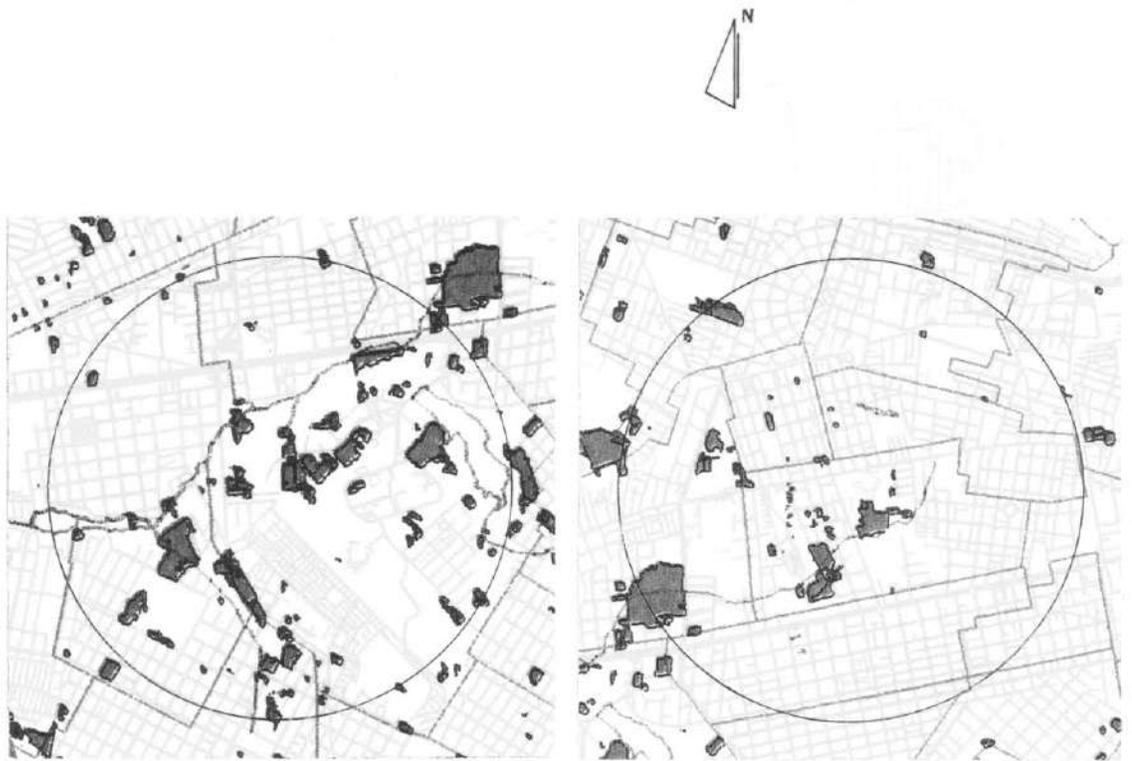
Fonte: PDDU-FOR, Síntese Diagnóstica, 1991

Figura 5.2 – Evolução urbana



Fonte: PDDU-FOR, Síntese Diagnóstica, 1991

Figura 5.3 – Área verde, 1995



a. INEMET-UFC

b. FUNCEME

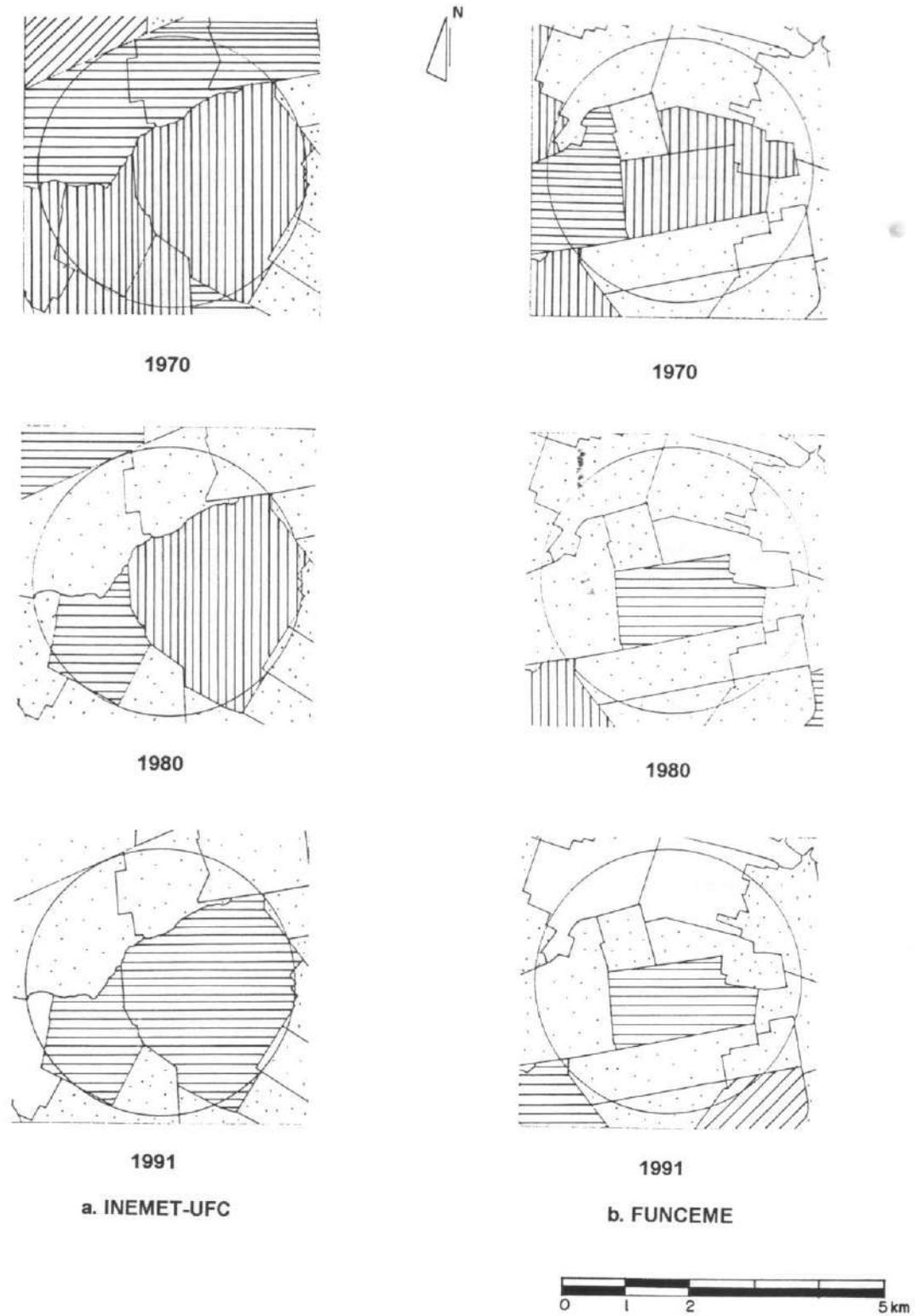


Legenda:

- |  |   |  |
|--|---|--|
|  Área verde         |  Quadras           |  Área em torno da estação (raio de 1,5km) |
|  Limite dos bairros |  Recursos hídricos |  |

Fonte: pesquisa de campo.

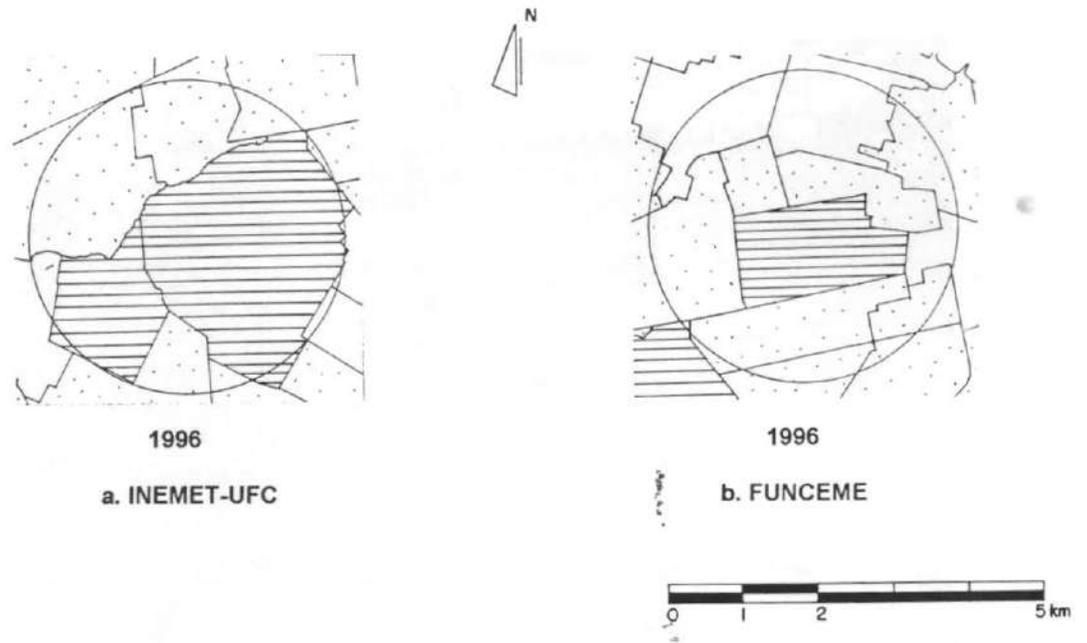
Figura 5.4 – Densidade populacional



Legenda:

- |   |  |   |                  |   |                 |
|---|--|---|------------------|---|-----------------|
|  | 0 – 20 hab/ha                            |  | 20 – 50 hab/ha   |  | 50 – 100 hab/ha |
|  | 100 – 170 hab/ha                         |  | 170 – 230 hab/ha |   |                 |
|  | Área em torno da estação (raio de 1,5km) |   |                  |   |                 |

Figura 5.4 – Densidade populacional (continuação)



Legenda:

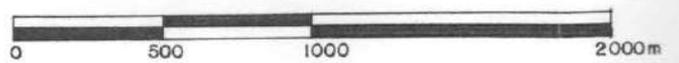
- |   |   |   |                  |   |                 |
|---|---|---|------------------|---|-----------------|
|  | 0 – 20 hab/ha                               |  | 20 – 50 hab/ha   |  | 50 – 100 hab/ha |
|  | 100 – 170 hab/ha                            |  | 170 – 230 hab/ha |   |                 |
|  | Área em torno da estação<br>(raio de 1,5km) |   |                  |   |                 |

Fontes: PDDU-FOR, Síntese Diagnóstica, 1991 e pesquisa de campo.



Fotografia aérea da área em torno da Estação INEMET-UFC

○ Área em torno da estação  
(raio de 1,5km)





Fluxo regional de ar

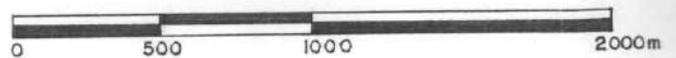


Fotografias tiradas próximo da estação



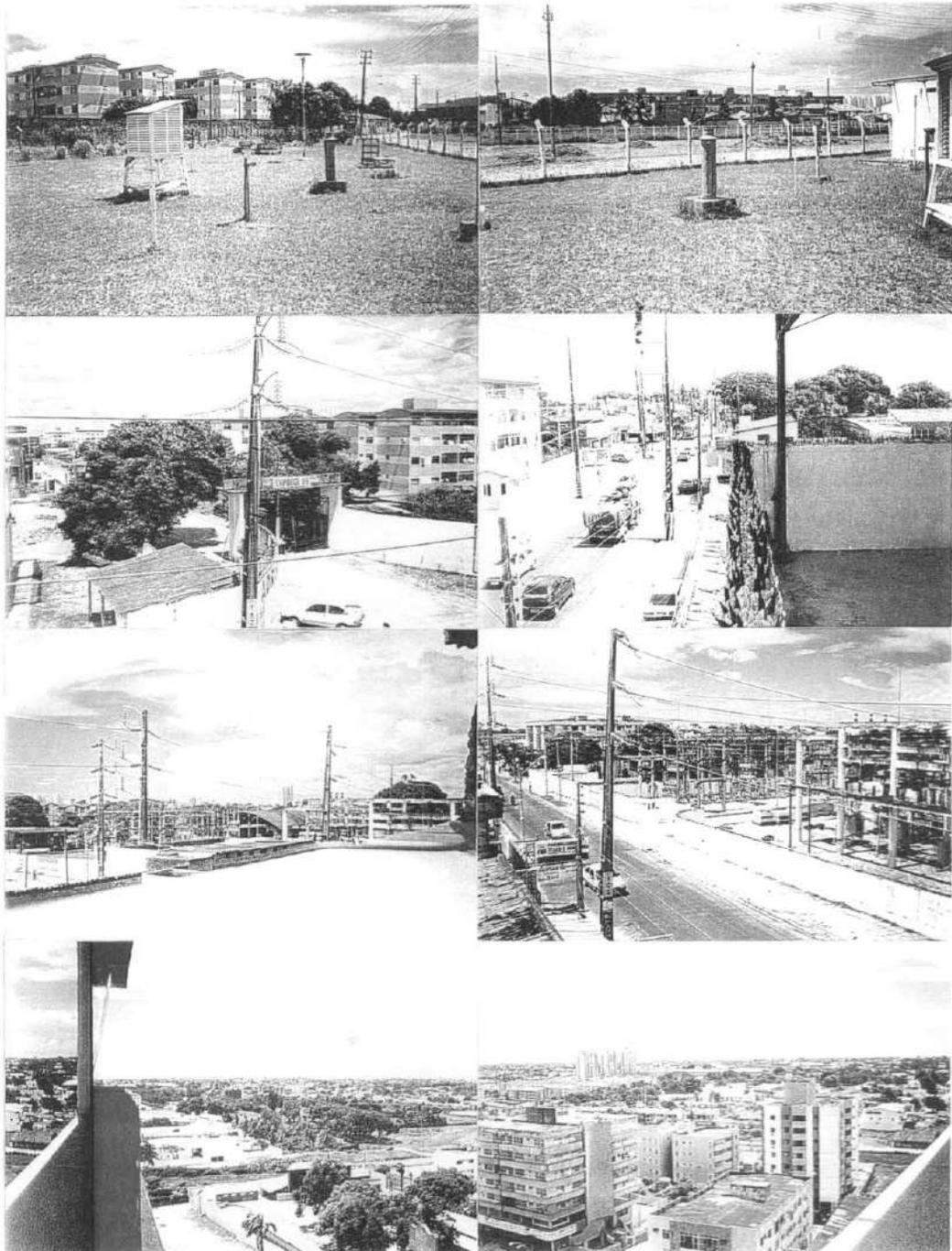
Fotografia aérea da área em torno da Estação FUNCEME

○ Área em torno da estação  
(raio de 1,5km)





Fluxo regional de ar



Fotografias tiradas próximo da estação

### 5.1.3 Teste da hipótese H.1

Pelo material apresentado, percebe-se que, apesar da semelhança entre as áreas, é possível verificar alguns aspectos relevantes entre elas (veja Tabela 5.1). Em uma generalização, pode-se dizer que a área da FUNCEME apresenta uma maior urbanização que a do INEMET-UFC, mesmo que as diferenças sejam pequenas, confirmando a hipótese H.1 que diz: *A urbanização na FUNCEME é maior que no INEMET-UFC.*

Tabela 5.1 – Comparação entre as áreas das estações INEMET-UFC e FUNCEME

| Parâmetros urbanos                | INEMET-UFC      | FUNCEME                        |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Verticalização                    | menor           | maior                          |
| Área verde                        | maior           | menor                          |
| Extensão de corpos d'água         | maior           | menor                          |
| Impermeabilização                 | menor           | maior                          |
| Pavimentação asfáltica            | menor           | maior                          |
| Trânsito de veículos              | menor           | maior                          |
| Predominância do uso do solo      | institucional   | residencial de média densidade |
| Predominância da ocupação do solo | tipo horizontal | tipo horizontal                |
| Densidade demográfica             | menor           | maior                          |
| Grau de urbanização               | menor           | maior                          |

## 5.2 Análise dos resultados e teste das hipóteses H.2 e H.3

Antecedendo a apresentação dos resultados é importante dizer que com um nível de significância  $\alpha$ , comete-se o Erro do Tipo I, rejeitando-se  $H_0$ , dado que ele é verdadeiro. Nas aplicações feitas considera-se  $\alpha = 5\%$ , isto significa dizer que se tem uma probabilidade de 5% de rejeitar  $H_0$ .

Outro ponto relevante é atribuído à localização da estatística do teste com relação ao intervalo de aceitação de  $H_0$ . Quando o valor localiza-se próximo à região de aceitação de  $H_0$ , o seu resultado não é tão significativo, podendo o resultado ser atribuído a problemas concernentes à consistência dos dados coletados.

### 5.2.1 Correlações existentes entre as variáveis climáticas

Na Tabela 5.2, apresentam-se os resultados correspondentes à correlação linear entre as variáveis e a estatística do teste, ao nível de significância de 5%, para ambas estações e nas Figuras 5.5 e 5.6, o gráfico das correlações.

Com um nível de significância de 5% e grau de liberdade superior a 120, tem-se que o valor bilateral de  $t$ , para todas as correlações, é 1,960. Portanto, sempre que  $r \neq 0$  e  $t > 1,960$  ou  $t < -1,960$ , existe um relacionamento linear entre as variáveis, mesmo que os valores baixos dos coeficientes de correlação indiquem a não existência de uma correlação linear.

Somente quando  $t = |1,960|$  aceita-se a hipótese nula que diz não existir correlação linear entre as variáveis. Nesse caso, a correlação entre a nebulosidade e a temperatura média para estação da FUNCEME foi única a ser aceita.

Quando a relação é positiva, diz-se que os valores altos de uma variável correspondem aos altos da outra, ou seja, à medida que uma sobe, a outra acompanha a ascensão. Quando negativa, os valores altos de uma variável correspondem aos baixos da outra, ou seja, à medida que uma sobe a outra decresce. No entanto, é necessário deixar claro que a correlação identifica o grau de relacionamento entre duas variáveis e não a relação de causalidade entre elas.

Tabela 5.2 – Coeficientes de correlação entre as variáveis climáticas e estatística do teste para as estações da FUNCEME e INEMET-UFC

| Variáveis climáticas                    | Estação FUNCEME            |                    |                        | Estação INEMET-UFC         |                    |                        |
|---|----------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|------------------------|
|   | Coefficiente de correlação | Tamanho da amostra | Estatística do teste   | Coefficiente de correlação | Tamanho da amostra | Estatística do teste   |
| Velocidade do vento X Temperatura média | 0,16                       | 273                | 2,751 <sup>(1)</sup>   | 0,27                       | 396                | 5,591 <sup>(1)</sup>   |
| Velocidade do vento X Evaporação        | 0,88                       | 273                | 29,946 <sup>(1)</sup>  | 0,67                       | 276                | 14,904 <sup>(1)</sup>  |
| Velocidade do vento X Evapotranspiração | 0,80                       | 273                | 21,854 <sup>(1)</sup>  | 0,76                       | 396                | 22,998 <sup>(1)</sup>  |
| Velocidade do vento X Umidade relativa  | -0,29                      | 273                | -5,026 <sup>(1)</sup>  | -0,60                      | 396                | -15,038 <sup>(1)</sup> |
| Velocidade do vento X Nebulosidade      | -0,58                      | 273                | -11,758 <sup>(1)</sup> | -0,59                      | 396                | -14,54 <sup>(1)</sup>  |
| Nebulosidade X Radiação solar           | -0,65                      | 296                | -14,594 <sup>(1)</sup> | -0,64                      | 396                | -16,496 <sup>(1)</sup> |
| Nebulosidade X Insolação                | -0,82                      | 296                | -24,859 <sup>(1)</sup> | -0,82                      | 396                | -28,371 <sup>(1)</sup> |
| Nebulosidade X Temperatura média        | -0,07                      | 296                | -1,166                 | -0,14                      | 396                | -2,901 <sup>(1)</sup>  |
| Radiação solar X Insolação              | 0,92                       | 300                | 39,973 <sup>(1)</sup>  | 0,87                       | 396                | 34,512 <sup>(1)</sup>  |
| Temperatura média X Radiação solar      | 0,36                       | 300                | 6,677 <sup>(1)</sup>   | 0,58                       | 396                | 14,316 <sup>(1)</sup>  |
| Temperatura média X Umidade relativa    | -0,45                      | 300                | -8,770 <sup>(1)</sup>  | -0,45                      | 396                | -9,925 <sup>(1)</sup>  |
| Temperatura média X Evaporação          | 0,29                       | 300                | 5,211 <sup>(1)</sup>   | 0,49                       | 276                | 9,356 <sup>(1)</sup>   |
| Temperatura média X Evapotranspiração   | 0,53                       | 273                | 10,309 <sup>(1)</sup>  | 0,64                       | 396                | 16,399 <sup>(1)</sup>  |
| Umidade relativa X Nebulosidade         | 0,63                       | 296                | 13,756 <sup>(1)</sup>  | 0,65                       | 396                | 16,921 <sup>(1)</sup>  |
| Umidade relativa X Evaporação           | -0,52                      | 300                | -10,593 <sup>(1)</sup> | -0,60                      | 276                | -12,303 <sup>(1)</sup> |
| Umidade relativa X Evapotranspiração    | -0,60                      | 273                | -12,464 <sup>(1)</sup> | -0,74                      | 396                | -22,093 <sup>(1)</sup> |
| Precipitação X Nebulosidade             | 0,74                       | 296                | 18,806 <sup>(1)</sup>  | 0,72                       | 396                | 20,441 <sup>(1)</sup>  |
| Precipitação X Umidade relativa         | 0,66                       | 300                | 15,328 <sup>(1)</sup>  | 0,72                       | 396                | 20,353 <sup>(1)</sup>  |
| Precipitação X Temperatura média        | -0,35                      | 300                | -6,555 <sup>(1)</sup>  | -0,42                      | 396                | -9,115 <sup>(1)</sup>  |
| Precipitação X Evaporação               | -0,79                      | 300                | -22,206 <sup>(1)</sup> | -0,81                      | 276                | -22,925 <sup>(1)</sup> |
| Precipitação X Evapotranspiração        | -0,80                      | 273                | -21,976 <sup>(1)</sup> | -0,71                      | 396                | -19,904 <sup>(1)</sup> |

(1) significante a 5%

Figura 5.5 – Correlação linear para as variáveis do INEMET-UFC

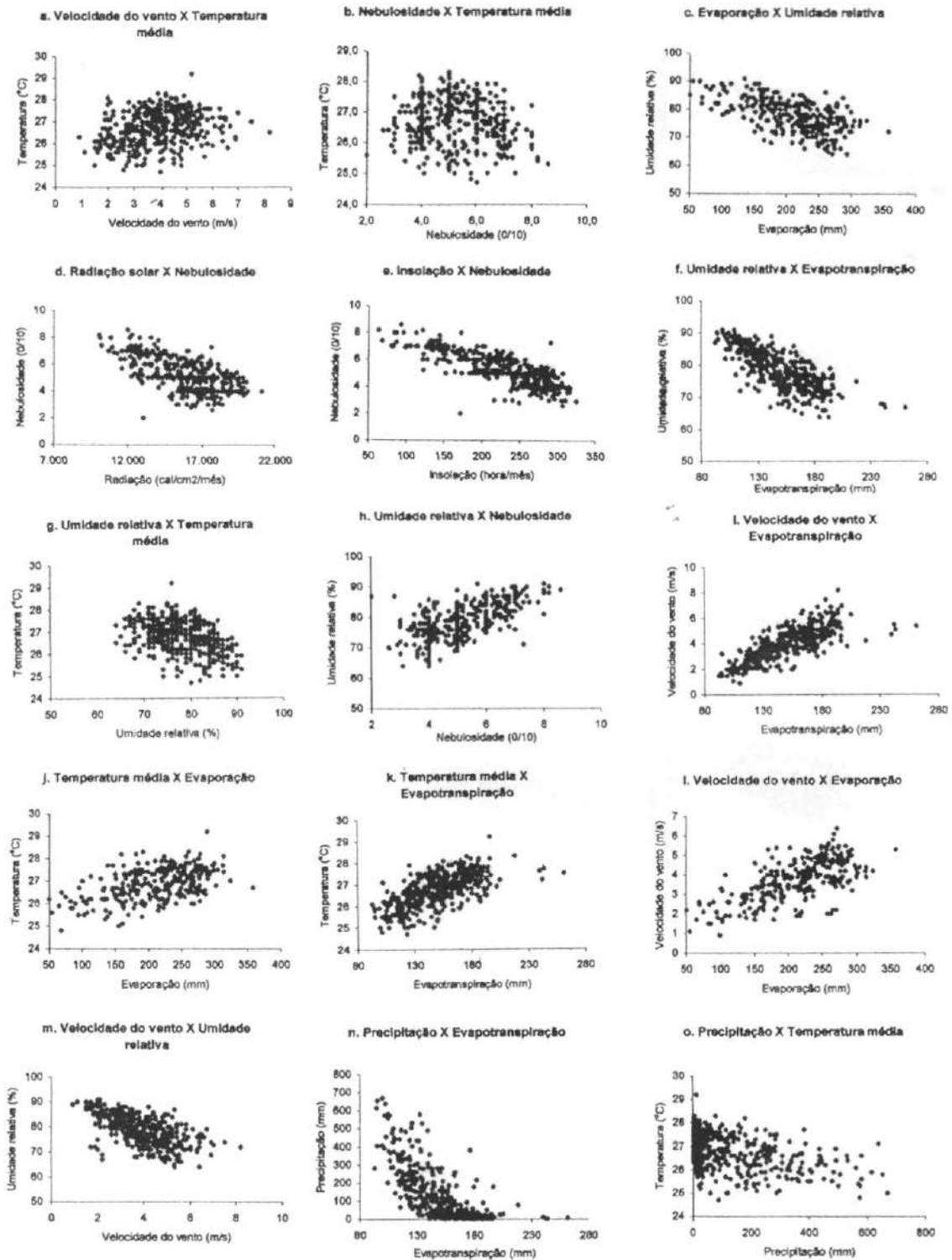


Figura 5.5 – Correlação linear para as variáveis do INEMET-UFC (continuação)

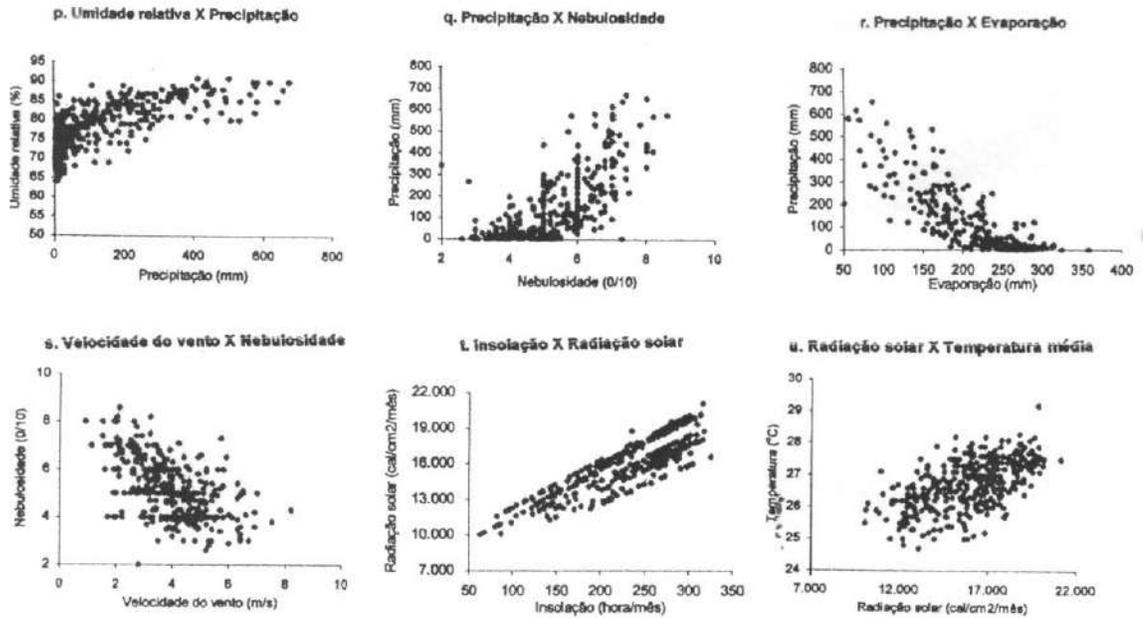


Figura 5.6 – Correlação linear para as variáveis da FUNCEME

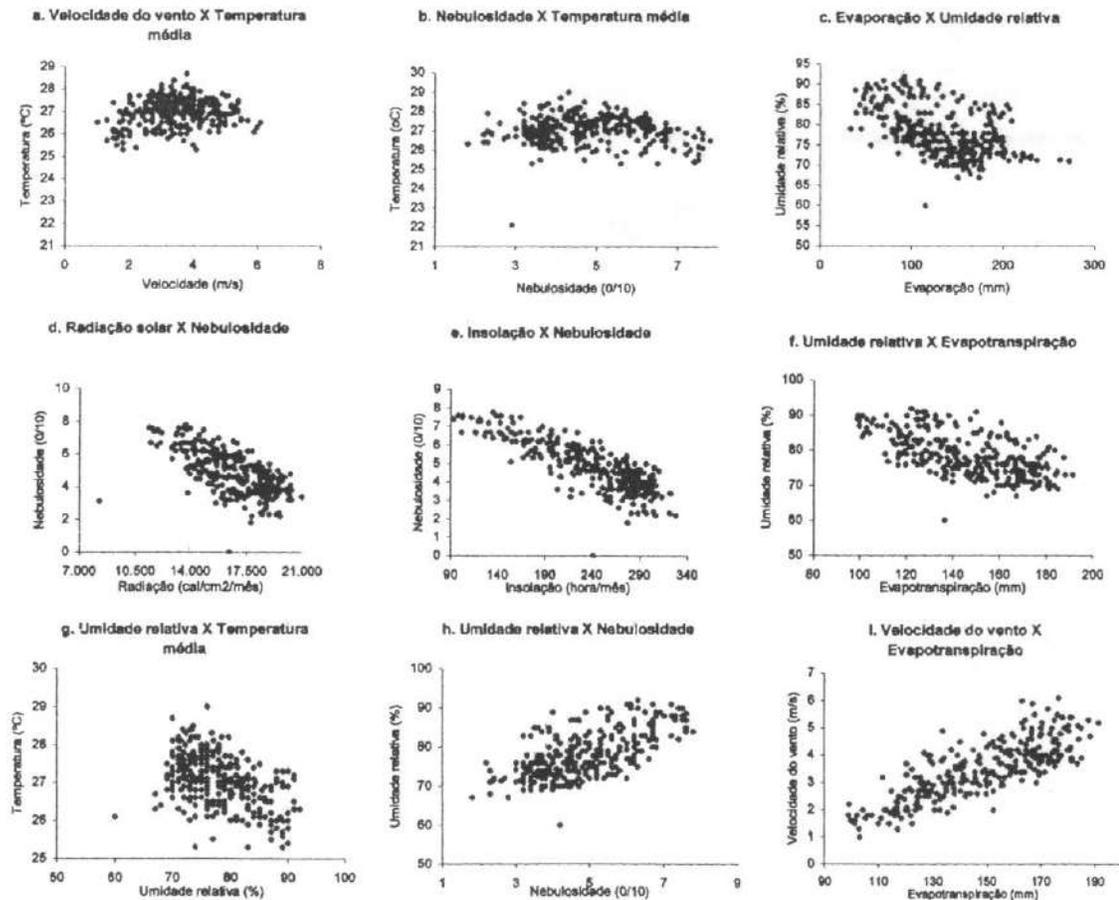
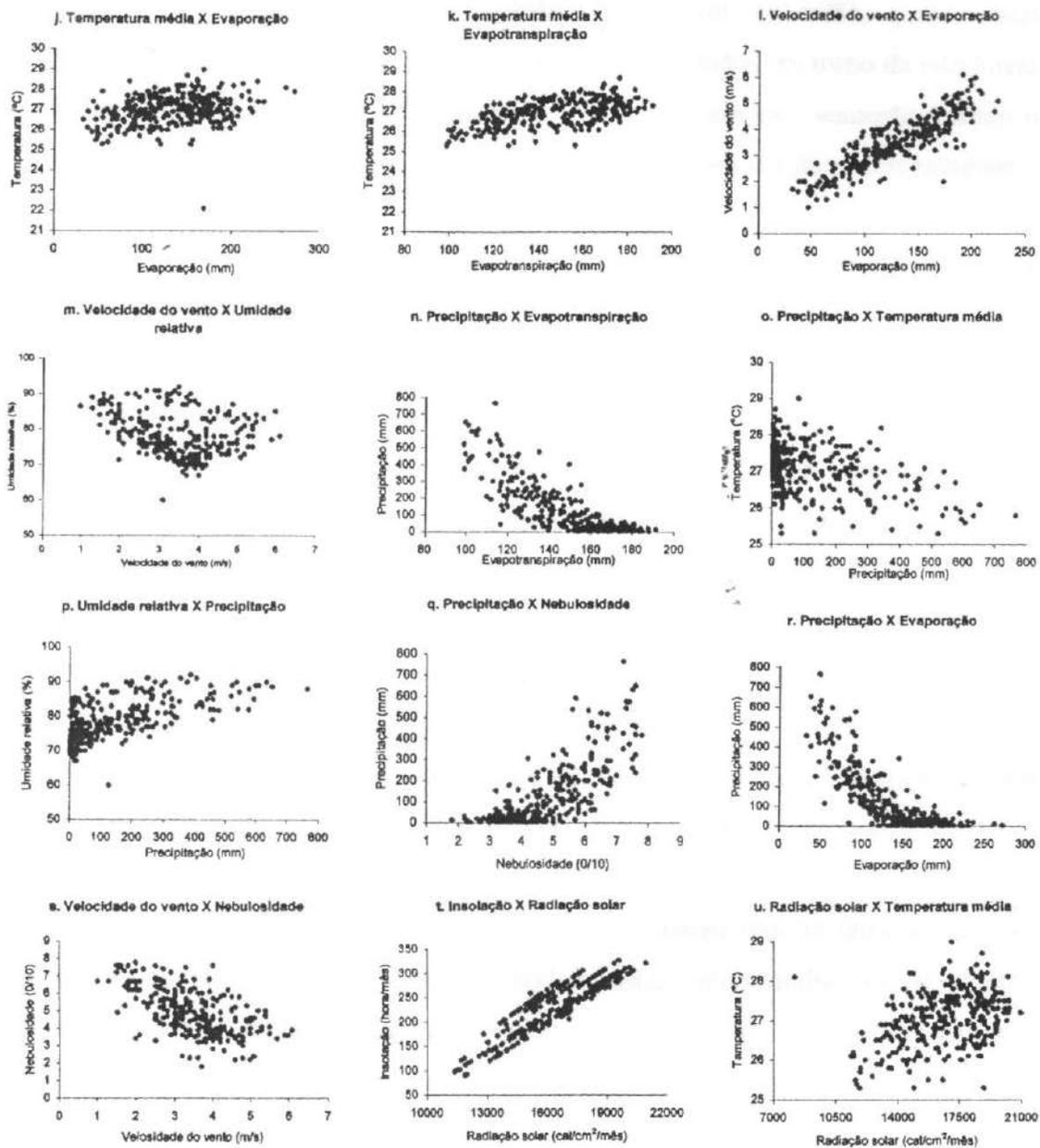


Figura 5.6 – Correlação linear para as variáveis da FUNCEME (continuação)



Conforme citado em Stevenson (1981), à medida que os valores dos coeficientes de correlação se aproximam de 1, mais perfeito é o relacionamento linear; em torno de 0,70 ele é considerado moderado; a partir de então, quanto mais estiverem próximos de zero, maior é a dispersão dos dados em torno da reta linear imaginária, indicando um relacionamento fraco. No entanto, somente quando o coeficiente for igual a zero é que se pode falar numa ausência de relacionamento.

Portanto, existem duas explicações para a ausência de relacionamento e relacionamento fraco:

- o que não é explicado pela relação entre as duas variáveis, se deve a outros fatores não incluídos no estudo, ou
- mesmo que o coeficiente de correlação *linear* não seja significativo, não se pode dizer que não existe correlação entre as duas variáveis, pois esta pode ser *não-linear*.

Os coeficientes de correlação são estabelecidos com base nos dados fornecidos, portanto, as diferenças encontradas entre as estações se devem às características inerentes a cada área, corroborando para o fato de que os dados urbanos também podem estar exercendo influência no relacionamento entre as variáveis.

No entanto, no caso específico desse estudo, existem muitos fatores que não foram medidos, ou observados, e podem estar interferindo nos resultados encontrados. A seguir, faz-se uma explicação sobre a origem do relacionamento entre as variáveis que foram correlacionadas, considerando-se somente aspectos referentes ao micro e topoclima.

### 5.2.2 Natureza do relacionamento entre as variáveis

#### *Velocidade do vento X Temperatura*

Próximo à superfície do solo, o ar aquecido, por condução, se eleva e é substituído pelo ar frio. Este processo de troca de calor recebe o nome de convecção térmica e, quanto maior for o gradiente de temperatura do ar próximo à superfície, mais rápida é essa transferência, conseqüentemente, maior é a turbulência gerada.

Também verifica-se esse processo nos fluxos de ar criados pelas diferenças de temperatura entre a cidade (mais quente) e o campo (mais frio).

#### *Velocidade do vento X Evapotranspiração*

A influência exercida pela velocidade do vento no processo de transpiração se deve à troca de calor por convecção. O vento torna o processo mais eficaz à medida que favorece a perda de calor da folha através da evaporação. Além disso, normalmente, o vento que entra é mais seco e intensifica a transpiração, pois a água desloca-se em busca do menor estado energético.

#### *Velocidade do vento X Evaporação*

O fluxo turbulento do ar também proporciona uma homogeneização da umidade e facilita uma mistura de massas de ar, carreando-as para uma nova localização. Assim, o ar úmido sobre a superfície é deslocado e substituído por ar fresco e seco, renovando a camada de ar em contato com o solo e favorecendo a evaporação.

#### *Velocidade do vento X Umidade relativa*

O vento, ao renovar a massa de ar em contato com a superfície, reduz o conteúdo de umidade do ar e aumenta a sua capacidade evaporativa, proporcionando uma redução na umidade relativa.

#### *Velocidade do vento X Nebulosidade*

A elevação da velocidade do vento reduz a umidade atmosférica e a capacidade do ar de reter vapor d'água, favorecendo a dissolução das nuvens.

#### *Umidade relativa X Evaporação e Umidade relativa X Evapotranspiração*

O aumento da umidade relativa significa um aumento do percentual de concentração do vapor d'água, conseqüentemente, uma redução na capacidade evaporativa do ar, dificultando os processos de evaporação e evapotranspiração.

*Umidade relativa X Nebulosidade*

O aumento do conteúdo de vapor d'água na atmosfera até o ponto de saturação dá início à condensação do vapor d'água em torno de núcleos de condensação, ou seja, o vapor d'água é transformado em água líquida, originando as nuvens.

*Nebulosidade X Radiação e Nebulosidade X Insolação*

O aumento da nebulosidade faz com que a maior parte da radiação seja refletida pela superfície superior das nuvens, conseqüentemente, tanto a luz direta quanto a difusa são reduzidas, diminuindo o número de horas de brilho solar (insolação).

*Radiação X Insolação*

A estimativa da radiação solar global é feita a partir da insolação ou número de horas de brilho de sol.

*Temperatura média X Radiação solar*

Da radiação que alcança a superfície do solo, parte é refletida (dependendo do albedo) e parte é absorvida, elevando a sua temperatura. Quando há umidade na superfície, o calor liberado pelo solo é usado na evaporação, proporcionando o resfriamento da superfície; se não, é usado para aquecer o ar, elevando a sua temperatura.

A temperatura do ar, apesar de acompanhar o ciclo da radiação, não está precisamente relacionada com ele e sim com a temperatura do solo. Além disso, sua elevação envolve fatores estáticos locais, como a cor e os tipos de materiais de construção, e o calor advindo das atividades antropogênicas.

*Temperatura média X Nebulosidade*

O aumento da nebulosidade reduz a intensidade da radiação, conseqüentemente, menos calor é liberado pelo solo, proporcionando, indiretamente, um menor aquecimento do ar.

*Temperatura média X Umidade relativa*

Quanto maior a temperatura, maior é a capacidade do ar em reter vapor d'água. Como a umidade relativa representa o percentual de concentração do vapor d'água em relação à capacidade máxima do ar de retê-lo, o aumento na temperatura implica na redução da umidade relativa.

*Temperatura média X Evaporação*

A presença de água na superfície faz com que o calor sensível, responsável pela elevação da temperatura do ar, seja utilizado como energia calorífica para mudar o estado da água por meio da evaporação. Isto provoca um incremento nos processos de evaporação e evapotranspiração e um aumento no conteúdo de vapor d'água do ar.

*Temperatura média X Evapotranspiração*

O sombreamento proporcionado pela vegetação faz com que a troca de calor, na região entre o solo e a copa da árvore, seja regida pela falsa condução radiativa. Dessa forma, a elevação da temperatura favorece a evaporação da umidade do solo e a transpiração, à medida que o calor sensível é utilizado como energia calorífica para mudar o estado da água.

*Precipitação X Nebulosidade*

A precipitação ocorre quando há formação de nuvens com presença significativa de umidade e núcleos de condensação, os quais, através de fenômenos complexos de aglutinação e crescimento, formam uma grande quantidade de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força da gravidade supere a turbulência do meio atmosférico (Tucci, 1993). No entanto, segundo Ayoade (1991), a correlação entre precipitação e quantidade de nuvens nem sempre é confiável, pois depende dos tipos de nuvens.

*Precipitação X Temperatura média*

Durante a precipitação, no percurso em direção à superfície terrestre, as gotículas d'água sofrem uma perda de massa por evaporação, proporcionando uma redução

na temperatura à medida que requer o consumo de 600 cal para evaporar 1 grama d'água.

*Precipitação X Umidade relativa, Precipitação X Evaporação e Precipitação X Evapotranspiração*

Durante a precipitação, a umidade do ar alcança o seu ponto de saturação, provocando um aumento na umidade relativa. Este incremento reduz a capacidade evaporativa do ar, dificultando os processos de evaporação e evapotranspiração.

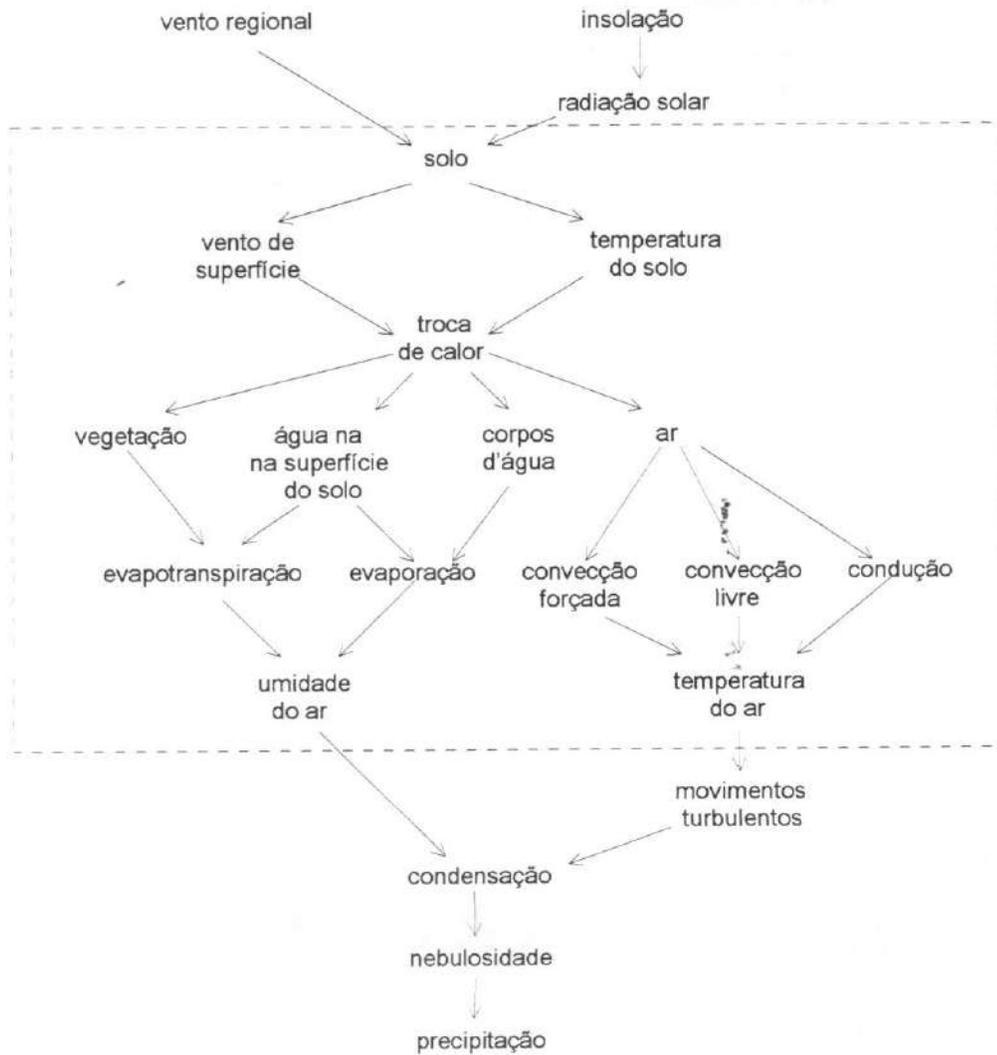
Na busca pela origem das correlações encontradas observa-se que os processos climáticos apresentam uma seqüência. O diagrama da Figura 5.7 mostra, de uma maneira simplificada, a seqüência desses processos, durante o dia.

### **5.2.3 Sazonalidade das variáveis climáticas**

Os fenômenos que ocorrem com regularidade, de um ano para outro, são considerados sazonais. A sazonalidade das variáveis climáticas (veja Figura 5.8 e 5.9) é constante e pode ser explicada pelo Movimento de Translação da Terra em torno do Sol, que, juntamente, com a declinação da Terra com relação ao plano elíptico do Sol, influencia a intensidade da radiação solar e, conseqüentemente, todos os parâmetros climáticos que dependem dela.

O presente estudo não tem como objetivo principal a descrição dos fatores globais, portanto, não se detém a essa discussão. Entretanto, segundo Morettin e Toloi (1986), quando há interesse em analisar certos fenômenos, como a tendência de uma série temporal, é necessário identificar se existe uma componente sazonal, visto que as flutuações sazonais tendem a 'perturbar' as outras componentes presentes na série. Em seguida, ela deve ser removida para que os outros fenômenos presentes sejam identificados e interpretados.

Figura 5.7 – Seqüência de processos climáticos



--- Região onde iniciam-se as alterações nos processos climáticos em decorrência das modificações nas características físicas do solo.

Nesta análise, além dos gráficos apresentados na Figura 5.8 e 5.9, testa-se a sazonalidade, utilizando-se o Teste de Friedman. Obtém-se, como resultado, os valores apresentados na Tabela 5.3. Com um valor crítico de 19,675, todas as hipóteses nulas ( $H_0$ : não existe sazonalidade) são rejeitadas, indicando a existência de sazonalidade, em ambas estações, para todas as variáveis climáticas, visto que o valor do teste para todas as variáveis é maior que o valor crítico ( $T_2 > T_{2c}$ ).

Tabela 5.3 – Resultado do teste para sazonalidade

| Variáveis climáticas | Estatística do teste <sup>(1)</sup> |            |
|----------------------|-------------------------------------|------------|
|                      | FUNCEME                             | INEMET-UFC |
| Nebulosidade         | 155,2                               | 233,1      |
| Insolação            | 205,4                               | 267,3      |
| Radiação solar       | 209,5                               | 269,6      |
| Evaporação           | 225,2                               | 185,9      |
| Evapotranspiração    | 22,7                                | 287,4      |
| Umidade relativa     | 188,4                               | 239,7      |
| Precipitação         | 214,2                               | 267,6      |
| Temperatura média    | 157,6                               | 241,6      |
| Temperatura máxima   | 86,9                                | 187,9      |
| Temperatura mínima   | 174,1                               | 262,5      |
| Velocidade do vento  | 165,1                               | 256,3      |

(1) todos os resultados foram significantes a 5%.

Figura 5.8 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação da FUNCEME

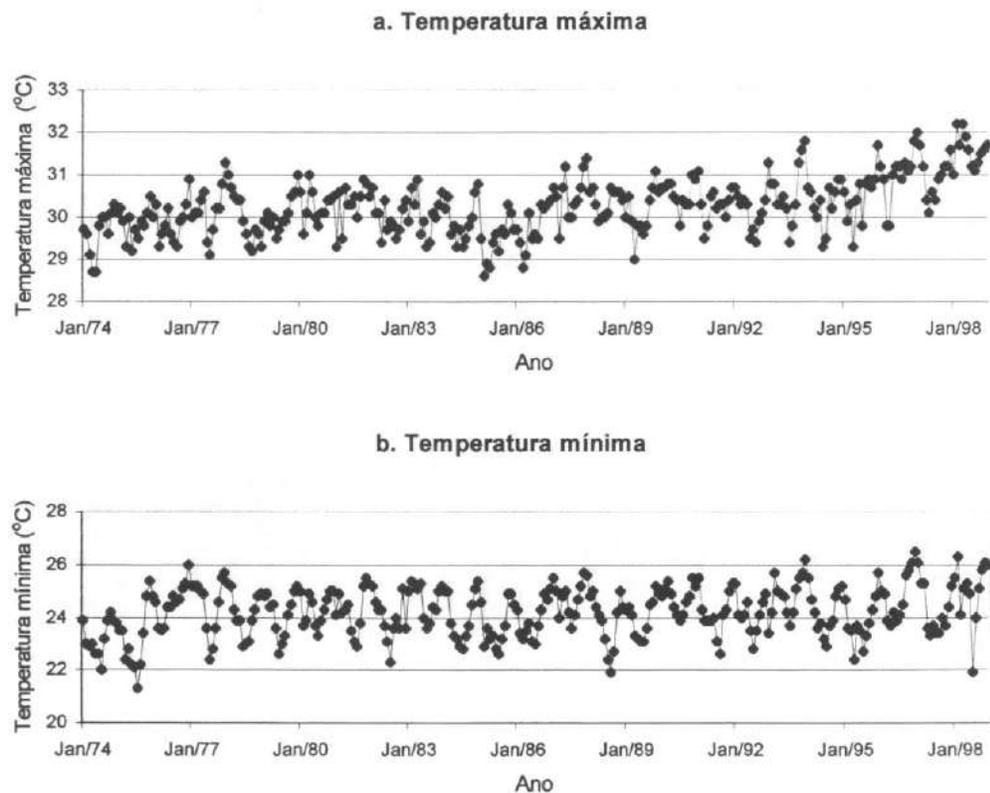
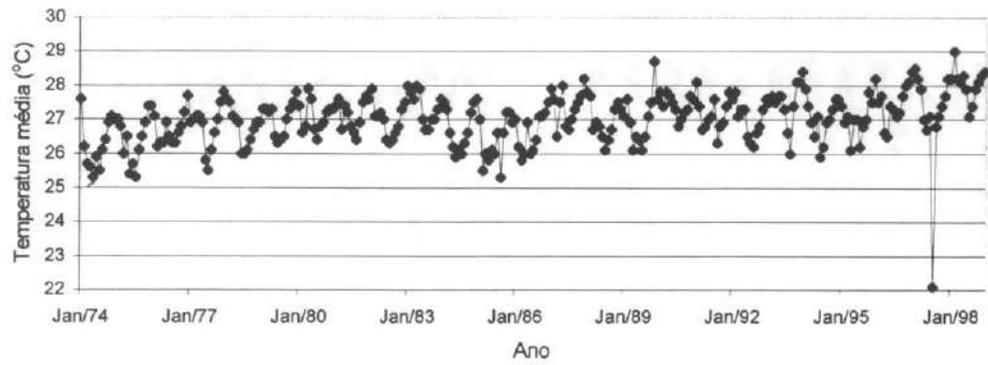
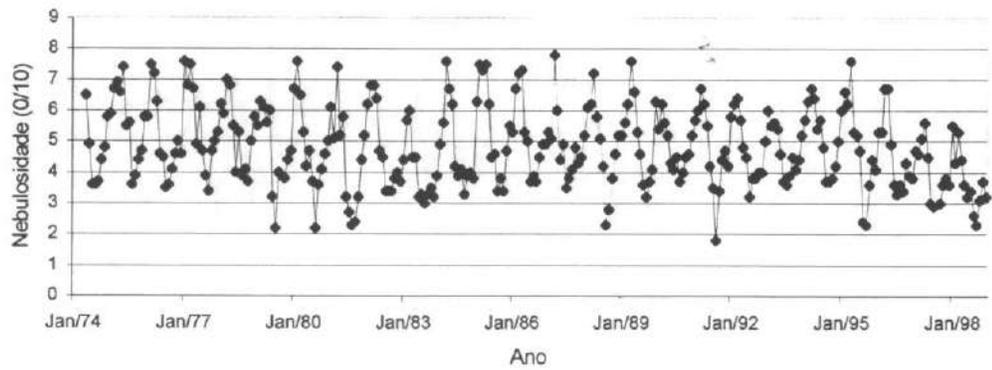


Figura 5.8 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação da FUNCEME  
(continuação)

c. Temperatura Média



d. Nebulosidade



e. Insolação

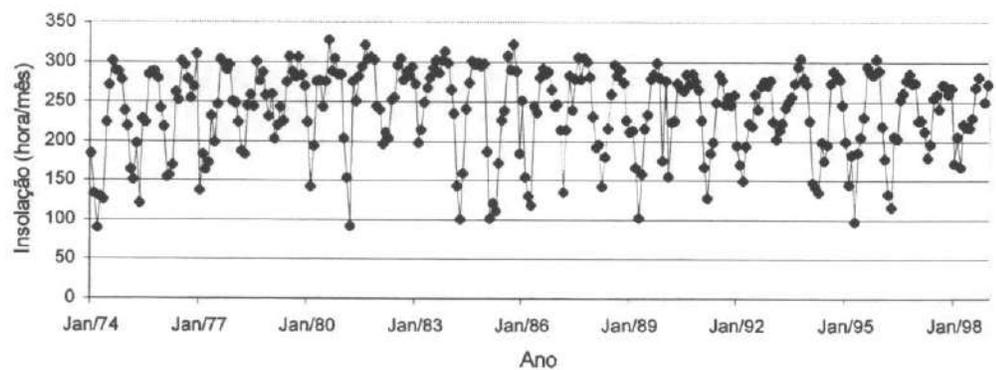
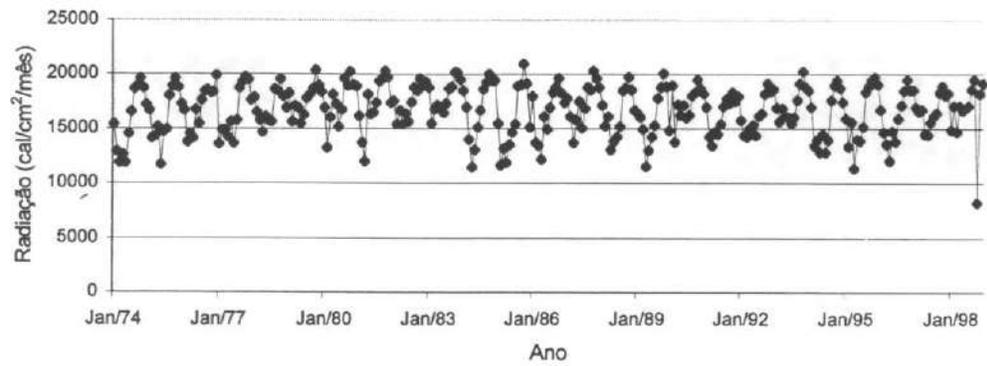
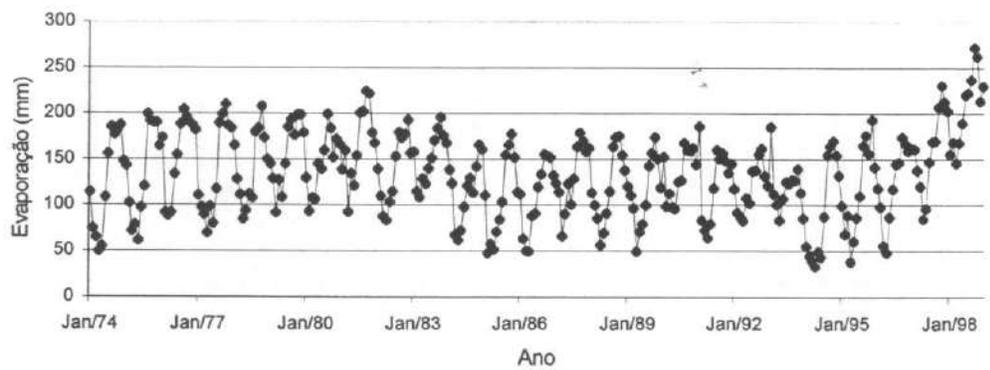


Figura 5.8 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação da FUNCEME  
(continuação)

f. Radiação solar



g. Evaporação



h. Evapotranspiração

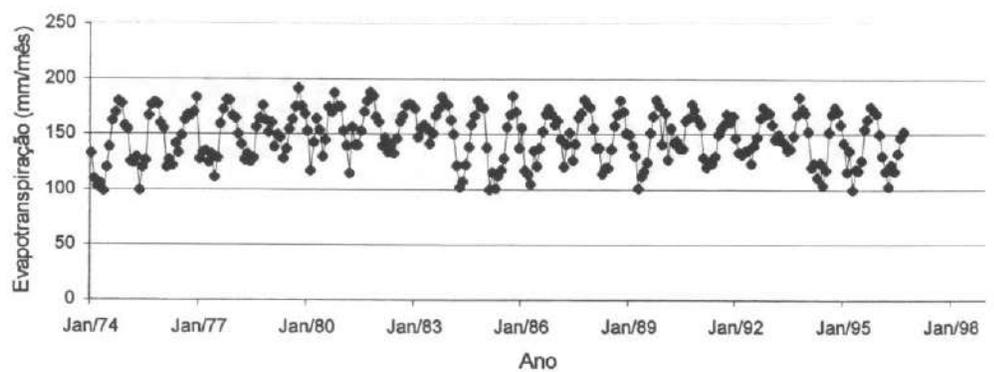
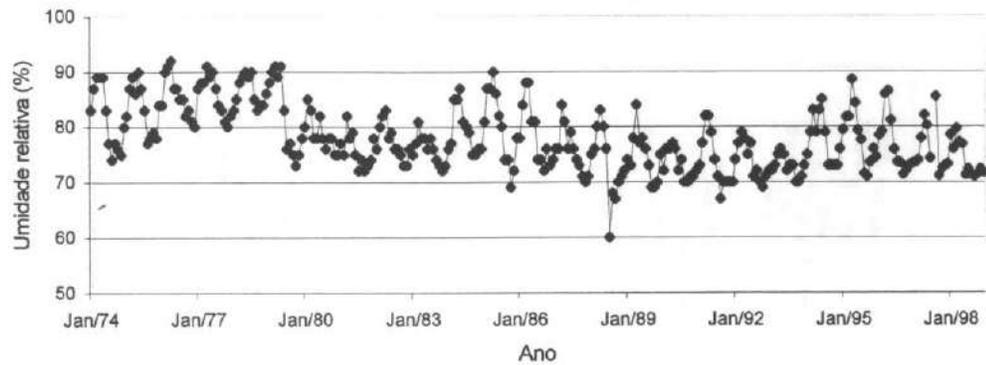
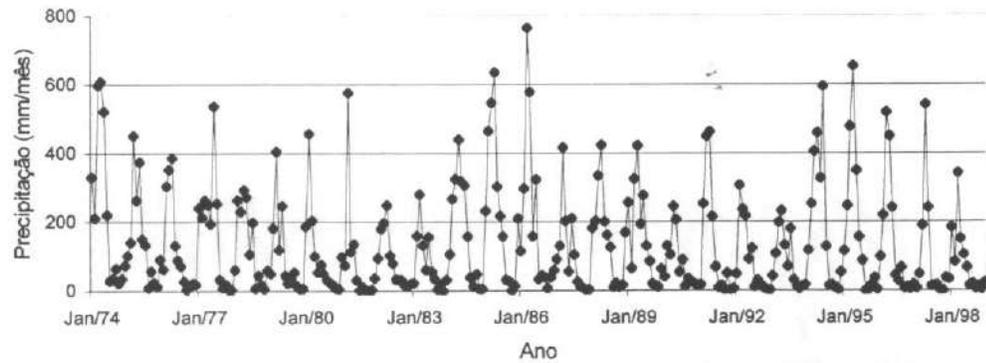


Figura 5.8 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação da FUNCEME  
(continuação)

i. Umidade relativa



j. Precipitação



k. Velocidade do vento

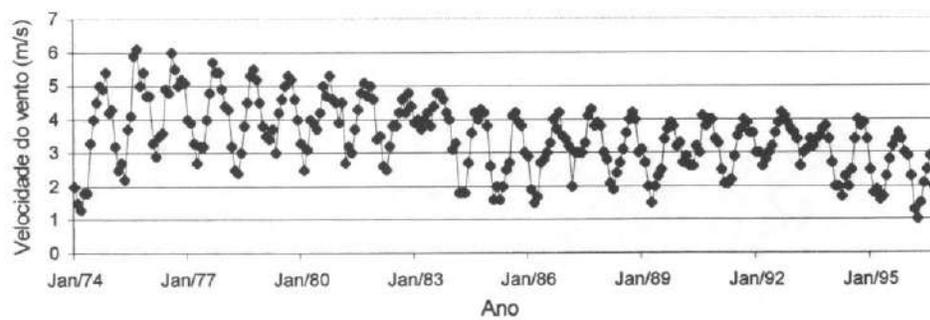
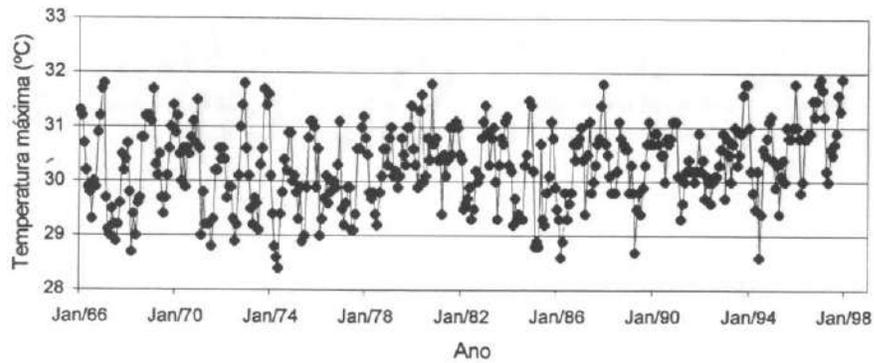
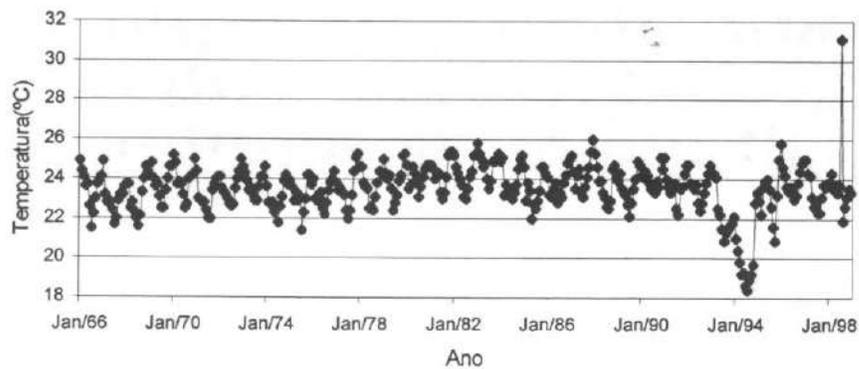


Figura 5.9 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação do INEMET-  
UFC

## a. Temperatura máxima



## b. Temperatura mínima



## c. Temperatura média

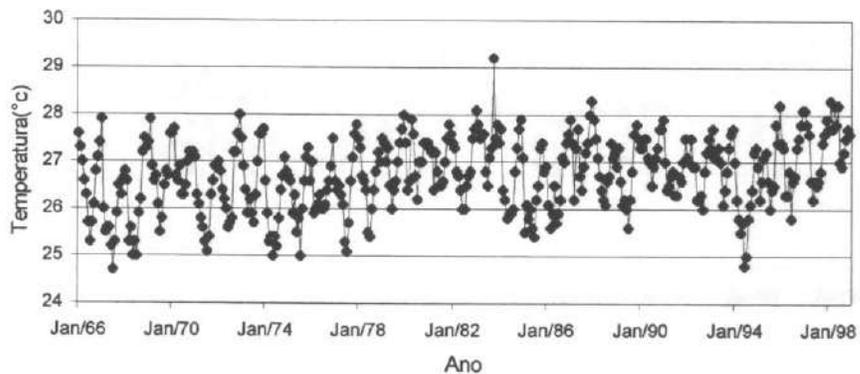
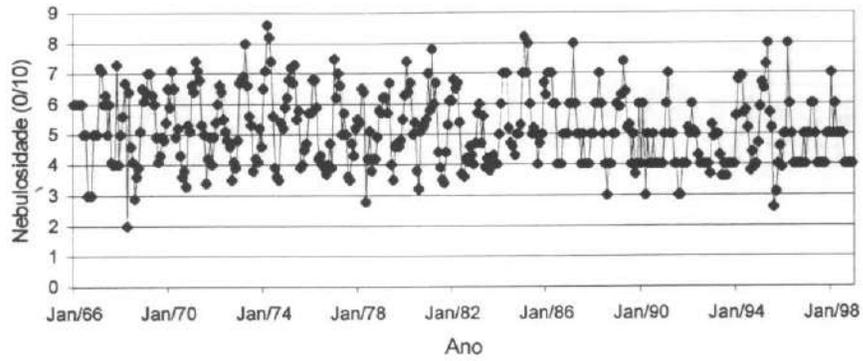
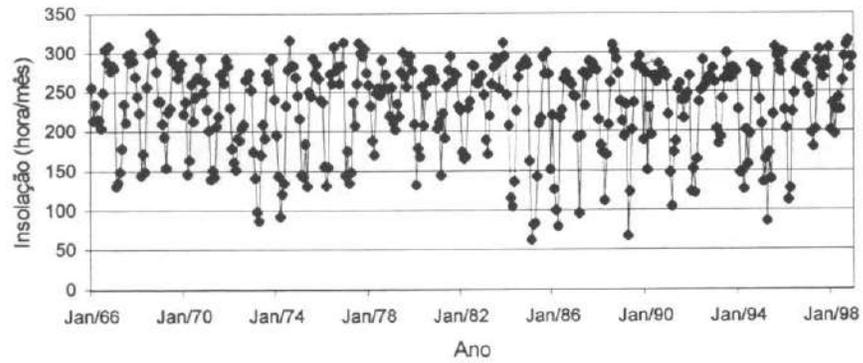


Figura 5.9 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação do INEMET-UFC  
(continuação)

d. Nebulosidade



e. Insolação



f. Radiação solar

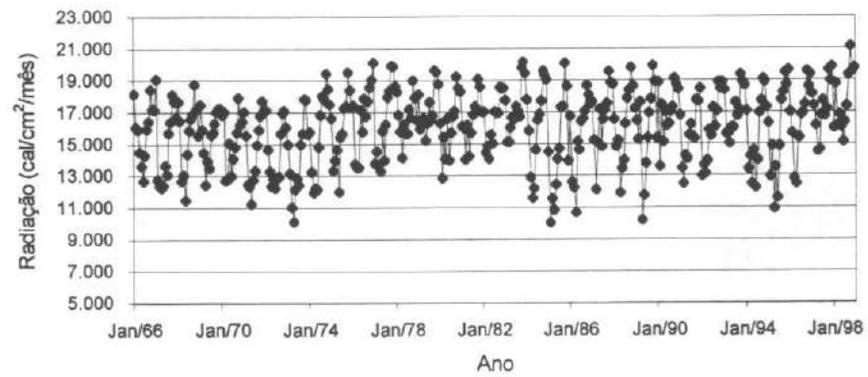


Figura 5.9 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação do INEMET-UFC  
(continuação)

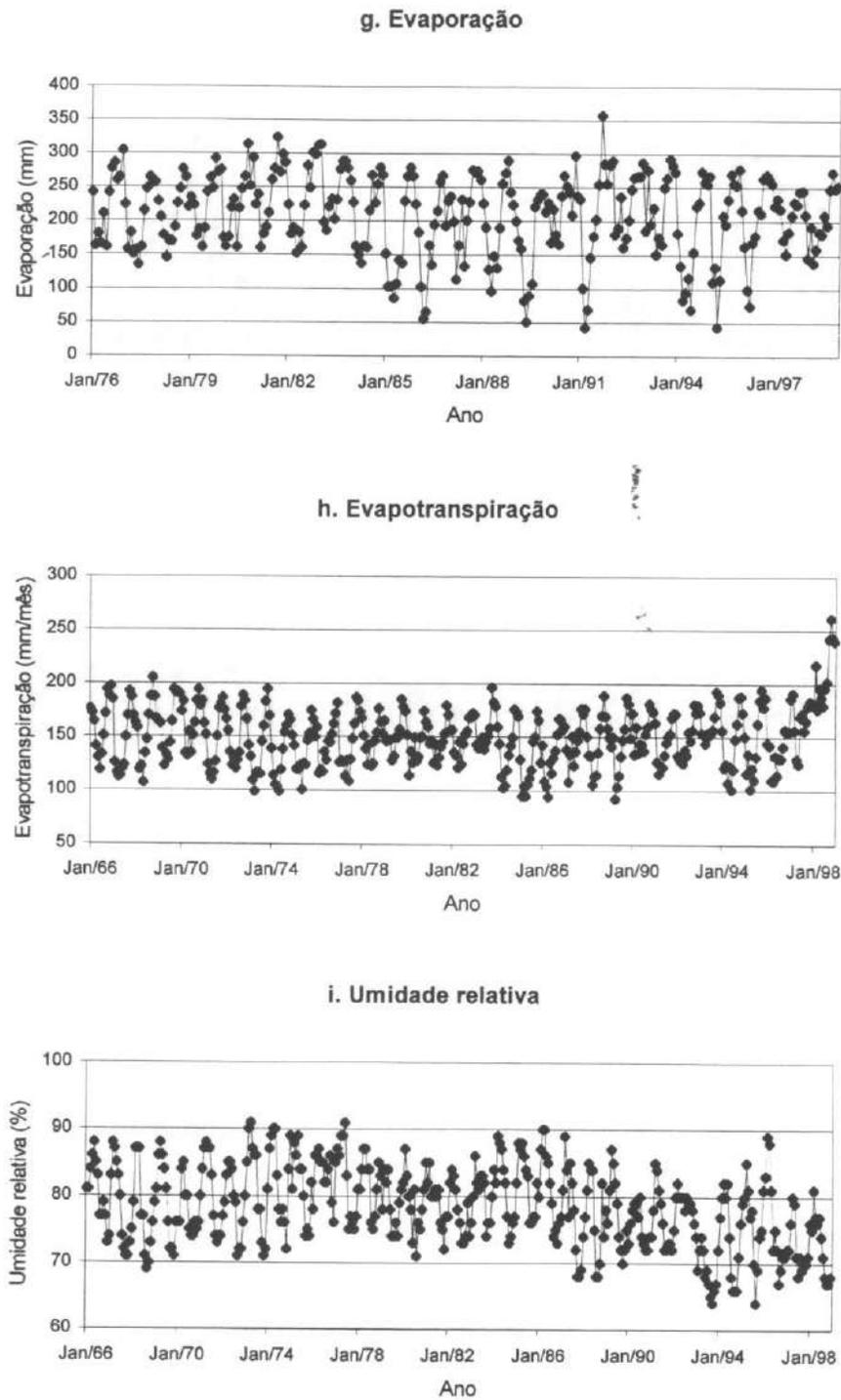
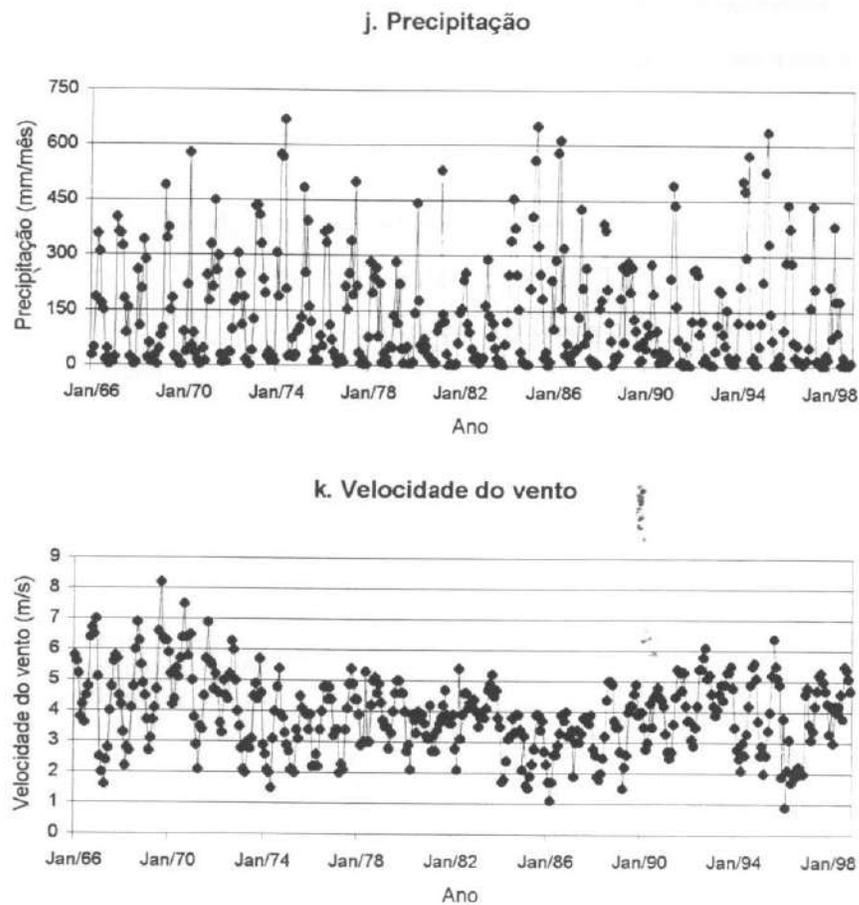


Figura 5.9 – Sazonalidade das variáveis climáticas da Estação do INEMET-UFC  
(continuação)



#### 5.2.4 Procedimento para o Teste da Hipótese H.2

Após a identificação e remoção da componente sazonal da série temporal, testa-se a tendência para cada variável através do Teste do Sinal (Cox – Stuart). A Tabela 5.4 apresenta o resultado do teste para tendência, o qual foi utilizado para testar as hipóteses formuladas H.2 e H.3.

Quando o valor da estatística do teste apresenta-se dentro do intervalo de aceitação ( $\limite\ inferior \leq estatística\ do\ teste \leq limite\ superior$ ), aceita-se a hipótese nula ( $H_0$ : não existe tendência). Quando o valor do teste é menor que o

limite inferior, há uma tendência decrescente, e quando é maior que o limite superior, a variável apresenta uma tendência ascendente, aceitando-se a hipótese alternativa ( $H_1$ : existe tendência na série). As diferenças apresentadas nos limites dos intervalos das variáveis se devem aos diferentes tamanhos das amostras.

Tabela 5.4 – Tendência das variáveis climáticas para as estações da FUNCEME e do INEMET-UFC

| Variáveis climáticas | Estatística do teste para tendência |                    |                                 |                    |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
|                      | FUNCEME                             |                    | INEMET-UFC                      |                    |
|                      | Intervalo de aceitação de $H_0$     | Valor              | Intervalo de aceitação de $H_0$ | Valor              |
| Nebulosidade         | 62,1 85,9                           | 52 <sup>(1)</sup>  | 85,2 112,8                      | 80 <sup>(1)</sup>  |
| Insolação            | 63 87                               | 63 <sup>(1)</sup>  | 85,2 112,8                      | 101                |
| Radiação solar       | 63 87                               | 64                 | 85,2 112,8                      | 117 <sup>(1)</sup> |
| Evaporação           | 63 87                               | 51 <sup>(1)</sup>  | 57 81                           | 60                 |
| Evapotranspiração    | 57 80                               | 52 <sup>(1)</sup>  | 85,2 112,8                      | 103                |
| Umidade relativa     | 63 87                               | 27 <sup>(1)</sup>  | 85,2 112,8                      | 64 <sup>(1)</sup>  |
| Precipitação         | 63 87                               | 75                 | 85,2 112,8                      | 95                 |
| Temperatura média    | 63 87                               | 110 <sup>(1)</sup> | 85,2 112,8                      | 134 <sup>(1)</sup> |
| Temperatura máxima   | 63 87                               | 120 <sup>(1)</sup> | 85,2 112,8                      | 130 <sup>(1)</sup> |
| Temperatura mínima   | 63 87                               | 95 <sup>(1)</sup>  | 85,2 112,8                      | 105                |
| Velocidade do vento  | 57 80                               | 10 <sup>(1)</sup>  | 85,2 112,8                      | 84 <sup>(1)</sup>  |

(1) significativa a 5%.

Os resultados encontrados testam as hipóteses:

H.2: *Existem alterações climáticas nas estações do INEMET-UFC e FUNCEME, ao longo dos anos.*

H.3: *A FUNCEME apresenta um maior número de alterações climáticas que o INEMET-UFC.*

Com relação as hipóteses secundárias da hipótese principal H.2, nem todas superam os testes. Na estação da FUNCEME, são aceitas as hipóteses:

H.2.4: *A evaporação decresce ao longo dos anos.*

H.2.5: *A evapotranspiração decresce ao longo dos anos.*

H.2.6: *A umidade relativa decresce ao longo dos anos.*

H.2.8: *A temperatura máxima cresce ao longo dos anos.*

H.2.9: *A temperatura mínima cresce ao longo dos anos.*

H.2.10: *A temperatura média cresce ao longo dos anos.*

H.2.11: *A velocidade do vento decresce ao longo dos anos.*

Foram rejeitadas as hipóteses:

H.2.1: *A nebulosidade cresce ao longo do tempo.*

H.2.2: *A radiação solar que chega à superfície terrestre decresce.*

H.2.3: *O número de horas de brilho solar, insolação, decresce.*

H.2.7: *A precipitação aumenta ao longo dos anos.*

No INEMET-UFC foram aceitas as hipóteses:

H.2.6: *A umidade relativa decresce ao longo dos anos.*

H.2.8: *A temperatura máxima cresce ao longo dos anos.*

H.2.10: *A temperatura média cresce ao longo dos anos.*

H.2.11: *A velocidade do vento decresce ao longo dos anos.*

Foram rejeitadas as hipóteses:

H.2.1: *A nebulosidade cresce ao longo do tempo.*

H.2.2: *A radiação solar que chega à superfície terrestre decresce.*

H.2.3: *O número de horas de brilho solar, insolação, decresce.*

H.2.4: *A evaporação decresce ao longo dos anos.*

H.2.5: *A evapotranspiração decresce ao longo dos anos.*

H.2.7: *A precipitação aumenta ao longo dos anos.*

H.2.9: *A temperatura mínima cresce ao longo dos anos.*

Esse resultado faz pensar em duas novas proposições:

1. O grau de urbanização pode não ser tão intenso para provocar alterações em todos os parâmetros.
2. As variáveis envolvidas nas hipóteses rejeitadas podem estar sofrendo interferências de causas naturais, fatores globais, ou locais, não relacionados nesse estudo, ou mesmo sujeitas ao viés de origem instrumental.

Um fato a ser observado é a alteração da insolação na estação da FUNCEME e da velocidade do vento, nebulosidade e radiação solar no INEMET-UFC. Para essas variáveis o valor da estatística do teste encontra-se muito próximo do intervalo de aceitação de  $H_0$ , o que indica que ao nível de significância de 5%, a

existência de tendência na série destes elementos não é tão significativa, requerendo maior investigação.

Além disso, outro aspecto observado se deve ao aumento da radiação solar no INEMET-UFC, sem que tenha havido uma tendência ao aumento da insolação, visto que a radiação é calculada a partir da insolação. Isto leva a considerar este resultado um fato desconhecido que deve ser investigado posteriormente.

No entanto, há uma comprovação da hipótese H.3, mostrando que a FUNCEME (área mais urbanizada) apresenta um maior número de alterações (três a mais) que o INEMET-UFC (área menos urbanizada). Este resultado confirma a teoria que diz: quanto maior a urbanização, maiores são as alterações climáticas. Portanto, provavelmente, essas alterações estejam relacionadas com a urbanização, principalmente, devido à proximidade entre as duas áreas. Entretanto, nesse estudo, isso é algo que não pode ser afirmado com precisão.

A seguir, procura-se esclarecer a origem das alterações apresentadas pelas hipóteses aceitas, tomando-se como base a revisão bibliográfica e a influência dos elementos urbanos.

### 5.2.5 Natureza das alterações climáticas apresentadas

#### *Velocidade do vento*

A rugosidade da superfície altera o fluxo padrão do vento regional. Os edifícios funcionam como barreira, reduzindo a velocidade do vento à medida que se aproxima do nível do solo e provocando um desvio da sua direção. Por conseguinte, tem-se diferentes pressões em torno dos obstáculos e a criação de sombras de vento no lado oposto à incidência do fluxo. A intensidade da turbulência e o tamanho da sombra de vento dependem das formas, dimensões e disposições dos elementos urbanos.

*Evaporação, evapotranspiração e umidade relativa*

A presença de água na superfície terrestre favorece a troca de calor por evaporação, proporcionando um resfriamento da superfície do solo. Segundo Ayoade (1991), o principal fator que determina a taxa de evaporação e evapotranspiração é a disponibilidade de umidade na superfície; o outro é a capacidade evaporativa do ar, a qual está em função da radiação solar, da temperatura, da velocidade do vento e da umidade.

A evapotranspiração mede a perda de água das superfícies com vegetação. A transpiração vegetal é responsável pelo resfriamento da folhas e do ar em contato com elas, e a presença da vegetação retarda a evaporação da água do solo, fazendo com que, dentro de um agrupamento vegetal, a umidade seja constante e elevada durante todo o dia.

Ambos processos promovem um aumento na umidade atmosférica e uma redução da temperatura do ar, reduzindo também a capacidade do ar em reter vapor d'água. Entretanto, no meio urbano, o elevado índice de impermeabilização do solo, a deficiência de áreas verdes e a pequena disponibilidade de água na superfície reduzem a troca de calor por evaporação, fazendo com que os níveis de umidade relativa sejam reduzidos e a maior parte da energia radiante seja utilizada para aquecer o ar.

*Temperatura máxima, mínima e média*

No meio urbano, a radiação de entrada que atinge as superfícies horizontais e verticais depende da altura e do afastamento entre os edifícios e, da largura e orientação das ruas.

Primeiramente, a radiação solar atinge as superfícies superiores das edificações, onde a quantidade absorvida e refletida dependem do albedo dos telhados e da percentagem de área urbana coberta por edifícios. Posteriormente, as verticais, sendo que somente uma pequena parte é refletida para o céu, resultando numa diminuição do albedo e numa maior absorção. Por fim, uma pequena porção pode alcançar diretamente o solo, ou só o atingirá após sucessivas reflexões.

Parte da porção absorvida pelo solo e superfícies impermeabilizadas é armazenada e liberada somente à noite, com a mesma dificuldade com que a radiação solar entrou durante o dia. A outra parte é transferida para o ar como calor sensível por meio da condução e convecção, elevando a sua temperatura, ou, caso exista umidade na superfície, como calor latente, proporcionando um resfriamento da superfície e do ar.

Além da distribuição espacial dos fluxos de radiação, tem-se que a maior parte do solo de uma cidade é coberta por superfícies pavimentadas e edifícios constituídos de materiais artificiais com propriedades térmicas e cores diferentes. Normalmente, tais materiais favorecem uma maior absorção de calor durante o dia. Outro fator que também influencia na quantidade de calor absorvido por uma cidade é a morfologia urbana, devido à densidade das áreas construídas e à existência e disposição de corpos d'água, áreas verdes e espaços livres.

A temperatura máxima do ar em contato com o solo ocorre simultaneamente com a da superfície do solo. O ar aquecido, por condução, inicia o processo de convecção livre, fazendo com que sua temperatura seja lentamente aumentada. Isto provoca um atraso da temperatura máxima à medida que se afasta do solo. Em geral, a 2m de altura, ela ocorre duas horas depois do solo ter alcançado a sua. A partir de então, inicia-se o processo de resfriamento da superfície terrestre.

Durante a noite, na ausência de radiação solar, quem prevalece é a radiação de saída. Os processos de transferência de calor continuam, sendo que o sentido do fluxo se inverte. No solo, passa a ser ascendente, proporcionando um resfriamento mais rápido da sua superfície que das camadas mais profundas e, no ar, descendente. Esse processo também proporciona um atraso das temperaturas mínimas à medida que se distancia do solo.

No entanto, a quantidade de alvenaria presente na cidade faz com que ela se resfrie mais lentamente, resultando numa retenção de calor à noite. Isto acontece porque a inércia térmica dos materiais dificulta a liberação do fluxo de calor sensível e porque a maior parte da abóbada celeste é bloqueada por outros

edifícios, não permitindo uma perda significativa de calor, o qual acaba sendo reabsorvido pelas superfícies.

Além disso, a convecção, que é a troca de calor mais significativa, é reduzida durante a noite devido à sua componente vertical que acompanha o balanço de radiação. Todos esses fatores contribuem para a redução do resfriamento da superfície do solo e a elevação das temperaturas mínimas.

Portanto, a redução da velocidade do vento e da umidade, reduzindo a troca de calor por convecção e evaporação, a deficiência de vegetação e superfícies aquáticas, a elevada capacidade térmica e condutibilidade dos materiais de construção e a resistência criada por eles na transferência de calor, juntamente com o calor adicional gerado pelas atividades antropogênicas, são fatores que estão relacionados com a elevação das temperaturas máxima, mínima e médias.

#### *Nebulosidade, insolação e radiação solar*

A quantidade de nuvens está associada à condensação do vapor d'água e este, geralmente, ocorre quando o ar se resfria além de seu ponto de orvalho, pois o decréscimo da temperatura reduz a capacidade do ar de reter a umidade em forma de vapor.

Como ressaltado na revisão da literatura, o processo mais efetivo é o resfriamento por expansão adiabática, no qual uma massa de ar, mais quente que o ar circundante, se eleva e sofre uma queda de temperatura além do seu ponto de orvalho. Entretanto, só esse resfriamento não é suficiente para que haja a condensação, sendo necessário que existam núcleos de condensação, também conhecidos como higroscópicos, de origem natural ou artificial.

A presença desses núcleos faz com que a condensação ocorra mesmo antes do ar apresentar-se saturado. Segundo Ayoade (1991), existem experiências que têm mostrado que o ar puro resfriado além do seu ponto de orvalho torna-se somente supersaturado; a condensação pode não ocorrer mesmo que a umidade relativa seja maior que 100%.

Além disso, existe variação com relação ao tamanho dos núcleos. Quando muito pequenos (raio de aproximadamente  $0,001\mu\text{m}$ ), são pouco eficazes, pois não apresentam uma superfície de contato muito grande; quando muito grandes (raio de aproximadamente  $10\mu\text{m}$ ), não permanecem em suspensão por muito tempo. Portanto, os melhores núcleos são os de tamanho situado entre os dois extremos (Barry e Chorley, 1976 *apud* Ayoade, 1991).

Ao atravessar a atmosfera terrestre, a intensidade da radiação solar é atenuada pela absorção, reflexão e dispersão. Por esse motivo, a quantidade de nuvens influencia no número de horas de brilho solar (insolação) e, conseqüentemente, na intensidade da radiação solar que atinge o solo. A redução na quantidade de nuvens aumenta a insolação e permite que uma maior porção da radiação solar atravesse a atmosfera sem qualquer interação com ela, aumentando a porção que atinge, diretamente, a superfície do solo.

### 5.3 Comportamento climático nas áreas de estudo

#### 5.3.1 Comportamento climático da Área I, INEMET-UFC

A Área I corresponde à região com maior quantidade de vegetação, superfície aquática e menor densidade de construção. A maior parte da área é ocupada por uso predominantemente institucional, não apresentando grande ocupação e nem grandes alterações ao longo do tempo. Essas condições favorecem a evaporação e a evapotranspiração. No entanto, provavelmente, não são suficientes para evitar uma elevação da temperatura.

Com um assentamento do tipo horizontal e denso e pouca proteção contra a radiação solar, essa área favorece a absorção da radiação solar durante o dia, o que, possivelmente, esteja contribuindo para o aumento da temperatura máxima e, conseqüentemente, da média. No entanto, a mínima permanece estável, provavelmente, por dois motivos:

1. Na ocupação horizontal, à noite, as superfícies verticais emitem a radiação para o céu mais facilmente, não retendo calor ao nível do solo.
2. Não há um aumento da nebulosidade, facilitando a perda da radiação para o espaço.

As edificações em torno da estação do INEMET-UFC possuem, no máximo, dois pavimentos e a maioria não se localiza na direção predominante do vento regional, não se constituindo um obstáculo a ele. Provavelmente, este seja um dos motivos que fazem com que a velocidade do vento não tenha sofrido uma alteração tão significativa.

Observa-se também que, apesar da maior presença de vegetação e corpos d'água e menor superfície impermeabilizada, presencia-se uma redução na umidade relativa. A própria elevação da temperatura pode estar contribuindo para isso, pois, mesmo que não tenha havido uma diminuição ou aumento no conteúdo de umidade atmosférica, a capacidade do ar de reter vapor d'água é ampliada, reduzindo a umidade relativa.

### 5.3.2 Comportamento climático da Área II, FUNCEME

Quanto mais distantes os valores dos testes estiverem do intervalo, maior é a intensidade da alteração. Portanto, verifica-se que há uma elevação muito maior da temperatura máxima, nessa área, que mínima, o que não implica na redução da amplitude térmica, uma das condições estabelecidas por Dettwiller (1970 *apud* Xavier, 1996c) para a existência de Ilha de Calor.

A elevação nas temperaturas, provavelmente, se deva à quantidade de massa edificada dessa área, onde observa-se uma ocupação predominantemente horizontal, mas com algumas verticalizações. A redução significativa da velocidade do vento e da presença de superfícies evaporativas também pode estar contribuindo para esse incremento.

A área II, com uma superfície mais impermeabilizada, menor presença de vegetação e corpos d'água, apresenta uma tendência à redução da evaporação e evapotranspiração. O valor do teste para a evapotranspiração é muito próximo do limite do intervalo, o que leva a acreditar que, provavelmente, a redução das áreas verdes esteja começando a afetar o clima dessa área. Novamente, a redução na velocidade do vento também pode ser um dos fatores que estão contribuindo para essa queda.

A umidade relativa está associada à disponibilidade de água na superfície e à capacidade de retenção de vapor d'água do ar. A carência de superfícies evaporativas e a impermeabilização reduzem a quantidade de água na superfície, enquanto a elevação da temperatura aumenta a capacidade de retenção do vapor d'água; esta situação pode estar contribuindo para a redução da umidade.

Normalmente, as edificações obstruem a passagem do vento regional, reduzindo sua velocidade e desviando sua direção. É interessante notar que as edificações não apresentam muitas diferenças com relação às alturas e que o afastamento entre elas é pequeno, quando, em alguns pontos, não se encontram conjugadas. Esta situação favorece a redução da velocidade do fluxo do ar e um maior desvio. Outro fator que deve ser considerado com relação à velocidade do vento é a presença de edifícios em torno da estação, funcionando como barreiras artificiais, principalmente, na direção predominante do fluxo regional.

Um fato, notavelmente, interessante é a redução da nebulosidade, o que, até certo ponto, pode indicar uma redução dos núcleos de condensação, oriundos da poluição atmosférica natural ou artificial; no entanto, requer um estudo mais aprofundado, principalmente, porque contradiz o que comumente acontece nos centros urbanos.

A redução da nebulosidade também favorece a perda, para o espaço, da radiação de saída, influenciando na temperatura mínima. Esta pode estar sendo elevada devido à retenção de calor, à noite, causada pela inércia térmica dos materiais e obstrução do fator de céu visível em virtude da maior densidade de construção.

Como pode-se ver, existem muitos elementos urbanos que não foram mensurados, mas podem estar envolvidos nessas alterações. Por esse motivo, não se pode precisar que as alterações estejam sendo provocadas pela urbanização. No entanto, de acordo com a revisão da literatura, o resultado é bastante promissor, principalmente, porque as características físicas de Fortaleza não impõem obstáculos ao clima e as duas áreas são muito próximas, estando sujeitas aos mesmos fenômenos meteorológicos que porventura venham a acontecer.

## Capítulo 6

### Conclusão e recomendações

No processo de expansão urbana, comumente, presenciaram-se situações que promovem significativas alterações climáticas. Na literatura, os elementos e problemas urbanos mais relacionados com tais alterações são a:

- densidade de construção,
- existência e localização de edifícios altos,
- impermeabilização do solo,
- utilização de materiais artificiais com propriedades térmicas diferentes,
- carência de verde urbano,
- canalização e aterros de corpos d'água,
- poluição atmosférica e
- atividades antropogênicas.

Ao listar esses fatores, observa-se que existe uma inter-relação entre o solo, a água e o ar. Também percebe-se que, além do clima, as modificações do ambiente das cidades se manifestam na qualidade do ar, no ciclo hidrológico, nas características do solo e na vegetação, trazendo impactos para cada um desses sistemas. Todavia, ressalta-se a importância das áreas verdes no melhoramento das condições ambientais e da qualidade de vida urbana.

A descrição dos impactos permite ver a cidade como um ecossistema urbano, onde, no centro dele, está o homem. Este, interage, continuamente, com os ambientes de entrada, saída e com o seu próprio meio e, sofre as conseqüências da sua intervenção. No entanto, é ele quem tem o poder de inicializar e realizar as transformações no meio urbano, podendo impedir, minimizar ou gerar problemas ecológicos.

A cidade de Fortaleza não foge à regra. Nela, também evidenciam-se alterações climáticas e tudo parece indicar que sejam provocadas pelo processo de urbanização, o qual possui uma estreita relação com as decisões do poder público.

Identifica-se, como um período negro, o intervalo entre as décadas de 30 e 70, quando observa-se uma desconsideração, por parte dos governantes, da qualidade ambiental. Da década de 70 aos dias atuais, os órgãos responsáveis pelo planejamento urbano da cidade vêm tentando reestruturar o meio urbano. A nova lei de uso e ocupação do solo demonstra essa preocupação com a qualidade ambiental.

No entanto, ainda evidenciam-se situações ilegais, algumas delas visando atender ao interesse de poucos e têm a permissão do poder público; outras, são geradas pela própria população, em virtude da falta de compreensão do meio como um todo, ou falta de fiscalização, ou ineficiência do planejamento urbano.

Com base nos impactos provocados pela urbanização, o planejamento urbano torna-se muito dependente dos processos naturais presentes nos elementos da paisagem, dentre eles, do processo de formação do solo, da vida vegetal e animal, das características hidrológicas e dos processos climáticos.

Isto resulta em imposições à ocupação do solo, atribuindo princípios fundamentais na sua organização. Para tanto, é necessário que o homem avalie o poder de conformação dos seus empreendimentos com os processos naturais, interferindo de maneira consciente no meio em que vive.

Em uma generalização, pode-se dizer que os problemas ambientais, presentes nas cidades, são gerados pelo uso indiscriminado do solo e pela má localização e dimensionamento dos elementos urbanos. Pois, à medida que o homem favorece a expansão urbana, ele não considera a capacidade de recuperação do sistema natural e nem é capaz de recriar um ambiente artificial estável, que obedeça as mesmas ordenações presentes na natureza.

## 6.1 Síntese dos principais resultados obtidos

### 6.1.1 Relacionamento entre as variáveis climáticas

Quando verifica-se o relacionamento linear entre as variáveis climáticas identificam-se alguns dos processos climáticos descritos na revisão da literatura, sendo possível identificar, pela interpretação da origem do relacionamento, uma seqüência de acontecimentos.

A maioria dos coeficientes de correlação encontrados mostra um fraco relacionamento linear entre as variáveis climáticas, o que faz pensar na existência de outros fatores que podem estar interferindo no resultado. Esse fato torna-se mais evidente quando observa-se que na estatística do teste, com um nível de significância de 5% e um grau de liberdade muito grande, a maioria das hipóteses nulas é rejeitada, mostrando que existe correlação entre as variáveis.

Provavelmente, o fato da correlação entre nebulosidade e temperatura média não ter sido significativo se deva à redução da nebulosidade na área da estação da FUNCEME.

### 6.1.2 Comportamento climático das duas áreas de estudo

#### *Sazonalidade*

As variáveis climáticas de ambas as estações apresentam um comportamento sazonal. Este fato era de se esperar, visto que o Movimento de Translação da

Terra em torno do Sol, juntamente com a sua declinação com relação ao plano elíptico do Sol e a latitude, influenciam na intensidade de iluminação e radiação solar recebida pela superfície terrestre, bem como dos demais elementos que dependem da radiação.

### *Alterações climáticas*

Como ressaltado na literatura, além da diversidade dos fatores locais, são muitas as variáveis que podem estar envolvidas nas alterações ambientais, como é o caso dos fatores globais e causas naturais.

Entretanto, ambas as áreas possuem, praticamente, as mesmas coordenadas geográficas, a mesma altitude, não apresentam cadeias montanhosas e, provavelmente, estão sujeitas a mesma circulação atmosférica e mesmos fenômenos naturais que porventura possam se manifestar.

Outro aspecto relevante é o fato de que, apesar da urbanização, nas duas áreas, apresentarem-se semelhante, existem algumas diferenças detectadas na observação visual, dentre elas destacando-se a densidade de construção, o que mostra a sua influência nas alterações climáticas.

A proximidade entre as áreas também leva a acreditar que as alterações encontradas sejam causadas pela urbanização, principalmente, quando se verifica, através da literatura, a possível origem de tais alterações. No entanto, como as duas áreas encontram-se em uma zona urbanizada e são semelhantes, para que se pudesse visualizar melhor esse efeito, era necessário que a área correspondente à estação da FUNCEME fosse mais urbanizada, ou fosse considerada uma outra região mais urbanizada.

Os parâmetros climáticos que apresentaram alterações na área da FUNCEME foram: nebulosidade, evaporação, evapotranspiração, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e temperaturas média, máxima e mínima, contabilizando um total de nove alterações contra seis no INEMET-UFC. Dentre elas, as mais

relevantes são: a redução da nebulosidade, umidade relativa e velocidade do vento e o aumento das temperaturas mínima, máxima e média.

Na área I, provavelmente, a maior proporção de superfícies evaporativas, com menor pavimentação e edificações e a tipologia de ocupação, predominantemente horizontal, estejam proporcionando um menor número de alterações. As mais evidentes são: o acréscimo das temperaturas média e máxima e a redução da umidade relativa. Todavia, é importante salientar que, em ambas estações, os dados coletados são secundários e podem estar sujeitos a erros de origem instrumental e/ou durante o manuseio desses dados.

### 6.1.3 Aspectos relevantes para o conforto térmico

Para que se mantenha um estado de conforto térmico, o corpo humano tem que estar em equilíbrio com o ambiente em que se encontra. Dentre os fatores ambientais, as variáveis climáticas envolvidas no ganho de calor pelo corpo humano são: a radiação solar direta, difusa e refletida, a energia radiante e a temperatura do ar. A perda de calor pelo corpo se dá, basicamente, pelo processo de evaporação, o qual depende da umidade da pele e da capacidade evaporativa do ar, e pela troca de calor por convecção.

Portanto, das variáveis que apresentam alterações, as que possivelmente estão, diretamente, relacionadas com o conforto térmico são: a elevação das temperaturas e a queda da velocidade do vento. Neste caso, verifica-se que a região mais urbanizada, área II, apresenta condições mais desfavoráveis ao conforto térmico.

Além disso, como o clima de Fortaleza é considerado estressante, devido à intensa radiação solar e à elevada umidade relativa, em uma análise mais aprofundada, será possível verificar que, provavelmente, exista uma certa probabilidade de que as alterações no estresse térmico psicológico seja mais intensa que as alterações climáticas.

## 6.2 Recomendações

Levando em consideração os resultados encontrados nesse estudo, recomenda-se:

- O estabelecimento de um maior afastamento entre as edificações.
- Uma maior arborização dos passeios.
- Manutenção e criação de áreas verdes, principalmente, em torno dos recursos hídricos existentes e nas direções das entradas do fluxo de ar.
- Uso de paralelepípedos para a pavimentação das vias comercial, local e paisagística.
- Incentivo à arborização nos lotes urbanos e ao uso, sempre que possível, de materiais de construção que tenham baixa capacidade de armazenamento de calor.
- Estabelecimento, dentro das zonas comerciais e residenciais, de um subzoneamento, visando criar uma porosidade e, assim, favorecer a ventilação urbana.
- Dependendo da altura dos edifícios, criar pavimentos intermediários para ventilação, permitindo uma maior porosidade do meio urbano.
- Sombreamento das superfícies verticais mais expostas à radiação solar mais intensa.

## 6.3 Sugestões para trabalhos posteriores

Com relação a trabalhos posteriores, é sugerido:

- Analisar o processo de urbanização ao longo dos anos, de modo que permita o levantamento em série de alguns dados urbanos, para que se possa verificar o seu efeito nos parâmetros climáticos.
- Investigar a área destinada a praças e parques.
- Verificar, através de medições locais, em diversos pontos, o comportamento das variáveis climáticas no microclima.
- Verificar a influência dos parâmetros climáticos no conforto térmico, no ambiente externo.

- Verificar a causa que está associada à redução da nebulosidade nas estações da FUNCEME e INEMET-UFC, e ao aumento da radiação solar e insolação no INEMET-UFC e na FUNCEME, respectivamente.

#### 6.4 Limitações do estudo

Muitas foram as limitações encontradas, dentre elas, pode-se citar:

- Dificuldade na obtenção dos dados climáticos referentes à estação Rádio-Sonda, Castelão – Fortaleza, visto que todos os dados são arquivados em Recife e o 3º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia não dispõe de pessoas que possam atender às solicitações externas.
- Falta de um cadastro de imóveis e levantamento das áreas verdes do município, o que impediu o prosseguimento do estudo, fazendo com que ele fosse redirecionado. Tal fato trouxe, como consequência, uma restrição do tempo dedicado ao estudo, o que impossibilitou, inclusive, a obtenção dos dados da Estação do Aeroporto Internacional Pinto Martins.
- Dificuldade financeira para obtenção e medição de variáveis climáticas ao nível do microclima.

#### 6.5 Conclusão final

Apesar das dificuldades encontradas na realização desse estudo, considera-se que ele é de grande valia pelos resultados apresentados, pois possibilitam: a identificação de alterações climáticas, a análise da influência da urbanização e a confirmação do comportamento sazonal dos parâmetros climáticos.

Outrossim, tem-se, como aspecto relevante, a descrição dos impactos provocados pela urbanização, principalmente, os que se referem ao clima, alcançando o objetivo pessoal de levar às outras pessoas o entendimento básico dos processos naturais e das consequências das ações do homem no meio urbano.

No processo de desenvolvimento, normalmente, poucos ganham à custa de muitos que perdem, elevando os custos sociais a longo prazo. Considerar os processos naturais não significa se opor às mudanças ou ao desenvolvimento, mas direcioná-lo de forma que não seja destrutivo e que, mesmo sendo um ambiente artificial, seja possível criar um sistema equilibrado, sem a produção de uma grande quantidade de resíduos.

Neste sentido, muitas organizações internacionais iniciaram programas de apoio que visam conciliar urbanismo e a proteção ambiental, dentre elas, a OMM, a Comunidade Econômica Européia, a OMS e a UNESCO (Hahn e Simonis, 1991 e OMM, 1997).

Henry (1989) questiona ‘se o padrão de vida dos países ricos terá que ser reduzido para permitir um incremento no padrão de vida dos países pobres’ e pergunta: ‘será que isso pode acontecer pacificamente?’ Essa situação não se manifesta somente a nível mundial, mas também local, quando se verifica que o tratamento que se dá ao meio físico e para aqueles com quem se coabita é revelado pela própria estrutura urbana.

Somente reencontrando as leis que regem a natureza será possível reencontrar as leis que regem o próprio homem no seu meio e, assim, alterar ou reconstituir um ambiente, tornando os ecossistemas humanos auto-sustentáveis e reduzindo os impactos negativos provocados no meio ambiente. Dessa forma, os elementos acrescentados devem fazer parte da paisagem, compô-la e auxiliar no seu processo de recriação e não serem elementos estranhos a ela.

Neste processo, muitas são as áreas de conhecimento envolvidas, entre elas, a arquitetura e o urbanismo. Estas, representam os meios pelos quais o homem exprime sua cultura, história, poder econômico e avanços tecnológicos, ou seja, os valores materiais e morais da sociedade, em direto relacionamento com o espaço físico. Portanto, é nelas que está uma das principais oportunidades e limitações nas relações com a natureza, mediante o uso de projetos, leis e planos.

# Bibliografia

- ADERALDO, Mozart Soriano (1993) *História abreviada de Fortaleza e crônicas sobre a cidade amada*. 2ª edição. Fortaleza: Edições UFC.
- ALCÂNTARA, Fábio de, ABREU, Márcia Cristina dos S. e INOCÊNCIO, Aline C. (1990) 'Concentração de partículas em suspensão no espaço atmosférico do Rio de Janeiro e estudo dos processos atmosféricos atuantes – agosto de 1989'. Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro. pp. 680 – 684.
- ALCOFORADO, Maria João (1993) *O clima da região de Lisboa: contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- ALEXANDRE, João Welliandre C. (1999) *Uma investigação das práticas da gestão da qualidade total no setor manufatureiro do estado do Ceará*. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- ARAGÃO, Marrocos (09/09/1998) *Verticalização da cidade causa impacto ambiental: ao mesmo tempo que aumenta o número de prédios, vão diminuindo as áreas verdes*. Fortaleza: Jornal Diário do Nordeste, Caderno Cidade. pp. 8.
- ARAÚJO, Lúcia de F. Pereira e FARIAS, Magda Kokay (1998) *Qualidade do ar de Fortaleza e do distrito industrial de Maracanaú – Ceará*. Fortaleza: Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE.
- ARY NETO, Aziz (1997) *Conforto térmico e desenho de edificações na cidade de Fortaleza*. Tradução do original em alemão, da Dissertação de Mestrado em Tecnologia Tropical ( Fachhochschule Köln ) apresentada ao Instituto Fiir Tropicen – Technologie.
- ASSIS, Eleonora Sad de (1990) *Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da Ilha de Calor urbana: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Rio de Janeiro.

- AVISSAR, Roni (1996) 'Potencial effects of vegetation on the urban thermal environment', *Atmospheric Environment*, 30 (3), pp. 437 – 448.
- AYOADE, J. O. (1991) *Introdução à climatologia para os trópicos*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A.
- BAKER, Jeffrey J. W. e ALLEN, Garland E. (1975) *Estudo da biologia*. Tradução do original, em inglês, por Elfried E. Kirchner. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.
- BEASLEY, Robert Patrick (1972) *Erosion and sediment pollution control*. Ames, Iowa: Iowa State University Press.
- BEZERRA, Ricardo F. (1999) *Residential displacement among low-income groups in Fortaleza, Brazil*. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy.
- BITTENCOURT, Leonardo Salazar, CRUZ, Jorge Marcelo e LÔBO, Denise G. Ferreira (1997) 'A influência da relação entre taxa de ocupação x número de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos'. Anais do IV Encontro Nacional de Conforto na Ambiente Construído. Salvador. pp. 102 – 106.
- BRADY, Nyle C. (1989) *Natureza e propriedade dos solos*. Tradução do original, em inglês, por Antônio B. Neiva Figueiredo. 3ª edição. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos.
- BRANCO, S. M. e ROCHA, A. A. (1987) *Elementos de ciências do ambiente*. São Paulo: CETESB / ACETESB.
- BRASIL, Heliana M. da Silva (1996) *Influência da arborização no conforto térmico em Belém-Pará*. Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém.
- BUDYKO, Mikhail Ivanovich (1974) *Climate and life*. Traduzido do original, em russo, por David H. Miller. New York: Academic Press.
- BUENO, Carolina L., LABAKI, Lucila C. e SANTOS, Rozely F. dos (1997) 'Caracterização das espécies arbóreas e sua contribuição para o conforto térmico urbano do sub-distrito de Barão Geraldo, Campinas'. Anais do IV Encontro Nacional de Conforto na Ambiente Construído. Salvador. pp. 93 – 96.

- CAMPBELL, Scott (1996) 'Green cities, growing cities, just cities? Urban planning and the contradictions of sustainable development', *Journal of the American Planning Association*, 62 (3), pp. 296 – 312.
- CANTER, Larry W. (1996) *Environmental impact assessment*. 2<sup>th</sup> edition. New York: McGraw-Hill.
- Carta de Atenas (1960) *A Carta de Atenas*. Salvador: Faculdade de Arquitetura da Universidade da Bahia.
- CASTRÓ, José Liberal de (1982) 'Cartografia urbana fortalezense na colônia e no império e outros comentários'. In: Fortaleza (org) *A administração Lúcio Alcântara Março 79 / Maio 82*. Fortaleza: Gráfica Industrial S/A. pp. 23 – 81.
- DEGREAS, Helena Napoleon (1982) 'Paisagem e proteção ambiental: algumas reflexões sobre conceitos, desenhos e gestão do espaço', In: *Paisagem e ambiente*. São Paulo: FAUUSP. pp. 67 – 77.
- DEVLIN, Robert M. (1975) *Plant physiology*. 3<sup>th</sup> edition. New York: D. Van Nostrand Company.
- DREW, David (1989) *Processos interativos homem – meio ambiente*. 2<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A.
- ETHERINGTON, John R. (1975) *Environment and plant ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- EYRE, S. R. (1971) *Vegetation and soils: a world picture*. 2<sup>th</sup> edition. London: Edward Arnold Publishers.
- FERRARI, Célson (1991) *Curso de planejamento municipal integrado: urbanismo*. 7<sup>a</sup> edição. São Paulo: Pioneira.
- FERRI, Mário Guimarães (1983) *Botânica: morfologia externa das plantas*. 15<sup>a</sup> edição. São Paulo: Editora Nobel.
- FERRI, Mário Guimarães (1985) *Fisiologia vegetal*. Vol. 1. São Paulo: EPU, Editora da Universidade de São Paulo.
- FORTALEZA (1982) *A administração Lúcio Alcântara Março 79 / Maio 82*. Fortaleza: Gráfica Industrial S/A – GRAFISA.
- FREIRE, Gerardo Régis de P. (sem data) *Fortaleza: evolução urbana (1603 / 1979)*. Fortaleza: Imprensa Oficial do Ceará – IOCE.
- FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R. (1988) *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Nobel.

- GALERANI, Carlos, CHAVES, Elisa, FILHO, José M., SANTOS, Leonardo e SILVA, Paulo (1995) 'Controle da erosão urbana', In: TUCCI, Carlos E. M., PORTO, Ruben La L. e BARROS, Mário T. de (org) *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH / Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. pp. 349 – 385.
- GALINDO, I. (1986) 'Evaluation of the impact of some atmospheric elements on health'. In: World Climate Programme Applications (WCAP – No. 1) (org) *Climate and human health*. Proceedings of the Symposium in Leningrad – Volume I. Geneve: World Meteorological Organization.
- GEIGER, Rudolf (1950) *The climate near the ground*. Tradução do original, em alemão, por Milroy N. Stewart e outros. 2<sup>th</sup> edition. Massachusetts: Harvard University Press.
- GIVONI, Baruch (1976) *Man, climate and architecture*. 2<sup>th</sup> edition. London: Applied Science Publishers Ltd.
- GIVONI, Baruch (1989) *Urban design in different climates*. World Climate Programme Applications (WCAP – No. 10) – WMO/TD – No. 346. Geneve: World Meteorological Organization.
- GIVONI, Baruch (1997) *Climate considerations in building and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- GOLANY, Gideon S. (1996) 'Urban design morphology and thermal performance', *Atmospheric Environment*, 30 (3), pp. 455 – 465.
- GOMEZ, Antonio L., GOMEZ, Julia L., GARCIA, Felipe F. e JIMENEZ, Antonio M. (1993) *El clima urbano: teledetección de lá isla de calor en Madrid*. Madrid: MOPT.
- HAHN, Ekhart e SIMONIS, Udo E. (1991) 'Ecological urban restructuring', *Ekistics*, 348, pp. 199 – 209.
- HENRY, J. Glynn e HEINKE, Gary W. (1989) *Environmental Science and Engineering*. New Jersey: Prentice – Hall, Inc.
- HOPKINSON, R. G., PETHERBRIDGE, P. e LONGMORE, J. (1980) *Iluminação natural*. 2<sup>a</sup> edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- ICHINOSE, T., SHIMODOZONO, K., UNO, I., HANAKI, K. e KIYOTA, O. (1996) 'Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, Japan'. Book of abstracts, International Conference on Urban Climatology. Essen, Germany. pp. 216 - 218.

- JEAN, Louis Izard e GUYOT, Alain (1983) *Arquitetura bioclimática*. México: Ediciones G. Gili S. A.
- KIEHL, Edmar José (1979) *Manual de edafologia: relações solo – planta*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda.
- LAKATO, Eva Maria e MARCONI, Marina de Andrade (1991) *Fundamentos de metodologia científica*. 3ª edição. São Paulo: Atlas.
- LAKATO, Eva Maria e MARCONI, Marina de Andrade (1992) *Metodologia do trabalho científico*. 4ª edição. São Paulo: Atlas.
- LARCHER, Walter (1986) *Ecofisiologia vegetal*. Tradução do original, em alemão, por Antônio de Pádua Danesi e Hildegard T. Buckup. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda.
- LAURIE, Ian C. (1979) 'Urban commons', In: LAURIE, Ian C. (org), *Nature in cities: the natural environment in the design and development of urban green space*. New York: John Wiley & Sons. pp. 231 – 266.
- LAZARO, Timothy R. (1990) *Urban hydrology: a multidisciplinary perspective*. 2<sup>th</sup> edition. Pennsylvania: Thecnomic Publishing Company Book.
- LE CORBUSIER (1971) *Planejamento urbano*. Tradução do original, em francês, por Geraldo Gerson de Souza. 2ª edição. São Paulo: Editora Perspectiva.
- LEITE, Maria Angela F. Pereira (1982) 'A paisagem, a natureza e a natureza das atitudes do homem', In: *Paisagem e ambiente*. São Paulo: FAUUSP. pp. 45 - 66.
- LEMENHE, Maria Auxiliadora (1991) *As razões de uma cidade: conflito de hegemonias*. Fortaleza: Stylus Comunicações.
- LEVITT, Jacob (1980) *Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and others stresses*. 2<sup>th</sup> edition. v. 2. New York: Academic Press.
- LINHEIRO, Maria E. V., BORMANN, Nícia P. e LIMA, Paulo R. C. de (1999) 'Paisagismo em cidades: uma ação comunitária'. Anais do VIII Encontro Nacional de Arborização Urbana. Fortaleza. pp. 43 – 46.
- LIPPSMEIER, Georg, KLUSKA, Mitarbeiter W. e EDRICH, Carol G. (1969) *Tropenbau, building in the tropics*. Germany: Callwey Verlag München.
- LOMBARDO, M. A. e ZAMPARONI, C. A. G. P. (1996) 'Heat island in a small tropical city'. Book of abstracts, International Conference on Urban Climatology. Essen, Germany. pp. 20.

- LOMBARDO, Magda A. (1985) *Ilha de Calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec.
- MAIA, Luiz Francisco P. Guimarães, MONCUNILL, David Ferran, MARTINS, Edson e FREITAS, Paulo R. da Costa (1990) 'Análise da qualidade do ar no Rio de Janeiro durante a Operação Copacabana (junho/89 a janeiro/90): uma abordagem meteorológica'. Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. pp. 674 – 679.
- MASCARO, Lúcia (1996) *Ambiência urbana*. Porto Alegre: Sagra – D. C. Luzzatto.
- MASCARO, Lúcia R. de (1991) *Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. 2ª edição. São Paulo: Projeto
- MCGAUHEY, P. H. (1968) *Engineering management of water quality*. New York: McGraw-Hill.
- MCHARG, Ian L. (1969) *Design with nature*. New York: American Museum of Natural History.
- MERVA, George E. (1975) *Physioengineering principles*. Connecticut: Avi Publishing Company.
- MIESS, Michael (1979) 'The climate of cities', In: Laurie, Ian C. (org), *Nature in cities: the natural environment in the design and development of urban green space*. New York: John Wiley & Sons. pp. 91 - 114.
- MONTENEGRO JÚNIOR, Airton I. (1981) 'A atuação mais recente da Prefeitura Municipal de Fortaleza na implementação de áreas livre de domínio público. Anais do fórum de debates Adolfo Herbster. Fortaleza. pp. 61 – 96.
- MORETTIN, Pedro A. e TOLOI, Clélia M. (1986) *Séries Temporais*. São Paulo: Atual.
- MOTA, Suetônio (1981) *Planejamento urbano e preservação ambiental*. Fortaleza: Edições UFC.
- MOTA, Suetônio (1997) *Introdução à engenharia ambiental*. Rio de Janeiro: ABES.
- MOTA, Suetônio (1999) *Urbanização e meio ambiente*. Rio de Janeiro: ABES.
- MÜLLER, Jackson (1999) 'Educar para preservar'. Anais do VIII Encontro Nacional de Arborização Urbana. Fortaleza. pp. 24 – 26.
- NOBEL, Park S. (1983) *Biophysical plant physiology and ecology*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.

- OBASI, Godwin O. P. (1997) *Weather and water in cities*. World Meteorological Day.
- ODUM, Eugene P. (1988) *Ecologia*. Tradução do original, em inglês, por Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A.
- OLGYAY, Victor (1992) *Design with climate*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- OLIVEN, Ruben George (1982) *Urbanização mudança social no Brasil*. 2ª edição. Petrópolis: Editora Vozes.
- OMETTO, José Carlos (1981) *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda.
- OMM (1997) *Les villes accentuent l'évolution du climat (L'Organisation météorologique mondiale démontre qu'il est possible de concilier urbanisme et protection du climat)*. Genève – Suisse.
- PETALAS, Kety Vasconcelos (1996) *Memorial descritivo arquitetura bioclimática em um condomínio de lazer*. Projeto de graduação apresentado ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFC. Fortaleza.
- PIERSYNSKI, Gary M., SIMS, J. Thomas e VANCE, George F. (1994) *Soils and environmental quality*. Boca Raton, Fla.: Lewis.
- PITT, David (1979) 'Trees in the city', In: Laurie, Ian C. (org), *Nature in cities: the natural environment in the design and development of urban green space*. New York: John Wiley & Sons. pp. 205 – 230.
- POMPEU, Carmen (12/04/1998) *Berço de Fortaleza está abandonado: moradores pedem urbanização participativa e resgate da história da Barra do Ceará*. Fortaleza: Jornal Diário do Nordeste, Caderno Cidade. pp. 14.
- Prefeitura Municipal de Fortaleza - IPLAM (1991) *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDU/FOR – Síntese Diagnóstica*. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza – Instituto de Planejamento do Município.
- Prefeitura Municipal de Fortaleza - IPLAM (1991) *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDU/FOR – Lei nº 7.061/92*. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza – Instituto de Planejamento do Município.
- Prefeitura Municipal de Fortaleza – IPLAM (1996) *Lei nº 7.987, de 23 de dezembro de 1996*. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza – Instituto de Planejamento do Município.

- Prefeitura Municipal de Fortaleza (1969) *Plano Diretor da cidade de Fortaleza Lei nº 2.128, de 20/03/63*. Fortaleza.
- PRIMAVESI, Ana (1984) *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. 6ª edição. São Paulo: Nobel.
- PROJETO ÁRIDAS (1995) *Nordeste: uma estratégia de desenvolvimento sustentável*. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento.
- QUAYLE, Robert e DOEHRING, Fred (1981) 'Heat stress: a comparison of índices', *Weatherwise*, 34 (3), pp. 120 – 124.
- RATTNER, Henrique (1979) *Planejamento e bem-estar social*. São Paulo: Editora Perspectiva.
- RAVEN, Peter H., EVERT, Ray F. e EICHHORN, Susan E. (1996) *Biologia vegetal*. Tradução do original, em inglês, por Giuffetti, Ana Maria e outros. 5ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A.
- REPELLI, Carlos Alberto, ALVES, Rubenaldo, SOUZA, Everaldo B. de, UBARANA, Vinicius N. e ALVES, José Maria B. (1997) 'Sensação térmica para Fortaleza-CE', *Monitor Climático*, 11 (121), pp. 8 – 16.
- RIBEIRO, J. O. de Saboya (1955) *Documentário do memorial justificativo do Plano Diretor para a cidade de Fortaleza*. Apresentado à Prefeitura Municipal de Fortaleza em 1947. In: Revista do Instituto do Ceará, Tomo LXIX, Ano LXIX.
- RODRIGUEZ, C., MATEOS, J. E GARMENDIA, J. (1985) 'Biometeorological comfort index', *International Journal of Biometeorology*, 29 (2), pp. 121 – 129.
- ROMERO, Marta Adriana B. (1988) *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo: Projeto.
- ROSSINOT, André (1997) 'Mutations économiques et développement des villes', *Urbanisme – Le Magazine International de la Ville*, 8, pp. 3 – 8.
- RUSSELL, E. Walter (1973) *Soil conditions and plant growth*. 10<sup>th</sup> edition. London: Longman Group Limited.
- SALES, José Albio Moreira de (1996) *O desenho da cidade moderna em Fortaleza: um estudo dos planos Saboya Ribeiro e Hélio Modesto*. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento urbano da UFPe. Recife.

- SANTANA, Andréa M. Sobreira de (1997) *O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Geografia da USP. São Paulo.
- SETTI, Arnaldo Augusto (1996) *A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos*. Brasília: IBAMA.
- SILVERSTEIN, Michael (1993) *A revolução ambiental*. Tradução do original, em inglês, por Álvaro Sá. Rio de Janeiro: Nórdica.
- SMITH, Keith (1975) *Principles of applied climatology*. New York: John Wiley & Sons.
- SMITH, Robert Leo (1974) *Ecology and field biology*. 2<sup>th</sup> edition. New York: Harper & Row Publishers.
- SOBRAL, Helena Ribeiro (1996) *O meio ambiente e a cidade de São Paulo*. São Paulo: Makron Books.
- SOUZA, Maria A. Aparecida de (1994) *A identidade da metrópole: a verticalização em São Paulo*. São Paulo: Editora Hucitec.
- SPIRN, Anne Whiston (1995) *O jardim de granito: a natureza no desenho da cidade*. Tradução do original, em inglês, por Paulo R. M. Pellegrino. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- STEVENSON, William J. (1981) *Estatística aplicada à administração*. São Paulo: Harper & Row do Brasil.
- Superintendência de Meio Ambiente (1996) *Manual de arborização*. Belo Horizonte: Superintendência de Comunicação Social e Representação.
- Superintendência do Planejamento do Município - SUPLAM (1979) *Legislação Básica do Plano Diretor / 79 - Município de Fortaleza*. Fortaleza.
- TAESLER, R. (1986) 'Climate characteristics and human health - the problem of climate classification'. In: World Climate Programme Applications (WCAP - No. 1) (org) *Climate and human health*. Proceedings of the Symposium in Leningrad - Volume I. Geneve: World Meteorological Organization.
- TAIZ, Lincoln e ZEIGER, Eduardo (1991) *Plant physiology*. California: Benjamin / Cummings Publishing Company.
- TERJUNG, Werner H. e O'ROURKE, Patricia A. (1981) 'Relative influence of vegetation on urban energy budgets and surface temperatures'. *Boundary - Layer Meteorology*, 21, pp. 255 - 263.

- THOMPSON, Louis M. e TROEH, Frederick R. (1973) *Soils and soil fertility*. 3<sup>th</sup> edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- TRINDADE, Jeanne Almeida da (1999) 'O homem e a arborização urbana'. Anais do VIII Encontro Nacional de Arborização Urbana. Fortaleza. pp. 17.
- TUBELIS, Antônio e NASCIMENTO, Fernando J. Lino do (1980) *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel S.A.
- TUCCI, Carlos E. M. (1993) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP.
- TUCCI, Carlos E. M. e CLARKE, Robin T. (1997) 'Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão', *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2 (1), pp. 135 – 152.
- TUCCI, Carlos E. M. e GENZ, Fernando (1995) 'Controle do impacto da urbanização', In: TUCCI, Carlos E. M., PORTO, Ruben La L. e BARROS, Mário T. de (org) *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH / Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. pp. 277 – 347.
- VILAÇA, Aparecida e VIEIRA, Adilson (1983) *Espécies vegetais no controle da poluição sonora: comportamento acústico de algumas espécies cultivadas*. Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA.
- XAVIER, Teresinha de M. Bezerra S. (1981) 'Modificação do tempo e mudança climática: estado atual e perspectivas para a região nordeste'. Anais IV Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos, Fortaleza. pp. 365 – 384.
- XAVIER, Teresinha de M. Bezerra S. (1996c) *Análise de mudanças climáticas urbanas na Região Metropolitana de Fortaleza – RMF: evolução da 'Ilha de Calor' e seus impactos ambientais na bacia hidrográfica metropolitana*. Projeto de pesquisa. Fortaleza.
- XAVIER, Teresinha de M. Bezerra S. e XAVIER, Airton Fontenele S. (1996b) 'Alterações climáticas urbanas em Fortaleza – Ceará (1974 – 95)' In: *Os benefícios das modernas técnicas de previsão de tempo e clima para as atividades sócio-econômicas*. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. pp. 1172 - 1176.
- XAVIER, Teresinha de M. Bezerra S., XAVIER, Airton Fontenele S. e DIAS, Maria Assunção F. da S. (1994) 'Evolução da precipitação diária num

ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo'. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 9 (1), pp. 44 – 53.

- XAVIER, Teresinha de M. Bezerra S., XAVIER, Airton Fontenele S. e DIAS, Pedro Leite da S.(1996a) 'Mudanças da temperatura do ar na cidade de São Paulo – Brasil (1933 – 1992)' In: *Os benefícios das modernas técnicas de previsão de tempo e clima para as atividades sócio-econômicas*. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. pp. 1060 – 1064.

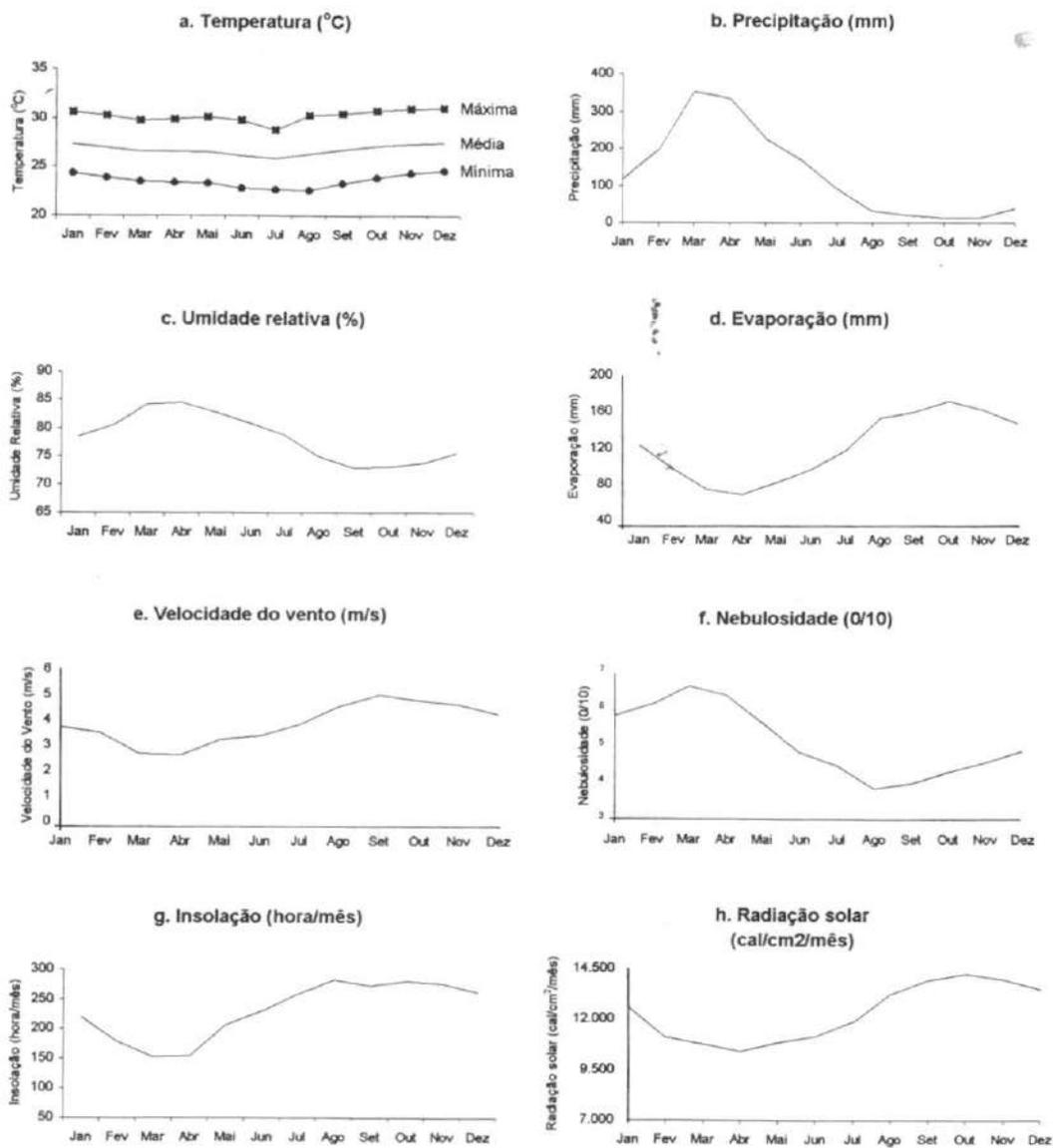
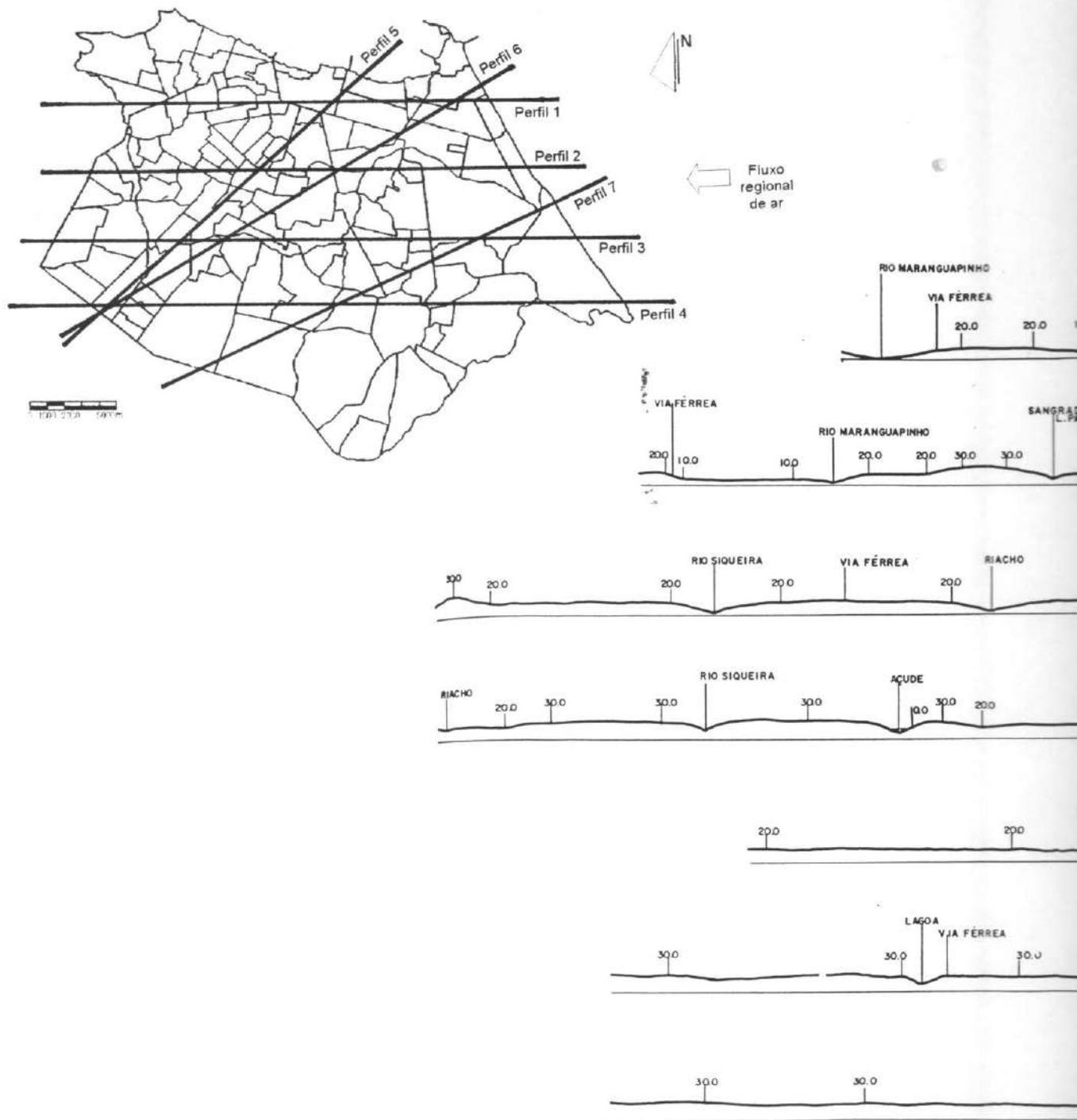


Figura A.2 – Perfis do relevo de Fortaleza



Neste anexo, descreve-se, sumariamente, a evolução da urbanização de Fortaleza, situando-a, cronologicamente, dentro de um contexto histórico. Todavia, as causas e conseqüências dos fatos políticos, econômicos e sociais, que influenciaram esta evolução, não são abordadas, mesmo que, por algumas vezes, elas sejam comentadas. Nela, também é possível verificar a maneira como a vegetação foi considerada dentro do contexto urbano.

### **Período de 1600 a 1800**

- 1603 Primeira tentativa de colonização pela expedição liderada por Pero Coelho de Souza. Construção do 'Fortim de São Tiago', às margens do rio Ceará. Denominação da localidade de Nova Lisboa.
- 1605 Primeira seca registrada no Ceará, emigração dos portugueses.
- 1607 Chegada dos padres jesuítas Francisco Pinto e Luís Figueira com o objetivo de pacificar os índios. No caminho, foram atacados pelos índios. Luís Figueira retornou e fixou-se às margens do rio Ceará. Chamou a localidade de São Lourenço.
- 1611 Martim Soares Moreno fez amizade com os índios e construiu o Forte de São Sebastião, no mesmo local das ruínas do Forte de São Tiago. A aldeia recebeu o nome de Nossa Senhora do Amparo.
- 1631 Martim Soares Moreno foi transferido para Pernambuco a fim de combater os holandeses, interrompendo a tentativa de colonização do Ceará.
- 1637 A barra do rio Ceará foi ocupada por um grupo holandês chefiado por Gedeon Mórris de Jonge, o qual foi massacrado pelos índios, em 1644.
- 1649 A expedição chefiada pelo holandês Matias Beck aportou na enseada do Mucuripe. Fixou-se à margem do Riacho Pajeú, onde ergueu o Forte Schoonenborch.

- 1654 Cercado por indígenas, Matias Beck rendeu-se ao português Álvaro de Azevedo Barreto. Os holandeses foram expulsos, voltando as terras do Ceará ao domínio da coroa portuguesa. O forte passou a se chamar Fortaleza de Nossa Senhora da Assunção, dando início ao crescimento da povoação.
- 1683 Foram cedidas terras do Ceará para a pecuária, incentivando a ocupação do estado, garantindo um domínio das terras e a ocupação produtiva da região. Em 1699, a Vila do Ceará foi criada por Carta Régia.
- 1700 O Governador de Pernambuco determinou ao Capitão-Mor do Ceará, Francisco Gil Ribeiro, a instalar a Vila do Ceará junto à Fortaleza.
- 1713 O rei de Portugal mandou instalar a Vila em São José do Ribamar do Aquiraz.
- 1726 Foi instalada, por Carta Régia, a segunda Vila do Ceará, a Vila da Fortaleza de Nossa Senhora da Assunção.
- 1799 A Capitania do Ceará foi desmembrada da Capitania de Pernambuco e em 1803, o Ceará passou a participar do processo de exportação do algodão, realizando transações diretas com Lisboa. Como consequência, a administração da Capitania dotou a vila de infra-estrutura para as transações mercantis, iniciando um crescimento mais acelerado e uma preocupação com a estrutura física.
- 1812 Manuel Inácio de Sampaio assumiu o governo e surgiu com ele, o primeiro Plano Diretor de Fortaleza, elaborado pelo engenheiro José da Silva Paulet, o qual propôs um traçado em xadrez. Nos seus levantamentos registrou a localização das edificações e arruamentos, e identificou as estradas que davam acesso ao interior. Tais estradas formavam um sistema radial.

Até então, a área urbana não apresentava grande crescimento, mas já existia uma pequena expansão ao longo da margem direita do Pajeú e uma aglomeração de edificações entre a praia e a atual Av. Pessoa Anta.

- 1816 / 17 Fortaleza continuava com um crescimento lento, o porto apresentava condições precárias e o comércio era inferior ao de Aracati.
- 1823 Após a independência, por um decreto do Imperador D. Pedro I, Fortaleza foi elevada de Vila à Cidade, recebendo o nome de Fortaleza da Nova Bragança e, posteriormente, Fortaleza de Nossa Senhora da Assunção. Fortaleza firmou-se como núcleo administrativo principal, favorecendo a expansão da cidade.
- 1834 José Martiniano de Alencar tornou-se o primeiro Presidente da Província, procurou traçar planos de desenvolvimento cearense. Construiu um açude no rio Pajeú entre as atuais ruas Pinto Madeira, 25 de Março e Visconde do Rio Branco, promovendo um ambiente agradável para a população.
- 1843 O boticário Antônio Ferreira assumiu a presidência da Câmara de Fortaleza. Teve como auxiliar, o arquiteto pernambucano Adolfo Herbster e aplicou, rigidamente, as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor de Paulet, dirigindo a expansão da cidade para o lado sul.
- 1845 Fundação do Liceu do Ceará, em 1948, teve início a iluminação pública da cidade, a azeite de peixe, e em 1853, foi criado o bispado do Ceará, separando-se da diocese de Olinda.
- 1856 O padre Manuel do Rego Medeiros realizou um levantamento cadastral da cidade. A área urbana alcançava: a oeste, a rua 24 de Maio; ao sul, da rua Clarindo de Queiroz à Barão do Rio Branco e da Pedro Pereira à Cidade da Criança; a leste, ao longo da margem direita do riacho Pajeú. Ainda apresentava uma acentuada expansão entre a Avenida Pessoa Anta e a praia e registrava seis praças.
- 1857 Introdução do calçamento de pedras toscas nas ruas.
- 1859 Adolfo Herbster elaborou a Planta Exata da Capital do Ceará. Nela, estavam presentes: o levantamento do sistema ecológico, as vias de acesso à cidade, a denominação dos locais públicos, o equipamento urbano público e privado e mostrava o uso do solo na periferia urbana.

1860 O porto de Aracati tornou-se inviável, dando início à primeira tentativa de construção de um novo porto de Fortaleza.

1863 Neste período, registrava-se 960 edificações de tijolo e telha, e 8 praças. Iniciou-se o serviço de águas (Ceará Water Works Co. Ltd.), restrito a escavações de postos, sem a adução do líquido. Em 1865, a iluminação pública passou a ser domiciliar a gás (Ceará Gas Co. Ltd.).

1866 / 73 O desenvolvimento de Fortaleza foi impulsionado com a criação de uma linha de navios a vapor, estabelecendo ligação direta com a capital do país e a Europa. Foram feitas melhorias na rede rodoviária de ligação com o interior. Inaugurou-se a primeira linha de trem.

1875 Adolfo Herbster elaborou uma nova planta para Fortaleza, Planta Topográfica da Cidade de Fortaleza e Subúrbios e um novo Plano Diretor. Nele, circundou o espaço urbano com um cinturão de avenidas largas e densamente arborizadas, chamadas *Boulevards*, que, no futuro, tornaram-se importantes vias de acesso e saída da zona comercial. Tal plano foi considerado excelente quanto à disposição e número de praças públicas, à sistematização e largura das ruas.

1880 Inauguração do serviço de transportes coletivos, realizado por bondes puxados a burros. O estabelecimento da ligação ferroviária entre Fortaleza e a região interiorana integrou o território estadual e consolidou a influência da capital sobre os principais núcleos de crescimento do interior, criando uma dependência administrativa e comercial.

1882 Inauguração do cabo submarino, do sistema telefônico, do telegráfo e de caixas postais.

1884 Abolição da escravatura em todo o território cearense. Instalação da Escola Normal e inauguração do Clube Iracema.

1886 Construção de um novo porto para Fortaleza, na atual Praia de Iracema.

**Período de 1888 a 1997**

1888 Herbster elaborou a Planta da Cidade de Fortaleza, Capital da Província do Ceará. Nela, registrou as estradas de entrada e saída para o interior e mostrou que a cidade se expandia com pequena descentralização, principalmente, com relação à zona residencial.

Nesta época, o Dr. Thomás Pompeu alertou para a necessidade de um saneamento natural na cidade, apontando que a aglomeração populacional e o crescimento da área ocupada por edificações dificultavam a renovação do ar. Também sugeriu que os prédios fossem construídos de maneira que garantissem luminosidade e arejamento dos interiores, e que as áreas arborizadas fossem preservadas e multiplicadas.

1890 Antônio Bezerra descreveu a cidade de Fortaleza, registrando a presença de três boulevards, 34 ruas norte/sul, 27 leste/oeste e 14 praças. Em 1891 iniciou-se a telefonia comercial e em 1896, a utilização do ferro em grandes prédios da cidade. Até o final deste século, os lotes eram profundos e estreitos, as residências conjugadas e construídas sobre o alinhamento das vias.

1902 O Coronel Guilherme Rocha tomou posse como Prefeito e interessou-se, agressivamente, pela solução dos problemas urbanísticos.

1907 Teve início a era do cinema na cidade. Com isso, as famílias passaram a sair de suas casas e não se limitavam às calçadas.

1909 Foi trazido o primeiro automóvel. O calçamento que antes era feito de pedra tosca foi melhorado, e, posteriormente foi colocado o piso de concreto.

1910 Inauguração do Teatro José de Alencar.

1911 João Felipe Pereira fez os primeiros estudos para a instalação da rede urbana de esgotos e água potável

1912 O Prefeito Idelfonso Albano corrigiu o alinhamento das casas para que as ruas fossem alargadas.

1914 Iniciou-se a era dos bondes elétricos.

1915 Ano de seca com conseqüente entrada de flagelados na cidade, fazendo com que a população mais abastada se transferisse do centro para as áreas periféricas. Formando, na região oeste da cidade, os primeiros bairros ricos.

Posteriormente, a instalação de indústrias nesta área e a concentração operária em torno dela, fez com que ela fosse ocupada por operários, provocando o deslocamento da burguesia para a região leste, mais precisamente, no bairro da Aldeota.

1929 Idelfonso Albano, novamente prefeito, mandou nivelar todas as calçadas e fixou a sua largura. Com a pavimentação da cidade, as ondulações foram diminuídas, principalmente, as menores.

1931 / 32 O Governo Revolucionário encomendou a planta da cidade a Raimundo Girão, Planta Cadastral da Cidade de Fortaleza. Nela, verificou que a ocupação de Fortaleza era acelerada, principalmente, no lado leste e que a área urbana crescia além da malha traçada por Herbster, de forma espontânea e desordenada, com aglomerações de edificações precárias na periferia urbana.

Também observou que as dunas eram, gradativamente, ocupadas por uma população de baixa renda ligada à atividade pesqueira. A presença de arruamentos ortogonais no sentido leste e oeste, e a expansão espontânea ao longo das vias-eixo de penetração para o interior consolidaram o sistema de vias radiais, associadas ao traçado em xadrez.

Raimundo Girão, como secretário da Prefeitura, orientou a elaboração de código urbano, disciplinando a ocupação do solo, com base em preocupações ecológicas e paisagísticas.

1933 Raimundo Girão assumiu a Prefeitura. Pavimentou de concreto grande parte do centro da cidade e encomendou ao urbanista Nestor de Figueiredo, a elaboração de um Plano Diretor.

O Plano de Remodelação e Extensão de Fortaleza sugeria a implantação de um sistema rádio-concêntrico de vias principais, a obediência ao relevo do solo, um zoneamento urbano conforme as diretrizes da Carta de Atenas<sup>1</sup>, a implantação de 'boulevards' e a criação de áreas verdes (parques e jardins para recreação e reserva de ar).

Esta proposta era bem oportuna, visto que a periferia da cidade se constituía quase toda de terrenos baldios ou de construções sem valor, mas, não tiveram o apoio do Conselho Municipal.

1938 A antiga Sé foi demolida, sendo construída uma nova Catedral. Em consequência das secas, os imigrantes construíram favelas e trouxeram problemas sociais para a cidade. A natureza era violentada e não se atendia às características geográficas da cidade. A prefeitura permitiu o aterro do leito do Pajeú, trazendo problemas para o escoamento das águas pluviais.

1940 A falta de um Plano Diretor fazia com que a cidade crescesse desordenadamente. Ela se expandia em torno de dois espaços de diferenciação social: na região leste, a classe burguesa, na oeste, a operária. As praças novas eram raras e as velhas dividiam o seu espaço com edifícios públicos. Neste contexto, a Prefeitura encomendou ao urbanista Sabóia Ribeiro um novo plano para Fortaleza.

---

1. A carta de Atenas foi elaborada em 1933 pelo IV CIAM (Congresso Internacional de Arquitetos Modernos) e publicada em 1943. Tinha por objetivo: o estabelecimento do agrupamento de funções análogas em locais mais adequados ao funcionamento de cada uma e do conjunto, não favorecendo somente a uma classe mais abastada, mas a toda a população; a observância da influência do meio ambiente (situação geográfica e topográfica, econômica e política) sobre as constantes psicológicas e biológicas. Para este fim, faz uso do zoneamento, que deve ser definido de acordo com as características de cada lugar (Sales, 1996 e Carta de Atenas, 1960).

1942 A firma de Saturnino de Brito foi contratada para realizar a ampliação dos serviços hidráulico-sanitários. Para isto, fez um levantamento topográfico de toda a área que seria beneficiada e propôs um plano de redesenho urbano de toda a periferia com o objetivo de que o sistema fosse economicamente ajustado à topografia.

1945 A Carta da Cidade de Fortaleza e Arredores foi levantada, desenhada e impressa pelo Serviço Cartográfico do Exército. Tal carta foi utilizada para a elaboração do plano diretor de Sabóia Ribeiro.

1947 O Plano Diretor para Remodelação e Extensão de Fortaleza elaborado por Sabóia Ribeiro previa o (a):

- fim da mononucleação da cidade;
- divisão da malha urbana em bairros separados por avenidas, sendo estipulado, para cada bairro, a densidade populacional e as áreas destinadas à implantação de praças, jardins, equipamentos urbanos e núcleos comerciais;
- alargamento progressivo das ruas;
- concretização do sistema rádio-concêntrico, estabelecendo uma hierarquia viária;
- existência de espaços livres, prevendo a preservação e recuperação dos leitos dos riachos do Pajeú, Jacarecanga, Tauape e Maceió;
- localização de praças, jardins, parques e reservas arborizadas em áreas ainda não adensadas;
- adoção de uma legislação urbana, exigindo, como norma, que os bairros reservassem 10%, ou mais, de sua área total para áreas livres, devendo cada habitação dispor de praça ou jardim público numa distância inferior a 300m; e
- elaboração de um Código Urbano.

O plano foi aprovado pelo prefeito Clóvis de Alencar Matos, mas, não foi aplicado devido à ganância dos proprietários e ao descaso da Prefeitura. Assim, a tendência natural da cidade para ruas largas, praças abundantes e aproveitamento dos espaços verdes foi desrespeitada.

1954 Criação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará.

1960 Novo levantamento aerofotogramétrico, abrangendo áreas dos municípios vizinhos.

1962 / 63 As reservas paisagísticas, as praias e lagoas, os vales dos riachos não eram preservados, a relação entre espaços abertos e construídos não possuíam harmonia e as praças eram escassas. A maioria delas encontrava-se sem arborização, ou ocupadas por edificações, ou abandonadas.

O prefeito Cel. Manuel Cordeiro Neto, diante desta realidade, aprovou o Código Urbano de Sabóia Ribeiro e o Plano Diretor de Fortaleza coordenado pelo urbanista Hélio Modesto, tendo sido observado somente durante a administração de Cordeiro Neto. O Código Urbano envolvia elementos das edificações, como iluminação, insolação e ventilação.

O Plano Hélio Modesto foi o primeiro a considerar o comportamento e a organização social da população, abrangendo os aspectos econômicos, sociais e administrativos e as formas e tendências de ocupação do solo. Dentre outras propostas, buscou:

- preservar as belezas naturais da região com a criação de locais para recreação de seus habitantes;
- enfatizar o sistema rádio-concêntrico e o esquema de anéis de circulação, preservando a malha ortogonal como malha de apoio;
- classificar as vias segundo a sua função;
- implantar avenidas-parque ao longo do leito dos riachos Pajeú, Jacarecanga e Aguanambi;
- definir zonas de proteção paisagística e locais para instalações de turismo e recreação pública, chamados de áreas livres de uso público;
- observar as características naturais do terreno, como a declividade, os cursos d'água, a vegetação e os ventos predominantes; e
- construir o trecho inicial da Avenida Beira-Mar, voltando a cidade para o mar.

1964 Criação de órgãos como o Banco Nacional de Habitação (BNH) e o Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (SERFHAU). Os programas a nível local e regional passaram a ser patrocinados pelo governo federal,

mas pagos pela municipalidade, tendo, como consequência, a contratação de Planos Integrados de Desenvolvimento.

1967 A constituição de 1967 institui as Regiões Metropolitanas, criadas com base em dados de polarização e integração de municípios, com relação a um polo de crescimento próximo deles.

1970 Verificou-se que a malha urbana começava a penetrar nos municípios vizinhos, seguindo a rota dos loteamentos e da especulação imobiliária.

A cidade, com uma economia descapitalizada, conduzia ao exercício de atividades pouco lucrativas. Assim, a maioria da população sobrevivia do subemprego ou atividades eventuais, entregando-se a marginalidade econômica e criando uma segregação visual cada vez maior.

Prosseguia a descentralização urbana, com o aparecimento de sub-centros comerciais nos bairros. Nesta época, a ação imobiliária começava a mudar a paisagem com a verticalização, a qual era incentivada pela implantação dos sistemas de financiamento de habitação, pelo desenvolvimento técnico e pelo maior conhecimento dos sistemas estruturais.

1972 Novo levantamento aerofotogramétrico. Antecipando-se à criação da Região Metropolitana, elaborou-se o Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Fortaleza (PLANDIRF), o qual considerava os aspectos econômicos, físicos, sociais e institucionais, no processo de urbanização.

A Região Metropolitana de Fortaleza era composta pelos municípios de Caucaia, Maranguape, Pacatuba, Aquiraz e Fortaleza. Cada um destes municípios era responsável pelo processo de desenvolvimento, obedecia a diretrizes regionais e atuava junto às instituições federais, estaduais e privadas.

Entretanto, esse plano foi rejeitado pelos setores interessados em assuntos urbanísticos, pois, a concentração de poderes políticos e econômicos na

esfera estadual e federal retirava, do município, a possibilidade de formular decisões de seu interesse direto.

1973 Foram instituídas as regiões metropolitanas do Brasil, e entre elas a de Fortaleza. Criou-se a Coordenadoria do Desenvolvimento Urbano de Fortaleza (CODEF), que tinha como finalidade coordenar, controlar, realizar pesquisas e estudos, e supervisionar as atividades do planejamento físico e sócio-econômico do município.

1975 A CODEF desenvolveu o Plano Diretor Físico do Município de Fortaleza, legislou sobre a divisão do município em zonas de uso e regulou o uso e a ocupação do solo, com o objetivo de orientar o desenvolvimento urbano. Na planta de zoneamento destacavam-se:

- as zonas especiais de proteção verde, paisagística e turística, preservando os recursos hídricos e a vegetação em seu entorno, e
- o disciplinamento quanto à distribuição das indústrias, definindo três zonas de localização de acordo com os critérios de níveis de poluição.

1978 Novo levantamento aerofotogramétrico. O prefeito Luiz Marques convocou uma comissão para reestudar o sistema viário, o parcelamento, uso e ocupação do solo vigentes, visando adequar as diretrizes urbanas ao novo estágio de desenvolvimento de Fortaleza.

1979 / 83 Aprovação da Lei nº 5122-A, de 13/03/1979, que regulamentava o parcelamento, uso e ocupação do solo. Lúcio Alcântara assumiu a administração.

Em seu governo, foi elaborado o Plano de Metas Governamentais para Fortaleza 1979/83 (PLAMEG/Fortaleza). Baseava-se no conhecimento da realidade municipal e previa, dentre outros aspectos:

- uma revitalização da zona central;
- um programa de implantação de parques urbanos, onde 7ha de áreas de parques seriam urbanizados e 36ha incorporados ao domínio público e urbanizados, mediante desapropriações;
- a urbanização e manutenção de praças; e
- campanhas e obras de arborização da cidade, principalmente, das ruas principais, avenidas e dos conjuntos habitacionais.

No que diz respeito às áreas verdes de domínio público, segundo o censo de 1981, essa administração atingiu um índice de 3,67m<sup>2</sup>/hab. Apesar de muito inferior ao adotado pela ONU (12m<sup>2</sup>/hab.), significava um acréscimo de 0,61m<sup>2</sup>/hab.

Neste período, foi observado que:

- as praças total, ou parcialmente, urbanizadas situavam-se na zona central, ou em áreas de expansão do centro, comprometidas com o comércio, serviço e circulação;
- as criadas pelos loteamentos eram distantes das zonas adensadas, não atendendo a demanda efetiva por parte da população; e
- havia uma intensa devastação de reservas verdes no interior dos lotes particulares, com a transformação de zonas residenciais de baixa densidade em zonas de alta densidade, exatamente, nas zonas mais carentes de áreas verdes.

1985 Maria Luíza Fontenele assumiu a prefeitura e, em 1986, Tasso Jereissati foi eleito governador do estado. O Ceará começava a aparecer como um dos estados que mais cresciam a nível nacional. O governo atraiu a instalação de indústrias, através de incentivos, provocando reflexos na cidade. Neste contexto, o valor da terra era modificado, aumentava a especulação imobiliária e agravavam-se os contrastes sociais.

1990 A grande procura pelos bairros da Aldeota e Meireles elevou o preço dos imóveis nesses bairros e induziu a criação de novos bairros, como Varjota, Papicu e Praia do Futuro. Também foram construídos edifícios de apartamentos na região oeste. As benfeitorias realizadas em alguns bairros provocaram um aumento no valor da terra e conseqüente expulsão da população em busca das áreas menos valorizadas.

1991 O IPLAM (Instituto de Planejamento do Município) e a EMLURB (Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização) apresentaram a situação de 242 praças. Deste valor, 133 estavam oficializadas por lei, sendo que:

- 37% encontravam-se urbanizadas,
- 13% não urbanizadas,
- 11% em estado precário,
- 20% invadidas por favelas e

- 19% ocupadas por equipamentos comunitários.

Além deste valor, foi constatado o desaparecimento de 28 praças, ocupadas por postos de gasolina, lanchonetes, bancas de revista e outras atividades, e a existência de 70 praças não consideradas como bem de uso comum do povo.

Na administração do prefeito Juraci Magalhães foi elaborado o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Fortaleza (PDDU-FOR), em vigor até o ano 2000. Dentre outros objetivos buscava:

- a utilização racional do território e dos recursos naturais;
- a preservação, proteção e recuperação do ambiente natural e cultural;
- a identificação de áreas de interesse urbanístico, social, ambiental, turístico, cultural e de utilidade pública;
- a melhoria das condições ambientais da orla marítima;
- a recuperação de áreas deterioradas e
- a continuação da política de implantação de parques urbanos inicializada na década de 70.

1996 Aprovação da Lei nº 7.987/96 sobre o uso e a ocupação do solo. Introduziu, como indicador urbano, a taxa de permeabilidade do solo e a fração do lote. A primeira busca uma melhora da drenagem urbana e a segunda, um controle do nível de adensamento para cada região.

1997 A construção do novo aeroporto internacional, da ponte sobre o rio Ceará, da nova zona industrial em Horizonte e Pacajús, dentre outros empreendimentos voltados ao turismo e à indústria, juntamente, com as transformações de ordem política e dos órgãos responsáveis pelo planejamento urbano, provavelmente, farão com que a organização física de Fortaleza seja, a longo prazo, consideravelmente, alterada.

Fontes: Lemenhe (1991), Aderaldo (1993), Castro (1982), Fortaleza (1992), Freire (sem data), Santana (1997), Montenegro Júnior (1981), PDDU-FOR Síntese Diagnóstica (1991), Lei nº 7061/92 do PDDU-FOR (1992), SUPLAM (1979), Ribeiro (1955), Sales (1996), Prefeitura Municipal de Fortaleza (1969) e a Lei nº 7.987/96 de Uso e Ocupação do Solo.

**Relatório de Análise Estatística N° 03/00**

**Título:** Impactos da urbanização nos parâmetros climáticos em áreas de Fortaleza: FUNCEME e INEMET-UFC

**Consulente:** Kety Vasconcelos Petalas

**Instituição:** Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC

**Responsáveis pela análise:** Prof<sup>a</sup> Ana Maria Souza de Araújo  
Prof. João Welliandre Carneiro Alexandre  
Estudante Adriana Xavier de Santiago

**Ficha Técnica****Bibliografia:**

- MORETTIN, Pedro A. e TOLOI, Clélia M. - **Séries Temporais: Métodos Quantitativos**. São Paulo: Atual, 1986.
- CONOVER, Jay William - **Practical nonparametric statistics**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1971.
- STEVENSON, William J. - **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harper & Now, 1981.

**Pacotes Computacionais:** SPSS, EXCEL e WORD for WINDOWS

**Resumo**

A análise consiste em investigar as variações dos fatores climáticos em duas (estações) meteorológicas de Fortaleza: FUNCEME e INEMET - UFC. Os fatores climáticos estudados foram: Radiação Solar, Temperatura, Insolação, Umidade Relativa, Evaporação, Evapotranspiração, Velocidade do vento, Nebulosidade e Precipitação. Foi testado a existência de tendência e sazonalidade nestas variáveis, utilizando a técnica de séries temporais. O teste do Sinal (Cox-Stuart) e o teste de Friedman foram aplicados para testar, respectivamente, a Tendência e a Sazonalidade. Para alguns fatores climáticos foi calculado o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson e executado um teste (baseado na distribuição t-student), para constatar a existência de correlação linear entre os fatores. Como conclusão geral, a análise revelou que na estação da FUNCEME - com maior índice de urbanização, ocorreram mais variações nos fatores climáticos que na estação do INEMET-UFC - com menor índice de urbanização. Contudo, estas diferenças não foram acentuadas, provavelmente devido ao fato de que existe semelhança na urbanização entre as duas estações.

## 1 INTRODUÇÃO

O nível de urbanização de uma região influencia na variação dos fatores climáticos. Como ilustração podem ser citados: quanto maior a urbanização, maior será a tendência para a redução da radiação solar e velocidade do vento. Em sentido inverso, haverá um aumento na temperatura média.

O nível de desmatamento, poluição atmosférica, densidade de construção e verticalização são algumas variáveis utilizadas para medir a urbanização.

Nesta pesquisa, contudo, estas variáveis não foram medidas.

Todavia, através de observação visual (fotografias) constatou-se que, considerando as duas estações meteorológicas aqui investigadas, a estação da FUNCEME é mais urbanizada que a estação do INEMET-UFC.

Dentro deste contexto os objetivos desta pesquisa são:

1. Analisar as alterações climáticas ocorridas nas duas estações.
2. Comparar as alterações climáticas entre as duas estações.
3. Verificar a correlação existente entre os fatores climáticos.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

Os fatores climáticos foram medidos nas estações meteorológicas da FUNCEME e INEMET-UFC. Estes fatores foram medidos mensalmente, segundo o período:

FUNCEME: de 1974 a 1998 (300 meses)

INEMET : de 1966 a 1998 (396 meses)

O método de coleta de dados pode ser denominado como "Informação de Arquivo": para efeito deste estudo, os dados foram adquiridos através dos arquivos constantes nas duas estações. É na realidade uma forma indireta de coleta de dados.

É importante afirmar que não há nos arquivos destas duas estações qualquer registro sobre as variáveis que medem a urbanização. Em função disto, o nível de urbanização foi medido através de fotos nas duas estações - informação visual.

## 3 DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Fatores climáticos medidos:

- Velocidade do vento (m/s)
- Temperatura (°C)
- Nebulosidade (0/10)
- Radiação solar (cal/cm<sup>2</sup>/mês)
- Umidade relativa (%)
- Evaporação (mm)
- Evapotranspiração (mm)
- Precipitação (mm)
- Insolação (hora/mês)

## 4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

### 4.1 ANÁLISE DESCRITIVA

Para cada estação meteorológica foram elaborados gráficos dos fatores climáticos dentro da série temporal. O objetivo consistia em investigar o comportamento da série quanto à tendência e sazonalidade. (Gráfico 1: a - 1 e Gráfico 2: a - 1)

Duas conclusões podem ser destacadas destes gráficos:

1. Existe uma sazonalidade nos fatores climáticos nas duas estações. Esta sazonalidade apresenta para todos os fatores um período de 12 meses.

2. Uma análise visual mostra que na estação meteorológica da FUNCEME houve mais variações nos fatores climáticos quanto à tendência das séries, que na estação do INEMET-UFC. Considerando que na FUNCEME o nível de urbanização é maior que no INEMET-UFC, esta conclusão preliminar indica que as variações nos fatores climáticos parecem ser mais acentuadas nas regiões mais urbanizadas.

Foi elaborado também diagramas de dispersão para investigar a correlação entre os seguintes fatores climáticos: (Gráfico 3: a - h e Gráfico 4: a - h)

- Velocidade do vento x {
  - temperatura
  - evaporação
  - evapotranspiração
  
- Temperatura x {
  - umidade
  - evaporação
  - evapotranspiração
  
- Nebulosidade x {
  - radiação
  - insolação

De acordo com os Gráficos 3 e 4, há um comportamento semelhante quanto à correlação linear entre as variáveis estudadas nas duas estações: parece haver uma correlação linear positiva entre as variáveis velocidade do vento x evaporação, velocidade do vento x evapotranspiração, temperatura média x evapotranspiração e temperatura média x evaporação; uma correlação negativa parece ocorrer entre as variáveis radiação x nebulosidade, insolação x nebulosidade e umidade relativa x temperatura média.

#### 4.2 TESTES ESTATÍSTICOS

##### Comentário inicial:

Esta técnica de inferência estatística que será aplicada para verificar a existência de tendência e sazonalidade nos parâmetros climáticos é baseada em duas hipóteses:  $H_0$  e  $H_1$ . No desenvolvimento do teste existem dois tipos de erros:

1. Erro do tipo I = rejeitar  $H_0$  dado que  $H_0$  é verdadeiro, com probabilidade  $\alpha$ .
2. Erro do tipo II = aceitar  $H_0$  dado que  $H_0$  é falso, com probabilidade  $\beta$ .

Como regra de decisão, no caso geral, se o  
 $| \text{estatística do teste} | \geq | \text{valor crítico} |,$

rejeita-se  $H_0$  ao nível de significância  $\alpha$  (probabilidade do erro tipo I). Caso contrário não podemos rejeitar  $H_0$ , ou seja, não há evidências suficiente, baseada nos dados amostrais, que levem a rejeição de  $H_0$ .

Em algumas situações, mesmo rejeitando  $H_0$ , a estatística do teste pode se localizar próxima da região de aceitação de  $H_0$ . Isto pode ser consequência da consistência dos dados coletados(amostra).

#### 4.2.1 TESTE PARA A TENDÊNCIA

Foi executado para cada fator climático um teste para validar ou não a existência de tendência nas séries. As hipóteses estatísticas são:

$$\left\{ \begin{array}{l} -H_0: \text{Não existe tendência na série} \\ -H_1: \text{Existe tendência na série} \end{array} \right.$$

O teste utilizado para investigar estas hipóteses foi o teste de Cox e Stuart (teste do sinal - não paramétrico).

O processo de execução do teste consiste, segundo MORETTIN e TOLOI (1986), em agrupar as observações em pares  $(Z_1, Z_{1+c}), (Z_2, Z_{2+c}), \dots (Z_{N-c}, Z_N)$  onde  $c = N/2$ , se  $N$  é par e  $c = \frac{N+1}{2}$ , se  $N$  é ímpar. A cada par associamos o sinal + (mais) se  $Z_i < Z_{i+c}$  e o sinal - (menos) se  $Z_i > Z_{i+c}$ , eliminando os empates. Define-se  $N =$  número de pares onde  $Z_i \neq Z_{i+c}$ .

Neste teste as hipóteses acima são equivalente às hipóteses abaixo:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: P(Z_i < Z_{i+c}) = P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i \\ H_1: P(Z_i < Z_{i+c}) \neq P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i \end{array} \right.$$

A estatística do teste é dada por:

$$T_2 = \text{número de pares com sinal +(mais)}$$

Para  $n \leq 20$ , a regra de decisão é baseada na distribuição binomial com parâmetros  $n$  e  $p = \frac{1}{2}$ . Para um dado nível de significância  $\alpha$ , rejeita-se  $H_0$  se  $T_2 \leq b$  ou  $T_2 \geq$

$n - b$ , onde  $b$  é o  $\frac{\alpha}{2}$  quantil da binomial  $(n, p)$ .

Como  $n > 20$ , foi aplicado aqui a distribuição normal, como aproximação ( $T_2 \sim N(np; np(1 - p))$ ).

Importante: É importante ressaltar que para a realização do teste de tendência foi eliminado a componente sazonal, conforme preconiza a literatura.

De acordo com a Tabela 1 e Tabela 2, conclui-se que ao nível de 5% de significância existe tendência para os fatores climáticos, nebulosidade, insolação,

evaporação, evapotranspiração, umidade, temperaturas média, máxima e mínima e velocidade do vento, para a estação da FUNCEME e para os fatores climáticos, nebulosidade, radiação, umidade relativa, temperaturas média e máxima e velocidade do vento, considerando a estação do INEMET-UFC.

O teste parece comprovar que na região da FUNCEME (mais urbanizada) existem mais variações climáticas que na região do INEMET-UFC (menos urbanizada), conforme já discutido na análise descritiva.

Tabela 1: Teste de tendência para FUNCEME

| VARIÁVEIS           | Intervalo       |                 | Valor              |
|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                     | Limite Inferior | Limite Superior |                    |
| Nebulosidade        | 62              | 86              | 52 <sup>(1)</sup>  |
| Insolação           | 63              | 87              | 63                 |
| Radiação Solar      | 63              | 87              | 64                 |
| Evaporação          | 63              | 87              | 51 <sup>(1)</sup>  |
| Evapotranspiração   | 57              | 80              | 52 <sup>(1)</sup>  |
| Umidade Relativa    | 63              | 87              | 27 <sup>(1)</sup>  |
| Precipitação        | 63              | 87              | 75                 |
| Temperatura Média   | 63              | 87              | 110 <sup>(1)</sup> |
| Temperatura Máxima  | 63              | 87              | 120 <sup>(1)</sup> |
| Temperatura Mínima  | 63              | 87              | 95 <sup>(1)</sup>  |
| Velocidade do Vento | 57              | 80              | 10 <sup>(1)</sup>  |

(1) Significativo a 5%

Tabela 2: Teste de tendência para INEMET

| VARIÁVEIS           | Intervalo       |                 | Valor              |
|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                     | Limite Inferior | Limite Superior |                    |
| Nebulosidade        | 85,2            | 112,8           | 80 <sup>(1)</sup>  |
| Insolação           | 85,2            | 112,8           | 101                |
| Radiação Solar      | 85,2            | 112,8           | 117 <sup>(1)</sup> |
| Evaporação          | 57,0            | 81,0            | 60                 |
| Evapotranspiração   | 85,2            | 112,8           | 103                |
| Umidade Relativa    | 85,2            | 112,8           | 64 <sup>(1)</sup>  |
| Precipitação        | 85,2            | 112,8           | 95                 |
| Temperatura Média   | 85,2            | 112,8           | 134 <sup>(1)</sup> |
| Temperatura Máxima  | 85,2            | 112,8           | 130 <sup>(1)</sup> |
| Temperatura Mínima  | 85,2            | 112,8           | 105                |
| Velocidade do Vento | 85,2            | 112,8           | 84 <sup>(1)</sup>  |

(1) Significativo a 5%

Observação: Os intervalos contidos nas duas tabelas acima (1 e 2) correspondem aos intervalos de aceitação da hipótese  $H_0$  (os extremos estão na região de rejeição

de  $H_0$ ), calculados a partir de um nível de significância de 5% (valor tabelado = 1,96, da distribuição normal).

Uma observação adicional refere-se a dois fatores climáticos, insolação e radiação solar. O valor da estatística do teste da insolação (FUNCEME) = 63, está praticamente na região de aceitação de  $H_0$ . Semelhante interpretação pode ser feita no caso da radiação solar (INEMET-UFC) cujo valor da estatística = 117 (este valor está próximo do extremo do intervalo de aceitação de  $H_0$ , igual a 112,8). Esta observação está consoante com o comentário inicial feito acima.

#### 4.4.2 TESTE PARA A SAZONALIDADE

Para testar a existência de sazonalidade nos fatores climáticos foi aplicado o teste de Friedman - teste não paramétrico. (MORETTIN e TOLOI, 1986).

O desenvolvimento do teste consiste em ordenar as observações dentro de cada ano. As observações são substituídas por seus postos, após a ordenação.

As hipóteses do teste são:

$$\begin{cases} -H_0: \text{Não existe sazonalidade determinística} \\ -H_1: \text{Existe sazonalidade determinística} \end{cases}$$

A estatística do teste é dada por:

$$T_2 = \frac{12}{PS(S+1)} \sum_{j=1}^s (R^* \cdot j)^2 - 3P(S+1)$$

onde:

$P$  = número de anos (25 anos para FUNCEME e 33 para o INEMET-UFC)

$S$  = período da sazonalidade = 12 meses

$R^* \cdot j$  = soma dos postos na  $j$ -ésima coluna ( $j$ -ésimo mês), isto é,  $R^* \cdot j = \sum_{i=1}^P R^*_{ij}$ , é o posto da

$Z_{ij}$  observação dentro do  $i$ -ésimo ano, com  $j = 1, \dots, s$

Observações:

1. Para  $n$  suficientemente grande ou  $s = \text{período} > 4$ , a distribuição de  $T_2$ , sob  $H_0$ , pode ser aproximada por uma variável  $\chi^2_{(s-1)}$  (distribuição do Qui-quadrado com  $(s - 1)$  graus de liberdade).
2. Para a execução do teste foi eliminada a componente tendência; conforme preconiza a literatura.

Rejeitamos  $H_0$  se  $T_2 \geq T_{2c}$  (valor crítico), onde  $T_{2c}$  é tal que  $P_{H_0} (T_2 \geq T_{2c}) = \alpha$ , onde  $\alpha$  é o nível de significância.

De acordo com a Tabela 3, ao nível de significância de 5%, existe sazonalidade em todos os fatores climáticos nas duas estações meteorológicas (Valor tabelado= 19,675). O teste vem comprovar estatisticamente o que foi visualizado nos gráficos 1 e 2.

Tabela 3: Teste de sazonalidade

| VARIÁVEIS           | Estatística do teste |        |
|---------------------|----------------------|--------|
|                     | FUNCEME              | INEMET |
| Nebulosidade        | 155,2                | 233,1  |
| Insolação           | 205,4                | 267,3  |
| Radiação Solar      | 209,5                | 269,6  |
| Evaporação          | 225,2                | 185,9  |
| Evapotranspiração   | 22,7                 | 287,4  |
| Umidade Relativa    | 188,4                | 239,7  |
| Precipitação        | 214,2                | 267,6  |
| Temperatura Média   | 157,6                | 241,6  |
| Temperatura Máxima  | 86,9                 | 187,9  |
| Temperatura Mínima  | 174,1                | 262,5  |
| Velocidade do Vento | 165,1                | 256,3  |

#### 4.2.3 TESTE PARA A CORRELAÇÃO LINEAR

Foi aplicado o teste de correlação linear de Pearson para testar as hipóteses.

$$\left\{ \begin{array}{l} -H_0: \text{Não existe correlação entre as variáveis } (\rho = 0) \\ -H_1: \text{Existe correlação entre as variáveis } (\rho \neq 0) \end{array} \right.$$

A estatística do teste sob  $H_0$  é dada por:

$$t = \frac{r}{\sqrt{(1-r^2)/(n-2)}}$$

t segue uma distribuição t-student com  $(n - 2)$  graus de liberdade e r é o coeficiente de correlação linear de Pearson dado por

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2 \right)}}$$

Rejeita-se  $H_0$  se  $|t| \geq |t_c|$ ,  $t_c$  = ponto crítico, tal que  $P(t > t_c) = P(t < -t_c) = \frac{\alpha}{2}$

De acordo com a Tabela 4, verifica-se que ao nível de 5% de significância, existe correlação linear para todas as variáveis investigadas (Valor tabelado = 1,96).

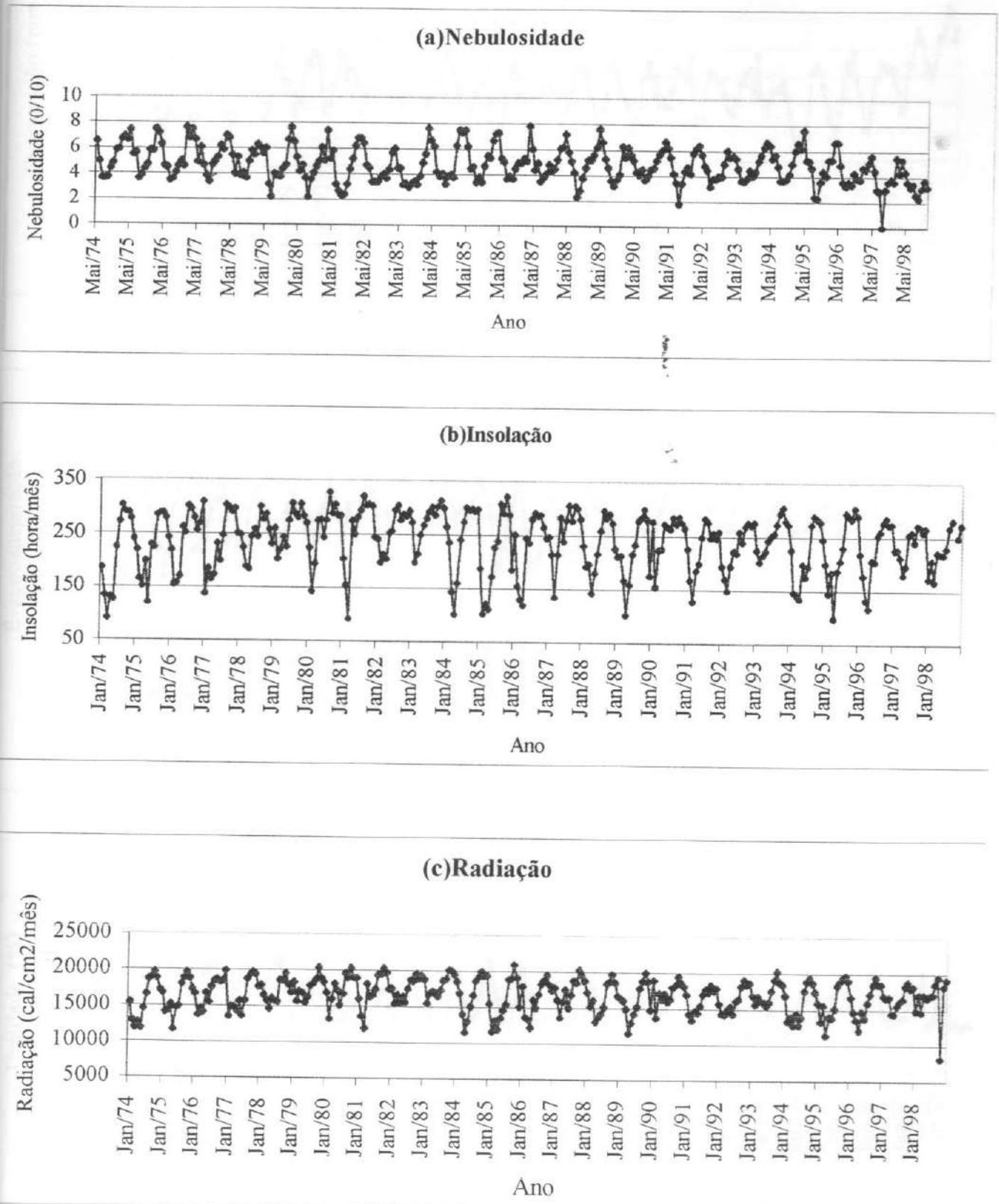
Um comentário adicional a ser feito refere-se aos valores dos coeficientes de correlações e a significância do teste: alguns coeficientes, mesmo com valores pequenos, o que indica a não existência de correlação linear, foram significativos. Por exemplo: O coeficiente de correlação entre velocidade do vento e temperatura média é 0,165 para a FUNCEME.

Mesmo o teste sendo significativo, o resultado revela uma fraca correlação linear, que pode ser influenciada por fatores não medidos (observados) na pesquisa.

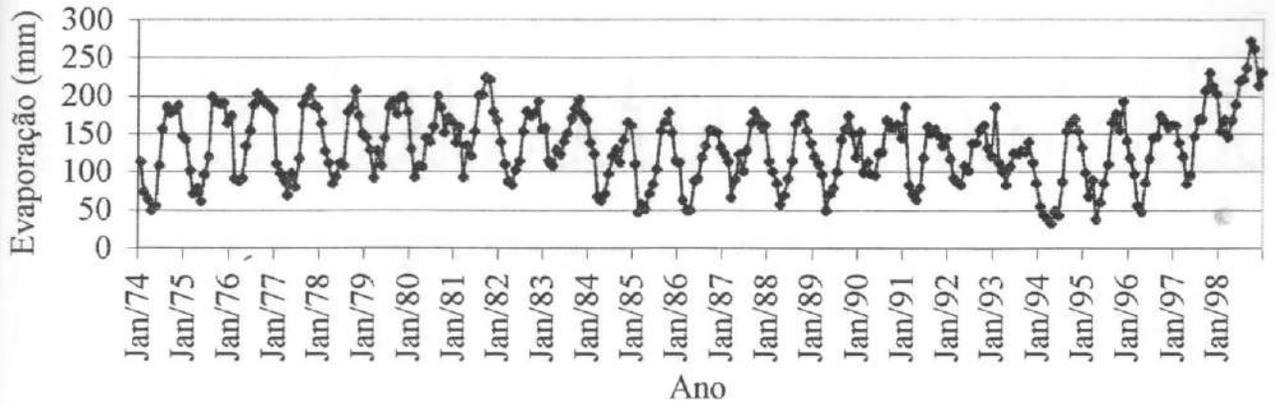
**Tabela 4: Resultados da correlação linear**

| VARIÁVEIS                           | INEMET     |                      | FUNCEME    |                      |
|-------------------------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|
|                                     | Correlação | Estatística do Teste | Correlação | Estatística do Teste |
| Temperatura média/velocidade        | 0,271      | 5,591                | 0,165      | 2,751                |
| Evaporação/velocidade               | 0,669      | 14,904               | 0,876      | 29,946               |
| Evapotranspiração/velocidade        | 0,757      | 22,998               | 0,799      | 21,854               |
| Radiação/nebulosidade               | -0,639     | -16,496              | -0,648     | -14,594              |
| Insolação/nebulosidade              | -0,819     | -28,371              | -0,823     | -24,859              |
| Temperatura média/umidade           | -0,447     | -9,925               | -0,453     | -8,770               |
| Temperatura média/evaporação        | 0,492      | 9,356                | 0,289      | 5,211                |
| Temperatura média/evapotranspiração | 0,637      | 16,399               | 0,531      | 10,309               |

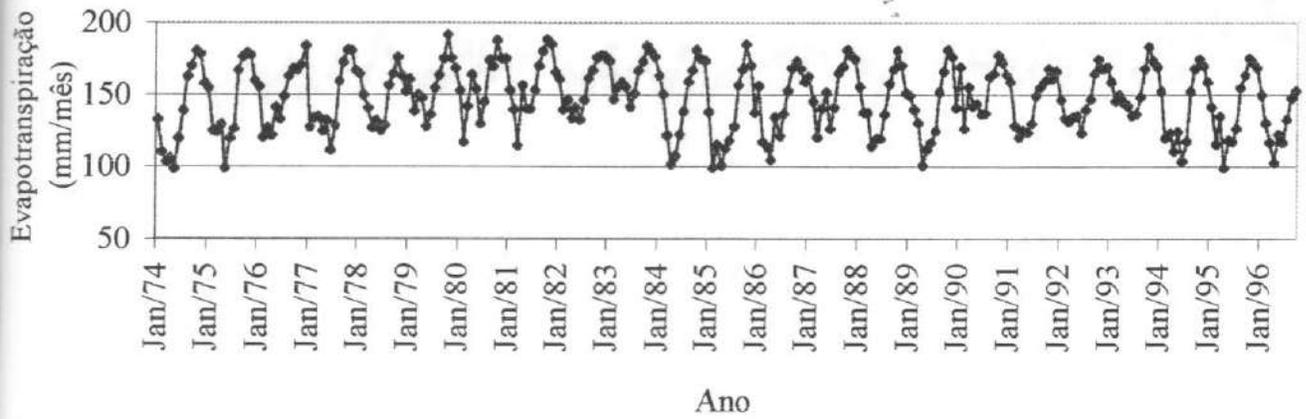
Gráfico 1: Evolução dos fatores climáticos da Estação FUNCEME- Fortaleza - 1974-1998



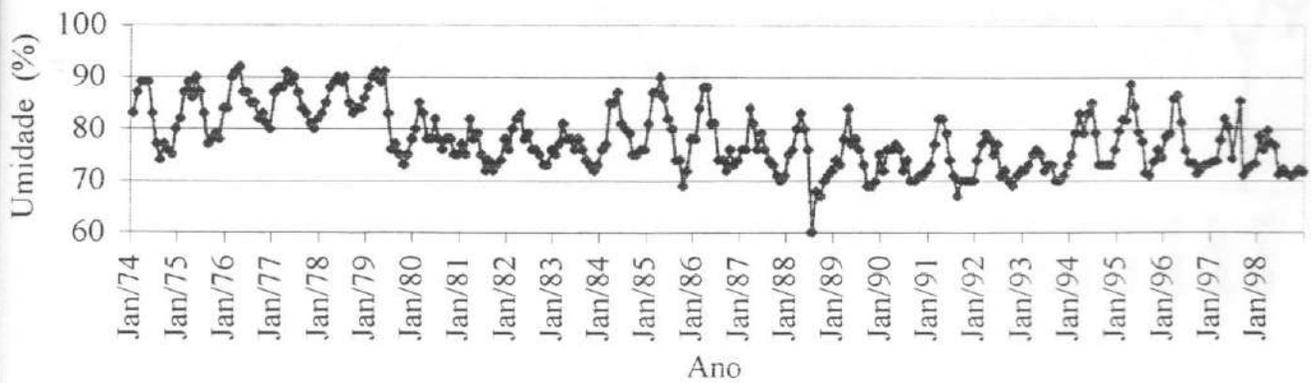
(d) Evaporação



(e) Evapotranspiração

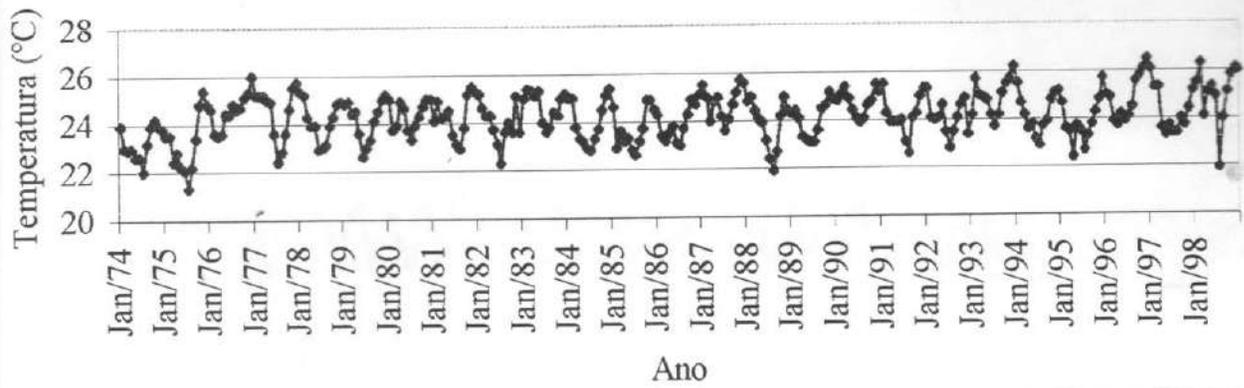


(f) Umidade





(j) Temperatura Mínima



(l) Velocidade do Vento

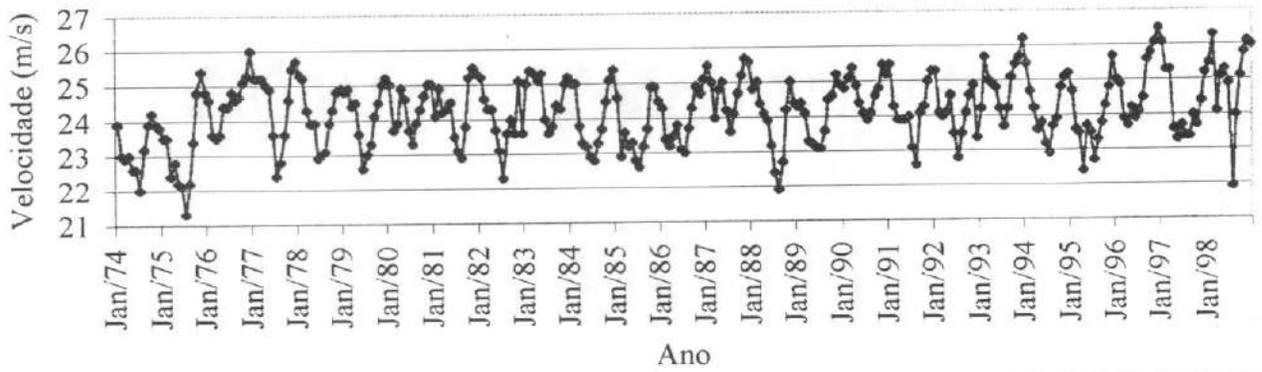
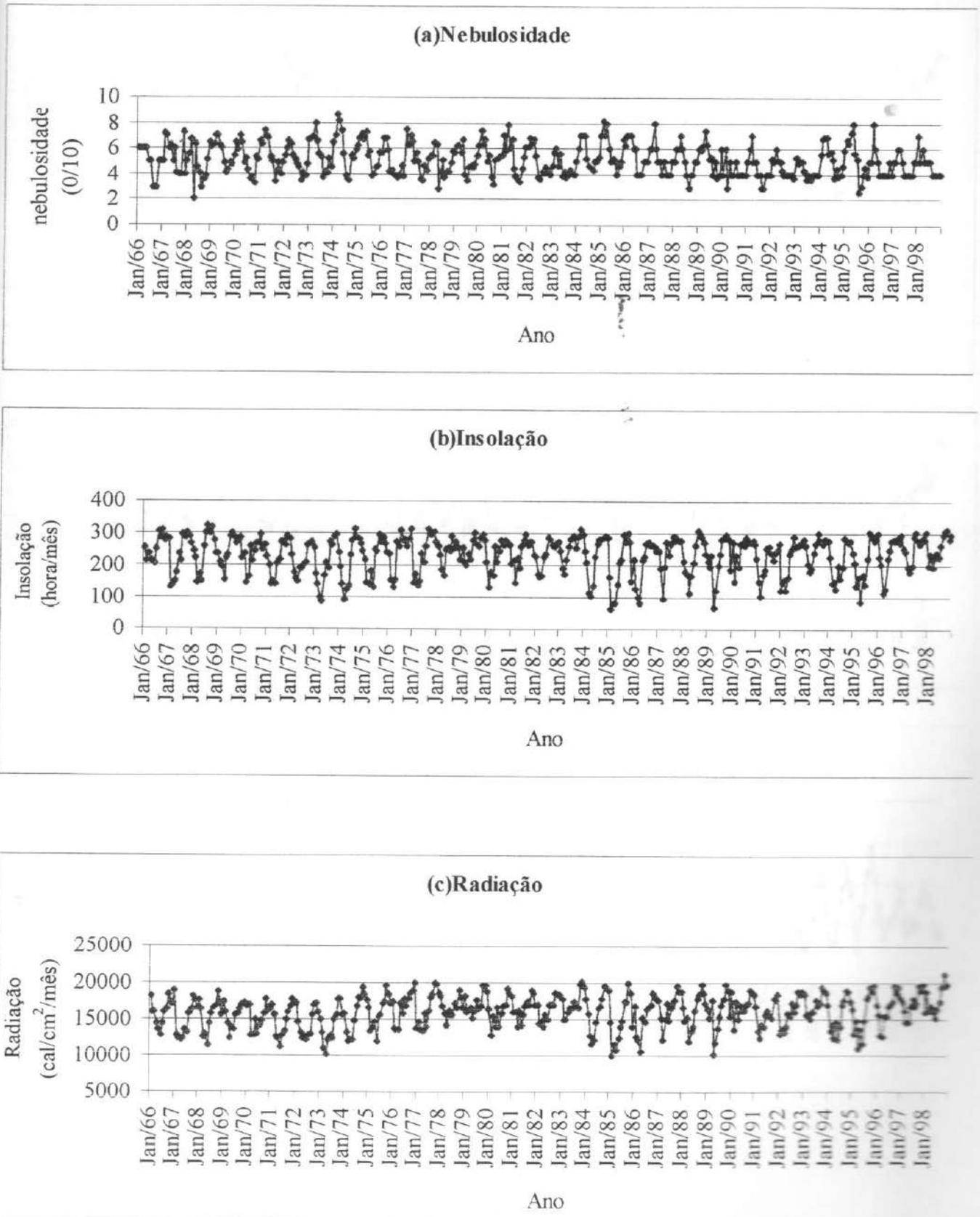
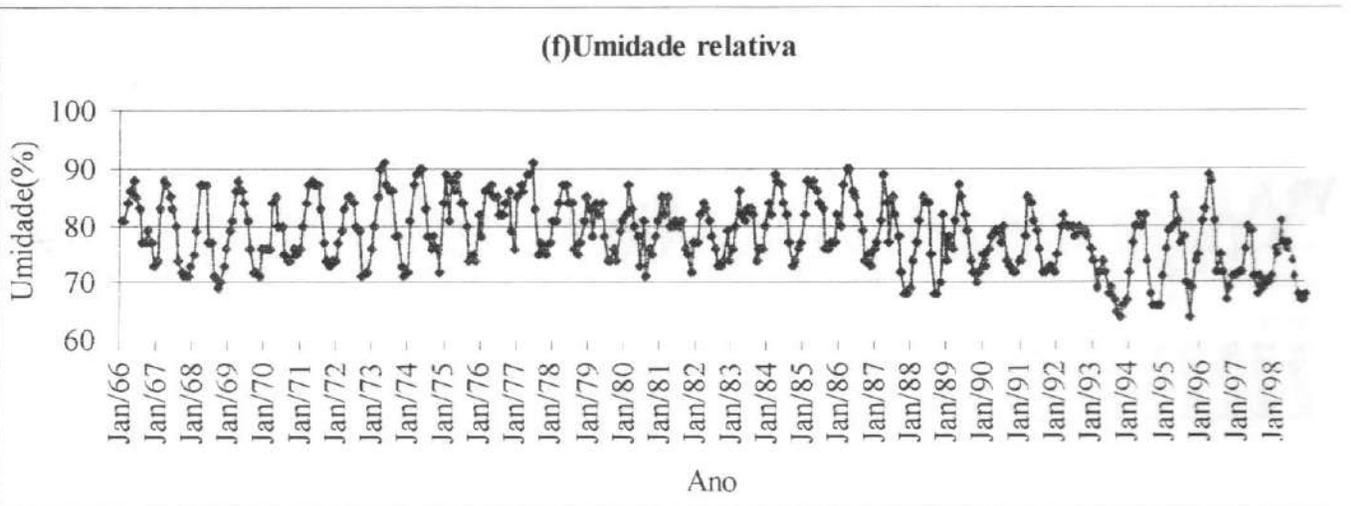
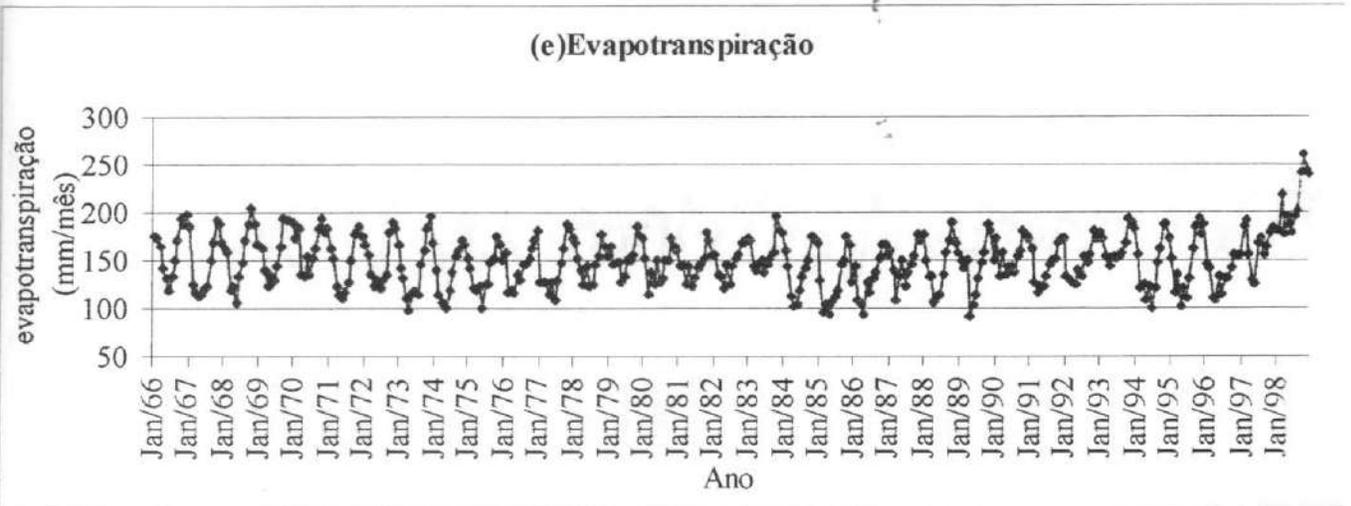
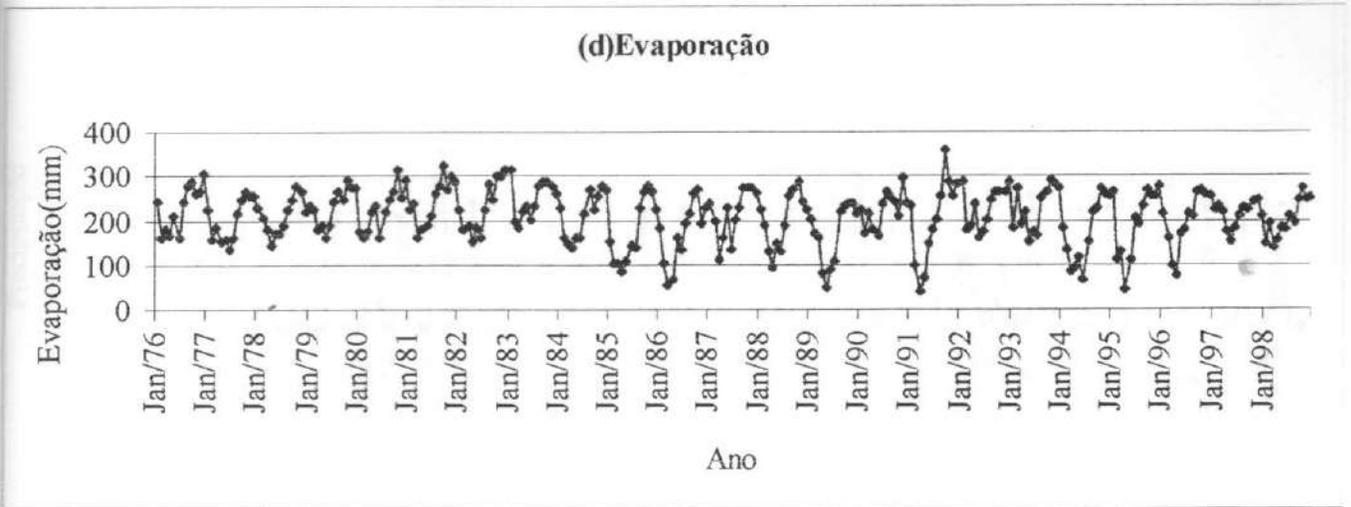
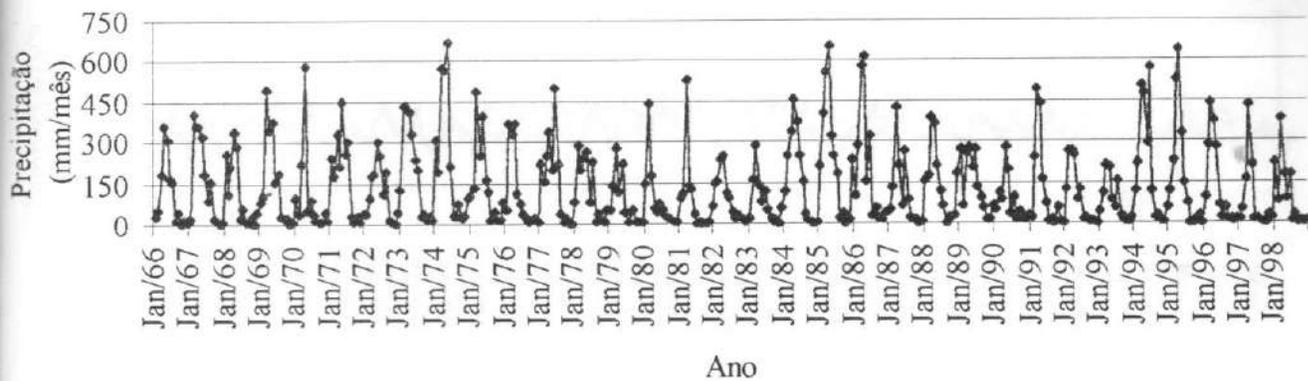


Gráfico 2: Evolução dos fatores climáticos da Estação INEMET – Fortaleza – 1966-1998

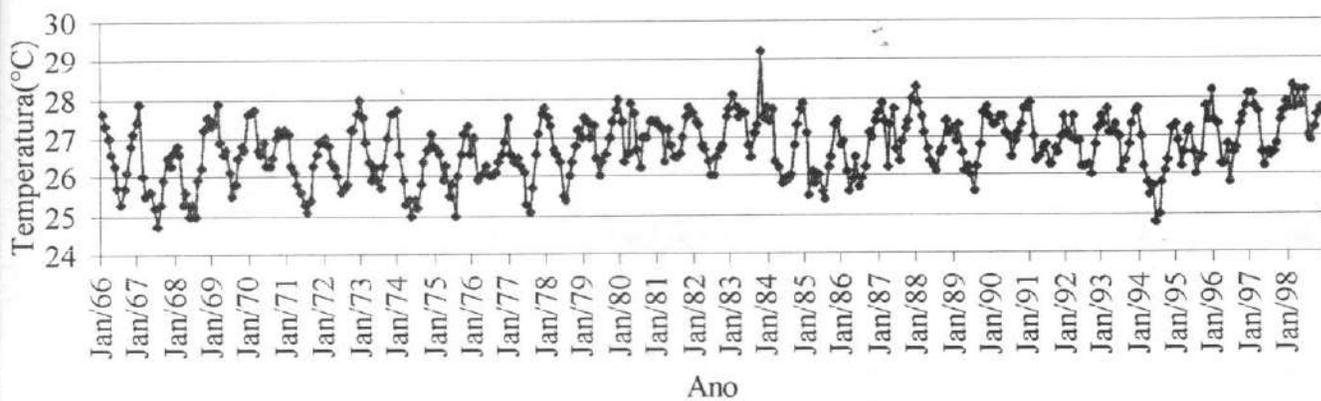




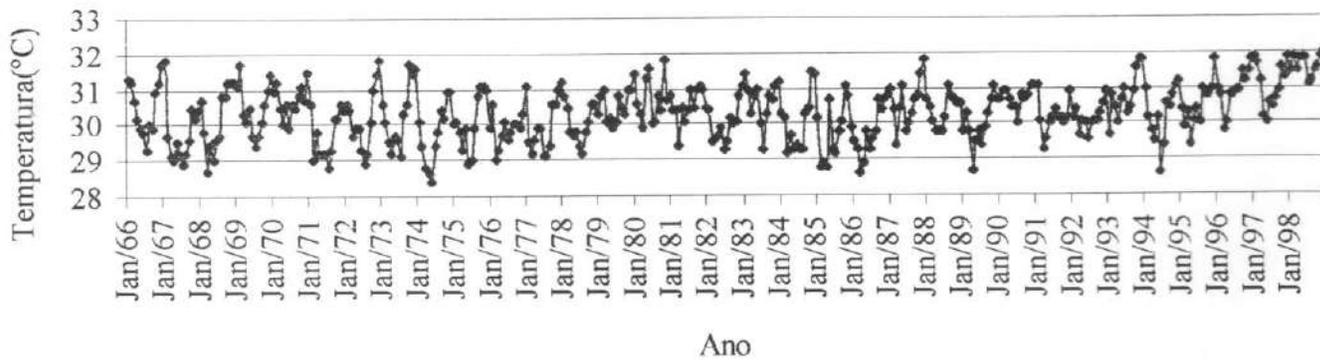
(g) Precipitação



(h) Temperatura Média



(i) Temperatura Máxima



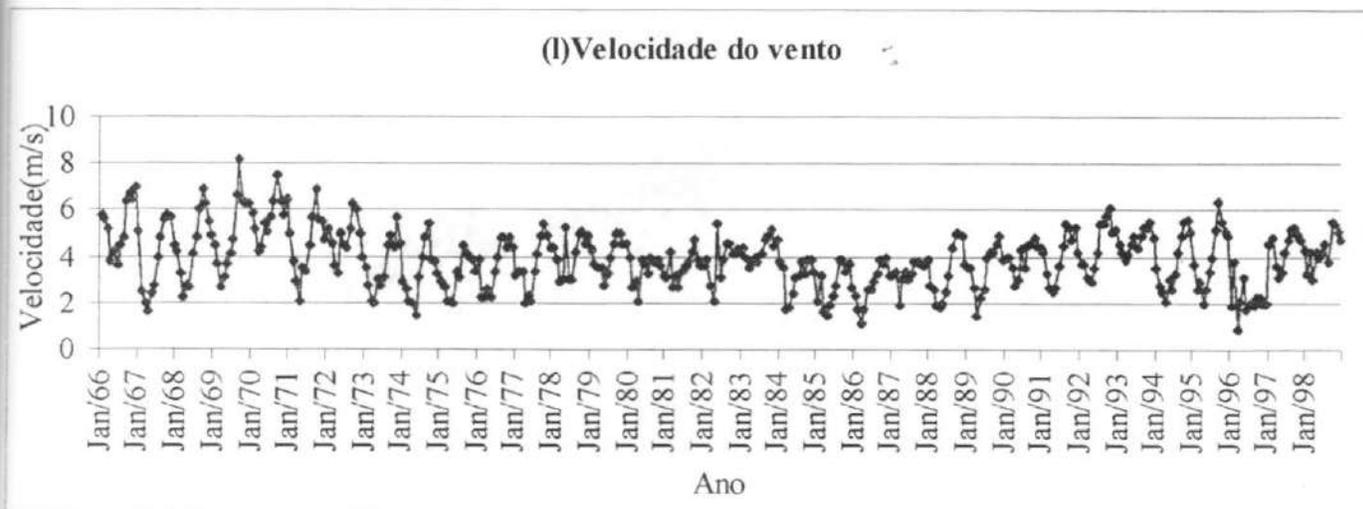
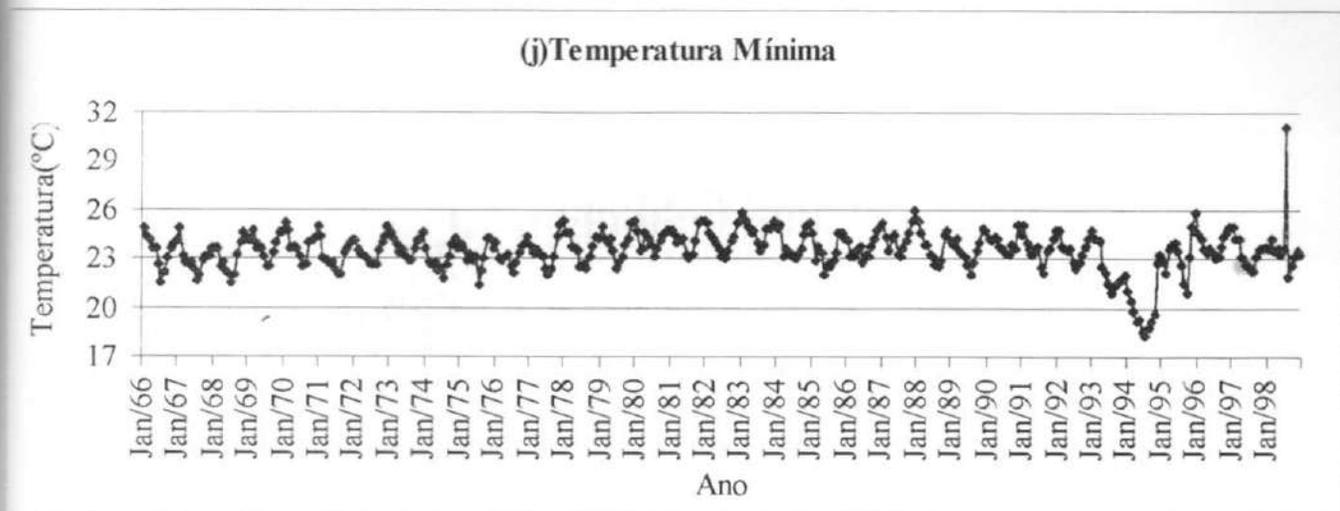
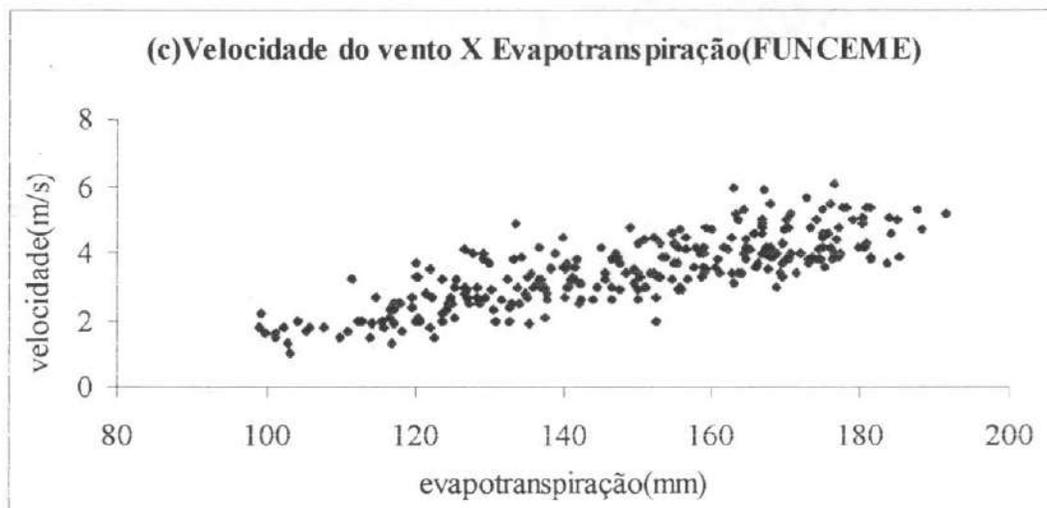
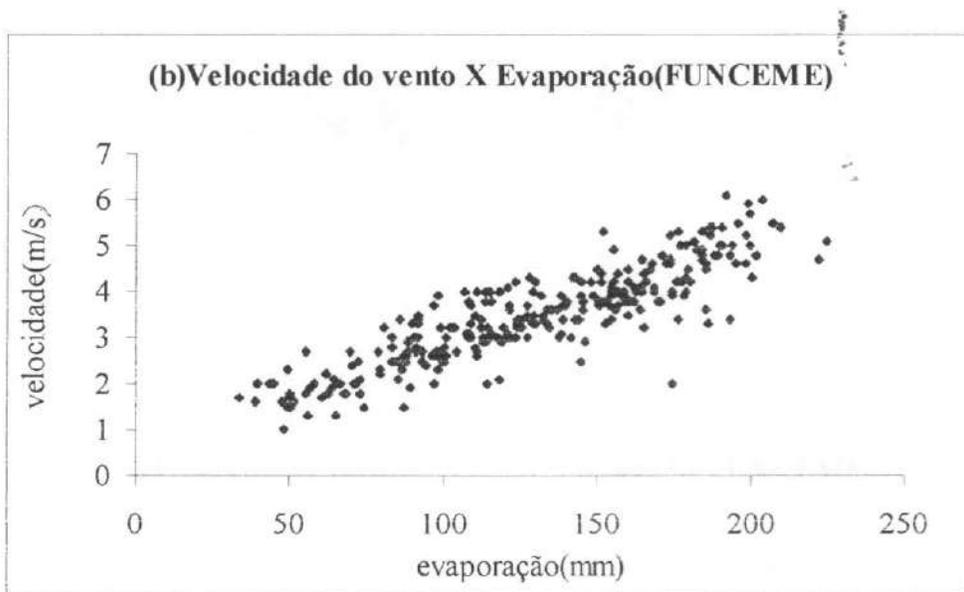
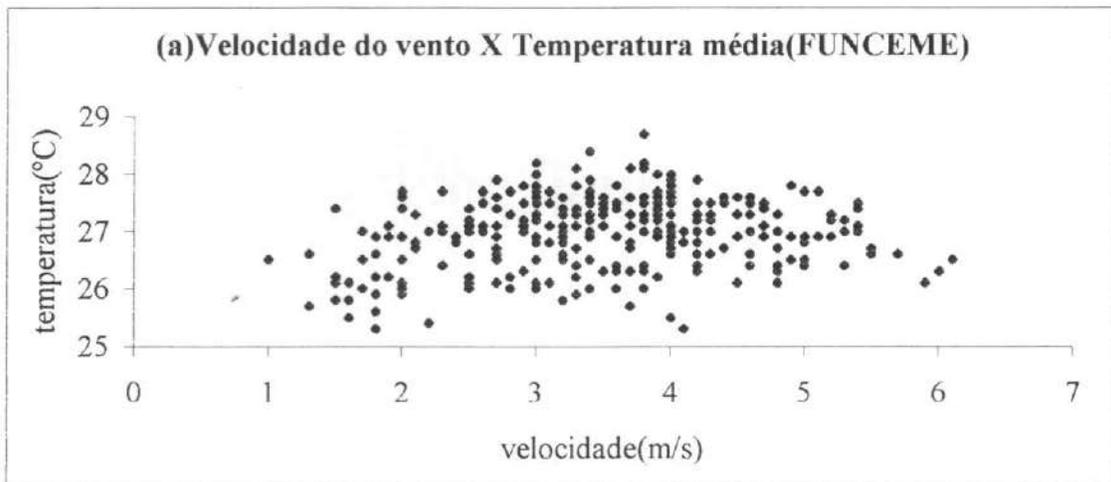
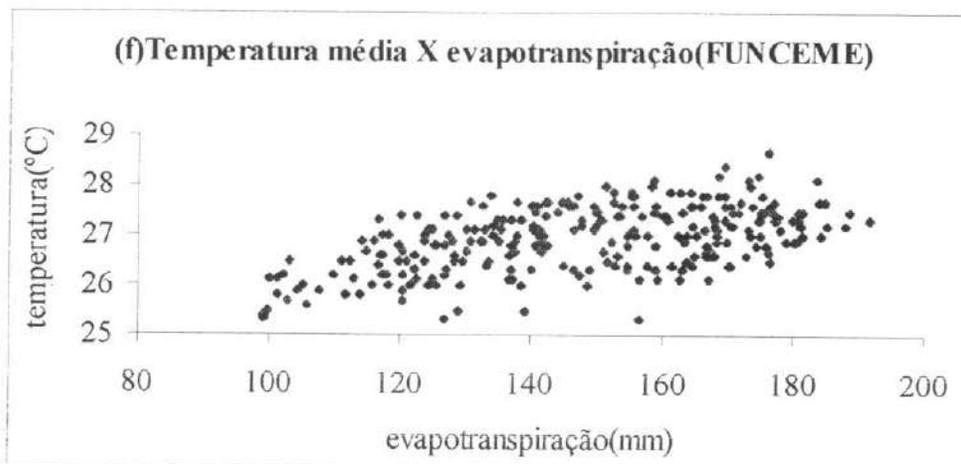
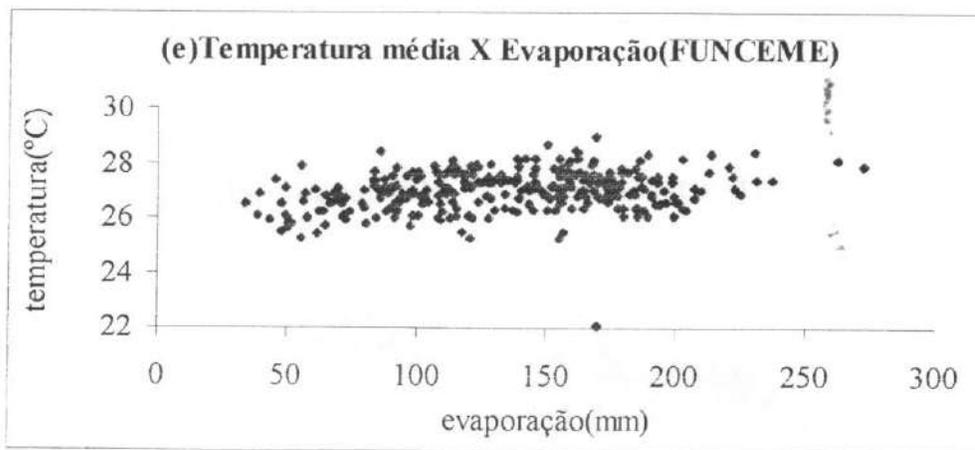
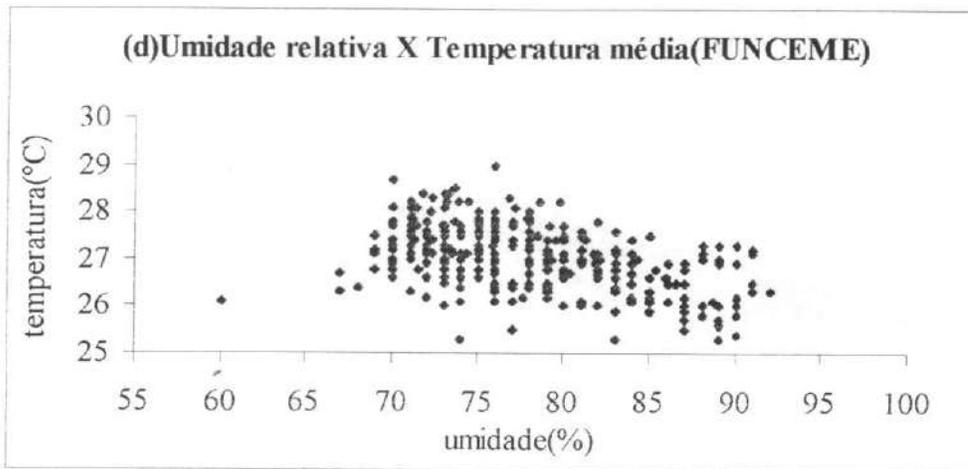


Gráfico 3: Diagramas de dispersão da estação meteorológica da FUNCEME





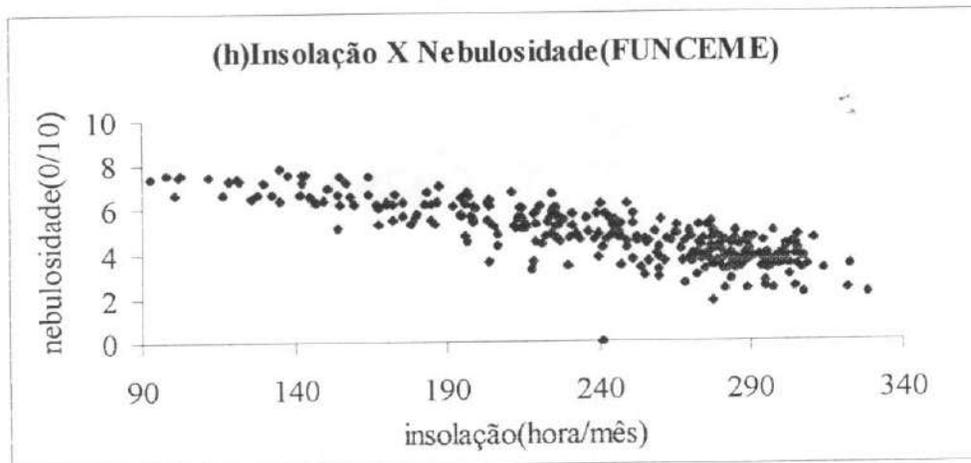
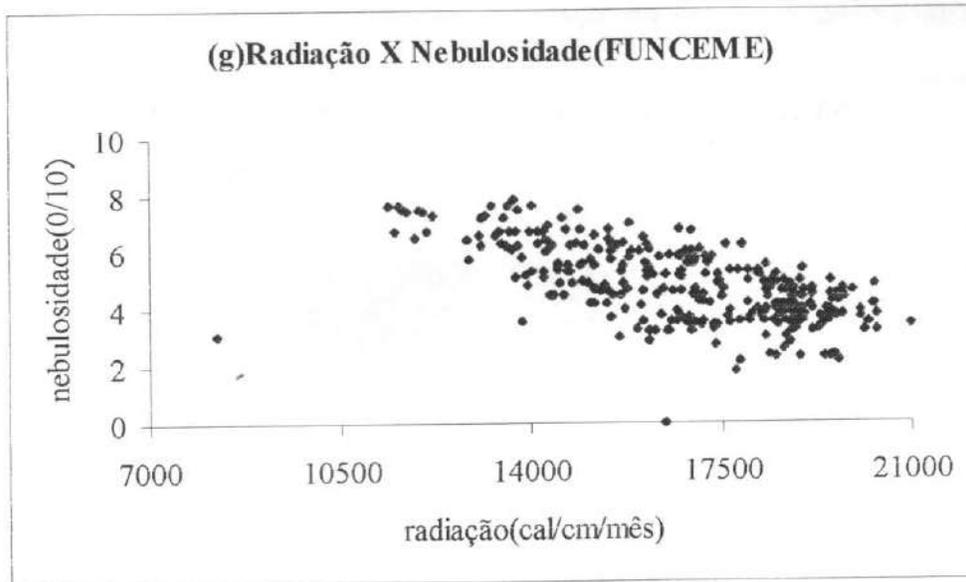


Gráfico 4: Diagramas de dispersão da estação meteorológica do INEMET-UFC

