



O SISTEMA CLIMA URBANO DA ZONA OESTE/RJ: UMA CONTRIBUIÇÃO AO MONITORAMENTO E ANÁLISE EM SISTEMAS AMBIENTAIS

Andrews José de **Lucena**¹

(1- Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Mestre em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); Doutorando em Engenharia – Ciências Atmosféricas em Engenharia (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia/COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ). Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente / PEC / COPPE / UFRJ Caixa Postal 68540, CEP 21-945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil, lucenageo@yahoo.com.br)

Resumo: Neste artigo é descrito o sistema da região da Zona Oeste na cidade do Rio de Janeiro na perspectiva do conceito de sistemas ambientais proposto por Christofolletti (1999) e do Sistema Clima Urbano (SCU) sugerido por Monteiro (1976). Nesta interface, constrói-se um modelo teórico denominado de Sistema Clima Urbano da Zona Oeste, em que se discutem os canais de entrada e saída do sistema, bem como suas variáveis e fatores controladores. É demonstrada, ainda, a situação de equilíbrio no interior do sistema, seus tipos e conceitos associados.

Palavras-chave: Sistema Ambiental; Clima Urbano; Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro.

Abstract

URBAN CLIMATE SYSTEM WEST ZONE/ RJ: A CONTRIBUTION TO MONITORING AND ANALYSIS IN ENVIRONMENTAL SYSTEMS

The paper describes the system in the region of the West Zone in the city of Rio de Janeiro from the perspective of the environmental system concept proposed by Christofolletti (1999) and the Urban Climate System concept (UCS) suggested by Monteiro (1976). In this interface, it's built a theoretical model which is known as "Urban Climate System of the West Zone" where it's

Artigo recebido para publicação em 15 de março de 2010
Artigo aprovado para publicação em 25 de Novembro de 2010



discussed the system inputs and outputs, as well as its variables and controlling factors. It's also demonstrated the balance situation inside the system, its types and associated concepts.

.Keywords: Environmental System, Urban Climate, West Zone of Rio de Janeiro.

Resumé

ZONE URBAINE DE SYSTEME CLIMATIQUE DE L'OUEST / RJ: UNE CONTRIBUTION DE SUIVI ET D'ANALYSE DES SYSTÈMES DE L'ENVIRONNEMENT

Dans cet article, on décrit le système de la région de la zone ouest de la ville de Rio de Janeiro, à l'aide de la notion de systèmes environnementaux, proposés par Christofolletti (1999) et du Système Climat Urbain (SCU), suggéré par Monteiro (1976). Dans cette interface, on construit également un modèle théorique, nommé Système Climat Urbain de la Zone Ouest, où l'on discute des entrées, de la sortie du système, aussi bien que des facteurs de contrôle et des variables; en outre, la situation d'équilibre à l'intérieur du système, ses types et ses concepts associés.

Mots-clés: Système de l'environnement, le climat urbain, la zone ouest de Rio de Janeiro.

1 - Introdução

O sistema representa, em uma margem de tempo e espaço, um fluxo de circulação de massa (corresponde ao material que vai ser mobilizado) e/ou energia (corresponde às forças que fazem o sistema funcionar, gerando a capacidade de realizar trabalho). O que difere os sistemas um do outro é o processo de troca de massa e energia.

Nos sistemas ambientais físicos (ou simplesmente *geossistema*) o clima é fator fundamental, pois constitui o fornecedor de energia, cuja incidência repercute na qualidade disponível de calor e água. Surge como o controlador dos processos e da dinâmica do geossistema. O clima, porém, componente não materializável e não visível na superfície terrestre expõe uma dificuldade em se analisar a morfologia estrutural de seu sistema. (CHRISTOFOLETTI, 1999). Contudo, é na cidade, como em um nenhum outro lugar, que o clima se espacializa a um nível mais perceptivo em função de sua ação de equilíbrio ou



desequilíbrio no “sistema ambiental urbano”, haja vista que a cidade é lócus ativo-passivo dos fenômenos atmosféricos.

O Sistema Clima Urbano (SCU) é um sistema singular, complexo, aberto, evolutivo, adaptativo e morfogênico que ao receber energia do ambiente maior no qual se insere, a transforma substancialmente a ponto de gerar uma produção exportada ao ambiente. Este conjunto-produto é decomposto em três canais de percepção de análise: o do conforto térmico (resolução termodinâmico), da qualidade do ar (resolução físico-química) e do impacto pluvial (meteórico) (MONTEIRO, 1976).

Neste trabalho, sob a perspectiva dos Sistemas Ambientais, proposto por Christofolletti (1999) e do Sistema Clima Urbano, segundo Monteiro (1976), descrever-se-á o sistema clima urbano da Zona Oeste do município do Rio de Janeiro. A partir desta descrição, serão identificados seus canais de entrada e saída, suas variáveis e fatores controladores, demonstrada a noção de equilíbrio, seus tipos e conceitos associados no interior deste sistema.

2 - Fundamentação teórica em clima urbano (uma breve revisão)

Monteiro (1976) trata a cidade como um sistema, baseado na Teoria Geral dos Sistemas e lança o modelo do “Sistema Clima Urbano” (SCU). Este modelo subdividido em subsistemas procura distinguir os fatores de controle, o núcleo do sistema, os níveis de resolução, os efeitos paralelos e a ação planejada que, simultaneamente, tratam dos processos de insumo, transformação, produção, percepção e auto-regulação. É um ambiente complexo, singular, aberto, adaptativo, cuja organização funcional é passível de auto-regulação, isto é, a ação de planejamento para corrigir suas disfunções, expressos em três canais de percepção humana: termodinâmico, físico-químico e hidrometeórico (Figura 1).

O canal termodinâmico engloba os componentes termodinâmicos (calor, umidade e vento) cujo produto é as “ilhas de calor” que influi diretamente no conforto humano. O segundo canal, o físico-químico, trata da qualidade do ar e sua relação com a saúde humana. E, finalmente, o canal hidrometeórico aplica-se à análise dos impactos meteóricos (os aguaceiros, tempestades, furacões etc) sobre o ambiente urbano alterado, como é o caso das enchentes e das inundações, interferindo na organização interna das cidades.

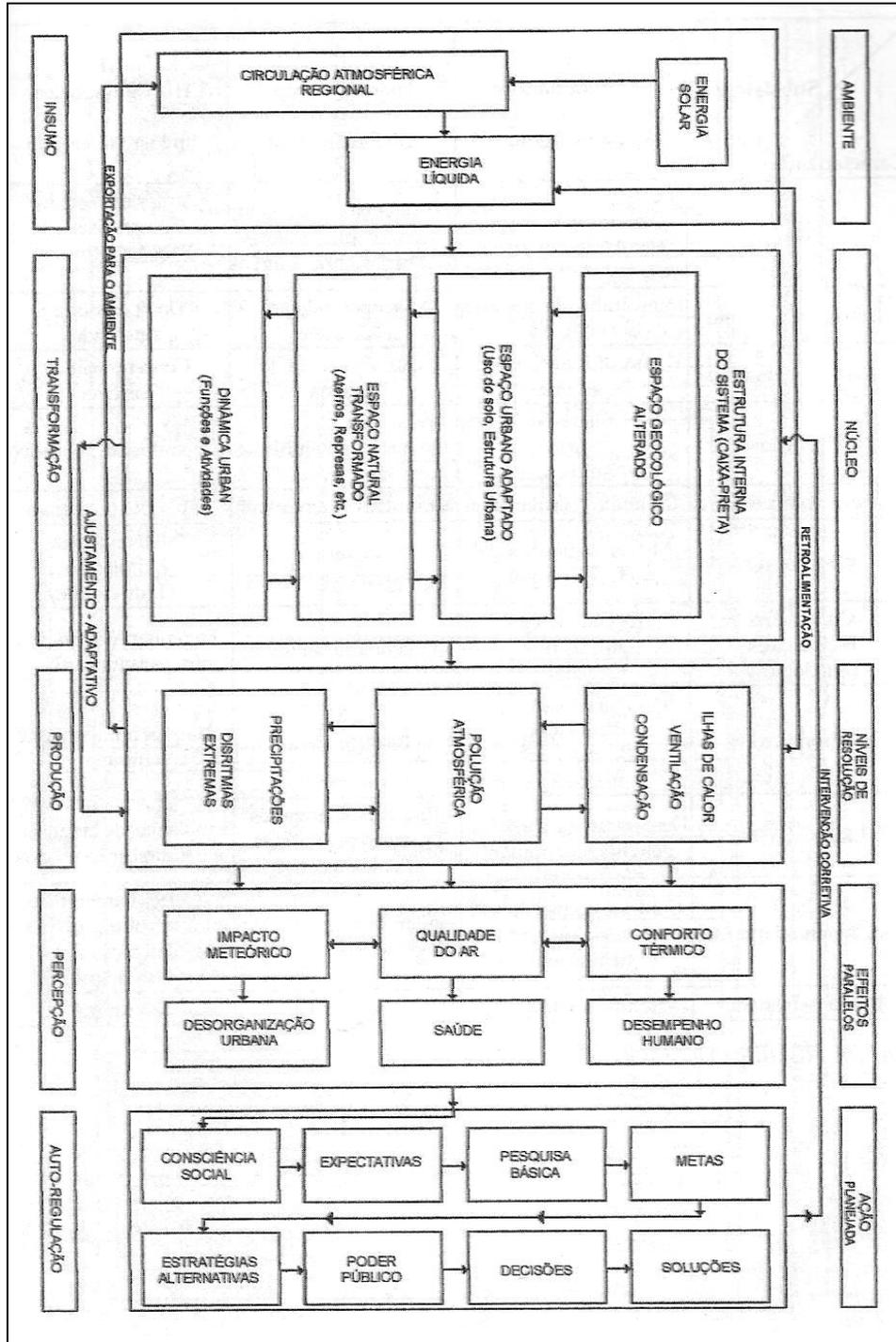


Figura 1: O Sistema Clima Urbano



O estudo do clima urbano privilegia as escalas inferiores - a escala do local - sem desassociar suas articulações com as escalas superiores. Os climas urbanos exercem importante influência na organização dos conjuntos climáticos, estabelecendo-se uma “nova” hierarquização na indução do comportamento atmosférico, conforme explica Monteiro (2001, p.20):

O fundamental a compreensão das relações entre clima e a sociedade deve emanar do reconhecimento de que:

- a. o comportamento atmosférico integrado às demais esferas e processos naturais, “organizam” espaços climáticos a partir das escalas superiores em direção às inferiores;
- b. a ação antrópica em derivar ou “alterar” essas organização ocorre no sentido inverso, ou seja, das escalas inferiores para as superiores.

Em verdade o homem tem capacidade de “criar” microclimas e alterar substancialmente os climas locais (como os “urbanos”) projetando sua ação direta até os espaços sub-regionais.

Uma vez que os estudos de clima urbanos têm se voltado ao planejamento das cidades, o seu estudo requer uma precisão capaz de contribuir de maneira eficaz para a elaboração e implantação de planos que visem à melhoria da vida nas cidades (MENDONÇA, 1994).

A publicação do livro “O clima de Londres derivado de observações meteorológicas” de Howard, em 1818, foi o marco para os estudos de clima urbano no mundo ao destacar que a produção de combustão, elevou a temperatura noturna da cidade em 2,2°C quando comparada ao campo (Gomes, 1993). As pesquisas sobre clima urbano tornam-se mais comuns, com estudos voltados à identificação de alterações dos elementos do clima entre o campo e a cidade, e assim diversos trabalhos passam a ser publicados nas cidades da Europa, América do Norte e Japão.

As metrópoles têm recebido atenção para o estudo do clima urbano e da ilha de calor em várias partes do mundo (Dallas - Aniello, 1994; Buenos Aires – Bejarán e Camilloni, 2003; Beijin – Li et al., 2004; New Jersey – Rosenzweig et al., 2005; Hong Kong – Giridharan et al., 2007; Londres – Kolokotroni e Giridharan, 2008; Tel-Aviv – Saaroni et al., 2000; Lisboa – Alcoforado e Andrade, 2006; Bucareste – Cheval e Dumitrescu, 2008; Fez/Marrocos – Johansson, 2005; entre tantas outras)¹.

Os estudos de clima urbano no Brasil tiveram como base teórica e metodológica a contribuição do professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro com a publicação de sua obra

¹ Estas referências se encontram em Kanda, 2007 e Rizawn et al, 2008.



“Teoria e Clima Urbano”, na década de 1970. Nas últimas três décadas (1980-2010) é consagrada uma produção numerosa, reunidas na produção de artigos publicados em anais de congressos e periódicos, monografias, dissertações de mestrado, teses de doutorado e livros. Do primeiro Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, realizado em Rio Claro/SP, em 1992, até o mais recente, em 2008 no Alto Caparaó/MG, é encontrada uma significativa produção de trabalhos no eixo temático destinado aos estudos de clima urbano.

No Brasil, dois trabalhos podem ser considerados se suma importância por situar o clima urbano nas duas principais cidades brasileiras. Lombardo (1985) analisou a ilha de calor na Grande São Paulo, utilizando-se da técnica de sensoriamento remoto e com os dados obtidos em transectos móveis e fixos. A pesquisadora encontrou uma relação estreita entre ocupação do solo urbano e ilha de calor, cujos maiores gradientes de temperatura aparecem no centro da cidade, em áreas industriais e bairros com alto coeficiente de ocupação de lotes. Relacionou-se ainda a intensidade da ilha térmica com os dados de densidade demográfica, encontrando as mais altas temperaturas associada às mais altas densidades populacionais (mais de 300 hab/hec) ocorrendo justamente nos bairros operários.

Brandão (1996) com o objetivo de analisar o clima urbano da cidade do Rio de Janeiro selecionou 34 bairros da cidade com diferentes características de uso do solo, sob os aspectos geocológicos e geourbanos. Em três transectos fixos, todos partindo da Área Central da cidade em direção a Zona Oeste, à Zona Sul e a Zona da Leopoldina, a autora mapeou o campo térmico na cidade nos anos de 1994 e 1995 nas estações de outono e de inverno. A autora identificou diversas magnitudes da ilha de calor, cuja intensidade máxima (5°C) ocorreu no inverno as 15 e 21h sob a ação do Anticiclone Polar. No horário das 15h, as características do sítio (distância do mar, presença de corpos líquidos, orientação e gradiente dos maciços) tiveram maior peso no core da ilha térmica, configurada em Bangu, Zona Oeste do município. Já às 21h, os ambientes mais edificadas (de maior concentração de poluentes) as características urbanas sobrepujaram os atributos geocológicos, o que contribuiu para que se registrasse em Copacabana e Maracanã a ilha de calor noturna.

3 - A Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro

A Zona Oeste é entendida neste trabalho como a Área de Planejamento 5 (AP-5), compreendendo as Regiões Administrativas de Realengo, Bangu, Campo Grande, Santa Cruz e Guaratiba e seus 21 bairros² a elas associadas (Figura 2). É uma área de 609,50 Km² ocupando 41,83% da área territorial da cidade (IPP, 2000). Divide-se em três compartimentos geomorfológicos: maciços (formados por rochas cristalinas e metamórficas); baixadas (predominando rochas sedimentares) e baía (Figura 3).

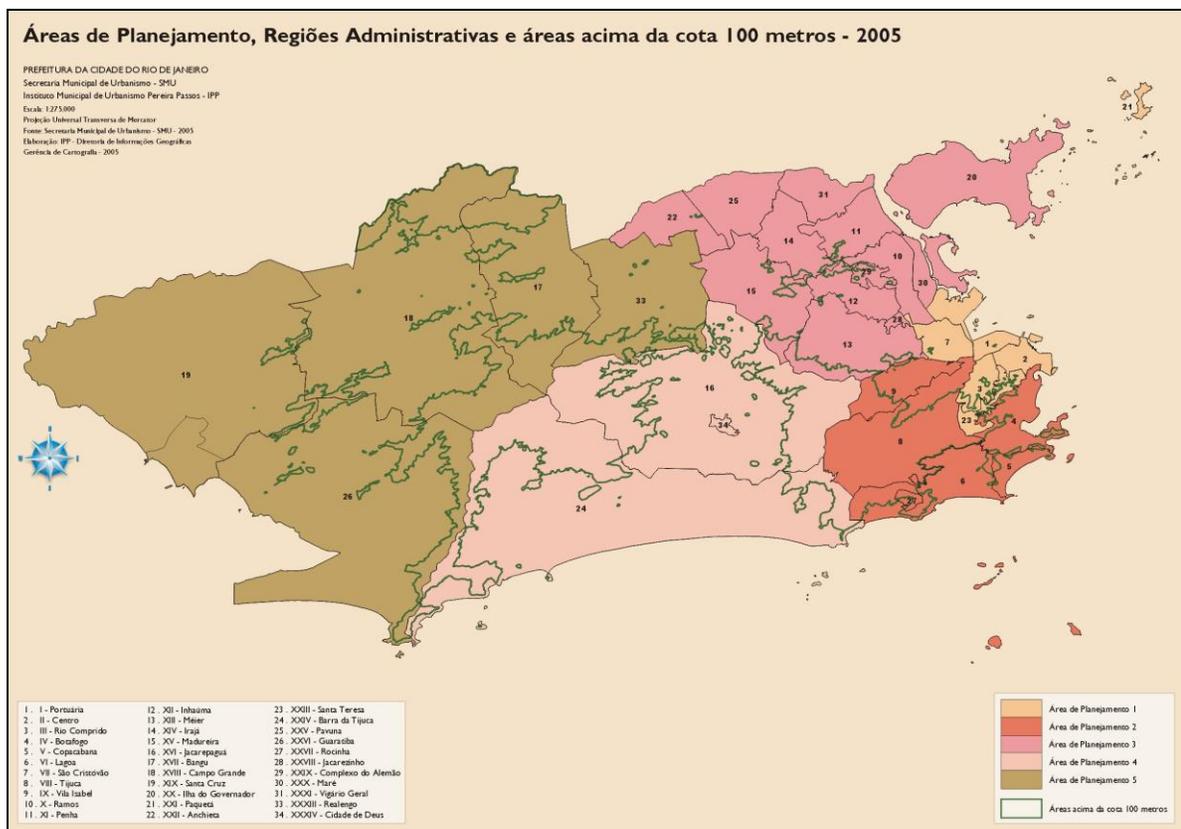


Figura 2: Áreas de Planejamento da cidade do Rio de Janeiro. A Zona Oeste corresponde a AP-5, identificada pela cor marrom no extremo oeste da figura

² XVII RA Bangu: Gericinó, Padre Miguel, Bangu, Senador Camará; XXXIII RA Realengo: Deodoro, Vila Militar, Campo dos Afonsos, Jardim Sulacap, Magalhães Bastos, Realengo; XVIII RA Campo Grande: Santíssimo, Campo Grande, Senador Vasconcelos, Inhoaíba, Cosmos; XIX RA Santa Cruz: Paciência, Santa Cruz, Sepetiba; XXVI RA Guaratiba: Guaratiba, Barra de Guaratiba e Pedra de Guaratiba.

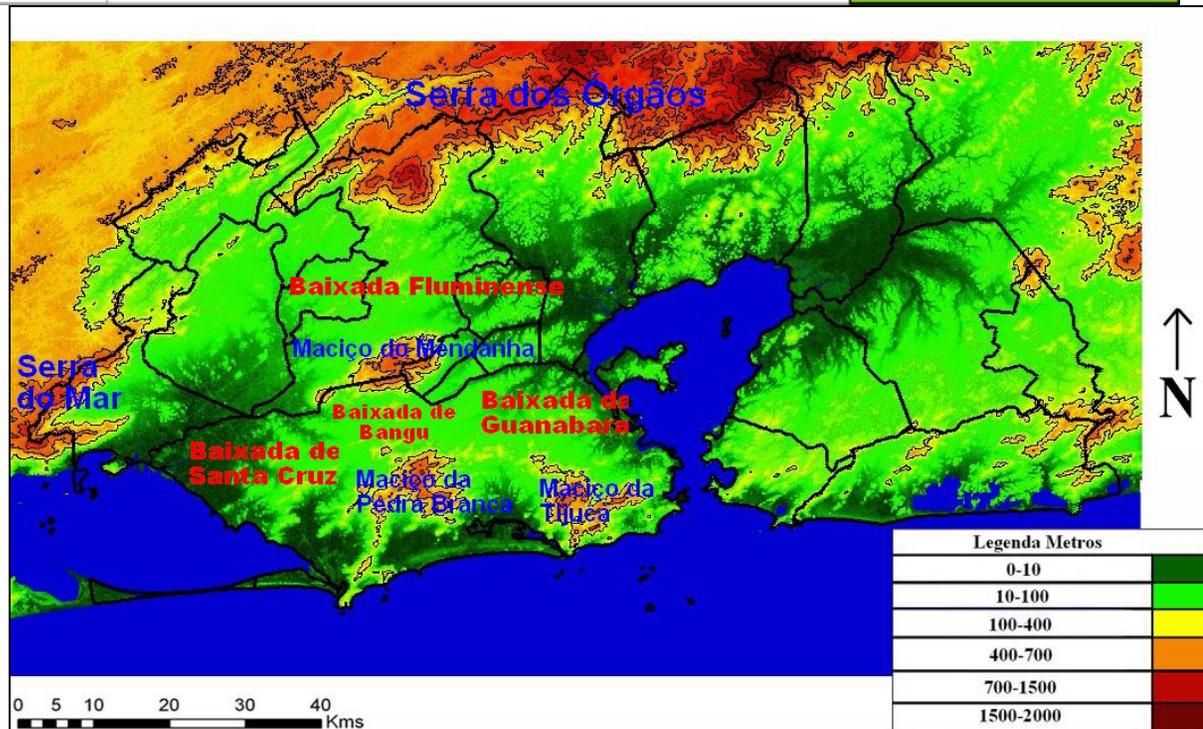


Figura 3: Disposição das baixadas e maciços na cidade do Rio de Janeiro e adjacências

No domínio dos maciços destacam-se o da Pedra Branca e o Gericinó. O maciço da Pedra Branca, modelado por rochas graníticas, possui uma topografia bastante movimentada, com serras (a maioria dispostas no sentido oeste-leste separadas por profundos vales, com exceção da serra Geral de Guaratiba, disposta na direção NNE-SSO), morros e picos, estando nele localizado o ponto culminante do município: o Pico da Pedra Branca (1024m.). É o maior centro dispersor de águas do município, localizando-se aí os rios que descem para as baixadas da Guanabara, de Jacarepágua e de Sepetiba, como o Sarapuí, o Fundo e o Cabuçu. As encostas setentrionais voltadas para Realengo, Bangu e Campo Grande encontram-se bastante degradados, tais como a serra de Bangu e a serra do Viegas, em virtude da substituição do uso vegetal original por gramíneas tanto como pela ocupação humana irregular.

O maciço do Gericinó disposto na direção leste-oeste é dividido pelo vale do Guandu do Sapê em duas principais serras, a do Mendanha e de Madureira. As rochas predominantes são as gnaisse-graníticas e as eruptivas alcalinas. O ponto culminante do maciço é o Pico do Guandu (964m.), situado na serra do Mendanha que ao contrário das serras do Maciço da Pedra Branca



dispõe de floresta mais densa e preservada, no entanto, já são perceptíveis alguns núcleos de ocupação incidindo diretamente em focos de desmatamento.

Das baixadas, a de Bangu e Santa Cruz ocupam toda a área. A primeira é estrangulada entre os maciços da Pedra Branca e do Gericinó, de ocupação urbana intensa, com uma rede de rios e canais, em sua maioria canalizados e assoreados, sujeitos a inundações constantes durante as fortes chuvas de verão. A baixada de Santa Cruz é uma extensa baixada aberta em direção a baía de Sepetiba, atravessada por uma rede de rios e canais que deságuam diretamente na baía. A ocupação humana é ainda rarefeita, se comparada à baixada de Bangu, porém percebe-se nos últimos anos um aumento paulatino e desorganizado de núcleos urbanos, os quais têm trazido impactos ambientais como as enchentes e o carregamento no volume da carga de sedimentos e materiais em direção a baía.

A Zona Oeste abriga as temperaturas mais altas da cidade como também as mais baixas (temperatura máxima acima de 30°C no verão e temperatura mínima em torno dos 19°C no inverno). As temperaturas mais elevadas, ultrapassando 40°C em sua temperatura máxima absoluta nos dias mais quentes do verão carioca, são registradas na baixada de Bangu, em virtude da circulação atmosférica local desenvolvida ali, enquanto que no extremo oeste estão as temperaturas mais amenas durante o inverno, com mínima absoluta bem próxima a 15°C, onde a troca energética é mais balanceada e as brisas marítimas varrem grandemente a área.

A AP-5 é a área de grande expansão da cidade e que a partir da década de 70 apresentou o maior acréscimo de domicílios, verificado, sobretudo no crescimento da construção civil, da especulação imobiliária e dos loteamentos irregulares, muitas dessas construções situadas em áreas desprovidas de infra-estrutura ou em áreas que a priori deveriam ser preservadas (mananciais, áreas verdes, solos impróprios). O alto crescimento da população residente está associado à oferta de bens e serviços urbanos, propiciado pelos investimentos públicos e privados no sistema viário, em loteamentos e edificações residenciais e comerciais, segundo dados do Instituto Pereira Passos/IPP (1998), ou mais precisamente por moradia própria e barata.

Os indicadores de densidade predial e verticalização confirmam o crescimento imobiliário desta área e a apontam como uma área onde a forma de ocupação do solo é predominantemente horizontal, contudo, Bangu detém um estágio mais avançado de ocupação do solo e de maior



índice de verticalização. Nestes últimos 30 anos é verificado um aumento considerável do uso residencial, de serviços e comércios, uma diminuição da cobertura vegetal e do uso agrícola, contribuindo para uma maior diversidade nos padrões de uso do solo.

4 - O Sistema ambiental Zona Oeste: subsistemas, elementos e atributos

A análise dos sistemas se dá a partir da identificação de suas partes componentes, elementos e atributos.

Cada bairro da Zona Oeste constitui uma parte componente (que também pode ser delimitado como um subsistema) do Sistema. Os elementos ou unidades constituem o arruamento, os setores de cada bairro (área comercial, residencial ou de preservação ambiental, por exemplo). A cada elemento discernido no sistema pode ser relacionada *variáveis*, passíveis de mensuração, expressando *qualidades* ou *atributos* (CHRISTOFOLETTI, 1979). Podemos considerar como atributos: as formas e funções do uso do solo urbano: padrão de edificação – altura, disposição, densidade, propriedade dos materiais; comércio, indústria, lazer; presença/ausência de vegetação/arborização; fluxo de veículos/pessoas; insolação, umidade, nebulosidade, vento e precipitação incidente.

4.1 - Entradas, saídas e fatores controladores do Sistema

As entradas (*imput*) correspondem aquilo que o sistema recebe. Ei-los:

- Insolação: situada na costa leste da América do Sul, de latitude um pouco inferior à do Trópico de Capricórnio, a cidade do Rio de Janeiro recebe uma quantidade muito grande de radiação durante boa parte do ano, principalmente no período primavera-verão quando os dias são mais longos e os raios incidentes estão inclinados sobre a superfície tornando-se mais intensos;
- Precipitação pluvial: por se tratar de um clima quente e úmido e de topografia bastante acidentada, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, e mais concentradas no verão;
- Vento: além dos ventos de N-NE provenientes da circulação atmosférica regional, a Zona Oeste abriga um sistema de ventos locais bem dinâmico. No setor geográfico dominado pelos maciços predominam dois sistemas de ventos, um de origem térmica: são os ventos de



montanha e de vale determinados por variações no aquecimento solar; e um segundo geralmente locais e, portanto, de importância restrita causados pela topografia, com ou sem variação no aquecimento solar (ventos secos e quentes que se desenvolve a sotavento do maciço, quando o ar estável é forçado a passar por sobre a barreira montanhosa). No setor da extensa baixada predominam os ventos terral (terra-mar) e a brisa marinha, oriunda da variação diurna do aquecimento solar;

- **Nebulosidade:** por se tratar de uma região de grande instabilidade atmosférica (com altas temperaturas), um sistema de ventos dinâmico e de topografia heterogênea (montanha, vale e baixada), configura-se aí uma alta nebulosidade, que nos dias quentes varia entre 4-7/8 desenvolvendo nuvens de grande ascendência vertical, como os cumulus-nimbos;
- **Ação antropogênica:** a ação humana gerou e tem gerado verifica-se uma diversidade de formas e funções caracterizadas pelas instalações industriais, trânsito intenso, concentração de edificações, equipamentos e pessoas, novas formas topográficas, retirada da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, produção artificial do calor e tantas outras interferências antrópicas no sítio urbano original que alteram, substancialmente, os balanços energético e hídrico. Tais intervenções tem afetado a qualidade de vida do "urbanita", criando situações de má qualidade do ar, de desconforto, de inundações e de doenças dela derivadas.

Os fatores reguladores estabelecem níveis de absorção da massa e/ou energia, distribuem a massa e/ou energia para os componentes do sistema (inclusive armazenadores) e estabelecem o modo e a quantidade de saída de massa e/ou energia do sistema (MARQUES, 1984). Assim, tem-se:

- **Situação sinótica:** o tipo de tempo atuante em um dia é decisivo em determinar o campo térmico. Em situação de estabilidade atmosférica, com ar calmo e céu claro, por exemplo, condicionam a manifestação de ilhas de calor, podendo variar de fraca, moderada até forte intensidade;
- **Topografia:** as características topográficas da Zona Oeste podem favorecer a manifestação de alguns fenômenos, tal como a inversão térmica na baixada de Bangu. Sua fisiografia em vale determina tal configuração dificultando, assim, a dispersão de poluentes e favorecendo o acúmulo de calor pelas partículas suspensas no ar. Em áreas de topografia plana, como na



baixada de Santa Cruz, o balanço térmico e hídrico são mais regulares e os ventos locais circunscreve uma troca de ar mais eficiente;

- Padrões de uso e ocupação do solo: nos bairros de maior densidade urbana, onde predomina a superfície construída ausente de cobertura vegetal (com baixas taxas de albedo), normalmente no setor comercial, a radiação solar incide diretamente sobre a superfície “nua”, acelerando o processo de acumulação, retardando a liberação de calor da superfície e alimentando altas temperaturas nas últimas horas do dia e à noite. Assim, a disponibilidade de calor latente é reduzida naqueles núcleos, enquanto eleva-se a disponibilidade de calor sensível, gerando ilhas térmicas de maior intensidade, o que incide freqüentemente no conforto humano.

Após a entrada de massa e/ou energia estas sofrem transformações no interior do sistema e, depois, encaminhadas ao exterior do sistema, conferindo as saídas (*output*) do sistema. Todo produto fornecido pelo sistema representa um tipo de saída (CHRISTOFOLETTI, 1979). Como produto do SCU da Zona Oeste está as suas derivações climato-ambientais, arroladas abaixo:

- Ilhas de calor: como resultado das condições atmosféricas conjugado às condições geourbanas do ambiente, estes núcleos mais quentes apresentam grande mobilidade espacial e temporal dentro e fora do sistema, sendo, portanto exportada para sistemas adjacentes;
- Enchentes, inundações e descargas de sedimentos: devido a ocupação humana em direção às vertentes, às margens de rios e em solos de vocação inadequada, as chuvas concentradas geram impactos ambientais de grande caos urbano, intra e extra sistema, seja através das enchentes e inundações, seja através do acúmulo ou carregamento de sedimentos e materiais;
- Poluição atmosférica: as atividades industriais ou automotivas associadas à estabilidade atmosférica geram núcleos de poluição ou até mesmo acumulam partículas poluentes que alimentam a formação da chuva ácida, cuja área de abrangência ultrapassa o limite do sistema gerador.

5 - Equilíbrio do Sistema

Equilíbrio, como define Christofolletti (1979) é o ajustamento completo das variáveis internas do sistema às condições externas a ele. O equilíbrio de um sistema ambiental deriva do comportamento conjunto dos seus componentes e dos processos nele existentes às condições que



lhes são impostas pelo meio exterior. Para entender e explicar suas condições de equilíbrio é necessário conhecer suas múltiplas relações com o meio exterior (MARQUES, 1984).

Os equilíbrios podem ser classificados em simples, quando o envolvimento no comportamento se dá entre poucas ou apenas duas variáveis, como são o estático, estável, instável e meta-estável, e complexos, vistos como um todo no interior do sistema assim o é: steady state, termo-dinâmico, dinâmico e meta-estável.

Vejam os um a um:

- **Estático:** representa a distribuição de energia do sistema. Os processos vistos de uma escala ampla, ou de um observador comum, não se apresentam tão dinâmicos, isto é, não demonstram mudança de comportamento.

Exemplo: O clima regional da cidade do Rio de Janeiro. Sob uma perspectiva da circulação atmosférica global, os centros de ação (responsáveis pelo clima quente e úmido) que atuam na cidade são estáticos não apresentando oscilação alguma. Contudo, sob o âmbito das mudanças climáticas globais tais centros de ação podem estar (ou estão) sofrendo ao longo de uma escala de tempo maior que a humana (até mesmo de escala geológica) variações de comportamento sobre o espaço geográfico da cidade (aumento ou diminuição nos índices pluviométricos e térmicos da cidade, por exemplo), não perceptível aos olhos humanos;

- **Estável:** é uma espécie de equilíbrio estático que sofreu alguma turbulência, mas sua tendência retorna a posição de equilíbrio.

Exemplo: Os avanços dos Anticiclones frios polares que caminham, precedidos de frentes frias mudam as condições de tempo quente na Zona Oeste. A circulação de N é, primeiramente, agravada por ventos de NW, pré-frontais, e a seguir substituída pelos polares de S a SE, ou SW. Continuando o progresso de tais centros de alta pressão, a um pequeno período de calmarias, correspondentes à passagem da zona de divergência sucedem as correntes de N a NE da retaguarda do Anticiclone, que voltam finalmente a reconstruir a circulação geral.

- **Instável:** os efeitos de forças de entrada tornam-se cumulativos (MARQUES, 1984), saindo de uma posição e podendo alcançar outra, contudo mantendo o equilíbrio estático.

Exemplo: Com as alterações ocorridas em seu ambiente ao longo da sua ocupação, o sistema climático da Zona Oeste apresenta possibilidades de distúrbios, tais como o aumento das médias



térmicas e manifestação de ilhas de calor. Entretanto, a circulação atmosférica geral (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, Massa Tropical Atlântica) e secundária (Anticiclone polar) continuam a interagir sobre a área sendo ainda responsável pelo regime sazonal anual.

- **Meta-estável:** é um estado de equilíbrio que está sempre oscilando.

Exemplo: A Zona Oeste por suas condições geológicas, normalmente abriga durante o dia as temperaturas mais elevadas da cidade enquanto à noite o processo é invertido. Partindo do empirismo e de alguns estudos preliminares (LUCENA, 2000; LUCENA & BRANDÃO, 2001; LUCENA, 2002) supõe-se que este setor da cidade não apenas registra as temperaturas mais elevadas diurna mas também tem grande probabilidade de enquadrar-se no setor geográfico das temperaturas mais elevadas à noite, levando a apontar que tal efeito estará associado ao boom do crescimento urbano das últimas décadas, acarretando em alterações nas trocas de calor intra-urbano.

- **“Steady state” (estado contínuo):** é um comportamento que se ajusta ao longo de um certo valor (uma média estatística).

Exemplo: A análise da oscilação e tendência da curva térmica em 70 anos (1931-2000) em Bangu, realizada por Lucena (2002), constata aumento dos valores térmicos em até 1,0°C em relação a média do período de 70 anos.

- **Termo-dinâmico:** está associado a idéia de entropia, isto é, distribuição de energia de um baixo nível para um alto nível. Parte-se de um sistema organizado (a energia é distribuída regularmente entre as partes componentes e os elementos) para um sistema desorganizado (a energia é distribuída aleatoriamente no sistema).

Exemplo: Antes da ocupação humana e das formas e funções urbanas a ela associada, o sistema ambiental da Zona Oeste apresentava um tipo de padrão (“natural”) em seu balanço térmico e hídrico. Desde então os processos de troca de calor e hídrico estão afetados e funcionam desregulados. O ambiente construído acumula mais calor e libera mais lentamente para a atmosfera intensificando o core da ilha de calor noturna; a energia calorífica fica disponível para o aquecimento do ar, enquanto o perfil urbano, reduzindo a velocidade dos ventos inibe a evaporação; a circulação de veículos automotores emite calor e contribui para a



turbulência dos níveis inferiores do ar, dificultando a dispersão térmica próximo ao solo em direção às camadas superiores etc.

- **Dinâmico:** é um constante ajuste dentro de uma tendência. É um equilíbrio ao longo do tempo que se ajusta a um novo comportamento.

Exemplo: Os estudos de Lucena (2002) para Bangu apontaram que as médias térmicas ao longo de seus 70 anos, em suas três variáveis (máxima, mínima e média compensada) de análise, aumentaram em torno de 1,0°C, de modo particular quanto às temperaturas mínimas. Tudo indica que as condições geourbanas locais sobrepujaram as condições geocológicas do sistema. É uma situação que indica como as condições microclimáticas urbanas, provavelmente, têm exercido papel determinante na configuração do campo térmico.

- **Meta-instável:** é um equilíbrio dinâmico que pode mudar de um estado para outro (é uma nova tendência para um novo patamar).

Exemplo: supõe-se que com o adensamento das formas e funções do espaço urbano, o clima da Zona Oeste futuramente esteja subjugado ao “clima urbano” e não mais a um “clima natural”. Assim, a trajetória climática deste ambiente seja controlada pelo metabolismo urbano.

6 - Conceitos associados

Os conceitos associados evidenciam as múltiplas relações que possam ocorrer dentro do sistema, como é descrito e analisado a seguir:

- **Correlação entre variáveis e auto-controle:** o relacionamento entre variáveis pode ocorrer de forma direta ou inversa. A identificação desses relacionamentos através de correlações é importante, pois permite avaliar tipos de comportamento conjunto. Esses relacionamentos podem refletir ações de causa e efeito, ou até mesmo, relações recíprocas de causa e efeito, demonstrando a existência de mecanismos de retroalimentação (“feedback”). Esses mecanismos propiciam auto-regulagens que podem tornar os sistemas, de certa forma, menos dependentes das condições externas (MARQUES, 1984). O sistema tem ou não condições para se ajustar ao equilíbrio desejado.

Exemplos:



A camada de poluentes gerada na cidade apresenta certa tendência para refletir a luz solar (reduzindo, em princípio, o montante de radiação direta que atinge a superfície), mas dificulta o escoamento e a dissipação do calor, haja vista que parte da radiação absorvida será reemitida para baixo. Aquecendo-se as camadas inferiores do ar, uma parcela do calor será absorvida e reemitida pelo chão. Assim, a concentração de ar poluído não só causa uma ilha térmica mais intensa, como também altera a estrutura vertical das temperaturas de forma a retardar a sua dispersão (feedback positivo);

A presença de nebulosidade é fator que inibe a entrada dos raios solares. Contudo, a persistência da nebulosidade no turno da tarde e à noite dificulta a dispersão de energia calorífica da superfície para a atmosfera acumulando calor e intensificando a ilha térmica noturna (feedback positivo);

As edificações em altos pavimentos e alinhados em “corredor” (comum no CBD) é fonte núcleo de calor em função da grande condutância térmica de seus materiais (“canyons urbanos”) e também funcionam como “labirintos de refletores”, pois além de acumularem calor seu perfil geométrico causa reflexões múltiplas ao longo das ruas. Por outro lado, em alguns momentos do dia tais edificações projetam sombreamento, criando “ilhas frias”, e de acordo com o posicionamento e alinhamento das edificações, estes constituem verdadeiros corredores de vento (“brisa urbana”) dissipando calor estabelecendo um resfriamento mais efetivo destes ambientes na geração das “ilhas de frescor” (feedback negativo).

- Estabilidade estatística: associa-se a idéia probabilística da existência de variações no comportamento de distribuições, sem que essas variações signifiquem anormalidades. Elas seriam comportamentos em torno de um valor central.

Exemplo:

Mesmo sendo possível um aumento das chuvas (“chuvas urbanas”) em razão da carga de poluentes na atmosfera ou uma diminuição das mesmas devido a diminuição da quantidade de umidade no ar, estas não podem ser determinadas pela morfologia e atividades urbanas, haja vista que uma circulação atmosférica regional controla o regime pluviométrico sobre o espaço geográfico da cidade.



- Eficiência ótima: representa a obtenção do máximo de resultados com o uso do mínimo de massa e/ou energia disponível.

Exemplo:

A configuração de ilhas térmicas de intensidade moderada a forte em determinados ambientes. Em Bangu, Lucena (2002.) encontrou core de 5° C da ilha de calor na área comercial do bairro em condições sinóticas propícias. Isto é, a energia solar disponibilizada neste ambiente alcança eficiência máxima para determinar a formação de núcleos quentes quando encontra na superfície urbana as condições para a sua geração.

- Limiares: representam pontos limites que uma vez ultrapassados redundam no estabelecimento de novos padrões de funcionamento ou de novos níveis de equilíbrio. Os sistemas podem ultrapassar esses limiares porém, dependendo da eficiência de seus controladores internos, há possibilidade de retornar ao estado anterior (MARQUES, 1984).

Exemplo:

Brandão (1987) para o Rio de Janeiro analisou uma série de 130 anos de dados (temperatura) na estação principal da cidade, e utilizando-se da técnica estatística da média móvel, constatou a presença de dois grandes ciclos quentes, intercalados por uma fase mais amena que considerou ser uma “tendência secular” do clima regido por fenômenos naturais de grande escala. No entanto, a autora apontou uma tendência de aquecimento para o segundo ciclo quente (iniciado a partir de 1940), que teve o processo de urbanização como fator atuante aumentando e acelerando este ciclo mais quente.

Lucena (2002) ao analisar as oscilações e tendências do clima em Bangu/RJ entre 1931-2000 detectou valores extremos máximos de temperatura em alguns anos da década de 40, 50 e 60 (temp. máxima: 32,6° C em dezembro de 1958, 34,1° C em março de 1963, 33,8° C em dezembro de 1965; temp. mínima: 23,2° C em fevereiro de 1948, 24,3° C em fevereiro de 1954, 23,4° C em março de 1963; temp. média compensada: 27,9° C em fevereiro de 1946, 28,2° C em fevereiro de 1958, 28,9° C em março de 1966) podendo confirmar os pressupostos de Brandão de “ciclo mais quente” para a cidade a partir daquele período mencionado pela autora, evidenciando também uma tendência de aquecimento para o bairro, sobretudo a partir da década de 60/70.



Estes extremos trouxeram transformações ao sistema e pode denominar a presença de uma nova tendência (um clima mais quente, por exemplo).

- **Lapso de reação:** é o momento entre a ação e os efeitos de reação, que ocorre normalmente em uma escala de tempo. Cada processo de reação acontece em um tempo e antecede a mudança do sistema (são os limites críticos). Neste conceito também podemos inferir que a presença de testemunhos na paisagem é uma evidência do que aconteceu em tempos passados e podem denotar indicio para um tempo futuro.

Exemplo:

Com a evidência de determinados fenômenos do metabolismo urbano-climático no sistema ambiental da Zona Oeste, identificados a partir dos canais de percepção do SCU: ilha de calor e conforto humano (LUCENA, 2002; BRANDÃO, 2002.); impactos meteóricos e desorganização do espaço (BRANDÃO, 1992 e 2001) poluição do ar e saúde (RUSSO & BRANDÃO, 2000 e 2002) estes aspectos podem encadear para a “instalação definitiva do SCU”, eliminando de vez o “clima natural”, e perpetuando efeitos mais concretos, que são: diminuição da umidade; maior disponibilidade de calor sensível/baixa disponibilidade de calor latente; probabilidade de aumento das chuvas urbanas; ventos alterados pela rugosidade morfológica urbana; noites mais quentes etc. Com um “novo” sistema climático instalado como reverter tal quadro e retomar ao clima “mais natural” que já havia em um tempo mais remoto (há 100 anos atrás, por exemplo)?

7 - Considerações Finais

O meio ambiente urbano é um sistema complexo e diversificado tendo nas relações entre os seus elementos integrantes uma intervenção cada vez mais intensa das ações humanas, e por isso constituem-se em sistemas cada vez mais controlados tendo como principal agente o homem. O sistema clima urbano é um exemplo de sistema controlado onde os fatores humanos exercem influência significativa no funcionamento do clima na camada limite urbana.

A análise da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro, sob uma visão sistêmica e utilizando-se da noção de equilíbrio e seus conceitos associados, ilustra a compreensão dos



processos e de suas resultantes no interior do sistema, da interação entre os fatores físicos e sociais e instiga reflexões e inquietações quanto ao seu futuro.

A Zona Oeste por se tratar de uma região de expansão da malha urbana metropolitana deverá se apoiar nos resultados apresentados neste trabalho, pois demonstra o funcionamento do sistema ambiental a partir de todos os elementos integrados, físicos e urbanos, servindo como subsídio ao planejamento ambiental.

8 - Referências

- BRANDÃO, A. M. P. M.. *Clima Urbano e Enchentes na Cidade do Rio de Janeiro*. p. 123-187. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S. B. *Impactos Ambientais Urbanos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.
- BRANDÃO, A.M.P.M. *As Alterações Climáticas na Área Metropolitana do Rio de Janeiro: Uma Provável Influência do Crescimento Urbano*. p.143-200. In: ABREU, M.A.(org.) *Natureza e Sociedade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Biblioteca Carioca, 1992.
- BRANDÃO, A.M.P.M. *O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro*. 1996. 362f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Letras, Filosofia e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BRANDÃO, A.M.P.M. *Tendências e Oscilações Climáticas na Área Metropolitana do Rio de Janeiro*. 1987. 187f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Letras, Filosofia e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1999.
- GOMEZ, A. L. *El Clima de las ciudades*. p. 9-28. In: GOMEZ, A. L. (org.). *El Clima de las ciudades españolas*. Madrid/Espana: Ed. Cátedra, 1993.
- INSTITUTO PEREIRA PASSOS. PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. *Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro 1998*. Rio de Janeiro: IPP, 2000. 864p.
- KANDA, M. *Progress in Urban meteorology: a review*. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, vol. 85B, p.363-383, 2007.



LOMBARDO, M. A. *A Ilha de Calor nas Metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.

LUCENA, A.J. & BRANDÃO, A.M.P.M. *O Campo Térmico em Bangu (RJ) em Situações Sazonais de Verão e Outono*. Anais IV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Rio de Janeiro, Brasil, 26-30 novembro 2000, Universidade Federal do Rio de Janeiro. CD.

LUCENA, A. J. *O clima de Bangu no contexto do Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro*. Monografia (Graduação em Geografia). 2002. 91f. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

LUCENA, A.J. *O Clima Urbano do Rio de Janeiro: um Estudo de Caso em Bangu*. In: Anais da XXIII Jornada de Iniciação Científica e XIII Jornada de Iniciação Artística e Cultural, 2001, Rio de Janeiro. Resumos. Rio de Janeiro: Universidade federal do Rio de Janeiro, 2001. p. 137.

MARQUES, J. S. *Estruturação do Sistema Ambiental da Baixada de Jacarepaguá*. Geografia, vol. 17-18, p. 187-194. 1984.

MENDONÇA, F. A. *O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teórico-metodológicos e estudos de caso*. p. 167-192. In: SANT ANNA NETO, J. L. & ZAVATINI, J. A. (org). Variabilidade e Mudanças climáticas: Implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000.

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

RIZWAN, A. M. et al. *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island*. Journal of Environmental Sciences, vol. 20, p. 120–128. 2008.

RUSSO, P.R. & BRANDÃO, A.M.P.M. *A cidade do Rio de Janeiro e sua qualidade do ar: quadro comparativo das concentrações mensais de partículas em suspensão na atmosfera entre as décadas de 1980 e 1990*. Anais V Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Curitiba, Brasil, 04-06 dezembro 2002, Universidade Federal de Curitiba. CD.

RUSSO, P.R. & BRANDÃO, A.M.P.M. *Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro: Ocupação e Qualidade do Ar*. Anais IV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Rio de Janeiro, Brasil, 26-30 novembro 2000, Universidade Federal do Rio de Janeiro. CD.