

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ARRANJOS CONSTRUTIVOS URBANOS:
Um Estudo sobre a Influência da Configuração de
Conjuntos Habitacionais Verticais na Qualidade
Térmica de Edificações em Maceió-AL**

Simone Carnaúba Torres

**MACEIÓ
2006**

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

DISSERTAÇÃO

**ARRANJOS CONSTRUTIVOS URBANOS:
Um Estudo sobre a Influência da Configuração de
Conjuntos Habitacionais Verticais na Qualidade
Térmica de Edificações em Maceió-AL**

APRESENTADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO

Simone Carnaúba Torres

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Gianna Melo Barbirato

BANCA EXAMINADORA

Presidente: Prof^ª. Dr^ª. Gianna Melo Barbirato

Examinadores: Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

Prof^ª. Dr^ª. Léa Cristina Lucas de Souza

**MACEIÓ
2006**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela luz e pela força

À minha família pelo constante apoio em todos os momentos de minha vida

À minha querida orientadora Gianna, pelo apoio, confiança e incentivo.

Aos meus queridos amigos do GECA – Grupo de Estudos em Conforto Ambiental pelo apoio nas etapas deste trabalho, em especial à Chris, Thaly, e Fernando pela ajuda na realização das simulações computacionais

Ao professor Leo pelo estímulo e colaboração

Ao meu querido esposo Humberto, pelo carinho, paciência e dedicação

A todos que contribuíram direta e indiretamente nesta etapa de minha vida

SUMÁRIO



LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO AO TEMA: DISCUSSÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA	02
2. OS ARRANJOS CONSTRUTIVOS E QUALIDADE AMBIENTAL URBANA	08
2.1 Homem, arquitetura e meio ambiente: um breve histórico sobre a influência do clima na caracterização dos assentamentos urbanos	09
2.2 O Contexto urbano e arquitetônico atual: tendência à neutralização dos espaços	13
2.3 Princípios da concepção bioclimática na arquitetura e no desenho urbano...	15
3. FORMA URBANA E CLIMA	23
3.1 Ambiente Urbano e Clima: conceitos, elementos e fatores	23
3.1.1 Fatores Climáticos Globais	24
3.1.2 Fatores Climáticos Locais	26
3.1.3 Elementos Climáticos e o Meio Urbano	27
3.2 A forma urbana e clima urbano: os efeitos na qualidade térmica das edificações	33
3.3 O papel da vegetação urbana na qualidade ambiental dos espaços construído	39
3.4 A qualidade térmica do edifício: os aspectos a serem considerados da concepção à construção	41
3.5 Clima e Planejamento Urbano	45
4. CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA URBANA E DO CLIMA LOCAL	47
4.1 Morfologia urbana de Maceió-AL	47
4.2 Perfil climático da Cidade de Maceió-AL	49

5. MATERIAL E MÉTODOS	52
5.1 Identificação e Mapeamento dos Conjuntos Habitacionais verticais implantados pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR	52
5.2 Seleção e caracterização dos conjuntos habitacionais do PAR	55
5.3 Avaliação Térmica qualitativa dos Arranjos Construtivos Urbanos	59
5.4 Avaliação Térmica Quantitativa dos Arranjos Construtivos Urbanos	60
5.5 Análise geral dos arranjos construtivos estudados	66
 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	 67
6.1 Resultados da Avaliação Qualitativa dos Arranjos Construtivos Urbanos ...	67
6.1.1 Caracterização bioclimática dos arranjos selecionados.....	67
6.1.2 Apresentação das Fichas Bioclimáticas.....	74
6.2 Resultados da Avaliação Quantitativa dos Arranjos Construtivos Urbanos .	78
6.2.1 Resultados do monitoramento interno das variáveis climáticas.....	78
6.2.2 Resultado do Levantamento Microclimático.....	93
6.2.3 Resultado das simulações computacionais	96
6.2.4 Estimativa do grau de conforto térmico dos dormitórios das unidades habitacionais avaliadas	106
 7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	 115
 REFERÊNCIAS	 118

LISTA DE ILUSTRAÇÕES



Diagrama 2.1 - Influências do meio natural e humano sobre o ambiente construído	11
Diagrama 3.1: Diagrama básico – Sistema Clima Urbano	37
Diagrama 3.2: Esquematização das etapas do método de investigação do clima urbano desenvolvido por Katzschner (1997)	38
Diagrama 5.1 – Carta Bioclimática apresentada pelo programa Analysis Bio	66
Esquema 3.1: Representação esquemática da influência da latitude na intensidade da radiação solar incidente	24
Esquema 3.2: Esquema representativo do deslocamento e desvio de massas úmidas: falta de chuva no sertão	26
Esquema 3.3: Comportamento do fluxo do vento em diferentes arranjos construtivos urbanos: arranjo escalonado e arranjo normal, respectivamente, para mesma direção de vento incidente	31
Esquema 3.4: Regimes de circulação de vento entre edificações	32
Esquema 3.5: Exemplo da utilização da vegetação como barreira contra ventos indesejáveis e como canalizadora da ventilação benéfica.	40
Esquema 6.1: Representação em corte do processo de absorção da radiação solar em arranjos construtivos de média densidade.	69
Esquema 6.2: Representação em corte do processo de absorção da radiação solar em arranjos construtivos de alta densidade.	74
Esquema 6.3: Sombreamento da estrutura interna dos blocos edificadas do Residencial José Bernardes - imagem obtida a partir da simulação no programa Ecotec v5.2 (simulação referente ao solstício de verão – janeiro)	80
Esquema 6.4: Modelo Residencial Galápagos, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal a 1,5m de altura. a) representação através de vetores, b) representação através de campos de velocidade, c) corte vertical (pátio interno): representação de vetores	97
Esquema 6.5: Modelo Residencial Galápagos, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal a 9,6m de altura. a) representação através de vetores, b) representação através de campos de velocidade	99
Esquema 6.6: Modelo Residencial Mata Atlântica, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal a 1,5m de altura. a) representação através de vetores, b) representação através de campos de velocidade	101
Esquema 6.7: Modelo Residencial Mata Atlântica, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal a 9,6m de altura. a) representação através de vetores, b) representação através de campos de velocidade	102

Esquema 6.8: Modelo Residencial Mata Atlântica, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal dos apartamentos estudados. a) apartamentos do térreo, b) apartamentos do pavimento superior	102
Esquema 6.9: Modelo Residencial José Bernardes, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal a 1,5m de altura. a) representação através de vetores, b) representação através de campos de velocidade	104
Esquema 6.10: Modelo Residencial José Bernardes, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal a 1,5m de altura. a) representação através de vetores, b) representação através de campos de velocidade	104
Esquema 6.11: Modelo Residencial Mata Atlântica, incidência do vento sudeste. Visualização em corte horizontal dos apartamentos estudados. a) apartamentos do térreo, b) apartamentos do pavimento superior	104
Fotografia 4.1: Foto satélite da cidade de Maceió-AL	47
Fotografias 2.1 e 2.2: Vista do Taos Pueblo e do Pueblo Bonito, respectivamente. 10	
Fotografias 2.3 e 2.4: Vista geral de Fez, clima quente e seco, exemplo de uma das ruas sombreadas da cidade de Marrocos.	10
Fotografias 2.5, 2.6 e 2.7: Exemplos da arquitetura vernácula no Brasil: Casas sobre palafitas no Rio Negro, adequadas às cheias do rio; aldeia de pescadores na litoral alagoano, casa do período colonial cercada por varandas	12
Fotografias 2.8 e 2.9: Empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial – PAR: Conjunto Residencial em Campo Grande – MT e o Residencial José Bernardes em Maceió –AL.	14
Fotografias 5.1 e 5.2: Vista principal do Residencial Galápagos e do pátio de recreação	57
Fotografias 5.3 e 5.4: Vista principal do Residencial Mata Atlântica	58
Fotografias 5.5 e 5.6: Vista do Residencial José Bernardes.....	59
Gráfico 3.1: Variação dos coeficientes de pressão (ΔC_p) em função do espaçamento entre edifícios	32
Gráfico 6.1: Perfil do comportamento térmico dos dormitórios avaliados – valores médios de temperatura dos horários de 9:00h, 15:00h e 21:00	79
Gráfico 6.2: Perfil térmico dos dormitórios avaliados no Residencial Galápagos – valores médios horários de temperatura do ar	83
Gráfico 6.3: Perfil térmico dos dormitórios avaliados no Residencial Mata Atlântica – valores médios horários de temperatura do ar	86
Gráfico 6.4: Perfil térmico dos dormitórios avaliados no Residencial José Bernardes – valores médios horários de temperatura do ar	87
Gráfico 6.5: Perfil do comportamento térmico dos dormitórios avaliados – valores médios de umidade relativa do ar dos horários de 9:00h, 15:00h e 21:00.....	89
Gráfico 6.6: Perfil térmico dos dormitórios avaliados no Residencial Galápagos – valores médios horários de umidade relativa do ar.....	90
Gráfico 6.7: Perfil térmico dos dormitórios avaliados no Residencial Mata Atlântica – valores médios horários de umidade relativa do ar.....	91

Gráfico 6.8: Perfil térmico dos dormitórios avaliados no Residencial José Bernardes– valores médios horários de umidade relativa do ar.....	92
Gráfico 6.9: Resultados das medições microclimáticas: (a) comportamento da temperatura do ar, (b) comportamento da umidade relativa	93
Mapa 5.1: Distribuição dos conjuntos habitacionais verticais implantados através do Programa de Arrendamento Residencial – PAR, na cidade de Maceió-AL	55

LISTA DE TABELAS

Quadro 3.1: Efeitos aerodinâmicos do vento.....	29
Quadro 4.1: Caracterização dos climas tropicais	42
Quadro 4.2: Caracterização dos climas tropicais	43
Quadro 5.1: Conjuntos Habitacionais verticais implantados pelo programa PAR, na cidade de Maceió-AL	54
Quadro 5.2: Caracterização das tipologias de arranjos construtivos selecionados...	56
Quadro 6.1: Resultados do programa Analysis Bio, inserção dos dados do monitoramento interno dos dormitórios do Residencial Galápagos na carta bioclimática	107
Quadro 6.2: Resultados do programa Analysis Bio - inserção dos dados do monitoramento interno dos dormitórios do Residencial Mata Atlântica na carta bioclimática	108
Quadro 6.3: Resultados do programa Analysis Bio - inserção dos dados do monitoramento interno dos dormitórios do Residencial José Bernardes na carta bioclimática	109
Quadro 6.4: Resumo geral dos resultados obtidos a partir da análise qualitativa e quantitativa dos arranjos construtivos estudados.....	112
Tabela 5.1: Comportamento médio dos principais parâmetros meteorológicos de Maceió.....	50
Tabela 6.1: Resultado do monitoramento térmico interno dos dormitórios do Residencial Galápagos: valores médios horários de temperatura do ar	83
Tabela 6.2: Resultado do monitoramento térmico interno dos dormitórios do Residencial Mata Atlântica: valores médios horários de temperatura do ar	86
Tabela 6.3: Resultado do monitoramento térmico interno dos dormitórios do Residencial José Bernardes: valores médios horários de temperatura do ar	87
Tabela 6.4: Resultado do monitoramento térmico interno dos dormitórios do Residencial Galápagos: valores médios horários de umidade relativa do ar.....	90
Tabela 6.5: Resultado do monitoramento térmico interno dos dormitórios do Residencial Mata Atlântica: valores médios horários de umidade relativa do ar...	91
Tabela 6.6: Resultado do monitoramento térmico interno dos dormitórios do Residencial José Bernardes: valores médios horários de umidade relativa do ar...	92
Tabela 6.7: Comparação entre os valores médios de temperatura do ar registrados através das medições microclimáticas e através do monitoramento térmico interno	95

RESUMO



Nos programas habitacionais destinados à população de baixa renda, a padronização de soluções e a desconsideração das peculiaridades climáticas locais têm resultado em construções que não atendem às necessidades de conforto térmico de seus usuários. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade térmica de edificações verticais a partir da análise de diferentes configurações construtivas e princípios de desenho urbano existentes em conjuntos habitacionais destinados à população de baixa renda em Maceió – AL. Foi realizada a análise comparativa, qualitativa e quantitativa, de três arranjos urbanos de conjuntos habitacionais verticais. A avaliação qualitativa foi baseada nas observações dos atributos bioclimatizantes da forma urbana e a quantitativa a partir da coleta de dados das variáveis ambientais, temperatura e umidade relativa do ar, nos ambientes internos das unidades residenciais e nos espaços externos imediatos, através das medições móveis microclimáticas e simulação de modelos através de um programa computacional de dinâmica dos fluidos (*CFD*). Identificaram-se valores de temperatura e umidade relativa do ar que correspondem a até 95,7% de horas de desconforto térmico em ambientes internos. Os resultados simulados comprovaram que, dentre os fatores que mais afetaram as condições térmicas estudadas foram: má localização das aberturas em relação ao aproveitamento da ventilação natural, má distribuição e orientação das edificações nos arranjos construtivos urbanos avaliados e pouca porosidade dos edifícios. Espera-se que as informações apresentadas na respectiva análise possam auxiliar o planejamento de futuros conjuntos verticais em cidades de clima quente e úmido, como Maceió-AL.

Palavras-chave: conforto térmico, conjuntos habitacionais, ventilação natural, desenho urbano.

ABSTRACT

In the low cost housing programs, the standardization and climatic inadequacy of design solutions have resulted in uncomfortable thermal conditions. The aim of this study was to evaluate the thermal quality of different urban design arrangements of vertical blocks dwellings destined to the low income population in the city of Maceió - AL. The comparative, qualitative and quantitative analysis was carried through three different blocks disposed at different urban arrangement. The qualitative evaluation was based on bioclimatic attributes of the urban form and the quantitative one was based on indoor climatic monitoring, outdoor microclimatic measurements and further models simulation using CFD software. It was observed that the air temperature and relative humidity values corresponded up to 95,7% of indoor thermal discomfort hours. The results of models simulations have shown that, the factors that had most affected the studied thermal conditions had been: bad localization of the openings in relation to the local prevailing winds, bad distribution and orientation of the blocks in the evaluated urban constructive arrangements and little air porosity of the buildings. It is expected that these information could help future low-cost buildings projects in hot-humidity climate cities as Maceió-AL.

Keywords: thermal comfort, low-cost buildings, natural ventilation, urban design

1. INTRODUÇÃO AO TEMA: DISCUSSÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

A qualidade da vida humana está diretamente relacionada com a interferência da obra do homem no meio natural urbano. Segundo Rivero (1986), a complexidade de se produzir uma arquitetura eficaz está na necessidade de se considerar seus aspectos não isoladamente (físicos, funcionais, estéticos, econômicos), mas de forma integrada e adequada a cada caso específico.

A forma urbana modifica o comportamento das variáveis climáticas alterando as condições térmicas nos recintos urbanos e nas edificações que compõem o seu entorno. Por isso, o clima local deve ser entendido como importante condicionante na elaboração e avaliação de projetos arquitetônicos e urbanos. Cabe, portanto, à arquitetura, entre outros aspectos a se considerar no projeto, neutralizar as condições climáticas desfavoráveis e potencializar as favoráveis, dando a máxima satisfação possível às exigências humanas sobre o conforto térmico com base nos princípios do condicionamento natural (HERTZ, 1998).

Sabendo que o desempenho térmico de uma edificação está diretamente associado às condições climáticas do ambiente onde ela se insere, um mesmo sistema construtivo quando utilizado em condições climáticas diferentes apresentará desempenho térmico distinto. Portanto, a desconsideração das condições climáticas locais, pode ocasionar além de patologias construtivas, o alto consumo de energia elétrica, provocando, em alguns casos, o comprometimento da saúde física e psicológica dos moradores (ALLUCCI et al, 1986).

Nesse contexto, dá-se importância aos princípios de desenho urbano orientados pela concepção arquitetural do bioclimatismo que correspondem ao próprio ambiente construído atuando como mecanismo de controle das variáveis do meio, através de sua envoltura (paredes, pisos e coberturas), seu entorno (água, vegetação, sombra, solo) e, ainda, através do aproveitamento dos elementos e fatores do clima para o melhor controle do vento e do sol (BUSTOS ROMERO, 2001).

Porém, na arquitetura contemporânea, caracterizada pela difusão de modelos importados, observa-se em geral a ausência de vínculos com o ambiente físico e social. O predomínio de soluções padronizadas e a postura de ignorar as

especificidades climáticas locais têm acarretado no evidente *desajuste térmico* (DUMKE, 2002).

O conforto térmico é um dos requisitos básicos para que os ambientes apresentem o melhor nível de habitabilidade. Sua importância relaciona-se não só à sensação de conforto dos seus usuários, como também ao seu desempenho no trabalho e à sua saúde. Sendo assim, enquanto para a população de classe média e alta a qualidade térmica insatisfatória das edificações significa aumento de consumo energético com climatização artificial, para a população de menor poder aquisitivo a inadequação térmica das habitações significa desconforto térmico (DUMKE, 2002).

No Brasil, observa-se a existência de órgãos nacionais que, através de filiais em toda a federação procuram agir de forma a diminuir o déficit habitacional, seja através de crédito ou da construção de habitações populares. Por decorrência da centralização das decisões, desencadeou-se uma padronização das soluções, aplicando-se indiscriminadamente alguns sistemas construtivos em todas as diferentes regiões do país.

Desta maneira tem sido clara a pouca relevância às especificidades climáticas, durante a etapa de projeto e a utilização de procedimentos construtivos com base em critérios apenas econômicos utilizados em todo o país, não atendendo aos padrões ambientais determinados pela diversidade climática de onde são implantados os edifícios (KRUGER, 2003).

A forte tendência ao aumento do consumo energético devido às necessidades de obtenção de um conforto ambiental apropriado não se deve apenas a um problema decorrente das condições de inadequação dos edifícios, mas, muitas vezes, ao desconforto gerado por uma organização espacial urbana também não compatível com o meio. Assim, deve-se priorizar a concepção de espaços habitados com a utilização de recursos naturais de climatização. Esta postura é imposta hoje pelas necessidades econômicas que apóiam a conservação de energia nas edificações, e a relevância do tema face ao seu potencial de impacto tecnológico, social e ambiental (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA 1997; DUMKE, 2002).

Uma arquitetura habitacional que priorize o bem-estar de seus moradores, o uso dos recursos naturais, a economia energética e a responsabilidade ambiental não

devem ser de caráter pontual, ou apenas de uma parcela da sociedade. Pelo contrário, deve abranger toda a extensão no setor da construção civil.

Nos países em desenvolvimento onde a maior parte da população urbana é carente de recursos básicos, tais como habitação, serviços (água, energia, esgoto) e transporte, a intervenção em nível tecnológico na correção do espaço urbano torna-se economicamente inviável. Por isso é necessária a ampliação dos estudos que forneçam subsídios para um controle de ocupação do espaço urbano, fixando parâmetros físicos para um ambiente urbano mais compatível com a qualidade de vida humana (LOMBARDO, 1991).

Neste sentido, a compreensão da análise ambiental nos espaços urbanos pode oferecer subsídios, sob forma de soluções alternativas apresentadas ao poder público, a quem compete as decisões para futuras mudanças.

Barbirato (1998) destaca a importância da obtenção do conhecimento das características climáticas da região antes da realização de intervenções arquitetônicas e urbanas no meio urbano ou natural, esclarecendo que o planejador urbano deve sempre buscar informações sobre alguns parâmetros climatológicos como a ventilação natural e a insolação, que possam servir como orientação no projeto de edificações e das diversas tipologias urbanas, verificando os efeitos térmicos possíveis de diferentes arranjos dos espaços.

No processo de construção de moradias para a população de baixa renda, diversos aspectos devem ser considerados, começando pela escolha do local para a construção, passando pela fase da construção até a avaliação pós-ocupação. Neste sentido, a avaliação da qualidade térmica destas edificações assume grande importância, dado que uma mesma tipologia de projeto é muitas vezes adotada em regiões de diferentes características climáticas, desconsiderando os impactos ambientais, sociais e econômicos resultantes deste processo.

Segundo Mascaró, J.L e Mascaró, L. (2001), a legislação técnica vigente de apoio ao planejamento urbano – planos diretores, códigos de obra e normas – mantém seus enfoques tradicionais, não incorporando aspectos atualmente reconhecidos como essenciais, referentes às solicitações energéticas e ambientais. Desta forma, a maioria dos instrumentos de legislação urbana acaba não assegurando as condições mínimas de salubridade e conforto, pois se restringem a aspectos

relativos apenas à densidade máxima permitida, índice de aproveitamento do solo, taxa máxima de ocupação, afastamentos mínimos das divisas e alturas máximas.

Desta forma, uma cidade sem planejamento adequado de uso do solo, com ausência de parâmetros adequados de verticalização e ocupação, sobretudo onde ela cresce a uma velocidade rápida, pode colocar em risco a qualidade de vida de seus habitantes (LOMBARDO, 1991).

O Programa Habitação de Interesse Social desenvolvido pelo Ministério das Cidades apresenta à administração pública estadual, do Distrito Federal e municipal, direta e indireta, e a entidades privadas sem fins lucrativos, os fundamentos técnicos necessários para reduzir as desigualdades sociais e contribuir para a ocupação urbana planejada. Dentre as ações apontadas pelo programa para facilitar o acesso da população de baixa renda à habitação digna, regular e dotada de serviços públicos, encontra-se o Programa de Arrendamento Residencial – PAR (executado a partir dos recursos do Fundo de Arrendamento Residencial - FAR).

Em Maceió-AL, nota-se um aumento na produção de unidades verticais deste programa habitacional devido ao rápido crescimento da cidade nos últimos anos, gerando a necessidade de adensamentos que permitam a instalação de um maior número de famílias em uma menor unidade de área.

A cidade de Maceió, de clima quente e úmido, tem por princípios construtivos o resfriamento dos espaços através da ventilação, do sombreamento e a proteção solar. Sabendo que a forma urbana interfere significativamente nas condições climáticas locais, através da modificação no comportamento das variáveis ambientais, a ampliação de estudos e pesquisas sobre os principais aspectos envolvidos na dinâmica espacial urbana é de extrema importância para a compreensão da qualidade térmica construtiva resultante. Estes estudos, portanto, poderão auxiliar no processo de planejamento local, contribuindo para o equilíbrio ambiental urbano.

No caso de edificações destinadas à população de baixa renda, a utilização de estratégias bioclimáticas para condicionamento térmico é de fundamental importância à medida que o emprego de meios artificiais de climatização torna-se economicamente inviável.

Tendo em vista a atual intensificação de empreendimentos desta tipologia pelo Programa de Arrendamento Residencial - PAR, através de financiamentos oferecidos pela Caixa Econômica Federal, a pesquisa concentrará atenção especial nos arranjos construtivos implantados pelo respectivo programa.

Os critérios de aprovação dos projetos arquitetônicos dos conjuntos habitacionais verticais implementados pelo Programa de Arrendamento Residencial –PAR, em Maceió-AL, são ainda baseados nos manuais técnicos de engenharia de outros estados brasileiros como Santa Catarina e Paraná. Segundo o gabinete de supervisão de obras públicas da Caixa Econômica de Maceió, o manual específico de Alagoas, ainda está sendo elaborado em trabalho conjunto com o SINDUSCON – Sindicato das Indústrias da Construção.

A ausência de normas e critérios locais para a orientação projetual e avaliação da qualidade construtiva de conjuntos habitacionais verticais em Maceió-AL, revela a desconsideração pelas especificidades climáticas locais. Este fato, portanto, pode resultar na construção de unidades residenciais que pouco atendem às exigências de conforto térmico humano, aumentando o consumo de energia elétrica nestes espaços através da utilização de dispositivos artificiais de climatização. Tal situação pode provocar o comprometimento da capacidade de financiamento dos imóveis ofertados pelo programa PAR, devido ao aumento da despesa familiar através dos altos custos com energia elétrica.

Diante do exposto, a presente pesquisa tem por objetivo avaliar a influência de arranjos construtivos urbanos na qualidade térmica de edificações, estudando os atributos de desenho urbano e configurações diferenciadas em conjuntos habitacionais verticais pertencentes ao Programa de Arrendamento Familiar-PAR, implantados em Maceió-AL. Dentre os objetivos específicos da pesquisa pode-se citar como principais os seguintes:

- Avaliar as condições térmicas dos ambientes internos das unidades habitacionais pertencentes ao Programa de Arrendamento Residencial – PAR;

- Realizar uma estimativa do grau de conforto térmico resultante dessas soluções encontradas nos arranjos construtivos estudados, observando os princípios de condicionamento térmico-natural adotados;
- Estudar a correlação existente entre as tipologias de arranjo construtivo avaliadas e a qualidade térmica interna resultante nas unidades habitacionais;
- Contribuir para o levantamento de informações que possam auxiliar na elaboração de projetos e intervenções e na concepção de novos programas habitacionais de interesse social, destacando a utilização dos recursos da climatização natural.

Sabe-se que a urbanização dos países tropicais não foi consequência direta da industrialização, mas o resultado da migração de áreas rurais (na forma de um crescimento rápido e desordenado até os dias de hoje), tornando mais difícil o suprimento das necessidades básicas de habitação, saneamento básico, alimentação, entre outros. Tudo isso resultou, entre outros fatores, na degradação do ambiente urbano.

O clima é responsável pela variação das paisagens e pela diversidade biológica na Terra e, conseqüentemente, pela diversidade de tipologias e variações arquitetônicas, assim como pelos diferentes hábitos e costumes humanos. Desta forma, a história da humanidade demonstra que nem sempre a interferência humana na paisagem foi marcada pela degradação ambiental.

2.1 Homem, arquitetura e meio ambiente: um breve histórico sobre a influência do clima na caracterização dos assentamentos urbanos

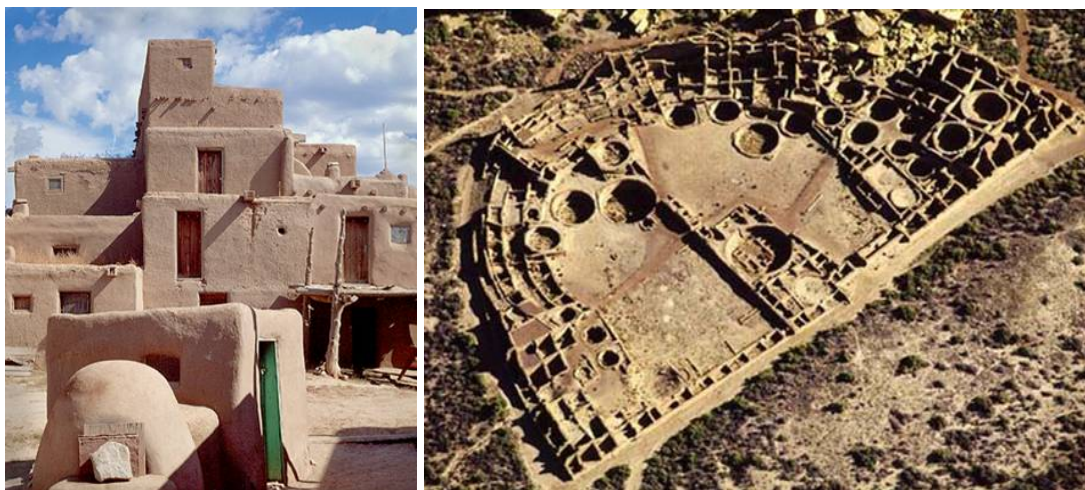
Desde a pré-história até a recente globalização, o ser humano cria novas condições de habitabilidade, modificando o ambiente construído; natural e geográfico. Construir com princípios ecológicos em harmonia com a natureza foi algo que a humanidade sempre praticou. Desde a antiguidade, já se percebia a preocupação com as considerações do clima e do meio no traçado das cidades e na implantação dos assentamentos humanos.

Alguns estudos afirmam que as culturas antigas, principalmente as greco-romanas, destacaram-se pela produção de espaços criados a partir da captação do *genius loci*, ou seja, do espírito do lugar que confere o sentido e o significado do lugar (NOBERG-SCHULZ, 1980).

Vitruvius que viveu no século I d.C e inaugurou os conceitos da teoria classicista da arquitetura já destacava que a orientação adequada das construções e dos assentamentos proporciona melhores condições de habitabilidade do edifício e da cidade. A preocupação de Vitruvius com o clima e a orientação dos edifícios resultou em um dos escritos mais antigos sobre o assunto e, além disso, contribuiu para enfatizar que a consideração das variáveis climáticas poderia ser resolvida através de bons efeitos plásticos e até mesmo místicos (BITTENCOURT, 2000). No seu tempo, a preocupação com a higiene e o conforto veio modificar mais ainda o traçado da cidade romana, sugerindo que as ruas pequenas ou vielas fossem orientadas no sentido de conter os desagradáveis ventos frios e os infecciosos ventos quentes.

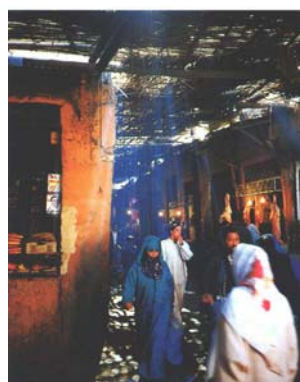
No sudoeste dos EUA desenvolveu-se, desde o século VI, uma civilização indígena, conhecida por Pueblos, situada nos atuais Estados do Novo México, Arizona e Colorado. Os pueblos eram construções justapostas, aonde nos pontos mais altos chegavam a ter mais de cinco pavimentos. Dentre eles destacam-se o Taos Pueblo, ainda existente e explorado turisticamente pelos próprios índios, e o Pueblo Bonito (fotografias 2.1 e 2.2). O Pueblo Bonito se destaca pela sua forma semicircular e escalonada, voltada para o sul, orientação que de acordo com a latitude local e hemisfério, permite a incidência do sol de inverno, favorecendo ao máximo a insolação das unidades habitacionais nesta época. A implantação junto a

uma encosta no lado norte, faz com que seja reduzida a insolação de verão e a incidência dos ventos frios de inverno vindos do norte (BITTENCOURT, 2000).



Fotografias 2.1 e 2.2: Vista do Taos Pueblo e do Pueblo Bonito, respectivamente.
Fontes: Radeka (1998); Lloyd (2003)

Em assentamentos primitivos próprios dos climas quentes e secos do mundo islâmico, o traçado de ruas estreitas e massa edificada formada por estruturas de vários andares ao longo das mesmas demonstram a resposta inteligente à necessidade de sombreamento nesse tipo de clima. Observa-se, portanto, a partir destes assentamentos, na escala da cidade, sistemas eficientes de circulação de ar que reduzem a temperatura em até cinco graus. Este efeito se consegue combinando uma trama urbana de ruas estreitas com uma arquitetura de casas construídas em torno de um pátio, com paredes largas de materiais de grande inércia térmica (fotografias 2.3 e 2.4).



Fotografias 2.3 e 2.4: Vista geral de Fez, clima quente e seco, exemplo de uma das ruas sombreadas da cidade de Marrocos. Fontes: Declan McCullagm Photograhly (2002), Behling; Belling (1996)

A consonância entre habitat e meio ambiente sempre ajudou ao homem, ao longo da história, a refugiar-se contra a inconstância do meio climático, geográfico e natural.

Neste sentido, a arquitetura vernácula que utiliza conhecimentos empíricos transmitidos por gerações, fornece inúmeros exemplos da construção do abrigo do homem em perfeita harmonia e adaptação com o meio, reunindo formas de expressão e conteúdo determinadas também pelas atividades sociais e culturais (BUSTOS ROMERO, 2003).

Desta forma, a arquitetura pode ser entendida como uma concretização do espaço existencial a partir do relacionamento do homem com o meio em que vive (diagrama 2.1).

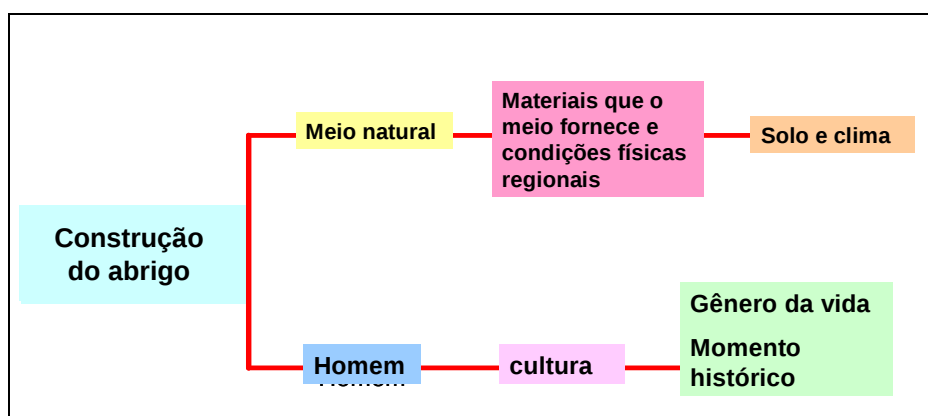


Diagrama 2.1 - Influências do meio natural e humano sobre o ambiente construído. Fonte: Castro (1987, p. 85)

Exemplos significativos de resposta arquitetônica frente às diferentes solicitações climáticas estão presentes nas construções vernáculas e regionais, exemplos de equilíbrio térmico entre o abrigo e o ambiente. No Brasil, correspondem, entre outros exemplos, às casas ribeirinhas do vasto território amazônico, aos alpendres paulistas, às casas de taipa e palha do litoral nordestino, às varandas mineiras ou às residências em madeira, pedra e tijolo da serra gaúcha (fotografias 2.5, 2.6 e 2.7).



Fotografias 2.5, 2.6 e 2.7: Exemplos da arquitetura vernácula no Brasil: Casas sobre palafitas no Rio Negro, adequadas às cheias do rio; aldeia de pescadores na litoral alagoano, casa do período colonial cercada por varandas.

Fontes: Rovo; Oliveira (2004), Leonardo Bittencourt (1985), Ferreira (2004).

Na região do Amazonas, de clima tropical-úmido (intensa radiação solar, alta umidade e grande índice de precipitações) as habitações são construídas sobre pilotis, favorecendo a ventilação e protegendo-se das inundações e dos animais. Nas aldeias de pescadores do litoral nordestino, a implantação e distribuição das unidades protegem as habitações da intensa insolação sem prejuízo da ventilação, importante para o conforto humano nestas regiões. Ainda nos climas quentes e úmidos a utilização de ambientes de transição, tais como varandas, são peculiares, pois, permite a integração dos ambientes internos com os externos, de forma a incentivar atividades que se relacionam ao exterior. Essa é uma tarefa difícil de realizar em climas mais rigorosos.

A escolha de determinados elementos arquitetônicos pode auxiliar na disseminação de um vocabulário arquitetônico que reflita as características do local onde estão inseridos, incluindo o clima e a cultura, relacionados com a disponibilidade de materiais e técnicas disponíveis.

No contexto urbano, o projeto e planejamento do sítio e da configuração do tecido urbano afetam e têm um importante impacto na resposta das edificações frente ao clima. Percebe-se, assim, que a incorporação dos elementos próprios do lugar, especialmente os ambientais que são os que outorgam caráter e definem a cidade, é possível realizar um planejamento local específico, mais adequado à grande diversidade regional. A consideração destes elementos nos permite atender melhor às exigências da qualidade de vida humana (BUSTOS ROMERO, 2003).

2.2 O Contexto urbano e arquitetônico atual: tendência à neutralização dos espaços

A dinâmica do espaço habitado é determinada pela atuação de diferentes forças. Dentre estas forças pode-se destacar às estudadas pelas Ciências Sociais, incluindo as relações econômicas, políticas e sociais; e às referentes aos estudos das Ciências Biológicas e Exatas, incluindo os aspectos relacionados com o comportamento das variáveis ambientais, incluindo os aspectos geográficos, dentre eles os climáticos e os físicos (relevo, hidrografia, vegetação). A intensidade de atuação e relevância destas forças é, atualmente, extremamente influenciada pela nova dinâmica global. Por isso, a nova questão urbana, voltada para a problemática da competitividade global, tem evidenciado o fator econômico como principal força determinante na produção e consumo do espaço habitado.

Rheingantz (2001) aponta que este cenário atual é marcado pela chamada crise do paradigma da racionalidade científica, onde a Terra tem sido reduzida a uma matéria inerte a ser explorada e manipulada, banalizando a concepção do espaço habitado e resultando na produção de espaços /cidades nos quais o apelo aos dados sensíveis é descartado em função de interesses e novas configurações econômicas, diminuindo, assim, o grau de humanização em escala mundial.

Observa-se que a nova dinâmica global tem provocado formas de produção e consumo neutralizadas no espaço habitado. Esta neutralização compulsiva pode ser verificada através da própria desconsideração do entorno e da paisagem no processo de ocupação por assentamentos humanos. Quando se neutraliza o valor de determinado lugar, perdendo-se o domínio visual da paisagem, inicia-se o processo de negação visual e sensorial, desencadeando no que podemos chamar de “negação do lugar”, provocando assim, a proliferação de “espaços neutros” ou, como aponta Augé (1994), os “não-lugares”.

Rheingantz (2001) destaca dois aspectos que podem interferir na “negação do lugar”, através de ocupações que desprezam o contexto e a geografia do sítio. O primeiro refere-se a constante substituição de limites naturais por limites técnicos, econômicos e políticos na ordenação do espaço habitado. O segundo refere-se a dissolução da densidade histórica do lugar a partir da banalização do urbano.

Neste sentido, Augé (1994), afirma que o lugar é caracterizado por três aspectos que o distinguirá do não-lugar. O lugar é identitário, relacional e histórico, portanto, verifica-se que a super-modernidade é produtora de não-lugares.

A “*arquitetura do lugar*”, compreendida como uma concretização do espaço existencial a partir do relacionamento do homem com o ambiente em que vive, também tem sido alvo da neutralização, escapando da história e da cultura de cada sociedade, tornando-se influenciada pelos padrões internacionais, desconsiderando as implicações emocionais, inconscientes e sensíveis que conferem valor particular aos lugares. O processo de globalização atual vem provocando, portanto, a “*desterritorialização de uma arquitetura sem lugar*”(BAHIA, 2004).

Este fato pode ser observado nos próprios programas habitacionais difundidos no Brasil. Os mesmos são implementados dentro de todo o território nacional de maneira padronizada, não se respeitando as peculiaridades locais. Assim, uma mesma tipologia construtiva é adotada indistintamente, resultando em construções de baixa qualidade construtiva, e que não atendem às necessidades dos seus usuários, especialmente no que diz respeito ao conforto térmico (fotografias 2.8 e 2.9). Esse fato é influenciado pela pouca relevância às especificidades climáticas, durante a etapa de projeto (FROTA, 1995).



Fotografias 2.8 e 2.9: Empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial –PAR: Conjunto Residencial em Campo Grande – MT e o Residencial José Bernardes em Maceió –AL.
Fonte: Caixa Econômica Federal (2004)

A tendência à neutralização/negação do lugar tem acarretado graves consequências ao meio ambiente. Além da implementação de técnicas de produção quase sempre sem relação com suas possíveis consequências ambientais e humanas, a nova configuração urbana evidencia o não comprometimento com as características locais, detectada em duas escalas: a da cidade e a do edifício.

Em relação à cidade, tem-se observado que o desenho urbano já não corresponde a “expressão do lugar”- característica detectada em assentamentos urbanos marcados pelo aproveitamento das características físicas e culturais-, sendo atualmente extremamente afetado pelo acelerado processo de urbanização e descaso com a paisagem natural.

Dentre os principais efeitos dessas mudanças, a formação do clima urbano, entendido como uma modificação substancial de um clima local, pode ser apontado como a influência direta do ambiente construído na modificação do comportamento das variáveis climáticas, principalmente a temperatura do ar (que se torna elevada) e umidade relativa do ar (que se torna reduzida). Dentre as causas da existência do clima urbano, pode-se citar: grande redução de áreas arborizadas e áreas de solo permeável, intensa poluição do ar, alta densidade construtiva, excessiva produção de calor antropogênico (LOMBARDO, 1991). Todos estes aspectos relacionados à falta de controle de uso e ocupação do solo nos espaços urbanos contribuem, consideravelmente para a redução da qualidade de vida humana e para alto processo de degradação ambiental, revelando-se em práticas insustentáveis de produção e consumo da atual dinâmica do espaço habitado.

Em relação à escala reduzida, observa-se também a predominância da concepção do edifício como obra isolada de arquitetura em detrimento de seu relacionamento com o contexto, através da utilização de modelos e tipologias importados, decorrente do processo de internacionalização das práticas construtivas. Além disso, o avanço tecnológico tem levado ao estabelecimento de uma posição cômoda de projetistas que ao conceberem edificações não adaptadas à realidade climáticas locais, abusam da aplicação de sistemas de iluminação e climatização artificiais, gerando tipologias altamente energívoras devido ao grande desconforto causados aos usuários.

Uma das principais características do “Internacional Style”, a fachada totalmente envidraçada, produz o chamado “efeito estufa” na edificação; e em climas tropicais quente-úmidos sobrecarregam os sistemas de ar condicionado das edificações, exigindo um consumo energético elevado (BITTENCOURT, 2000).

No Brasil, desde 1973, com o embargo do petróleo, o alto consumo de energia para proporcionar melhores condições de conforto em edificações tem levado diversos setores governamentais a reavaliar estas práticas insustentáveis. Assim torna-se clara a necessidade de se conservar os recursos energéticos, o que de certa forma significa resgatar os principais aspectos da arquitetura tradicional.

A lógica, portanto, é aproveitar as potencialidades da natureza e não trabalhar contra ela, reduzindo os efeitos negativos de cada clima específico (OLGAY, 1963). Diante da atual situação de consumo de energia, e sabendo que no Brasil ainda é minoria a população que possui condições econômicas de incorporar sistemas de calefação ou de ar condicionado, torna-se importante a aplicação de sistemas passivos de climatização que proporcionem maior conforto ambiental com maior economia de energia. Estes sistemas, aliados a correta eleição dos materiais, ao respeito da tradição construtiva revista sob a ótica das novas tecnologias, e a cultura regional, impulsionam ao aumento da qualidade de vida da população, e refletem o verdadeiro valor arquitetônico (FERREIRA, 2004).

2.3 Princípios da concepção bioclimática na arquitetura e no desenho urbano

O termo projeto bioclimático foi denominado pelos irmãos Olgyay (1963), como o projeto de arquitetura cujo processo é desenvolvido em resposta a requisitos climáticos específicos. Eles estabeleceram o primeiro procedimento sistemático com o objetivo de adaptação de uma edificação às condições do clima. Victor Olgyay determinou a partir de quatro etapas o roteiro para a construção do projeto bioclimático: a) análise dos dados climáticos anuais da região; b) avaliação biológica baseada nas sensações humanas; c) soluções tecnológicas para reduzir os impactos do clima e usar as vantagens existentes; e d) aplicação arquitetônica das conclusões obtidas nas três primeiras fases e desenvolvimento equilibrado dos elementos conforme a necessidade.

Watson e Labs (1983) quando trata do projeto bioclimático considera-o como aquele cuja fonte ou recurso encontra-se no microclima de seu sítio, onde será implantado. Ou seja, a bioclimatologia trata da relação entre o usuário e as condições

climáticas, de modo que a arquitetura torne-se um “filtro” das condições exteriores, com a adequada envoltória.

Desta forma, o termo “projeto bioclimático” (OLGYAY, 1963) foi utilizado para designar a arquitetura em harmonia com o meio natural. Segundo Ferreira (2004), o bioclimatismo é mais do que parte do movimento ecológico mundial da década de 70 do século XX, é, além disso, uma das concepções que mais reforçam e contribuem para a eficiência térmico-energética de um edifício.

Por essas razões, é importante levar em consideração os aspectos climáticos no processo projetual, desde a primeira fase de concepção, de modo que se obtenham ambientes confortáveis, salubres e com baixo consumo de energia.

Para o controle natural dos ambientes na concepção de projetos, é importante conhecer os fatores externos (clima) de onde se está projetando. Desta forma percebe-se que as concepções bioclimáticas podem ser aplicadas também ao espaço urbano, de forma que os ambientes urbanos resultantes possam transformar-se em “filtros” dos elementos do clima adversos às condições de saúde e conforto térmico do homem. Assim, todo o repertório do meio ambiente urbano (edifícios, vegetação, ruas, praças e mobiliário urbano) deve conjugar-se com o objetivo de satisfazer às exigências de conforto térmico para as práticas sociais do homem (BUSTOS ROMERO, 2001).

O termo conforto térmico, em relação ao projeto bioclimático, é definido em muitas pesquisas como o *"estado da mente, no qual a pessoa expressa satisfação com o ambiente térmico que a cerca"* (ASHRAE, 1981). A própria definição indica que a sensação de conforto depende tanto dos aspectos físicos do ambiente - o ambiente térmico-, como também de aspectos subjetivos - o estado mental (KRÜGER, 2000).

O conforto térmico é, portanto, em linhas gerais, obtido por trocas térmicas que dependem de vários fatores, governados por processos físicos, como condução, convecção, radiação e evaporação. Sendo dependente de muitas variáveis, dentre elas: a resistência térmica das vestimentas (clo), a velocidade do ar, umidade do ar, as temperaturas das superfícies que cercam o indivíduo, e o nível de atividade que o mesmo está desempenhando. A temperatura, a umidade, o movimento do ar e

radiação (solar ou proveniente de superfícies aquecidas), interferem tanto no desempenho térmico dos materiais como no conforto térmico (DUMKE, 2002).

Investigações visando conhecer o funcionamento do clima e sua relação com o conforto humano no ambiente construído foram desenvolvidas por Olgay (1963), Fanger (1982), Koenigsberger et al (1997), ASHRAE (1981), Rivero (1985) e Givoni (1992). Vários pesquisadores buscaram estabelecer padrões definidos de conforto e vários limites são fundamentados, buscando delinear zonas, de maneira a atender o maior número possível de pessoas (OLGAY, 1963; KOENIGSBERGER et al, 1977). Entretanto estes estudos não abordam os fatores responsáveis pela variação dos limites de conforto estabelecidos, dentre os quais pode-se citar: área das roupas; variações psico-fisiológicas próprias de cada um pessoa; sexo; idade; variações sazonais; diferenças de padrões sociais e o fator de aclimação do ser humano. Esta adaptação fisiológica ou adaptação perceptiva refere-se aos efeitos culturais e cognitivos e a extensão de experiências e expectativas que podem alterar a percepção e reação ao ambiente térmico (BRAGER; DEAR, 1998).

Givoni (1969) a partir dos seus estudos sobre Índice de Fadiga Térmica – IFT apresentou um método para a determinação de estratégias para a adaptação das edificações ao clima local, visando o conforto térmico. Através da criação do Diagrama Bioclimático da edificação, Givoni levou em consideração os efeitos da edificação sobre o ambiente interno, diferenciando-se da Carta Bioclimática criada por Olgay que considerava apenas as condições climáticas externas.

Segundo Bittencourt e Cândido (2005) a maioria dos estudos que classificam os limites de conforto térmico expressam a sensação de conforto como uma temperatura efetiva, que combina o efeito da temperatura do ar, umidade, radiação e movimento do ar.

Destaca-se, assim, os estudos de Fanger (1972) baseados em análises estatísticas das condições térmicas de preferência da maioria das pessoas, a partir de um trabalho experimental, resultando no *Predicted Mean Vote – PMV* e a *Predicted Percentage of Dissatisfied – PPD* (Voto Médio Estimado e Percentagem de Pessoas Insatisfeitas). O PMV representa a sensação térmica média humana em relação ao ambiente, numa escala de -3,0 (muito frio) a +3,0 (muito calor), onde são correlacionados a sensação térmica com a atividade metabólica do corpo humano, a

vestimenta (de resistência térmica avaliada de 0 a 4 clo) e o ambiente (a temperatura, a umidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura radiante média). A pesquisa de Fanger foi adotada pela ISO 7730 que recomenda para espaços ocupados a faixa do PMV de 10%, ou seja, entre -0,5 a +0,5 (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA; 1997).

Givoni (1992) expandiu os limites máximos de conforto térmico-higrotérmico determinados a partir do Diagrama Bioclimático para países em desenvolvimento (Hemisfério Sul), pois a maior parte dos edifícios nestes países não são climatizados artificialmente e por isso os seus usuários apresentam uma aceitação maior das variações de temperatura e velocidade do vento. Este fato é claro em climas quentes e úmidos, onde os parâmetros de conforto convencionais não se aplicam às condições reais vivenciadas pelas pessoas. Desta forma, a partir do processo de aclimação, o organismo humano é capaz de tolerar mais adequadamente temperaturas mais altas.

O método de Givoni (1992) é aplicado atualmente em avaliações de desempenho térmico de edificações, e inclusive foi utilizado a partir de algumas modificações, na elaboração da *Norma de Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social* no Brasil (ABNT 2005). As adaptações realizadas no Diagrama Bioclimático de Givoni não contestam os seus fundamentos teóricos, apenas visaram tornar o método mais sensível às condições climáticas e culturais brasileiras (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999).

Em relação ao tema específico da presente pesquisa, é importante destacar que na Parte 3 da *Norma de Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social* foi estabelecido um *zoneamento bioclimático* brasileiro onde são definidas diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. O objetivo desta norma é subsidiar os projetos de edificações para a população de baixa renda proporcionando condições aceitáveis de conforto térmico, aplicáveis também para habitações coletivas de até três pavimentos.

Além da metodologia proposta por Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) outros estudos realizados nestes últimos anos têm demonstrado a preocupação com a avaliação de desempenho térmico de habitação de interesse social, dentre eles pode-se destacar: as metodologias propostas pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A) – Akutsu, Sato e Pedroso (1995), a metodologia proposta por Lamberts e Barbosa (1997), os estudos de Pereira, Kremer e

Kuchenbecker (2000) e o método das equações preditivas desenvolvido em Kruger (2003).

A metodologia proposta pelo IPT considera as condições dinâmicas de exposição ao clima e à ocupação. O método para auxiliar a tomada de decisões no processo projetual é baseado em simples consultas a tabelas, que indicam o nível de desempenho A, B e C. As tabelas comparam o desempenho de trinta opções de cobertura, para quatro orientações de janelas e em oito regiões climáticas que abrangem o território nacional. Através da consulta destas tabelas é possível identificar quais os sistemas construtivos mais adequados para uma região climática específica e quais as características construtivas mais importantes na adequação da edificação ao clima local, porém a metodologia é apenas válida para edificações térreas.

O método das Horas Anuais de Desconforto desenvolvido por Lamberts e Barbosa (1997) considera os limites de conforto a partir das temperaturas apresentadas no Diagrama de Givoni (1992) para países em desenvolvimento. Este limite, portanto, é determinado pela umidade variando entre 4g/Kg (umidade absoluta) e 80% (umidade relativa) e temperaturas entre 18°C a 29°C. Os resultados deste estudo realizado em Londrina apontaram as seguintes soluções para o estabelecimento da eficiência térmica e do baixo custo da edificação: a) pintura branca na cobertura, b) uso de lâ de vidro na laje, c) aumento na área de aberturas e o sombreamento das aberturas. Esta metodologia é baseada em duas formas de avaliação: a avaliação por prescrição e a avaliação por desempenho, sendo restrita a edificações unifamiliares.

Os estudos de Pereira, Kremer e Kuchenbecker (2000) a partir da caracterização da adequação climática de habitações de interesse social, propõem a utilização de estratégias bioclimáticas para a cidade de Florianópolis. Foram definidas premissas projetuais direcionadas para o conforto térmico abrangendo desde o nível macro-espacial de um conjunto habitacional até chegar aos elementos construtivos das unidades habitacionais (escolha do sítio, parcelamento do solo e traçado urbano, escolha tipológica, elementos arquitetônicos e materiais construtivos).

O método das equações preditivas proposto por Krüger (2003) é baseado apenas no monitoramento das temperaturas externas e internas de edificações de interesse social unifamiliares. As equações estão sendo apontadas como uma alternativa à grande parte da produção científica na área, pois, utilizando a ferramenta estatística análise de regressão, é possível criar equações capazes de prever com precisão sua temperatura mínima, média e máxima para dias específicos do ano. O método permite, ainda, a simulação do comportamento térmico de uma edificação em clima diferente daquele em que a tipologia arquitetônica foi implantada.

Avançando os estudos sobre o desempenho térmico de edifícios, Gonçalves et al (2002) vem destacar que os fatores que determinam o comportamento térmico desses edifícios são influenciados pela interação dos elementos urbanos com o clima circundante. Gonçalves destaca a importância das condições de variabilidade climática numa cidade como Lisboa, a influência de uma grande massa de água, bem como a influência microclimática ao nível da fachada, rua ou jardim na qualidade interna das edificações. Nesta pesquisa, Gonçalves et al (2002) pretendem propor diretrizes para melhorar as condições de conforto no nível do edifício, a partir da consideração dos seus aspectos construtivos e da sua implantação na malha urbana.

Neste sentido, os estudos recentes relacionados à investigação dos fenômenos climáticos urbanos a partir da avaliação da influência da configuração e geometria urbana na modificação do comportamento das variáveis climáticas, têm evidenciado a importância de se relacionar a forma urbana com a qualidade térmica interna das edificações (SANTAMOURIS, 1997; SOUZA et al , 2005).

Sabe-se que as temperaturas em áreas urbanas densamente construídas geralmente são mais altas que nas áreas rurais; esse fenômeno é conhecido como ilha de calor. Santamouris (2001) aponta que esta elevação de temperatura nas áreas urbanas tem sérios impactos nas demandas de eletricidade no condicionamento e conforto térmico interno de construções.

Krüger e Lima (2005), a partir de dois conjuntos de dados, os referentes ao clima urbano e os relacionados a temperaturas internas de tipologias construtivas de habitação de interesse social, puderam apontar indícios da influência da configuração

urbana de sete localidades de Curitiba no consumo de energia de edificações. Foi realizado o cálculo das temperaturas internas que seriam registradas nestas tipologias construtivas diferenciadas caso fossem submetidas a diferentes condições microclimáticas. A partir das temperaturas estimadas, foi calculada a quantidade de energia necessária para a climatização dos ambientes. A metodologia adotada nesse trabalho foi fundamentada no método proposto por Dornelles e Roriz (2003), criado para avaliar o impacto do clima urbano na carga de climatização necessária para o desempenho de funções em níveis de conforto térmico satisfatórios.

Desta forma, torna-se clara a importância da extensão da utilização dos princípios bioclimáticos na concepção dos espaços urbanos, até mesmo para facilitar a aplicação em escala reduzida, como a do edifício.

A importância da utilização dos princípios bioclimáticos na concepção e construção dos espaços, deve-se ao alcance da inter-relação entre os seguintes aspectos (FERREIRA, 2004):

- a) A dimensão humana e suas necessidades físico-biológicas associadas ao conforto;
- b) A dimensão ecológica com a utilização de sistemas passivos de energia obtidos a partir o potencial climático e ambiental local;
- c) A dimensão econômica com a redução de recursos financeiros e de consumo de energia, principalmente elétrica;
- d) A dimensão cultural com a preservação de padrões arquitetônicos locais, reforçando e promovendo a identidade arquitetônica regional e nacional;
- e) A dimensão espacial a partir de uma arquitetura planejada para interagir com a natureza e promover conjuntos urbano-arquitetônico mais equilibrados espacial e ambientalmente;
- f) A dimensão tecnológica com o desenvolvimento de novas técnicas, sistemas passivos, materiais e componentes arquitetônicos.

O conhecimento das características climáticas da região e das condições de conforto a serem atingidas no interior da edificação é subsídio indispensável para a definição do projeto que mais se adapte às particularidades do clima local, com a adoção de medidas passivas, ou seja, da arquitetura bioclimática (DUMKE, 2002).

3. FORMA URBANA E CLIMA



A conformação da cidade e o sítio onde ela se insere são elementos importantes na determinação de microclimas urbanos, na medida em que a quantidade de radiação solar incidente e o regime de ventos no ambiente urbano dependem diretamente da forma, distribuição e orientação das edificações.

O clima urbano influencia fortemente o conforto térmico e energia requerida para aquecimento ou resfriamento de edificações na paisagem urbana. Desse modo, seu entendimento pode se constituir em ferramenta útil para o projeto de ambientes termicamente confortáveis e energeticamente eficientes em edificações e espaços externos.

3.1 Ambiente Urbano e Clima: conceitos, elementos e fatores

O clima é o resultado dinâmico de fatores globais (latitude, altitude, continentalidade, etc), locais (revestimento do solo, topografia) e elementos (temperatura, umidade, velocidade dos ventos, etc) que dão feição a uma certa localidade. É a integração dos estados físicos do ambiente atmosférico (tempo), característico de certa localidade geográfica (KOENIGSBERGER et al, 1977).

Atribui-se, portanto, aos *elementos climáticos*, a qualidade de definir e fornecer os componentes do clima, e aos *fatores climáticos*, a qualidade de condicionar, determinar e dar origem ao clima. Os chamados *fatores locais* introduzem variações no clima condicionando, determinando e dando origem aos diferentes microclimas verificados em ambientes restritos como um bairro ou uma rua (BUSTOS ROMERO, 1988).

A informação climática, portanto, deve ser considerada em três níveis (MASCARÓ, 1996):

- **Dados macroclimáticos:** descrevem o clima geral de uma região. São obtidos nas estações meteorológicas;
- **Dados mesoclimáticos:** informam as modificações do macroclima, provocadas pela topografia local;

- **Dados microclimáticos:** informam os efeitos das ações humanas sobre o entorno, como também, a influência que estas modificações exercem sobre os recintos urbanos.

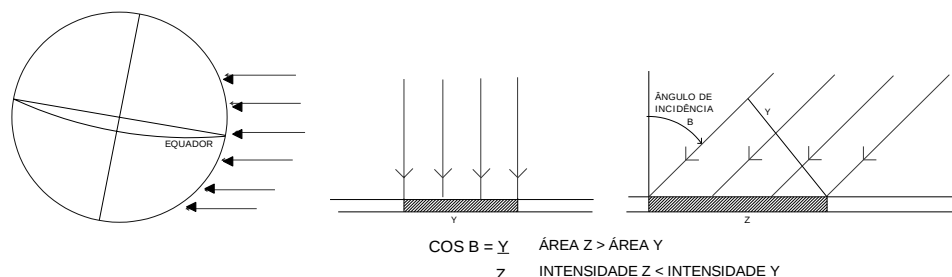
3.1.1 Fatores Climáticos Globais

3.1.1.1 Radiação Solar

Radiação Solar é energia eletromagnética, de onda curta, emitida pelo sol sendo parcialmente absorvida pela atmosfera terrestre. A intensidade da radiação solar varia em função das atividades solares e da distância da Terra ao Sol. O curto comprimento é dividido em três escalas: a ultravioleta ($<0,4\mu\text{m}$), a visível ($0,4$ a $0,76\mu\text{m}$) e a infravermelha ($>0,76\mu\text{m}$). O ozônio absorve a maior parte dos raios ultravioleta e aqueles de menor comprimento de onda, fazendo com que apenas uma pequena parcela chegue à superfície da terra. A maior influência da radiação solar é na distribuição da temperatura do globo. Quanto maior a altitude do sol, mais concentrada será a intensidade da radiação por unidade de área e menor será o albedo.

3.1.1.2 A latitude

É a distância contada em graus da Linha do equador, no sentido Norte e Sul, de 0° a 90° , medida pelos paralelos. Possui influência principal no controle sobre a quantidade de insolação que um determinado local recebe. A radiação solar diminui com o aumento da latitude, provocando o aquecimento diferenciado na superfície terrestre (esquema 3.1). Dentre outras consequências, faz alterar a pressão atmosférica, diminuindo nos trópicos, onde o ar aquecido tende a subir, resfriando-se a grandes alturas e deslocando-se para zonas mais frias (BARDOU; ARZOUMANIAN, 1984).



Esquema 3.1: Representação esquemática da influência da latitude na intensidade da radiação solar incidente. Fonte: adaptado de Bardou; Arzoumanian (1984, p.19).

3.1.1.3 Altitude

A altitude é referenciada pela elevação de um ponto acima do nível do mar, tendo influência direta na temperatura do ar, pois, aumentando-se a altura, o ar estará menos carregado de partículas sólidas e líquidas. São justamente estas partículas que absorvem as radiações solares e as difundem aumentando a temperatura do ar. O gradiente termométrico do ar é de aproximadamente 1°C para cada 200m de altura, com pouca variação em relação à latitude e às estações (BUSTOS ROMERO, 1988).

3.1.1.4 Regime dos ventos

O regime dos ventos é determinado pelas correntes de convecção na atmosfera, que tendem a igualar o aquecimento diferencial das diversas zonas do globo terrestre. A diferença de pressão, ou de temperatura entre dois pontos da atmosfera, gera um fluxo de ar, que se desloca das regiões mais quentes, baixa pressão – ciclone, para as regiões mais frias, alta pressão – anticiclone (KOENIGSBERGER et al, 1977).

3.1.1.5 Massas de água e terra

A proporção entre as massas de terra e os corpos de água produz um impacto característico no clima, pelo amortecimento das variações térmicas, aumento da umidade do ar, alteração de pluviosidade e a indução de brisas locais.

As massas de água, especificamente, possuem um considerável efeito estabilizador, contribuindo para a redução de temperaturas extremas diurnas e estacionais devido à diferente capacidade de armazenamento de calor em relação às massas de terra. Isso ocorre porque os corpos d'água apresentam uma capacidade de armazenamento de calor significativamente maior do que o solo, exercendo um importante papel de volante térmico, formando correntes de convecção. Algumas pesquisas comprovaram que quanto maior as distâncias das amostras de uso do solo das grandes massas de água, maiores são as amplitudes térmicas (SAMPAIO, 1981; NASCIMENTO, 1993).

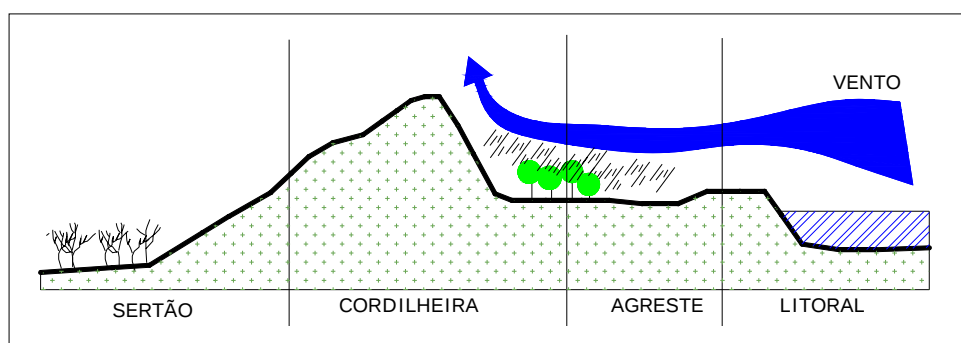
A presença de corpos d'água também tem participação relevante na modificação do efeito do aquecimento nas cidades, devido às grandes diferenças no balanço energético entre superfície urbana e superfície de água (DUFNER et al, 1993). Em padrões diferenciados de uso do solo, a proximidade do oceano assume

importância sobre as variações de temperatura na cidade. É evidente, ainda, o efeito positivo de massas d'água em áreas urbanas no microclima de áreas vizinhas, melhorando a qualidade climática dessas regiões (MURAKAWA; SEKINE ; NARITA, 1990).

3.1.2 Fatores Climáticos Locais

3.1.2.1 Topografia

A topografia influencia na redução de temperatura, quando ocorrem mudanças na elevação e orientação do sítio, devido à diferença de radiação solar incidente. Um relevo acidentado pode, também, atuar como barreira à ventilação modificando, muitas vezes, as condições de umidade e de temperatura do ar em escala regional (esquema 3.2).



Esquema 3.2: Esquema representativo do deslocamento e desvio de massas úmidas: falta de chuva no sertão.

Fonte: Bustos Romero (1988, p.30)

Alguns estudos sobre o efeito da urbanização no aumento da temperatura da cidade, comprovam que o posicionamento do sítio dos recintos urbanos pode resultar também em benefícios para a qualidade térmica dos assentamentos urbanos. Ou seja, a posição privilegiada do sítio no qual se assenta o respectivo bairro, pode facilitar sua exposição à ventilação predominante, amenizando as possibilidades de armazenar calor nas massas edificadas (OKE, 1996).

3.1.2.2 Revestimento do Solo

Os revestimentos do solo podem ser massas d'água interiores, cobertura vegetal ou revestimentos artificiais de urbanização, que apresentam implicações

climáticas de caráter local. As massas d'água, como já exposto anteriormente, funcionam no amortecimento e diferenciação das variações térmicas, provocam aumento de umidade, alteração de pluviosidade e indução de ventos locais.

A qualidade térmica dos recintos urbanos é fortemente influenciada pelas propriedades termo-físicas dos materiais adotados. A capacidade de reflexão e absorção dos diversos materiais, em relação a luz e ao calor, depende diretamente de suas propriedades físicas como densidade, textura e cor. Influenciam ainda, consideravelmente, na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a atmosfera, contribuindo para um aumento da temperatura do ar (expresso pelo albedo, absorção e emissividade).

3.1.3 Elementos Climáticos e o Meio Urbano

Os elementos climáticos - especialmente a temperatura, umidade, radiação, ventos, nebulosidade e chuvas - sofrem influência do ambiente urbano. Esses elementos atuam de forma integrada, influenciando-se mutuamente.

3.1.3.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar é resultante do aquecimento e resfriamento da superfície da terra, por processos indiretos, já que o ar é transparente à radiação solar. O balanço térmico da superfície terrestre é constituído por fenômenos como evaporação, convecção, condução e emissão de radiação de ondas longas.

Na cidade, a temperatura do ar é geralmente maior do que na área rural circundante, tanto é que na literatura específica a cidade é tratada como uma ilha de calor. Vários estudos e pesquisas têm constatado essa diferença comprovando o registro de média de temperatura anual de 0,5°C a 3°C a mais relação ao meio rural, principalmente em dias de uso de aquecimento da cidade com equipamentos de climatização artificial (LANDSBERG, 1997).

3.1.3.2 Umidade

Umidade é o termo usado para descrever a quantidade de vapor d'água contido na atmosfera. Embora o vapor d'água represente apenas 2% da massa total da atmosfera, ele é o componente atmosférico mais importante na determinação do tempo e do clima, por ser a origem de todas as formas de condensação e precipitação, além de absorver tanto a radiação solar quanto a terrestre, exercendo um grande

efeito sobre a temperatura do ar e constituindo-se um fator determinante da sensação de conforto térmico humano. Há várias maneiras de medir o conteúdo de umidade da atmosfera: umidade absoluta, umidade específica, índice de umidade, temperatura de ponto de orvalho, umidade relativa, pressão de vapor (KOENIGSBERGER et al, 1977). Destas, a umidade relativa é a mais usada, e indica o grau de saturação do ar (%), sendo fortemente influenciada pela temperatura do ar, e inversamente proporcional a esta.

Apesar da maior quantidade de vapor presente na atmosfera urbana em função das atividades antropogênicas, a umidade relativa é em média 6% menor na área urbana (LANDSBERG,1997), se comparada com o campo, devido ao incremento da temperatura urbana. Este fato deve-se principalmente a maior quantidade de superfícies impermeabilizadas nas cidades provocando o rápido escoamento das águas de chuva, reduzindo o índice de evapotranspiração.

3.1.3.3 Radiação

A radiação total nas superfícies horizontais de uma estrutura urbana é cerca de 10 a 20% menor que uma área rural próxima. Da mesma forma, a duração da insolação é estimada entre 5 e 15% menor (LANDSBERG,1997). Essas condições dependem, fundamentalmente, da latitude do local e das condições do sítio urbano (montanhas, serras, grandes formações rochosas, etc). Em escala microclimática, a massa edificada urbana modifica a duração da exposição nos espaços, provocando sombreamento do solo, sobre si mesmo, ou em outros edifícios.

3.1.3.4 Precipitações

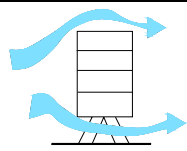
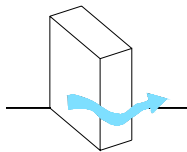
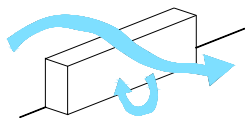
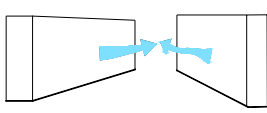
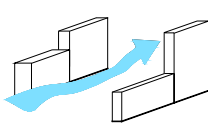
As precipitações são o resultado de qualquer deposição em forma líquida ou sólida derivada da atmosfera. Refere-se, portanto, às várias formas líquidas e congeladas de água, como chuva, neve, granizo, orvalho, geada e nevoeiro. A evaporação das águas de superfície leva à formação de chuva e outras precipitações. Esta água flui através dos córregos, rios, etc, voltando para o oceano e completando o ciclo hidrológico.

3.1.3.5 Ventos

O movimento do ar é resultado das diferenças de pressão atmosférica verificadas pela influência direta da temperatura do ar, deslocando-se horizontalmente e verticalmente. O movimento horizontal está relacionado às

diferenças de temperatura da superfície terrestre, e o movimento vertical, ao perfil de temperatura gerado pelo aquecimento do ar na faixa equatorial.

No centro urbano, a velocidade do vento é mais baixa que nos arredores rurais ou periféricos. O ar tende a se mover mais devagar próximo ao solo e aumenta a sua velocidade com a altura. A diminuição da velocidade do vento está relacionada à rugosidade da superfície edificada na cidade, gerando os efeitos de fricção (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005). Contudo, em alguns casos, a configuração de vias e edifícios pode acelerar a velocidade do vento urbano - efeito de canalização de ruas, efeito de pilotis, desvio do fluxo de ar até o solo por edifícios altos (quadro 3.1).

Esquema	Efeitos	Princípios de Controle
	Efeito Pilotis: fenômeno de corrente de ar sob o edifício. A entrada de ar se faz de forma difusa, mas a saída é a jato.	Orientação paralela ao vento predominante; base dos edifícios com vegetação ou construções; aumento da porosidade do edifício.
	Efeito Esquina: fenômeno de corrente de ar nos ângulos das construções	Arredondamento dos cantos, adensamento com vegetação ou construções próximas
	Efeito Barreira: fenômeno de corrente de ar com desvio em espiral	Barreiras ortogonais com pelo menos duas vezes as alturas dos edifícios; espaçamento adequado entre construções
	Efeito Venturi: fenômeno de corrente formando um coletor dos fluxos criados pelas construções projetadas em um ângulo aberto ao vento.	Adensamento do entorno, abrindo ou fechando o ângulo crítico;
	Efeito de canalização: fenômeno de corrente de ar que flui por um canal a céu aberto formado pelas construções	Traçado urbano sob incidência entre 90° e 45°; afastamento das construções; espaçamento entre edificações

Quadro 3.1: Efeitos aerodinâmicos do vento. Fonte: Bustos Romero (1988)

Pequenas brisas podem, ainda, ser formadas a partir dos contrastes de temperatura entre diferentes setores dentro da área urbana. A convergência de fluxos de ar, da periferia ao centro, quando o vento regional está fraco ou em calmaria, denomina-se brisa urbana que surge a partir do estabelecimento de um gradiente

horizontal de temperatura e quando a *ilha de calor* apresenta-se bem desenvolvida (LOMBARDO, 1991).

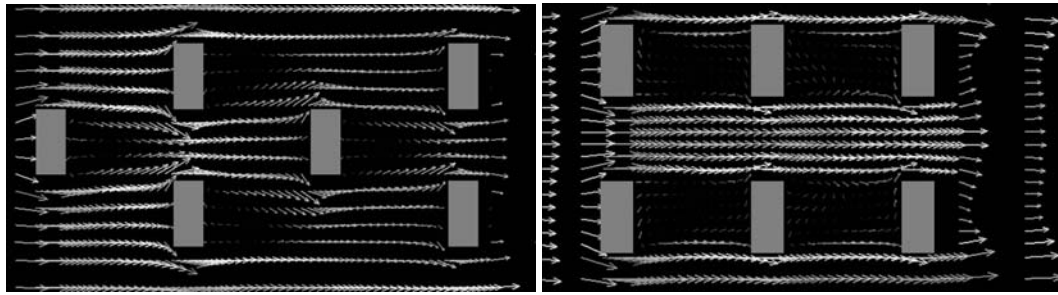
Sobre a configuração do conjunto edificado, Bittencourt e Cândido (2005) enfatizam que a distribuição espacial das construções influencia diretamente as formas do fluxo do vento ao redor das mesmas. No caso de assentamentos densos, por exemplo, que apresentam uniformidade na altura das edificações, pode-se verificar a formação de uma nova “*superfície*” ou um novo “*chão*”, provocado pelo desvio do vento constituído pelo limite mais baixo do gradiente de vento¹. Por isso, construções com pátio, embora apresentem desempenho satisfatório em climas quentes e secos, podem produzir efeitos negativos em locais de clima quente e úmido, dependendo da relação entre o tamanho do pátio, e do grau de porosidade das construções.

Bittencourt e Cândido (2005) destacam ainda os estudos sobre o comportamento do vento a partir da análise de diferentes disposições de arranjos construtivos urbanos apresentados em Olgay (1963), Bowen (1983) e os estudos de Lee, Hussain e Solliman (1980) sobre a influência do espaçamento entre edificações no regime de circulação do vento entre as construções.

Sobre as pesquisas de Olgay (1963) através da análise de dois tipos de arranjos construtivos urbanos (considerados os mais utilizados), verificou-se que o arranjo em *malha xadrez* (escalonado), a partir da incidência paralela do vento, apresentou uma menor área de *sombra de vento*² quando comparada com o arranjo em malha ortogonal normal. Analisando a situação para a incidência do vento de forma oblíqua à malha, o resultado torna-se invertido, onde a malha ortogonal normal passa a apresentar menor área de sombra de vento (esquema 3.3).

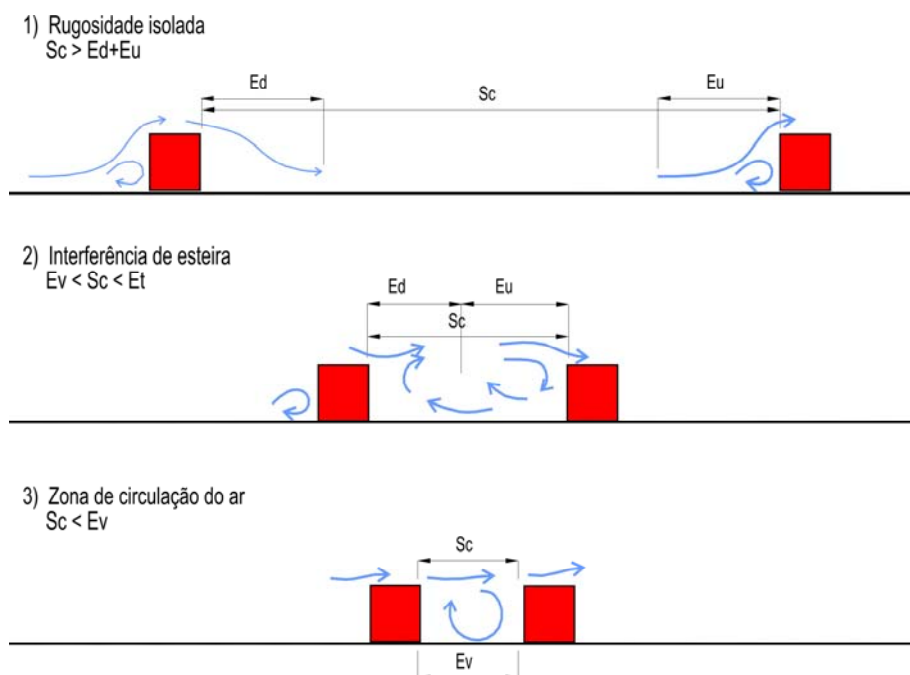
¹ O gradiente de vento está relacionado ao incremento da velocidade ao longo de um eixo vertical que varia de zero, na superfície terrestre, aumentando até uma velocidade igual à do fluxo livre de obstruções (BITTENCOURT ; CANDIDO, 2005)

² Separação do fluxo do ar ocasionado a formação de zonas turbulentas de recirculação de ar, vórtices.



Esquema 3.3: Comportamento do fluxo do vento em diferentes arranjos construtivos urbanos: arranjo escalonado e arranjo normal, respectivamente, para mesma direção de vento incidente. Fonte: Bittencourt e Cândido (2005)

Lee, Hussain e Solliman (1980) analisaram três situações de distanciamento entre edificações a partir das densidades construtivas, também avaliando arranjos em *malha ortogonal normal* e *malha xadrez* (escalonada). As três situações de distanciamento foram as seguintes (esquema 3.4): 1) onde o espaço entre as edificações é maior que a soma das regiões de separação do fluxo localizadas a sotavento (E_d) e a barlavento (E_u), geradas entre as construções; 2) onde o espaço entre as edificações é menor que a soma das regiões de separação e 3) onde o espaço entre as edificações são inferiores ao mínimo necessário para gerar um vórtice estável, favorecendo o deslizamento do vento sobre as edificações e criando uma zona de ar estagnado.



Esquema 3.4: Regimes de circulação de vento entre edificações.

Fonte: Lee et al (1980) apud Bittencourt e Cândido (2005)

Os resultados da pesquisa realizada por Lee, Hussain e Solliman (1980) são apresentados através da relação entre as diferenças de pressão (ΔC_p) nas superfícies situadas a barlavento e a sotavento, pois o potencial de ventilação interna nas construções é fortemente influenciado por esta relação (gráfico 3.1). Pode-se concluir que nos dois tipos de arranjos construtivos avaliados o coeficiente de pressão aumenta à medida que a densidade dos mesmos é reduzida.

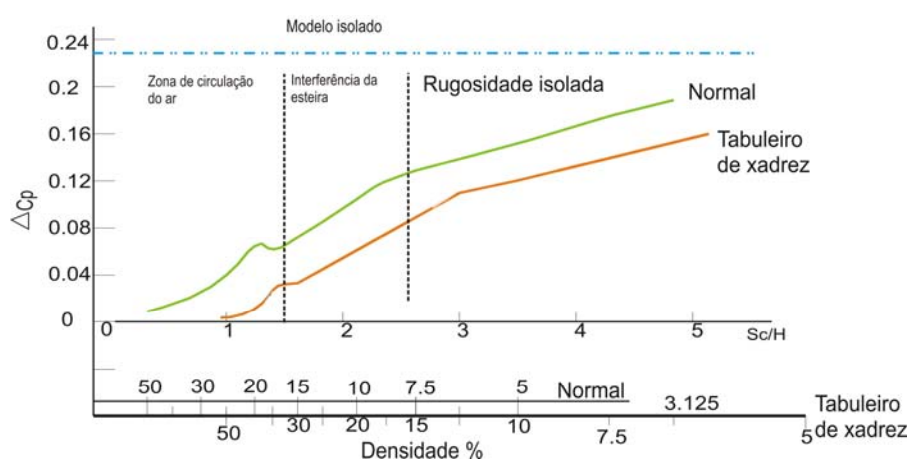


Gráfico 3.1: Variação dos coeficientes de pressão (ΔC_p) em função do espaçamento entre edifícios. Fonte: Lee et al (1980) apud Bittencourt e Cândido (2005)

Evans (1973) através de estudos em túneis de vento demonstrou a influência das dimensões e da forma das construções no tamanho da zona a sotavento onde a velocidade do ar é reduzida (esteira). Foi concluído que o aumento da largura e da altura de uma edificação corresponde a uma expansão proporcional do tamanho da esteira, mas também que o aumento da profundidade da construção reduz essa zona de sucção. Evans verificou ainda a influência de diferentes direções de vento em quatro tipologias de edificações comuns (em L, U, I e T), avaliando o potencial da ventilação também como consequência das pressões ao redor das construções.

Oliveira (1988) estudou o efeito das estruturas porosas e não porosas no comportamento dos fluxos do ar entre edificações. Verificou, portanto, que a ventilação entre os edifícios será maximizada se os mesmos estiverem a uma distância igual ou maior que seis vezes a altura dos edifícios à barlavento. As distâncias reduzidas também podem apresentar resultados satisfatórios caso haja a utilização de grandes porosidades na edificação como a utilização de pilotis.

3.2 A forma urbana e clima urbano: os efeitos na qualidade térmica das edificações.

O ambiente da cidade gera modificações climáticas devido às fontes adicionais de calor, de caráter antropogênico, e da composição dos materiais de sua superfície, a maioria bons condutores térmicos e com grande capacidade calorífica. Esse fato interfere nos elementos do clima, alterando a composição de sua atmosfera.

A forma urbana, portanto, pode ser definida como o produto das relações estabelecidas pelo homem entre a morfologia da massa edificada e a morfologia dos espaços exteriores de permanência e circulação; e entre essas e a morfologia do solo / paisagem (OLGAY, 1992).

Oliveira (1988) aponta que as características da morfologia do solo e paisagem (como a convexidade ou concavidade do sítio) e da forma urbana, são condicionantes do clima urbano. Destaca-se, portanto, os seguintes atributos bioclimatizantes da forma urbana:

- **Conformação/configuração espacial:** representada pelo espaçamento, disposição, altura, largura e profundidade da massa edificada, acrescida dos

aspectos geomorfológicos. A morfologia da massa edificada é caracterizada pelas tipologias dos edifícios, as formas de agregação e acesso aos mesmos e espaços externos. A morfologia dos espaços externos compõe-se dos espaços de estar urbano (pavimentados ou com cobertura vegetal) e da rede viária para circulação de pedestre e veículos;

- **Rugosidade**: espaçamentos (entre edifícios e/ou arranjos morfológicos) e as alturas relativas entre edifícios e demais superfícies urbanas; está relacionada com a maior ou menor fricção entre a superfície urbana e os ventos que a atravessam;

- **Porosidade**: maior ou menor permeabilidade de uma estrutura urbana à passagem dos ventos e expressa através da relação entre espaços abertos e espaços confinados. Tanto a rugosidade como a porosidade influenciam diretamente no movimento de massas de ar, que por sua vez, interfere nos demais elementos climáticos. Esta interferência ocorre através de três princípios: inércia, diferença de pressão e fricção;

- **Densidade de construção**: índice de ocupação do solo. É um importante condicionante climático, pois os maiores valores de temperatura do ar encontram-se nas áreas mais densamente construídas, mais populosas ou com determinado uso do solo.

- **Tamanho**: determinado pelas dimensões verticais e horizontais da estrutura urbana. As alturas estão relacionadas com a rugosidade. Os maiores contrastes entre as alturas dos elementos da massa edificada podem repercutir em turbilhonamento dos ventos. A otimização da ventilação pode ser combinada com a porosidade, proporcionando maior velocidade dos ventos, em parte da massa edificada próximas dos volumes mais altos e em maiores trocas térmicas com o ambiente atmosférico.

- **Uso e ocupação do solo**: localização das atividades tais como indústrias, comércio e serviços, as quais significam a concentração de edificações e pessoas. A concentração de determinadas atividades em uma única área, com índices elevados de concreto e altas densidades, gera efeitos negativos à radiação solar e à radiação das atividades antropogênicas e aos poluentes atmosféricos, contribuindo para o aumento da temperatura do ar no meio urbano;

- **Orientação**: posicionamento das massas edificadas, massas arbustivas, relevos e massas hídras em relação ao regime de ventos e do caminho aparente do sol, que expõem ou abrigam periodicamente ou temporariamente os efeitos provocados por estes elementos. Nos climas quentes e úmidos a dimensão horizontal deve ser alongada e perpendicular aos ventos dominantes, objetivando a maximização de perdas de calor por convecção. As elevações das massas edificadas devem estar à barlavento enquanto que as massas arbustivas e líquidas à sotavento.

- **Permeabilidade do solo**: representada pela relação entre as áreas construídas e pavimentadas, com áreas livres de construção e pavimentos, mesmo que não sejam convenientemente vegetadas. Os principais efeitos da impermeabilização do solo são: redução da umidade do ar e da evaporação pela pouca absorção das águas pluviais; acúmulo de radiação térmica, não perdida pela evaporação, aquecendo os espaços; concentração de massas úmidas, acarretando precipitações, devido às altas temperaturas; e ocorrência de inundações devido à má absorção das águas pluviais pela superfície impermeável.

- **Propriedades termodinâmicas dos materiais**: capacidade de reflexão e absorção dos diversos materiais, em relação a luz e ao calor, depende diretamente de suas propriedades físicas como densidade, textura e cor. Influenciam consideravelmente na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a atmosfera, contribuindo para um aumento da temperatura do ar (expresso pelo albedo, absorção e emissividade).

O ambiente urbano, portanto, configura-se pelo resultado da interação humana sobre o espaço natural, e por definição, está inserido na categoria de espaço adaptado. Mas, torna-se claro que as alterações no ambiente nem sempre atendem aos requisitos de um “habitat” congruente às necessidades biofísicas do ser humano. Desta forma, o clima de um lugar pode ser considerado como a integração de uma série de elementos que se verificam em escalas diferentes, abrangendo desde a macro até a microescala. Os efeitos negativos decorrentes da não adaptação das estruturas edificadas ao meio natural e as características climáticas preocupam a todos que se

relacionam profissionalmente ao meio urbano: urbanistas, geógrafos, médicos, ecólogos, biólogos etc.

Desta forma, os estudos sobre clima urbano são de extrema importância para o entendimento dos processos e fenômenos que definem a qualidade ambiental urbana.

Monteiro (1976) destaca a importância da utilização da Teoria dos Sistemas como um quadro de referência teórico para o estudo do clima urbano. Desta forma considera o clima urbano como um sistema dinâmico adaptativo, atentando que para o estudo do clima da cidade deve-se adotar uma conduta de investigação que veja nela não um antagonismo entre o homem e a natureza, mas uma co-participação. A proposta de análise deste sistema é baseada em três canais perceptivos associados aos conjuntos de fenômenos do universo climáticos: conforto térmico (subsistema termodinâmico), a qualidade do ar (subsistema físico-químico) e o impacto meteórico (subsistema hidrodinâmico)

Dentro do Sistema Clima Urbano (S.C.U) o canal I, correspondente ao subsistema termodinâmico, atravessa toda a sua estrutura, pois é insumo básico transformado na cidade e pressupõe uma produção fundamental no balanço de energia líquida atuante no sistema (diagrama 3.1). O uso do solo, a morfologia urbana, bem como suas funções, estão intimamente implicados no processo de transformação e produção.

A estrutura do S.C.U inclui obrigatoriamente o natural e o construído pelo homem. O artefato físico criado pela urbanização, integrado ao suporte geoecológico em que se insere, dinamizado pelos fluxos urbanos, é que constitui o operando do sistema cuja estrutura é penetrada e percorrida por fluxos energéticos do operador: a atmosfera.

A importância dos estudos de Monteiro (1976), baseados na análise dos efeitos da urbanização na qualidade ambiental das cidades a partir da Teoria dos Sistemas, deve-se principalmente ao seu aspecto integrador. Sua contribuição diferencia-se dos primeiros estudos sobre clima urbano e das análises consideradas clássicas, como os trabalhos de Landsberg (1997) e Chandler (1965), baseados em análises separatistas (abordagem mais meteorológica do que geográfica) onde faltava uma correlação entre os fenômenos meteorológicos e urbanos.

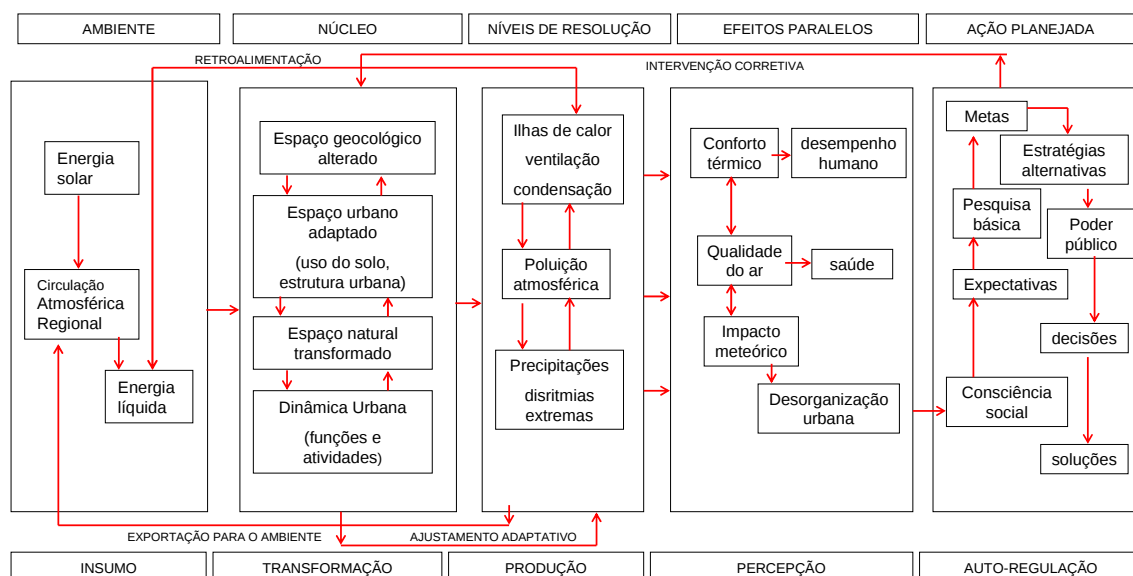


Diagrama 3.1: Diagrama básico – Sistema Clima Urbano. Fonte: Monteiro e Mendonça (2003).

Dentro dessa abordagem metodológica, destacam-se também os trabalhos de Sampaio (1981), que estudou as correlações entre o uso do solo e a formação de ambientes térmicos diferenciados em Salvador-BA, e o estudo sobre ilha de calor urbana na metrópole de São Paulo realizado por Lombardo (1985). Estes trabalhos são marcados pela preocupação central em discorrer sobre as bases teórico-metodológicas sobre clima urbano através da investigação de diferentes universos urbanos de forma “exploratória”, buscando avaliar situações empíricas da realidade.

Katzschner (1997) desenvolveu um método de análise do clima urbano baseado na descrição qualitativa das características espaciais dos recintos urbanos para o desenvolvimento de um sistema de classificação (diagrama 3.2). Primeiramente é realizada uma análise geográfica a partir da confecção de mapas de uso do solo e caracterização da estrutura urbana como, estratificação das edificações (altura, profundidade e largura), localização dos espaços de arborização urbana e especificações relacionadas aos sistemas de drenagem de águas pluviais. A sobreposição destes mapas a partir da integração das informações sobre as condições das superfícies urbanas pode ser correlacionada com as condições do ar próximo ao solo, onde os resultados analisados permitem desenvolver um sistema de classificação das condições termo-dinâmicas. Esta análise pode ser combinada com

as medições das variáveis climáticas nos recintos urbanos estudados. A validação e correção destes mapas são finalizadas com a confecção de um mapa climático padrão, que inclui todos os fatores determinados no sistema de classificação do clima urbano. É importante destacar, porém, que nesta validação a influência dos fatores climáticos locais deve ser considerada.

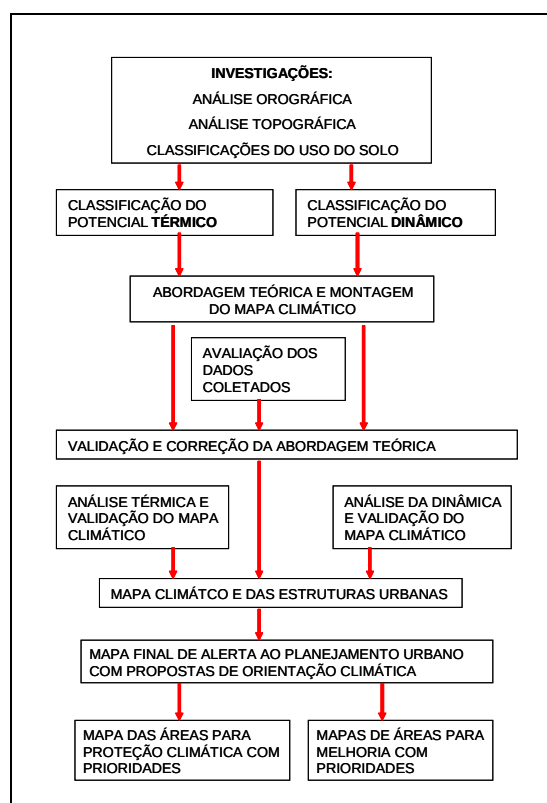


Diagrama 3.2: Esquematização das etapas do método de investigação do clima urbano desenvolvido por Katschner (1997)

As pesquisas recentes sobre clima urbano enfatizam que a qualidade ambiental das edificações depende fundamentalmente da qualidade ambiental urbana, portanto, esse aspecto deve ser considerado nos estudos consolidados relacionados a conforto e desempenho de ambientes. (SOUZA et al, 2005).

O padrão de ventilação e as temperaturas nos espaços urbanos afetam o potencial de aproveitamento de estratégias de resfriamento passivas como a ventilação natural. As altas temperaturas urbanas têm, uma grande influência no consumo de energia elétrica para condicionamento das edificações. No verão, as altas temperaturas urbanas aumentam a demanda para resfriamento, enquanto reduz, no

período de inverno, a carga para aquecimento de edificações (SANTAMOURIS et al., 2001).

A quantidade de radiação solar que penetra no espaço urbano, a área parcialmente sombreada, o fator de céu visível das fachadas dos edifícios que o delimitam e a sua orientação em relação ao sol e ao vento definem seu comportamento térmico (MASCARÓ, J.; MASCARÓ, L., 2002)

O Brasil, que tem 87% de sua energia proveniente de hidrelétricas, já foi vítima da crise energética em 2001. Desta forma, a arquitetura se apresenta, como responsável pelo uso racional da energia das edificações, a partir do aprofundamento dos conhecimentos relativos à adaptação climática do edifício e à interferência do urbano, do layout da cidade e do entorno na eficiência energética do mesmo. (SOUZA et al, 2005).

Segundo Duarte (2002), o projeto de edifícios também pode ser tratado de diversas maneiras como parte da estratégia de climatização urbana: no tratamento da interface entre espaço público e privado no nível da rua, bem como no projeto do edifício como um todo, incluindo a volumetria, a orientação, o projeto de fachadas ou a criação de espaços de transição interior/exterior ao longo das mesmas.

A criação de microclimas no interior da estrutura urbana, através da utilização de elementos e estratégias para a amenização dos efeitos gerados pelo processo de urbanização ou até mesmo pelas próprias características climáticas locais, define-se como importante solução urbanística para o controle da qualidade ambiental das cidades. Assim, pode-se evitar o desperdício de energia elétrica decorrente da inadequação das estruturas urbanas às necessidades de conforto humano, garantindo melhor qualidade de vida para a população urbana.

3.3 O papel da vegetação urbana na qualidade ambiental dos espaços construídos

A vegetação contribui de forma significativa para o estabelecimento de microclimas. O processo de fotossíntese auxilia na umidificação do ar, e conseqüente no resfriamento evaporativo. Esse fenômeno é mais significativo, quando se trata de grandes superfícies verdes urbanas, permitindo até mesmo a formação de “ilhas de frescor” dentro do microclima urbano (MASCARÓ, 1988). Isso ocorre porque a vegetação tem menor capacidade e condutividade térmica do que os materiais de

construção presentes na cidade, absorvendo a maior parte da radiação solar incidente para a realização da fotossíntese.

Uma árvore pode controlar a radiação solar direta que chega até o solo, diminuindo o calor irradiado a partir deste, e conseqüentemente, diminui a temperatura do ar próxima.

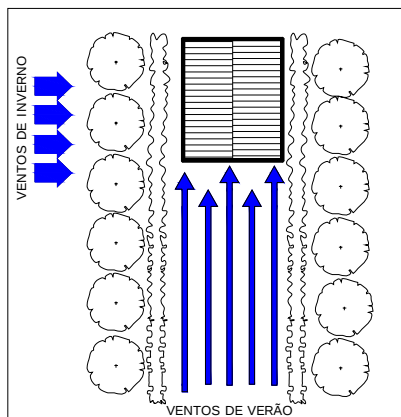
Desta forma, a vegetação urbana possui uma importante função energética no meio urbano, pois, ao produzir sombreamento em áreas edificadas, diminui a necessidade de resfriamento através do uso de energia ativa no verão. Árvores plantadas próximas a edificações podem reduzir entre 15 a 35% os custos de condicionamento do ar no verão (MORENO, 1999). À noite, o sombreamento pela vegetação também diminui as trocas por radiação da superfície construída para a atmosfera.

Neste sentido, em determinados locais, a pavimentação urbana pode ser substituída por vegetação rasteira, ou associação desta com componentes construtivos. Desse modo, obtém-se diminuição da temperatura do solo, e melhores condições de drenagem e escoamento das águas pluviais.

Sob grupamentos arbóreos, a temperatura do ar é de 3°C a 4°C menor que nas áreas expostas à radiação solar, dependendo do tipo de espécie arbórea e da densidade foliar. Através do controle da radiação solar, associado ao aumento da umidade do ar, a variação de temperatura do ar sob a vegetação torna-se menor, reduzindo, assim, a amplitude térmica nos locais arborizados. Este fato ocorre de maneira mais significativa durante o verão, pois a densidade foliar e a evapotranspiração das plantas são mais intensas (MASCARÓ, L., 1996).

A posição e a distância da vegetação em relação ao edifício ou espaço aberto a ser ventilado ou protegido influenciam significativamente a trajetória do vento, redirecionando-o para que penetre no interior desses espaços de maneira conveniente ou afastando-o (esquema 3.8). Geralmente a utilização da vegetação para efeito de obstrução é identificada quando se quer impedir a passagem do vento de inverno e permitir a passagem no verão, pois estes freqüentemente apresentam orientações diferenciadas. Em determinadas situações as barreiras de vegetação podem ser mais eficazes do que barreiras sólidas (muros, edificações), pois redução da velocidade se dá de forma gradual, atingindo maiores extensões e evitando a formação de zonas de

turbulência, devido à permeabilidade da vegetação (MASCARÓ, L; MASCARÓ, J., 2002).



Esquema 3.5: Exemplo da utilização da vegetação como barreira contra ventos indesejáveis e como canalizadora da ventilação benéfica.

Fonte: adaptado de Mascaró, L; Mascaró, J (2002; p. 46).

Desta forma, se as características macroclimáticas não podem ser modificadas, o microclima pode ser alterado quando necessário, através de um projeto adequado do espaço urbano considerado em conjunto com o entorno, com o objetivo de aproveitar os aspectos favoráveis do clima em consideração, como também, da cultura local (MASCARÓ, 1992).

3.4 A qualidade térmica do edifício: os aspectos a serem considerados da concepção à construção

Dentre as principais funções da arquitetura, destaca-se a otimização da qualidade de conforto interna. Esta condição dependerá do profundo conhecimento do clima e de seus efeitos sobre os elementos construídos. Trata-se, assim, de complexas inter-relações inerentes aos edifícios e à climatologia urbana, pois o ato de construir um novo edifício modifica o clima exterior. Essa interação significa que o projetista vem a ser o responsável, a partir do seu desenho, não somente pelas condições internas, como também pelo entorno climático externo (BUSTOS ROMERO, 2001).

O entendimento dos fatores externos que condicionam uma edificação é importante para o controle dos ambientes na concepção de projetos. O condicionamento térmico natural é, portanto, a técnica que estuda os meios para que

o espaço construído possa apresentar condições térmicas exigidas pelo ser humano, sem que se recorra necessariamente a nenhum tipo de energia ativa. Isso pode ser alcançado aproveitando ao máximo os recursos imediatos oferecidos pelo meio, promovendo integração entre construção e o ambiente urbano.

A classificação climática tem por objetivo facilitar o mapeamento das regiões segundo critérios adequados de caracterização dos elementos climáticos combinados. É um exercício de caráter fundamentalmente subjetivo dado à dinâmica do clima, que dificulta as divisões e fronteiras entre os vários tipos sugeridos (BUSTOS ROMERO, 1988).

Existem vários sistemas de classificação de climas tradicionais e universalmente aceitos (KOEPPEN; THORNTHWAITE, 1948), além de algumas simplificações (OLGYAY, 1973; KOENIGSBERGER et al, 1977) para zonas de clima tropical. Pode-se, portanto, adotar a classificação simplificada de três tipos principais de climas encontrados na região tropical (BUSTOS ROMERO, 1988). As principais informações desta classificação climáticas podem ser observadas no quadro 4.1:

Quente e úmido	Quente e seco	Tropical de altitude
Pequenas variações de temperatura durante o dia. Amplitude diurna fraca. À noite a temperatura é mais amena e com umidade elevada	Alta amplitude térmica durante o dia (15°C). No período seco, durante o dia as temperaturas alcançam valores extremos enquanto à noite decrescem alcançando valores mínimos pela madrugada.	As amplitudes podem alcançar valores consideráveis. Há desconforto pela temperatura elevada do dia, minorado à noite, baixando aquém dos limites de conforto
Apresenta duas estações: verão e inverno, com pequena variação de temperatura entre estas. O período das chuvas é indefinido podendo ocorrer maiores precipitações no verão ou no inverno dependendo do local	Apresenta duas estações: uma seca e outra chuvosa. No período de chuva estas não alcançam os valores de umidade característicos das regiões tropicais úmidas	Apresenta duas estações: quente e úmida, que se inicia no verão, e seca no inverno. Temperatura média entre 19° e 26° C durante o dia, caindo à noite.
Radiação difusa muito intensa. O conteúdo de vapor d'água das nuvens evita a radiação direta intensa	Pouca radiação difusa em virtude da umidade baixa. Radiação direta intensa	Radiação difusa intensa no verão e menor no inverno, radiação direta acentuada no verão.
Alto teor de umidade do ar	Baixa umidade relativa do ar	Aproximadamente 70%
Ventos de direção predominante sudeste (hemisfério sul)	Massa de ar quente conduzindo partículas de pó em suspensão nos seus deslocamentos no período seco	Ventos sudeste e leste no inverno seco e noroeste no verão chuvoso.

Quadro 4.1: Caracterização dos climas tropicais.

Fonte: adaptado de Bustos Romero (1988)

Bustos Romero (1988) destaca que para climas quentes e úmidos, no qual se enquadra o objeto de estudo, o projeto de edificações e espaços externos, deve potencializar a utilização do movimento do ar para manter o conforto térmico. As ruas e edificações devem estar orientadas para captar as brisas existentes, devendo-se utilizar edificações em diferentes alturas para promover a ventilação no espaço urbano. O uso de vegetação, como solo gramado e espécies arbóreas de copas permeáveis, são bem vindas para o sombreamento necessário e para a proteção do solo da radiação solar direta, já que esta é, sob presença de vegetação, em boa parte, filtrada. É importante, também, prever o fácil escoamento do solo na época de chuvas, equilibrando as áreas permeáveis e impermeáveis dos espaços.

No quadro 4.2, estão apresentados resumidamente os principais aspectos a serem considerados no projeto bioclimático em regiões de clima quente e úmido.

Critérios para escolha do sítio	Morfologia do tecido urbano
Locais altos e abertos aos ventos	Tecido urbano solto, aberto, de forma a permitir a ventilação das estruturas urbanas
Orientação segundo direção dos ventos predominantes	Construções esparsas, com presença de vegetação para sombreamento / absorção da radiação solar;
Uso das declividades naturais do sítio para escoamento das águas de chuva	Ruas orientadas de modo a permitir sombreamento dos espaços externos (utilizar elementos sombreadores: marquises, vegetação etc)
	Alinhamento irregular das edificações / permitir circulação de ar entre edificações
	Em áreas pouco adensadas utilizar lotes mais largos que compridos
	Os espaços públicos não devem apresentar grandes dimensões já que a sombra é fundamental

Quadro 4.2: Caracterização dos climas tropicais.

Fonte: adaptado de Bustos Romero (1988)

Especificamente sobre a adequação de conjuntos habitacionais destacam-se as recomendações elaboradas por Allucci et al (1986). De acordo com as decisões tomadas ao longo do processo de planejamento e projeto, são apontadas como principais diretrizes, as seguintes:

▪ **Quanto à seleção do sítio:**

Evitar a implantação de conjuntos habitacionais em áreas situadas a sotavento de zonas industriais com índices de poluição significativos. Nos casos em que no sítio selecionado, ou nas proximidades do mesmo, existam áreas verdes extensas (bosques e florestas) na direção dos ventos dominantes, com profundidade superior a 60m, prever a localização das unidades habitacionais a uma distância superior a 60m, evitando o efeito de “sombra de vento”.

▪ **Quanto à topografia:**

Em área acidentada, optar por pendentes voltadas para direção dos ventos dominantes. Deve-se evitar a localização de conjuntos em fundos de vales, particularmente quando existem fontes poluidoras nas proximidades do conjunto.

▪ **Quanto à organização do tecido urbano:**

Na disposição dos lotes, optar por soluções não alinhadas na direção dos ventos dominantes para facilitar a ventilação das unidades habitacionais. Na disposição das edificações, organizar de maneira que seja máximo o aproveitamento dos ventos dominantes. Criar zonas de alta e baixa pressão, nas áreas do conjunto, através da geometria das edificações e da implantação das mesmas no terreno;

Deve-se garantir a porosidade do conjunto, evitando massas compactas que se comportam como barreiras para os ventos dominantes; e evitar a disposição de edificações de forma a criar afunilamento na direção dos ventos dominantes, quando a velocidade média dos ventos registrada na estação meteorológica ultrapassar 6m/s.

Em conjuntos habitacionais com tipologias de unidades mistas (unidades térreas e de vários pavimentos), localizar as unidades térreas a barlavento das edificações mais altas. Para edificações com altura superior a 15m, sobre pilotis, observar:

- prever a localização de vegetação na base do pilotis ou elementos que provoquem perda de carga;

- garantir a porosidade de edifício, através da otimização do dimensionamento de aberturas, utilização de pilotis.

Na área do conjunto, evitar a localização de massas de água a montante dos ventos dominantes, nos casos em que a umidade relativa média do ano for superior a 70%.

▪ **Quanto ao tratamento das áreas pavimentadas**

Evitar grandes extensões de áreas pavimentadas próximas às edificações e na direção dos ventos dominantes. Preferir revestimento das áreas públicas com vegetação do tipo forrageiro pisotável, ao invés de pavimentação contínua.

▪ **Quanto aos elementos de paisagismo:**

Prever a localização de áreas verdes de forma a não interferir na ventilação do conjunto. No caso de áreas verdes localizadas a barlavento, utilizar massas de vegetação com permeabilidade visual superior a 60%, do tipo arbóreo com copa horizontal ou vertical transparente e caule desguarnecido.

3.5 Clima e Planejamento Urbano

Assis (2005) através de uma avaliação crítica sobre os estudos relacionados ao clima urbano, vem destacar a importância de dois tipos de análises importantes e necessárias para o desenvolvimento de aplicações destes conhecimentos no planejamento e projeto urbano: a descritiva e preditiva (baseada em modelos numéricos). Porém, deixa claro que devido às limitações da abordagem descritiva para o desenvolvimento dessas aplicações e da grande quantidade de trabalhos já existentes sobre várias cidades no Brasil, deve-se haver um esforço para avançar em direção aos estudos de modelização.

Neste sentido, Assis destaca a importância da pesquisa sobre modelagem numérica pioneira no Brasil realizada por Barbirato (1998) que aplicou um modelo de balanço de energia urbano unidimensional (TSO, 1990), adaptando-o para as condições climáticas típicas da cidade de Maceió-AL (clima quente e úmido). Este estudo é primordial no auxílio ao planejamento urbano, possibilitando simulações e previsões de ambientes térmicos diferenciados em função de diversas tipologias de uso do solo.

Assis (2005) enfatiza que os estudos baseados na modelagem numérica devem levar em conta as múltiplas variáveis envolvidas e o caráter *termodinâmico* do processo físico de interação entre os elementos da atmosfera e os da cidade e seu entorno, bem como o significado desses resultados para o conforto térmico humano e para o equilíbrio do ecossistema urbano.

O presente trabalho é baseado numa abordagem descritiva, sendo um estudo de caso de arranjos urbanos pertencentes a um programa voltado para habitação de interesse social. Sabendo que as tipologias de arranjo adotadas nestes programas são freqüentemente utilizadas em diversificadas regiões climáticas brasileiras, espera-se apontar resultados que possibilitem uma reflexão acerca desta crescente padronização construtiva, comprovando os efeitos negativos decorrentes desta situação, dentre eles o desconforto dos usuários e conseqüente aumento do consumo de energia elétrica. Destaca-se, portanto, que estes aspectos são de extrema relevância para o processo de planejamento de qualquer ambiente urbano.

O fato é que, além de se caracterizar como um problema econômico e de degradação ambiental, o consumo excessivo de energia elétrica, também provoca o agravamento de problemas sociais. Isso porque para que haja o aumento da produção de eletricidade, onde os impactos ambientais tornam-se inevitáveis, principalmente os causados pelas novas usinas, como inundações, deslocamentos de populações (no caso de hidrelétricas) ou poluição e riscos com a segurança pública (no caso de usinas nucleares ou termoeletricas). Além disso, os investimentos na produção de energia implicam na redução dos investimentos em outras áreas (saúde, educação e habitação). Este fato, portanto, contradiz com a idéia de progresso embutida na política de globalização e internacionalização de tipologias construtivas.

Diante disso, torna-se clara a necessidade de difusão de práticas de conservação de energia e de eficiência energética, ao nível de projeto e de especificações de materiais e equipamentos de edificações urbanas. A recuperação da influência do lugar nas decisões de desenho arquitetônico e urbanístico, ou seja, a recuperação da influência dos aspectos climáticos, culturais, tecnológicos e históricos do território, deve ser entendida como a principal forma de estabelecer a produção e o consumo do espaço habitado de maneira sustentável.

4. CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA URBANA E DO CLIMA LOCAL

Na presente seção, são abordados as principais características morfológicas e climáticas da cidade de Maceió-AL. O entendimento destes aspectos é de fundamental importância para a verificação dos fatores que podem interferir na qualidade térmica dos arranjos construtivos urbanos locais.

4.1 Morfologia urbana de Maceió-AL

Em sua morfologia natural, Maceió ocupa um terraço formado pela ação do mar na extremidade que limita ao Norte, a calha do rio Mundaú e continua sobre uma formação alongada de terra denominada de *restinga* – elemento de maior destaque na morfologia do sítio da cidade (fotografia 4.1). As duas formas topológicas principais do sítio de Maceió são: a região de planalto sedimentar dos tabuleiros e a região costeira ou planície marinha e lagunar, formando três planos bastante visíveis entre eles (LIMA, 1990), sobre os quais se apóiam a sua estrutura urbana:

- A planície costeira, a restinga de Maceió e o ambiente lagunar, com altitudes entre 2 e 4 metros acima do nível do mar, que formam a baixada litorânea;
- O terraço estrutural do centro, com altitudes entre 8 e 10 metros acima do nível do mar;
- O tabuleiro, parte alta da cidade, com altitudes entre 40 e 180 metros acima do nível do mar.



Fotografia 4.1: Foto satélite da cidade de Maceió-AL.

Fonte: SMCCU- Secretaria Municipal de Controle e Convívio Urbano (2002)

A Planície Litorânea constitui a forma mais baixa do relevo, sendo composta de praias, pontas arenosas triangulares, restingas, terraços estáticos, recifes e restos de dunas. Os Tabuleiros situados ao norte são formados por um amplo baixo-platô sedimentar que se estende de oeste para leste, sobre o mar, como uma ampla superfície de aplainamento. Sua composição é areno-argilosa com variações de altitude.

Segundo Lima (1990), Maceió possui potencial hídrico (de superfície e subterrâneo) na forma de estimativas de, em uma área de 1600Km², 700 milhões de metros cúbicos de águas não aproveitadas.

A ação antrópica vem provocando significativamente a descaracterização da cobertura vegetal nativa, que se configura nas seguintes formas:

- Pequenas manchas de mato em vales florestados;
- Cerrado e vegetação mista com árvores de médio porte, nas encostas dos tabuleiros;
- Vegetação herbácea – arbustiva e manguezais, próprios dos ambientes estuarinos, na pequena faixa de praias e restingas de baixa altitude.

A expansão urbana da cidade foi determinada pelo porto de Jaraguá. Na última década de século XIX o processo de crescimento urbano se intensificou no período de 1940 a 1970 através do grande crescimento demográfico e espacial do centro urbano e da formação de novos bairros, não sendo acompanhado pela devida infra-estrutura urbana de suporte. Atualmente, a cidade expande seu crescimento na direção noroeste devido às suas próprias barreiras naturais.

Enquanto a zona central de Maceió concentra atividades de comércio, serviços e de caráter administrativo, a periferia da cidade, ou seja, as áreas de expansão urbana (principalmente as direcionadas pelas vias de acesso à cidade, Durval de Góes Monteiro, BR 316 e Av. Menino Marcelo) são caracterizadas pela formação de “ilhas de habitação”, vazios e pela descontinuidade espacial, decorrente da implantação de conjuntos habitacionais ocupados pela população de menor poder aquisitivo (baixo custo do solo urbano devido à carência de infra-estrutura). A maior

parte dos conjuntos residenciais implementados pelo Programa de Arrendamento Residencial - PAR, encontram-se localizados nestas áreas de expansão.

4.2 Perfil climático da Cidade de Maceió-AL

Maceió está situada entre a latitude 9°39'57''sul e longitude 35°44'07''oeste, no litoral do nordeste brasileiro. Possui uma área de 512Km², dos quais compõem a área urbana de fato, um total de 200Km², embora ainda subsistam muitos vazios.

O clima de Maceió é caracterizado como quente e úmido, com incidência de radiação solar intensa, apresentando pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura. Possui alta umidade do ar pela proximidade do oceano e lagoas e constância de nível térmico, com temperatura média anual de 25,5°C e variação anual de 2,8°C entre os valores médios mensais de temperaturas médias (26,3°C em fevereiro e 23,5°C em julho, maior e menor média, respectivamente). São considerados dias tipicamente quentes nos meses de novembro a fevereiro e tipicamente frios de junho a agosto. Apresenta, portanto, basicamente duas estações: o “verão”, caracterizado por altas temperaturas e pouca pluviosidade (estação seca) com ocorrência de chuvas passageiras, geradas pelo aumento de temperatura e umidade relativa; e o “inverno”, que consiste em período de alta pluviosidade e temperaturas mais baixas que o verão.

A cidade possui seus ventos mais freqüentes provenientes do quadrante leste (SE e NE), sendo os do NE predominantes nos meses mais quentes e os do SE mais constantes o ano inteiro. Quanto à velocidade dos ventos, o valor médio mensal é de 2,8m/s, com valores absolutos mais intensos de 10m/s na direção NE. Sob a influência da proximidade de grandes massas líquidas (complexo lagunar Mundaú-Manguaba e os inúmeros riachos que cortam a cidade), a umidade relativa média da região é de 78%(média anual, úmido tipo Ami: megatérmico – a temperatura mínima é 18°C e isotérmico-variação de temperatura não ultrapassa 5°C).

Em relação à pluviosidade, a média anual de Maceió é de 1654mm, possuindo grande variação anual na distribuição de chuvas, sendo os meses mais chuvosos de abril a julho (dados do INMET). A tabela 1 mostra o Comportamento médio dos principais parâmetros meteorológicos em Maceió-AL que permitem uma melhor compreensão do seu clima.

Tabela 5.1: Comportamento médio dos principais parâmetros meteorológicos de Maceió

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

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

Dentre as principais solicitações térmicas para a região, em relação ao clima quente e úmido, recomenda-se o máximo de sombreamento para os espaços externos e um mínimo de capacidade térmica para os materiais usados nas edificações e arredores. Pode-se destacar, também, as seguintes solicitações térmicas de acordo com Bustos Romero (2001):

- O arranjo construtivo deve promover a reflexão da radiação solar incidente e evitar a absorção solar e armazenamento de calor das superfícies;
- Permitir o sombreamento urbano desenvolvendo a correta orientação e traçado de ruas, devendo-se utilizar elementos que facilitem esse recurso, como vegetação, uso de marquises etc.;

- Otimizar a ventilação dos arranjos construtivos; em relação à escolha do sítio deve-se privilegiar locais altos e abertos aos ventos, quando há áreas mais densamente construídas, a ventilação pode ser obtida a partir de diferentes alturas dos edifícios, de modo que o ar se desloque mais facilmente no tecido urbano;
- A composição do arranjo construtivo deve ser dispersa e aberta, garantindo o conforto térmico com o recurso da ventilação, bem como a continuidade dos espaços-internos das edificações;
- O traçado das ruas deve ser, dentro das possibilidades, a favor dos ventos predominantes, e os lotes com poucas obstruções à incidência dos ventos para o interior do ambiente construído.

5. MATERIAL E MÉTODOS



A metodologia da presente pesquisa fundamenta-se na tentativa de relacionar os estudos referentes ao clima urbano ao desempenho térmico de edificações de interesse social a fim de conquistar um avanço cognitivo entre áreas de pesquisa bastante específicas. Por isso, de acordo com os objetivos e metas, é baseada numa análise comparativa de arranjos construtivos urbanos caracterizados por configurações diferenciadas, a fim de identificar a influência da tipologia de implantação na qualidade térmica de edificações em clima quente-úmido. A pesquisa, portanto, foi desenvolvida de acordo com procedimentos metodológicos que serão discutidos a seguir.

5.1 Identificação e Mapeamento dos Conjuntos Habitacionais verticais implantados pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR

O Programa de Arrendamento Residencial - PAR foi criado pelo Governo Federal em 1999, através da Resolução nº 314, de 29 de Abril de 1999, atual lei 10.295 (BRASIL, 2001), para atender exclusivamente à necessidade de moradia da população de baixa renda dos grandes centros urbanos. O objetivo do programa é atender em moradia à população de baixa renda, favorecendo famílias com rendimento bruto de até 06 salários mínimos, através de arrendamento residencial, podendo estas, ao final do prazo contratado, optarem pela compra do imóvel.

Participam como agentes do Programa a Caixa Econômica Federal, o Poder Público, Estados e Municípios, empresas do ramo da construção civil, empresas do ramo da administração imobiliária e os arrendatários. As áreas para implantação dos empreendimentos habitacionais são selecionadas pela Caixa Econômica, sendo observados os seguintes parâmetros isolados ou conjuntamente:

- inserção na malha urbana;
- existência de infra-estrutura básica (água, solução de esgotamento sanitário, energia elétrica, vias de acesso e transportes públicos);
- facilidade de acesso a pólos geradores de emprego e renda;
- viabilidade de aproveitamento de terrenos públicos;

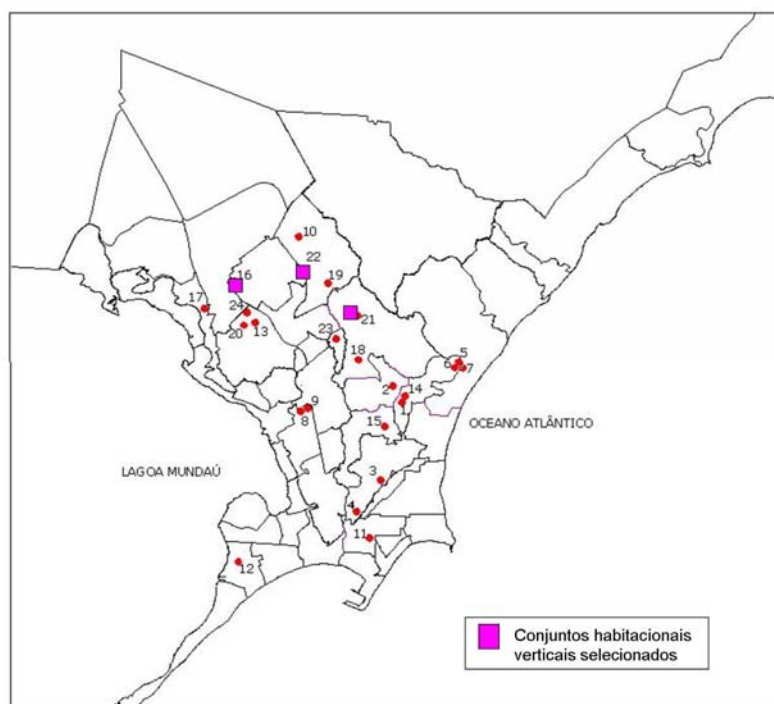
- favoreçam a recuperação de áreas de risco e ambiental

A produção das unidades habitacionais é efetuada por empresas do ramo da construção civil. A área mínima das unidades é de 37m². A tipologia mínima é de dois quartos, sala, cozinha e banheiro, devendo apresentar piso cerâmico ou ardósia, azulejo nas paredes molhadas de box, pia, lavatório e tanque; vãos de porta com folha em todos os cômodos; revestimento e pintura internos e externos; telha cerâmica, laje de teto nos banheiros e forro nos demais cômodos, calçadas em todo o perímetro da edificação (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2004).

De acordo com o atendimento a moradia por faixa de renda, o programa em Alagoas foi dividido em duas etapas: a primeira, denominada PAR 1, foi destinada a uma faixa de renda mais alta, até seis salários mínimos, a segunda, PAR 2, em vigor desde março de 2004, voltada para o atendimento de famílias com renda até quatro salários mínimos e que não possuem residência própria.

Segundo a Caixa Econômica Federal em Maceió, de dezembro de 1999 a dezembro de 2004 foram edificadas, em diferentes bairros da cidade, 4108 unidades pelo PAR, distribuídas em 24 conjuntos. Em fase de construção contam-se 2.368 unidades, distribuídas em 8 conjuntos residenciais. Serão somadas, portanto, 6476 unidades, distribuídas em 31 conjuntos habitacionais (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2004).

Para subsidiar a seleção dos conjuntos habitacionais verticais para análise da qualidade térmica, foram mapeados todos os empreendimentos implantados pelo Programa de Arrendamento Residencial – PAR, na cidade de Maceió-AL até o período dezembro de 2004 (mapa 5.1, quadro 5.1).



Mapa 5.1: Distribuição dos conjuntos habitacionais verticais implantados através do Programa de Arrendamento Residencial – PAR, na cidade de Maceió-AL

Empreendimento	Bairro	Unidades
1. Parque dos poetas	São Jorge	80
2. Residencial Parque dos Cantores	Barro Duro	64
3. Residencial Bela Vista	Jacintinho	160
4. Residencial Costa Dourada	Jacintinho	112
5. Residencial Costa Norte I	São Jorge	48
6. Residencial Costa Norte II	São Jorge	64
7. Residencial Costa Norte III	São Jorge	48
8. Residencial Ilha Vitória A	Farol	140
9. Residencial Ilha Vitória B	Farol	160
10. Residencial Villa Rica	Antares	112
11. Residencial Praias Belas	Poço	160
12. Residencial Canto dos Pássaros	Trapiche	112
13. Residencial Bosque das Palmeiras	Petrópolis	240
14. Residencial Andaluz	São Jorge	160
15. Residencial Bariloche	Barro Duro	224
16. Residencial Galapagos	Santa Lúcia	128
17. Residencial Vilas da Lagoa	Tabuleiro	144
18. Residencial Serraria	Serraria	384
19. Residencial Morada das Artes	Antares	384
20. Residencial Germano Santos	Tabuleiro	160
21. Residencial Conselheiro José Bernades	Serraria	192
22. Residencial Mata Atlântica	Antares	224
23. Residencial Dep. Tarcício de Jesus	Ouro Preto	352
24. Residencial Paraíso das Águas	Petrópolis	256

Quadro 5.1: Conjuntos Habitacionais verticais implantados pelo programa PAR, na cidade de Maceió-AL. Caixa Econômica Federal (2004)

O resultado deste mapeamento revela que a maioria dos empreendimentos está localizada nas áreas de expansão da cidade, como nos bairros, Antares, Barro Duro, Serraria e Tabuleiro. Este fato expõe a necessidade de estudos sobre os impactos relativos ao adensamento vertical nestas áreas visando o alcance de propostas de arranjos construtivos adequados ao perfil climático local.

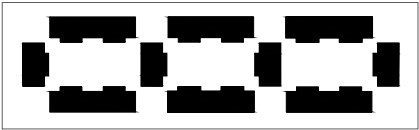
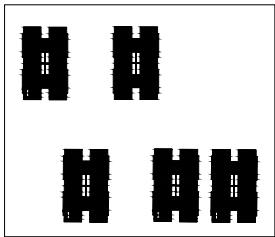
5.2 Seleção e caracterização dos conjuntos habitacionais do PAR

A seleção dos conjuntos habitacionais para a análise da influência do arranjo construtivo urbano na qualidade térmica das edificações foi fundamentada a partir dos seguintes critérios:

- Os empreendimentos deveriam apresentar arranjos construtivos diferenciados, ou seja, a disposição e configuração de implementação das edificações no terreno corresponderiam a formas distintas de aproveitamento da área disponível;
- Os empreendimentos selecionados deveriam estar localizados em bairros próximos e/ou vizinhos, para facilitar o monitoramento das variáveis ambientais (temperatura do ar e umidade relativa do ar).

A partir da avaliação dos arranjos construtivos implementados, foi verificada a existência de três tipos de configurações típicas adotadas nos empreendimentos do programa PAR: a) configuração caracterizada pelo arranjo *normal*, onde as edificações estão dispostas sequencialmente no mesmo alinhamento; b) configuração caracterizada pelo arranjo em “*tabuleiro de xadrez*”, onde as edificações estão dispostas de forma escalonada e c) configuração do arranjo construtivo caracterizado pela formação de *pátios*, onde as edificações existentes estão voltadas para um espaço aberto comum aos moradores do conjunto residencial.

Deste modo, foram selecionados três conjuntos habitacionais verticais para a análise, representando uma das tipologias acima enumeradas (quadro 5.2):

Conjuntos Habitacionais Selecionados	Tipologia de arranjo construtivo
1. Residencial Galápagos, no bairro Santa Lúcia, o único empreendimento a apresentar a configuração de <i>pátio</i>. (numeração 16, mapa 5.1)	
2. Residencial Mata Atlântica no bairro Petrópolis, que apresenta arranjo construtivo disposto em <i>tabuleiro de xadrez</i>. (numeração 22, mapa 5.1)	
3. Residencial José Bernardes, no bairro Serraria, com configuração caracterizada pelo arranjo <i>ortogonal normal</i>. (numeração 21, mapa 5.1).	

Quadro 5.2: Caracterização das tipologias de arranjos construtivos selecionados

A seguir, serão apresentadas as características principais de cada empreendimento selecionado.

5.2.1 Residencial Galápagos

O Residencial Galápagos está localizado às margens da Av. Durval de Góes Monteiro, no bairro Santa Lúcia. As edificações que compõem este conjunto estão dispostas ortogonalmente formando três áreas externas com configuração de pátio.

O conjunto é formado por dez edifícios, onde em cada pavimento estão dispostos quatro apartamentos (fotografias 5.1 e 5.2).

A principal característica deste arranjo construtivo é o tipo de disposição das edificações em relação ao aproveitamento dos ventos. Os edifícios estão totalmente alinhados em relação aos ventos predominantes. Este fato pode ocasionar uma distribuição insatisfatória dos ventos entre as

edificações, principalmente quando as mesmas apresentam baixa porosidade, pois os volumes edificados situados a barlavento irão bloquear a passagem da ventilação natural para os edifícios localizados a sotavento.



Fotografias 5.1 e 5.2: Vista principal do Residencial Galápagos e do pátio de recreação.

5.2.2 Residencial Mata Atlântica

O Conjunto Residencial Mata Atlântica, está localizado às margens da Av. Menino Marcelo, no bairro Antares. É formado por 14 edifícios, sendo quatro apartamentos por pavimento (fotografias 5.3 e 5.4). O arranjo construtivo é determinado pela presença de edificações dispostas em malha do tipo tabuleiro de xadrez. As edificações, ao contrário do arranjo construtivo anterior não estão alinhadas paralelamente em relação aos ventos predominantes.

Uma outra característica diferenciada encontrada neste conjunto habitacional refere-se o tratamento dos espaços externos. A utilização de elementos arbóreos e de áreas com solo permeável pode ser considerada um fator positivo para a determinação de microclimas favoráveis ao conforto térmico dos usuários. O efeito da arborização que filtra a radiação direta contribui para o aumento da umidade relativa do ar e diminuição da temperatura do ar. Este efeito pode ser transmitido às edificações próximas, principalmente às situadas no térreo.



Fotografias 5.3 e 5.4: Vista principal do Residencial Mata Atlântica.

5.2.3 Residencial José Bernardes

O conjunto Residencial José Bernardes está localizado às margens da Av. Menino Marcelo, no bairro Serraria. É composto por seis edifícios, com quatro apartamentos em cada pavimento (fotografias 5.5 e 5.6). A configuração das edificações é caracterizada pela disposição ortogonal, semelhante ao primeiro arranjo apresentado, diferenciando-se, porém quanto ao posicionamento dos edifícios em relação ao aproveitamento dos ventos predominantes.

Assim, as unidades residenciais não se encontram alinhadas em relação aos ventos predominantes de nordeste e sudeste. As mesmas estão orientadas de forma que a incidência dos ventos predominantes atinge unidades residenciais de forma oblíqua.

Em relação ao tratamento dos espaços externos, observa-se pouca utilização de elementos de proteção à radiação solar, como o uso da vegetação urbana. A existência de espaços caracterizados pela presença de solo permeável é significativamente inferior em relação aos demais arranjos construtivos selecionados.



Fotografias 5.5 e 5.6: Vista do Residencial José Bernardes.

A análise comparativa dos arranjos construtivos urbanos foi fundamentada na avaliação térmica qualitativa e quantitativa dos empreendimentos selecionados para a verificação da correlação entre os resultados baseados nas considerações teóricas e nos resultados alcançados através de pesquisa empírica.

5.3 Avaliação Térmica qualitativa dos Arranjos Construtivos Urbanos

A avaliação térmica qualitativa baseou-se em duas etapas:

a) Caracterização bioclimática dos arranjos selecionados: corresponde à análise dos aspectos relativos à forma urbana abordados por Oliveira (1988), como porosidade, densidade, permeabilidade do solo, propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes, rugosidade e orientação das edificações, área de implantação, conformação espacial, vegetação existente. Esta avaliação também se baseia nas recomendações para adequação climática de conjuntos habitacionais determinadas pelo IPT -Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (ALUCCI, 1986).

b) Confecção das Fichas Bioclimáticas: corresponde ao levantamento e caracterização dos componentes espaciais de cada arranjo selecionado: entorno, base e superfície fronteira, segundo metodologia proposta em Romero (2001). A base (espaço sobre o qual se assenta o arranjo construtivo urbano) inclui a caracterização da pavimentação, vegetação, presença de água, mobiliário urbano e propriedades físicas dos materiais utilizados. A superfície fronteira (espaço que forma o limite ou margem do arranjo

construtivo) compreenderá a tipologia do arranjo edificado. O entorno compreende informações sobre o espaço urbano mais imediato ao arranjo construtivo, apresentando os aspectos relacionados à incidência da radiação solar, atividades próximas, além das características sobre movimento do ar entre edificações. Para a avaliação dos aspectos relacionados à insolação das edificações, foi utilizada a ferramenta computacional ECOTECT v 5.20 que a partir da construção dos modelos tridimensionais dos arranjos selecionados, apresenta resultados referentes ao sombreamento dos edifícios em horários diferentes do dia através da determinação da latitude local e da época do ano estudada (solstício de verão).

5.4 Avaliação Térmica Quantitativa dos Arranjos Construtivos Urbanos

A avaliação térmica quantitativa fundamentou-se em quatro etapas:

a) Monitoramento das variáveis ambientais no interior das edificações

Para verificar a qualidade térmica interna das unidades habitacionais pertencentes aos arranjos construtivos estudados, optou-se pela realização do monitoramento das variáveis ambientais, temperatura e umidade relativa do ar. Desta forma, pode-se quantificar as diferenças no comportamento térmico resultante no interior das edificações dos conjuntos habitacionais avaliados.

Os procedimentos básicos para a realização do monitoramento foram baseados nas normas determinadas pela NBR 13601-01 Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos (ABNT, 2004), que determina no anexo B (normativo) as diretrizes para avaliação de desempenho por meio do método de medição. Para a execução do monitoramento, em cada arranjo construtivo foram selecionados quatro apartamentos distribuídos no térreo e no último pavimento apenas. Em cada apartamento selecionado foi escolhido um dormitório para a instalação do equipamento para o registro dos dados das variáveis ambientais. Dentre os critérios que nortearam a seleção dos apartamentos e dormitórios, destacam-se como principais os seguintes:

- ✓ Os apartamentos selecionados deveriam estar localizados em blocos (edifícios) situados na área central do arranjo construtivo. Este critério confirma que o apartamento avaliado estará sob a influência de uma ou mais edificações próximas.
- ✓ Em cada edifício(os) selecionado(os), os apartamentos escolhidos deveriam estar posicionados de forma diferenciada em relação à incidência dos ventos predominantes (nordeste e sudeste) e à insolação. Ou seja, para cada arranjo construtivo deveriam ser selecionados dois apartamentos situados a barlavento (posição privilegiada em relação ao aproveitamento dos ventos), sendo um no pavimento térreo e outro no último pavimento; e dois situados a sotavento (posição desprivilegiada em relação ao aproveitamento dos ventos), também, um no pavimento térreo e outro no pavimento superior.

Os apartamentos selecionados podem ser observados nas fichas bioclimáticas que serão apresentadas nos resultados (item 6.1.2, nas págs.75, 76 e 77). Os dormitórios localizados a barlavento são identificados com a numeração um (Nº1 térreo e Nº1 pavimento superior) e os dormitórios localizados a sotavento são identificados com a numeração dois (Nº2 térreo e Nº2 pavimento superior).

Os equipamentos utilizados para o monitoramento foram os sensores portáteis HOBO - *Data Loggers* da Onset Computer Corporation que são armazenadores de temperatura do ar (bulbo seco) e umidade relativa do ar. Os sensores de temperatura operam na faixa de -40°C a 120°C e na faixa de umidade relativa de 0 a 95% sem que haja condensação. Sua precisão, segundo o manual de uso do aparelho é de aproximadamente 0,7°C, para a faixa de operação utilizada nas medições.

Os HOBOS podem ser configurados para registrar leituras de tempos em tempos para um período pré-fixado. Estes equipamentos também permitem o registro das variáveis no nível externo, por isso em cada conjunto habitacional selecionado foi adicionado um cabo em dormitórios situados no último pavimento para o registro das variáveis ambientais no meio externo. Por se tratarem de edificações já ocupadas, em cada dormitório selecionado, o HOBO

foi fixado a 1,20 do piso em parede interna, isolado por uma placa de isopor. Este procedimento refere-se a uma adaptação das recomendações para medições indicadas pela NRB 13601-01 (ABNT, 2004)

Antes de iniciar o monitoramento interno, foi realizada a calibração dos equipamentos para evitar a má interpretação dos dados e valores coletados *in loco* a fim de identificar a existência, ou não, de diferenças nos valores registrados pelos instrumentos de medição utilizados sob uma mesma condição física. Assim, as diferenças identificadas nos valores registrados foram corrigidas a partir da escolha de um equipamento utilizado como referência para os demais.

Os equipamentos foram programados para registrar os dados das variáveis ambientais a cada uma hora. O período de monitoramento interno simultâneo nos apartamentos selecionados correspondeu a uma série de 14 dias no período de 14 a 28 de janeiro de 2006.

b) Medições microclimáticas

Para investigar as condições microclimáticas dos espaços externos imediatos, e consequentemente, a influência destas condições na qualidade térmica das edificações, foi realizada a coleta de dados microclimáticos de temperatura e umidade relativa do ar, nos ambientes externos próximos aos blocos de apartamentos selecionados. Utilizou-se o método das medições móveis, caracterizado pelo monitoramento das variáveis ambientais com a utilização de apenas um equipamento, o termo-higro-anemômetro digital, da INSTRUTHERM - THA-185, cuja precisão segundo o manual é de aproximadamente 0,8°C (temperatura do ar) e aproximadamente 3% (umidade relativa). Os sensores de temperatura operam na faixa de 0 a 50°C e na faixa de umidade relativa de 10% a 95%.

O percurso entre os pontos efetuou-se em aproximadamente sete minutos com o auxílio de um automóvel. O instrumento foi posicionado a 1,5m (um metro e cinquenta centímetros) do solo e protegido da radiação solar direta para registrar as condições microclimáticas no nível dos usuários.

As medições móveis microclimáticas foram realizadas nos horários de 9:00h, 15:00h e 21:00h, durante três dias correspondentes ao período do monitoramento das variáveis internas. Desta forma, pôde-se comparar os dados

microclimáticos coletados em campo com os valores registrados no monitoramento térmico interno das edificações. Os pontos de medição microclimática de cada conjunto selecionado também podem ser observados nos resultados das fichas bioclimáticas (págs. 75, 76 e 77).

c) Simulação computacional de ventilação natural

Em cidades de clima quente e úmido a qualidade térmica das edificações é extremamente influenciada pelas condições de ventilação e resfriamento dos espaços internos e externos, por isso, a avaliação do aproveitamento dos ventos predominantes foi utilizada para complementar a análise proposta pelo presente trabalho.

Por se tratar de uma variável climática cujo comportamento no meio urbano é significativamente inconstante, optou-se pela análise através de simulação computacional através do programa PHOENICS 3.6, para verificar, apenas a título ilustrativo, as condições de ventilação natural nos arranjos construtivos selecionados. Este programa é baseado na dinâmica dos fluidos computadorizada- CFD (Computer Fluid Dynamics), e foi criado como ferramenta alternativa aos tradicionais túneis de vento nos estudos de ventilação natural. Para o presente trabalho, esta ferramenta permite examinar alternativas de desenho e sua influência nos padrões de ventilação nos espaços internos e externos de arranjos construtivos urbanos. O programa fornece resultados através de vetores resultantes que indicam o direcionamento do fluxo do vento incidente, como também através de manchas de cores que correspondem aos diferentes campos de velocidades do vento, modificadas a partir da interferência dos obstáculos construtivos e diferenças de pressão.

Para a simulação numérica dos modelos³ referentes aos arranjos estudados foram consideradas as seguintes condições e limitações:

³ Estes foram construídos através da utilização do módulo VR-EDITOR que simula os modelos em ambiente tridimensional, considerando os edifícios avaliados no interior de um campo virtual. Neste campo são determinadas as especificações relacionadas à entrada e saída dos fluidos, velocidade e direção do fluido e grelhas de cálculo (grid). Esta pode ser refinada através a utilização de menores espaçamentos a fim de se alcançar maior precisão nos resultados.

- ✓ Foram construídos modelos tridimensionais referentes a cada arranjo construtivo, sendo cada bloco de edifícios disposto em unidades fechadas. Ou seja, a simulação computacional apresentou resultados simplificados pela desconsideração da porosidade das edificações que compõe cada conjunto habitacional estudado. Esta condição foi mantida devido à complexidade dos modelos tridimensionais caso fossem construídos a partir da consideração de todas as aberturas existentes nas edificações. Isso acarretaria em simulações de durações muito extensas, além de aumentar os riscos de erros na construção e simulação dos modelos, o que poderia dificultar o encaminhamento da pesquisa.
- ✓ Portanto, apenas as aberturas dos apartamentos selecionados para o monitoramento térmico interno foram consideradas na construção dos modelos da simulação computacional. Assim, apesar das limitações citadas, foi possível atender a dois requisitos básicos: a) a avaliação qualitativa do comportamento do fluxo do ar nos ambientes externos às edificações (identificação de áreas de recirculação de ar, zonas de alta e baixa pressão); b) a avaliação qualitativa da distribuição destes fluxos nos ambientes internos das edificações (verificação da influência do posicionamento de aberturas e orientação da edificação na determinação da ventilação natural). Além disso, os resultados da simulação numérica da ventilação no interior dos apartamentos permitiram a correlação com os resultados obtidos no monitoramento térmico interno.
- ✓ Em relação à incidência do vento no arranjo construtivo, as simulações foram executadas apenas considerando a ventilação proveniente da direção sudeste, pois esta é predominante a maior parte do ano na cidade de Maceió-AL. É importante destacar que apesar das simplificações realizadas no processo de simulação, a existência do gradiente de vento não foi menosprezada. Por isso, para uma verificação prévia quantitativa, dos campos de velocidade do vento no interior e no exterior das edificações, realizou-se a correção da velocidade do vento a partir das diferentes alturas das aberturas localizadas nas edificações. Utilizou-se, portanto, como dados de entrada as velocidades corrigidas pela seguinte equação:

$$V/V_m = K.Z^a \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

V= velocidade média do vento na altura da abertura de entrada do ar (m/s);

V_m = velocidade média do vento registrada na estação meteorológica medida a uma altura padrão de 10m (m/s). No caso de Maceió foi considerada a média de 3,0m/s.

Z = altura da abertura (m)

K, a = coeficientes relacionados com a rugosidade do terreno. Adotou-se os valores de **K**= 0,35 e **a** = 0,25 , coeficientes correspondentes a área urbana (subúrbio) conforme destaca Bittencourt e Cândido (2005).

- ✓ Os resultados das simulações, portanto, são apresentados através de cortes horizontais nos arranjos construtivos estudados, na altura de 1,50m 9,60m em relação ao nível do solo, correspondentes as alturas ao nível do usuário no térreo e no último pavimento (apartamentos selecionados para o monitoramento térmico interno).

O programa PHOENICS 3.6 é considerado uma das mais avançadas ferramentas de análise do comportamento da ventilação natural, sendo utilizado em diversas pesquisas científicas (BITTENCOURT; PEIXOTO, 2001; CÂNDIDO; BITTENCOURT; BATISTA, 2003).

d) Estimativa do grau de conforto térmico dos dormitórios das unidades habitacionais avaliadas.

A fim de verificar o grau de conforto nos apartamentos monitorados, foi utilizado o programa Analysis Bio, desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina. O programa Analysis Bio é baseado na carta bioclimática proposta por Givoni (1992) para países em desenvolvimento, porém a delimitação das zonas correspondentes às diferentes estratégias de condicionamento também está baseada no método proposto por Watson e Labs (1983) (diagrama 5.1). Através



Desta forma, os dados coletados durante o monitoramento térmico interno foram utilizados para gerar arquivos do tipo TRY para, em seguida, serem inseridos na Carta Bioclimática aplicada no programa. Observando-se os dados relativos ao monitoramento ambiental realizado, verificou-se o enquadramento desses valores nos limites da zona de conforto.

Através deste programa podem-se identificar, também, as estratégias bioclimáticas cujo emprego seria recomendável para enquadrar as condições térmicas internas aos referidos limites de conforto. Os resultados permitem quantificar a percentagem de horas situadas na zona de conforto ou fora dela (horas de desconforto) considerando-se as temperaturas na faixa de conforto ($18^{\circ}\text{C} \leq T \leq 29^{\circ}\text{C}$), conforme os limites fixados por Givoni (1992).

5.5 Análise geral dos arranjos construtivos estudados

Após as avaliações qualitativas e quantitativas foi verificada a existência das inter-relações entre os resultados da pesquisa empírica e das simulações computacionais.