



Vania Leal de Mendonça

**Conforto térmico na concepção da forma urbana:
O Caso do Porto Olímpico no Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio

Orientadora: Prof^a Maria Fernanda Rodrigues Campos Lemos

Rio de Janeiro
Setembro de 2012



Vania Leal de Mendonça

**Conforto Térmico na Concepção da Forma Urbana:
O Caso do Porto Olímpico no Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof^a Maria Fernanda Rodrigues Campos Lemos
Orientadora
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Rodrigo Rinaldi de Mattos
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof^a Ingrid Chagas Leite da Fonseca
UFRJ

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de setembro de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e da orientadora.

Vania Leal de Mendonça

Graduou-se em Arquitetura e Urbanismo na FAU Silva e Souza em 1984. Atuou por dez anos na área de supervisão de projetos do Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES). Arquiteta da Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro desde 1996.

Ficha Catalográfica

Mendonça, Vania Leal de

O confronto térmico na concepção da forma urbana. O Caso do Porto Olímpico no Rio de Janeiro / Vania Leal de Mendonça; orientadora: Maria Fernanda Rodrigues Campos Lemos. – 2012.

102 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental. 3. Urbanismo bioclimático. 4..Projeto urbano. 5. Conforto térmico 6. Forma urbana. I. Lemos, Maria Fernanda R. C. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Para meu pai, Divaldo, e minha mãe, Vilma.

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, professora Maria Fernanda Lemos. Ao coordenador, professor Celso Romanel e ao Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Aos professores e colegas do Curso de Mestrado.

À minha família e ao João, por todo o apoio e especiais contribuições.

Resumo

Mendonça, Vania Leal; Lemos, Maria Fernanda Rodrigues Campos. **Conforto térmico na Concepção da Forma Urbana: O Caso do Porto Olímpico no Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2012. 102p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação trata da aplicação de conceitos de bioclimatismo ao desenho urbano, com foco no ambiente térmico. Estudos demonstram que o clima urbano está diretamente relacionado à forma da cidade. Um ambiente saudável, com uso eficiente dos recursos naturais é uma das principais metas de uma cidade sustentável, e o projeto urbano bioclimático pode contribuir para melhorar o bem estar e ampliar a sustentabilidade dos espaços urbanos contemporâneos. O objetivo desta dissertação é verificar em que medida os aspectos climáticos e de conforto térmico são considerados na definição dos traçados em áreas de expansão e renovação urbana. O estudo de caso é o projeto do Porto Olímpico, na área Portuária da Cidade do Rio de Janeiro, hoje uma área de grande importância estratégica e ambiental para a cidade. A metodologia aplicada foi adaptada a partir do trabalho de autores que tratam do tema do bioclimatismo sob múltiplos enfoques. As categorias de análise se baseiam nas características da forma urbana, enquanto condicionantes do clima urbano, segundo princípios e estratégias do projeto urbano bioclimático. São adequadas a uma análise de projeto em nível de estudo preliminar, e à escala intermediária do bairro/área/setor. A análise evidencia, ainda numa fase preliminar de projeto, o grau de consideração de aspectos bioclimáticos na definição do tecido urbano, permitindo identificar necessidades de novas verificações e fundamentar decisões de projeto na direção de uma forma urbana mais adequada às condições climáticas locais.

Palavras - chave

Urbanismo bioclimático; Projeto urbano; Conforto térmico; Forma urbana.

Extended Abstract

Mendonça, Vania Leal; Lemos, Maria Fernanda Rodrigues Campos (Advisor). **Thermal comfort in the design of urban form: The case of Olympic Port in Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2012. 102p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This Master's thesis deals with the application of bioclimatism concepts to urban designs, with focus on thermal environments. Inspired by vernacular architecture techniques, bioclimatism comprises, in a systematic way, studies of climatology, biology, technology and architecture. It seeks harmony between already built and natural spaces for human comfort. As a multidisciplinary area of knowledge, it brings the progressive systematization and evolution of its original goals, i.e., building not only with focus on comfort, but also on using the energy potential of a given location.

While constituting its habitat, the perception of climatic phenomena was fundamental to humanity in order to find adequate responses in search of protection, comfort and thermal balance, which are essential items to humanity's well-being and survival. These responses were materialized in the architectural and urban expressions of human settlements, characteristic of various regions of the world and eras of civilization. This evolution took place according to the degree of knowledge, technological development and culture of the regions.

A healthy environment, with efficient use of natural resources, is one of the main goals of a sustainable city. The bioclimatic urban project is inserted in this concept and can contribute to improve the well-being and enhance the sustainability of contemporary urban spaces. Studies show that the urban climate is directly related to the form of a city. Performing urban designs without taking environmental impacts into consideration often has negative consequences for the environment and, consequently, for the health and comfort of the inhabitants.

The objective of this study is to contribute to the grounds of project decisions and urban planning, related to the general characteristics of the urban fabric taking climatic and thermal comfort aspects into consideration. We assess the principles of architecture and urbanism suited to the climate and their application in the step of defining action plans.

The research methodology consisted of a bibliographic review of the works of authors who deal with bioclimatism under multiple approaches, and conditioning factors that involve bioclimatic urban projects. We address the characteristics of climate, such as its constitution, scales and classification, which allows knowing the main factors that interact in its formation, and the preponderance of each one of them according to the scale of study. Human thermal comfort is influenced by a set of variables, which are differentiated between personal and environmental. The models of thermal comfort– such as the bioclimatic chart– developed on the basis of the local reality allow identifying the environment variables, such as temperature, humidity and air movement, and radiation, which can be modified or exploited from the listed strategies, establishing design principles according to the climate in order to obtain the desired comfort conditions. By studying the interaction between urban space and climate, a local-scale climate is identified, which is typical of urban areas (urban climate) resulting from the effects of urbanization. It is observed from the comparison with the surrounding rural environments, presenting in general higher temperatures, special wind regimes and lower humidity. Its most characteristic phenomenon is the heat island. We address the factors that interact in its formation, being the urban form one of them.

The methodology used for the case study was adapted from methods of the authors referenced in this research, in order to observe to what extent the climatic and thermal comfort aspects are considered in their definition in areas of expansion and urban renewal. To this end, we established a set of categories, which are based on the characteristics of urban form, identified as determinant of urban climate; in accordance with principles and strategies of the bioclimatic urban project. They are suitable for a project analysis, as a preliminary study, and for an intermediate scale of neighborhood/area/sector. This set of categories enables both the analysis of the project and the indication of general guidelines for

establishing an urban fabric corresponding to the climatic context in which it is inserted.

Each category is related to a number of aspects, which are observed in the projects according to the expected benefits. They refer to: soil occupancy rate; spacing between buildings; height averages and differentials; speed and movement of air; access to sunlight and wind in the urban fabric; water infiltration into the soil; and distribution and location of green areas. They are defined as: building density; roughness; porosity; orientation; soil permeability; public open spaces; and vegetation. Their main controls should aim at: reducing the absorption of radiation and heat production; increasing heat loss by evaporation and convection; increasing air movement; and favoring ventilation and shading.

The application of the method aimed at assessing the consideration of bioclimatic aspects in the definition of the urban form within the set of projects. It was specifically oriented to aspects related to thermal comfort, which enable greater adaptation to the local climate and contribute to improve its unfavorable conditions.

The case study refers to the first four projects classified in the public tender Porto Olímpico do Rio de Janeiro (Olympic Port of Rio de Janeiro). The choice of this case study regarded the fact that this is an urban renewal area. Most of the project area is made up of lands of the former port area, in the central area of the city of Rio de Janeiro, which has hot-humid climate. The renovation plans for the port area generate a great expectation of remodeling and the incorporation of sustainability concepts into the city. The interest of the City Hall of Rio de Janeiro manifested in the tender protocol, that new buildings and the urban sectors created should be clear indicators of a new level of environmental quality in the city, represents an opportunity for the application of the analysis methodology. Since these are new projects, regarding the same program and designed under the paradigm of sustainability, the public tender offers a homogeneous and well-qualified sampling for the development of the study.

The analysis of the set of projects, developed in accordance with the methodology defined, enabled to assess information concerning bioclimatic aspects, able to contribute to the improvement of thermal comfort in the urban environment. It showed, at an early stage of the project, the degree of consideration of these aspects in the definition of the urban fabric, enabling to

identify the need for further assessments, grounding project decisions in the direction of a most suitable urban form for the local climatic conditions.

It was possible to observe a positive trend in the consideration of bioclimatic aspects, both in the definition of the morphology of urban sets proposed and the presentation of techniques and tools for surveying local climate conditions. On the other hand, many aspects are not yet explained in the projects through specific studies, objective local climate data or simulations. This fact points out to the need for specific standardization in order to enhance the inclusion of this theoretical framework in current actions.

Keywords

Bioclimatic urbanism; urban project; thermal comfort; urban form.

Sumário

| | |
|---|-----|
| 1. Introdução | 15 |
| 2. Sustentabilidade e adequação ao clima | 21 |
| 2.1 Cidade sustentável | 21 |
| 2.2 Cidade adequada ao clima | 24 |
| 3. Condicionantes do projeto bioclimático | 29 |
| 3.1 Clima | 29 |
| 3.1.1 Formação do clima | 30 |
| 3.1.1.1 Fatores climáticos | 31 |
| 3.1.1.2 Elementos climáticos | 36 |
| 3.1.2 Escalas de estudo e classificação do clima | 38 |
| 3.2 Conforto térmico | 41 |
| 3.3 Interação entre espaço urbano e clima | 53 |
| 3.3.1 O clima urbano | 53 |
| 3.3.2 Tecido urbano e clima | 57 |
| 3.3.2.1 Características condicionantes climáticas da forma urbana | 59 |
| 3.3.2.2 Escalas de análise do espaço urbano | 61 |
| 4. Estratégias e princípios para o projeto urbano bioclimático | 64 |
| 5. Abordagem metodológica para o estudo de caso | 72 |
| 5.1 Categorias de análise | 73 |
| 5.2 Critérios de verificação | 75 |
| 6. Análise Bioclimática da forma urbana: o caso do Porto Olímpico | 76 |
| 6.1 Análise e resultados | 81 |
| 7. Conclusões | 97 |
| 8. Referências Bibliográficas | 100 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Ângulos de posição relativa do sol | 32 |
| Figura 2 - Percursos aparentes do sol, em três datas, Para Equador e Trópicos | 33 |
| Figura 3 – Fatores climáticos globais | 34 |
| Figura 4 – Formas de arquitetura regional adequadas às condições das zonas climáticas | 41 |
| Figura 5 – Equilíbrio térmico humano | 46 |
| Figura 6 – Carta bioclimática de Olgyay | 51 |
| Figura 7 – Atmosfera sob influência urbana | 54 |
| Figura 8 – Ortofoto da região portuária com indicação dos terrenos objeto do concurso | 79 |
| Figura 9 – Avenida Francisco Bicalho vista do mar com a Estação Rodoviária à esquerda | 80 |
| Figura 10 – Criação de áreas livres sobre embasamento de prédios (Projeto 1) | 82 |
| Figura 11 – Forma e disposição dos prédios definindo iluminação natural e ventilação (Projeto 2) | 82 |
| Figura 12 – Princípio de quadra única criando espaço coletivo central (Projeto 3) | 83 |
| Figura 13 – Zoneamento e implantação a partir de conceitos de eco eficiência (Projeto 4) | 83 |
| Figura 14 – Perfil das edificações (Projeto 1) | 85 |
| Figura 15 – Perfil das edificações (Projeto 2) | 85 |
| Figura 16 – Perfil das edificações (Projeto 3) | 85 |
| Figura 17 – Perfil das edificações (Projeto 4) | 85 |
| Figura 18 – Gráfico da velocidade e direção dos ventos predominantes (Projeto 2) | 86 |
| Figura 19 – Estudo dos ventos predominantes na área de projeto, sobre modelo digital do terreno (Projeto 2) | 86 |
| Figura 20 – Uso de formas aerodinâmicas para favorecer a circulação dos ventos (Projeto 3) | 87 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 – Estudo da influencia dos ventos na área de projeto (Projeto 4) | 87 |
| Figura 22 – Esquema de movimentação do ar em interação com a forma dos edifícios (Projeto 4) | 88 |
| Figura 23 – Diagrama solar para definição da orientação e sombreamento (Projeto 2) | 89 |
| Figura 24 – Estudo da incidência de radiação solar (Projeto 2) | 89 |
| Figura 25 – Estudo de insolação através de diagrama solar (Projeto 3) | 89 |
| Figura 26 – Estudo da trajetória solar nas estações (Projeto 4) | 90 |
| Figura 27 – Incidência de sol nas fachadas conforme a orientação (Projeto 4) | 90 |
| Figura 28 – Parque urbano sobre o embasamento de edificações (Projeto 1) | 92 |
| Figura 29 – Áreas livres de lazer entre os edifícios (Projeto 2) | 92 |
| Figura 30 – Praça e terraço jardim (Projeto 3) | 93 |
| Figura 31 – Praça e terraço jardim (Projeto 4) | 93 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Quadro I – Organização das escalas espacial e temporal do clima | 38 |
| Quadro II – Calor gerado por unidade de tempo | 45 |
| Quadro III – Velocidades do ar máximas de conforto | 48 |
| Quadro IV – Características do clima urbano | 55 |
| Quadro V – Efeitos aerodinâmicos do vento | 66 |
| Quadro VI – Categorias de análise | 74 |
| Quadro VII – Diretrizes do edital | 78 |
| Quadro VIII – Quadro síntese de verificação | 94 |

1. Introdução

Esta dissertação tem como tema o projeto urbano bioclimático, abordando a relação entre forma urbana e clima com foco no conforto térmico. O objetivo principal é contribuir para a fundamentação de decisões de projeto e planejamento urbano, quanto a características gerais do tecido urbano, considerando os aspectos climáticos e do conforto térmico, a fim de ampliar a sustentabilidade dos espaços urbanos nas cidades contemporâneas.

Como objetivo específico, pretende-se examinar os princípios da arquitetura e do urbanismo adequados ao clima e sua aplicação na etapa de definição de planos de intervenção - *master plan* - para a constituição do tecido urbano em áreas de expansão ou renovação. É dada ênfase aos aspectos de ventilação e insolação, visando o bem estar térmico nos espaços públicos abertos, que incentiva o uso desses espaços pela população. A qualidade ambiental urbana contribui também na redução do consumo de energia para climatização mecânica dos edifícios, favorecendo o desempenho da edificação frente ao clima.

Este trabalho está orientado pela hipótese de que princípios de projeto urbano bioclimático não vêm sendo incorporados, com a devida prioridade, na definição da forma urbana em projetos de renovação de grandes áreas de interesse público da Cidade do Rio de Janeiro. Para verificação dessa hipótese será tomado como estudo de caso os projeto do Porto Olímpico, na área portuária da cidade.

Pretende-se analisar, através de método específico, algumas das propostas do concurso do Porto Olímpico, quanto à consideração dos princípios bioclimáticos na definição do traçado urbano projetado. Esta análise está voltada particularmente aos aspectos relacionados ao conforto térmico, que possibilitam uma maior adequação ao clima local e contribuem na melhoria das condições desfavoráveis do mesmo, identificando as boas práticas observadas.

A definição do estudo de caso considera o fato de se tratar de uma área de renovação urbana, com grande expectativa de modernização e inserção nos conceitos de sustentabilidade. O projeto do Porto Olímpico está inserido num contexto maior - a revitalização da área portuária do Rio de Janeiro – e é parte do projeto olímpico da cidade, cujo legado deve abarcar questões ambientais, econômicas e sociais. Este contexto cria uma oportunidade de se verificar a metodologia em novos projetos concebidos sob o paradigma da sustentabilidade, que deverão constituir exemplos de boas práticas de desenho urbano.

Estudos de vários autores acerca dos efeitos do aumento progressivo da população urbana nos grandes centros, com a conseqüente demanda de habitação e circulação, ressaltam a relevância do tema. Os impactos da urbanização sobre o território e clima devem ser conhecidos em profundidade, desde o início do planejamento, sendo oportunos, para isso, os critérios do urbanismo bioclimático para o planejamento urbano em geral, buscando fechar os ciclos de matéria e energia, reduzir impactos negativos sobre o ar, água e solo, e usar eficientemente as fontes de energia disponíveis (Higuera, 2006).

Segundo Romero (2000), e outros, a prática do desenho urbano ocorre sem que sejam considerados os impactos ambientais, com conseqüências muitas vezes negativas para o meio ambiente e, em decorrência, para a saúde e o conforto dos habitantes. Assim, para que as intervenções urbanas evoluam adequadamente, devem partir da coleta e processamento de informações precisas acerca dos elementos físicos ambientais existentes. Neste trabalho o foco volta-se para o clima, que se expressa em dados de temperatura, umidade, precipitação, velocidade e direção dos ventos, e insolação. Estes elementos sofrem alterações locais por efeito da urbanização, dando origem a um clima local característico do meio urbano.

Deve-se ressaltar que, num conceito amplo, o estudo do clima envolve conhecimentos muito mais abrangentes do que aqueles que serão aqui abordados. Este trabalho é voltado para o entendimento de aspectos climáticos específicos dos ambientes urbanos, tratando dos parâmetros disponíveis para o projeto urbano, que podem favorecer uma interação harmônica da cidade com o meio físico em que se insere.

Trabalhos de autores como Corbella e Magalhães (2007) concluem que em nosso ambiente tropical é possível, através do desenho urbano, aumentar o

conforto térmico e diminuir o consumo de energia elétrica. Pode-se modificar o caminho dos ventos para uma forma mais conveniente, assim como a configuração das sombras e a presença de água, melhorando as temperaturas locais.

A metodologia da pesquisa consiste da revisão bibliográfica dos trabalhos de autores que tratam do tema do bioclimatismo e dos condicionantes que envolvem um projeto urbano bioclimático.

O presente estudo tem como principal referência disciplinar os trabalhos de Olgyay (1998), Romero (2000, 2001), e Higuera (2006).

No primeiro trabalho referencial, cujo título original da primeira edição, publicada em 1963, foi “*Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*”, Olgyay investiga os efeitos do clima sobre os edifícios, e suas implicações para o conforto térmico humano. Apresenta um método para definir as zonas de conforto do homem e os princípios para as quatro regiões climáticas gerais que identifica. Embora desenvolvido para os Estados Unidos, o método, com alguns ajustes, pode ser aplicado a qualquer clima.

Olgyay abordou pela primeira vez a questão do controle climático de forma ordenada e sistemática, unificando as contribuições de diversas disciplinas científicas, como a engenharia, a biologia e a meteorologia. Seu método visa sintetizar todas essas informações de forma a adaptar a expressão arquitetônica às condições climáticas. Embora o foco principal desse trabalho seja o edifício, seus princípios podem ser estendidos ao ambiente urbano, uma vez que o autor também apresenta um esquema de ordenação urbana e de adaptação do desenho para cada uma das regiões climáticas.

Em “Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano”, Romero faz uma revisão dos estudos de diversos autores e dos diferentes enfoques que tratam do uso e ocupação do solo urbano. Identifica o desenho urbano como uma prática de transformação do ambiente natural e construído, que deve estar necessariamente condicionado às características do meio. O desenho urbano, quando não leva em conta os impactos que provoca no ambiente, pode também resultar em um fator de desequilíbrio, afetando negativamente o conforto e a salubridade das populações urbanas.

Romero acredita que a definição de princípios de desenho urbano que inter-relacionem o meio físico e o espaço construído, a partir de informações

sistematizadas e acessíveis aos planejadores, contribui para a construção de espaços adequados às atividades humanas do ponto de vista bioclimático. Delimitando o tema quanto ao conforto térmico, seu trabalho engloba estudos que permitem uma caracterização do clima, através da análise dos fatores globais e locais que lhe dão origem, e dos elementos que o definem, assim como ao equilíbrio térmico entre o homem e o ambiente. Desenvolve princípios bioclimáticos para o desenho urbano, visando mostrar de que maneira devem ser definidas as morfologias urbano-regionais para os três tipos de climas encontrados nas regiões tropicais: quente-seco; quente-úmido; e tropical de altitude.

O livro “Arquitetura Bioclimática do Espaço Público”, também de Romero, tem foco no projeto dos espaços públicos livres. Neste trabalho a autora propõe a concepção desses espaços como um objeto arquitetônico de forma definida, determinada pelos elementos ambientais, climáticos, históricos, culturais e tecnológicos, e adaptados às características do meio e à massa construída. O trabalho apresenta antecedentes disciplinares sobre o ambiente, e estudos relacionados à base histórica e cultural do espaço público. Incorpora considerações sobre a inter-relação homem e meio ambiente dos pontos de vista: físico-ambiental – com a integração de variáveis de clima e dos materiais; sensorial – com a integração de aspectos relacionados à luz e ao ambiente sonoro; e histórico-cultural – considerando as transformações das atividades do homem no tempo, e o espaço em que ocorrem. A partir da verificação de elementos constantes nas análises para o tratamento ambiental do edifício e do desenho urbano, são extraídas as categorias mais pertinentes ao tratamento ambiental do espaço público externo. A metodologia de Romero visa à identificação das necessidades ambientais e a indicação do tratamento adequado aos distintos espaços públicos.

O trabalho de Higuera, “Urbanismo Bioclimático”, situado no contexto do planejamento urbano sustentável, apresenta um roteiro que considera em todas as etapas do planejamento os objetivos do desenvolvimento sustentável, através de uma abordagem dos critérios do bioclimatismo. Propõe uma metodologia para a prática do urbanismo bioclimático, que considera os estudos do território e as estratégias bioclimáticas para o desenho urbano, articulando essas estratégias em documentos de planejamento territorial para a implantação de assentamentos. Faz uma revisão dos acordos ambientais e destaca a importância da escala local.

Segundo Higuera (2006), deve-se estudar as relações entre o Meio Ambiente e o Meio Urbano, e os fatores determinantes desta interação. Desta forma se poderá pensar a futura planificação urbana a partir de critérios de economia energética e de aproveitamento dos recursos meio ambientais de cada lugar. O desenho urbano deve equilibrar as variáveis climáticas, topográficas e específicas de cada município, adequando todos os aspectos na concepção do espaço urbano.

Todos esses trabalhos demonstram a importância das considerações dos aspectos ambientais na construção de um habitat saudável, confortável, diversificado e original. A metodologia para o estudo de caso se desenvolve a partir da pesquisa bibliográfica, que constitui a base teórica de sua fundamentação. Os métodos encontrados na pesquisa são adaptados aos objetivos do trabalho.

Esta dissertação está organizada em sete capítulos, a partir da presente introdução. No segundo capítulo é feita uma abordagem do bioclimatismo a partir dos conceitos de arquitetura e urbanismo bioclimático, caracterizando o projeto urbano bioclimático como uma consistente ferramenta na construção da cidade sustentável, além de uma breve revisão deste conceito.

O terceiro capítulo trata da base tecnológica para a adequação da cidade ao clima. Busca-se o entendimento do clima em geral, conceitos e formação, a partir do conhecimento dos seus elementos e fatores, e sua interação na formação dos diversos tipos de climas do planeta, bem como de suas escalas de abrangência. Em seguida, aborda-se o conforto térmico humano, e as variáveis envolvidas no equilíbrio térmico. Aborda-se também a relação dos elementos climáticos com o conforto térmico, e técnicas de mensuração e avaliação dos parâmetros necessários para atingir o grau de conforto térmico desejado. É abordada, ainda, a interação entre clima e cidade, apresentando primeiramente os conceitos do clima urbano e seus principais aspectos, pondo em relevo a importância do seu entendimento para o planejamento e projeto urbano. Tratando-se, em seguida, dos aspectos da forma urbana e sua influência como fator condicionante do clima urbano.

O quarto capítulo apresenta algumas estratégias e princípios do projeto urbano bioclimático, relacionado especialmente ao conforto térmico, destacando

os princípios de Olgyay (1998) para cada região climática, e de Romero (2000), relacionando, especialmente, ao clima quente e úmido.

O quinto capítulo traz a metodologia de análise do estudo de caso, apresentando as categorias de análise, os principais aspectos a elas relacionados e os benefícios esperados referentes a cada categoria.

No sexto capítulo é apresentado o estudo de caso, desenvolvida a análise, com base na metodologia adotada e apresentados os resultados obtidos. E finalmente, no sétimo capítulo, estão as conclusões e considerações finais.

2.

Sustentabilidade e adequação ao clima

2.1 Cidade sustentável

“As cidades nunca abrigaram tantas pessoas, nem tão grande proporção da raça humana. O futuro da civilização será determinado pelas cidades e dentro das cidades” (Rogers, 2001).

Conforme dados da Divisão de População das Nações Unidas (2009), entre 1950 e 2000 a população urbana no mundo passou de 700 milhões para quase 3 bilhões de pessoas. A previsão da ONU é que, em 2050, esta população ultrapasse 6 bilhões de pessoas, representando quase 70% da população mundial.

A crise ambiental e social de nossas cidades ocupa nossas mentes. O apelo por sustentabilidade revive a necessidade de um planejamento urbano bem elaborado, e demanda um repensar de seus princípios e objetivos básicos. A crise da civilização moderna exige que o poder público comece a planejar com vista à criação de cidades sustentáveis (Rogers, 2001, p.168).

As cidades atuais constituem um ecossistema complexo e único, como um metabolismo linear de grande escala que se estende por todo o planeta (Higueras, 2006). A meta de tornar as nossas cidades sustentáveis, ecológicas e saudáveis é apenas parte do enfrentamento da crise ambiental, mas é vital para a nossa saúde e bem estar futuros (Lemos, 2008).

O estudo e o entendimento acerca da relação cidade/natureza, que resultou em conceitos como o das cidades ecológicas, não é exatamente um fenômeno das últimas décadas. Spirn (2011) identifica raízes deste entendimento na antiguidade da cultura ocidental, no tratado do físico grego Hipócrates, sobre a influência de “ares, águas e lugares” para a saúde de indivíduos e comunidades. Encontramos marcos da preocupação ambiental nas primeiras cidades industriais e ao longo dos

séculos XIX e XX, culminando, na década de setenta, com as primeiras ações institucionais concretas a nível mundial.

O conceito de planejamento urbano sustentável dá importância aos aspectos ecológicos, econômicos, sociais e culturais do ambiente construído. Pressupõe procedimentos e ações tais como: uma maior integração dos meios rural e urbano; a utilização de energia de fontes renováveis; o uso eficiente da energia; materiais e processos construtivos duráveis; redução e reciclagem do lixo; transporte público eficiente; e proximidade entre os locais de residência e trabalho, reduzindo a necessidade de deslocamentos. A aplicação do conceito tem como meta a construção de uma cidade saudável, com uma forma urbana adequada, espaços públicos livres que promovam a sociabilidade e a boa circulação, com baixos níveis de poluição.

Richard Rogers (2001, p.167) sintetizou princípios que têm servido de referência a muitos autores quanto ao tema da cidade sustentável:

- Uma cidade justa, onde justiça, alimentação, abrigo, educação, saúde e esperança sejam distribuídos de forma justa e onde todas as pessoas participem da administração;
- Uma cidade bonita, onde arte, arquitetura e paisagem incendeiem a imaginação e toquem o espírito;
- Uma cidade criativa, onde uma visão aberta e a experimentação mobilizem todo o seu potencial de recursos humanos e permitam uma rápida resposta à mudança;
- Uma cidade ecológica, que minimize seu impacto ecológico, onde a paisagem e a área construída estejam equilibradas e onde os edifícios e a infraestrutura sejam seguros e eficientes em termos de recursos;
- Uma cidade fácil, onde o âmbito público encoraje a comunidade à mobilidade, e onde a informação seja trocada tanto pessoalmente quanto eletronicamente;
- Uma cidade compacta e policêntrica, que proteja a área rural, concentre e integre comunidades nos bairros e maximize a proximidade;
- Uma cidade diversificada, onde uma ampla gama de atividades diferentes gerem vitalidade, inspiração e acalentem uma vida pública essencial.

A sustentabilidade das cidades não se refere somente às questões ecológicas na relação com o ambiente circundante (consumo de recursos e energia, geração de resíduos, gases e efluentes), mas também aos impactos sobre a saúde humana e a vida em sociedade. Aspectos sociais e econômicos, que incluem condicionantes qualitativas da vida social e seus valores culturais, apresentam desafios aos projetos urbanos. Medidas passivas, que buscam aproveitar as oportunidades e o potencial naturalmente oferecido pelas condições climáticas

(vento, incidência e intensidade de raios solares) para obtenção das condições satisfatórias de conforto para os assentamentos humanos, podem orientar para soluções consistentes. Neste sentido, compreende-se a mistura equilibrada de usos, a densidade, a qualidade dos espaços coletivos, como fatores essenciais para a diversidade e vitalidade do espaço urbano (Lemos, 2008).

Há muitas razões para defender as cidades densas, com usos diversos. Entretanto, essas cidades deverão enfrentar os desafios de gerenciar conflitos potenciais entre variados meios de vida e de formas urbanas, entre transporte individual privado e coletivo público, entre suprimento de energia público e privado, ambientes antropizados e naturais, e muitos outros. Esse desafio é sobre nosso futuro, as alternativas não se darão em uma única solução, mas em várias (Thomas, 2005, citado em Lemos, 2008).

O desenho urbano pode ajudar a prover a base material mais adequada para que as funções urbanas se realizem de forma sustentável, embora não contenha em si todas as respostas. O desenho urbano se refere ao desenho do espaço público livre e coletivo (parques, praças, vias, largos, etc.). E o desenho do tecido urbano é a relação entre cheios e vazios; fluxos e atividades; em escalas diversas.

A forma urbana determina a qualidade do microclima ao definir a relação entre espaços construídos e espaços livres. A natureza não termina onde começa a cidade. A forma urbana e a apropriação dos espaços são capazes de determinar um menor ou maior impacto sobre a biodiversidade. Deve-se estabelecer uma relação equilibrada entre cidade e natureza, considerando os aspectos bioclimáticos e a harmonia entre as condições naturais do terreno e a implantação da cidade, em relação à orientação solar e à ventilação dos espaços (Lemos, 2008).

Isto sugere que a paisagem é parte integrante da vida da cidade e deve ser considerada a parte central de qualquer desenvolvimento. Sugere, ainda, que a cidade se incorpora ao contexto natural, reagindo a ele, e não o contrário. A paisagem é um elemento fundamental no processo de projeto, podendo mesmo ser seu ponto de partida. Não poderia a cidade crescer a partir deste contexto natural em vez de ser imposta a ele? Não deveria o terreno, então, apontar uma resposta original e locais específicos para o desenvolvimento, ao invés de ser submetido à aplicação de rígidos padrões? (Borcke, Christina Von, in Thomas, 2005, p.37) ¹.

¹ Tradução da autora.

Neste contexto, os princípios do bioclimatismo se integram aos objetivos da sustentabilidade. Aplicados à arquitetura e ao urbanismo estes princípios podem constituir uma ferramenta eficaz na construção de uma cidade sustentável.

2.2 Cidade adequada ao clima

A interpenetração cidade-natureza, com a utilização e incorporação de conhecimento e articulação com os aspectos naturais, traz como benefício direto o valor estético da natureza agregado à paisagem urbana, a melhoria do microclima, o alívio das pressões ambientais na área urbana e a provisão de conforto psicológico e contraste paisagístico para os habitantes da cidade. O sol, o vento, a biodiversidade, a temperatura, a qualidade do ar, a umidade e o regime de chuvas, devidamente incorporados e articulados com o projeto, geram um desenho diferenciado, de acordo com as características específicas do contexto local, promovendo soluções de maior eficiência energética (Lemos, 2008).

Atualmente o urbanismo bioclimático se encaixa dentro no planejamento do desenvolvimento sustentável cujo objetivo é melhorar a qualidade de vida das pessoas, aproveitando ao máximo todos os recursos disponíveis e controlando os efeitos nocivos sobre o meio ambiente em todas as suas escalas, (recursos do suporte, do clima, energéticos, paisagísticos e até mesmo socioeconômicos) (HIGUERAS, 2006, p.16) ².

A cidade bioclimática não deve ser a mera soma de técnicas de acondicionamento passivo incorporadas à arquitetura, mas fruto do conhecimento profundo dos impactos da urbanização sobre o território e clima. O clima, decisivo na localização das cidades da antiguidade, é hoje fortemente condicionado pelo homem. O urbanismo bioclimático deve procurar fechar os ciclos de matéria e energia, e otimizar a utilização das fontes de energias disponíveis reduzindo impactos negativos sobre o ambiente. Deve integrar, em todas as escalas do planejamento, os objetivos do desenvolvimento sustentável.

² Tradução da autora.

As normas e a legislação ambiental devem ser aplicadas ao parcelamento do solo e articuladas com critérios ambientais, (Higueras, 2006).

Conforme Higueras (2006, p.71), no urbanismo bioclimático, os estudos do território devem ser direcionados, principalmente, a determinar os espaços naturais merecedores de especial proteção, delimitar os espaços degradados com necessidade urgente de recuperação e avaliar o impacto ambiental no desenvolvimento de novas atividades. Propõe a seguinte metodologia do urbanismo bioclimático:

- 1) Sintetizar, através de planos e diagnósticos³, as condicionantes do meio.
- 2) Identificar os elementos do microclima local, sobretudo sol e vento, quantificar necessidades locais e formular as principais estratégias.
- 3) Traduzir estratégias gerais em documentos de planejamento, territorial ou urbano, articulados através da rede viária, equipamentos, e rede de zonas verdes e espaços livres, elaborando portarias ambientais. O traçado da rede viária, adequado às condições de clima e território, e a localização dos espaços verdes seriam as determinações de consequências mais transcendentais.

A arquitetura e urbanismo bioclimático, como concepção de desenho adequado ao lugar têm, na arquitetura histórica e tradicionalmente praticada em diversas regiões do mundo, antecedentes que servem de exemplos de respostas adequadas do homem às exigências do meio ambiente. O aspecto ambiental ganhou relevância após a Segunda Guerra Mundial, dando lugar, nas décadas posteriores, a diversos enfoques ambientais aplicados à arquitetura. O estudo do bioclimatismo implica inicialmente no entendimento das bases da arquitetura bioclimática.

O projeto de arquitetura e urbanismo bioclimático integra várias áreas do conhecimento, criando modelos e projetos específicos para cada situação, conforme características climáticas, ambientais, culturais e socioeconômicas. Esta

³ Na metodologia proposta por Higueras (2006), a coleta de dados deve permitir gerar uma Matriz de Interação Ambiental, que irá resumir a relação entre meio ambiente e meio urbano, esta deve incluir os seguintes elementos: 1) Geomorfologia; 2) Orientação; 3) Hidrologia; 4) Solo e subsolo; 5) Vegetação; 6) Radiação solar; 7) Vento; 8) Capacidade de Carga e Atração do Território 9) Riscos Ambientais.

concepção tem origem na arte e engenho de nossos ancestrais, num passado em que a não existência de tecnologias que pudessem suprir as necessidades de climatização e de iluminação, forçavam os povos a construir utilizando os materiais ao seu dispor da forma mais eficiente possível, adaptando as construções às necessidades do clima local. Cabe observar, no que se refere à arquitetura, que os materiais utilizados eram aqueles disponíveis nas proximidades, levando a uma diversificação do uso de cada elemento e a uma extração consciente dos mesmos, de modo a manter perenes as fontes naturais.

Arquitetura Bioclimática é, até certo ponto, a designação recente de um conjunto de procedimentos de projetuais. Como área de conhecimento traduz uma progressiva sistematização e evolução de seus objetivos originais, ou seja, construir tendo em vista não apenas o conforto, mas também o aproveitamento energético potencial de um determinado local. Ao propor uma construção com soluções específicas a cada situação, desafia a criatividade de toda a comunidade, favorecendo a diversidade essencial à sustentabilidade (Lanham, et al, 2004).

Victor Olgyay⁴ foi o precursor na aplicação da bioclimatologia à arquitetura, a partir de uma abordagem sistemática utilizando conceitos de diversas disciplinas científicas: climatologia; biologia; tecnologia; e arquitetura. A arquitetura bioclimática consiste numa concepção arquitetônica (a casa estável) voltada ao controle das condições climáticas de modo a satisfazer as exigências de conforto humanas visando, em última análise, a harmonia entre o edifício e o ambiente natural. Assim, define também princípios para implantação e arranjo de grupos de edifícios e casas.

No livro *Man, climate and architecture*, Baruchi Givoni (1976) analisou a inter-relação entre homem, clima e arquitetura. Considerando a grande variedade de climas propôs a aplicação de princípios gerais para os climas quente-seco, quente-úmido e mediterrâneo. P.O. Fanger (1973) dedicou-se ao estudo das zonas de conforto do homem dentro das edificações. Em seu livro *Thermal confort* avaliou como os elementos do clima e suas variáveis afetam a percepção de conforto térmico dos indivíduos (Romero, 2001).

4 Victor Olgyay foi arquiteto e professor da Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Princeton. Na década de 1950, com a colaboração de seu irmão Aladar, realizou estudos de biologia e climatologia aplicados à arquitetura, publicando sucessivos artigos e livros cujos conceitos foram reunidos no livro *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*, de 1963. Seu *Gráfico Bioclimático* (1968), registra as necessidades de proteção contra elementos climáticos avaliando a variedade destes elementos em qualquer época do ano.

Romero (2001) considera a arquitetura bioclimática uma etapa atual do movimento climático energético, destacando que esses três autores, todos eles arquitetos e com uma preocupação comum quanto ao desempenho do edifício em relação aos elementos do clima, e cujos princípios desenvolvidos também podem ser estendidos ao projeto urbano, são, por sua qualidade técnica e teórica, considerados clássicos, inspirando ou influenciando diversos estudos posteriores.

Romero (2001) identifica ainda quatro grupos temáticos que englobariam os estudos e projetos desenvolvidos por diversos autores a partir de conceitos do bioclimatismo ⁵:

1. **Tradição vernácula** – Os trabalhos deste grupo analisam a relação homem - meio ambiente - espaço construído, utilizando conhecimentos empíricos transmitidos pelas gerações.
2. **Arquitetura solar** - Os trabalhos deste grupo foram publicados, em sua maioria, na década de 1970, quando, no contexto da crise do petróleo, revistas conceituadas de arquitetura divulgaram artigos preconizando a utilização de fontes naturais de energia.
3. **Linha climática** – clima urbano – Estudos que se referem ao clima urbano e aos efeitos da urbanização sobre a atmosfera.
4. **Desenho dos espaços urbanos** - Estudos relacionados ao espaço urbano com preocupação ambiental. Os pesquisadores desta área propõem, em geral, estender sua ideologia do edifício individual para os grandes conjuntos de edifícios e para a cidade.

Para a construção do conceito de bioclimatismo no desenvolvimento de seu trabalho, que tem foco na concepção do espaço público como um objeto arquitetônico de forma definida, Romero (2001) valoriza os conceitos de três outros autores que, ela considera, desenvolveram as bases que devem estar obrigatoriamente presentes no tratamento do espaço. Estes, por sua vez, tem como ponto comum a atribuição de um papel central, na arquitetura, ao lugar-sítio-região, são eles: Serra (1989); Lopez de Asiain (1989); e Cook (1988). Compreende a arquitetura bioclimática como “uma forma de desenho lógico, que reconhece a persistência do existente” e onde os elementos ambientais, climáticos,

⁵ Em seu trabalho a autora relaciona esses autores a cada um dos enfoques.

históricos, culturais e tecnológicos, são determinantes de sua configuração e dimensionamento. A aplicação destes princípios contribui diretamente para a prática do desenho urbano e para o processo de materialização da forma urbana, desde que inclua a base tecnológica necessária para tratar o espaço urbano como espaço arquitetônico.

3.

Condicionantes do projeto bioclimático

3.1 Clima

A compreensão geral do clima e dos diversos fatores que interagem na sua formação e o caracterizam, a partir de cada uma das escalas de estudo, fornece a base para a abordagem dos assuntos subsequentes, relacionados ao conforto térmico humano e ao clima local – mais especificamente o clima urbano - de especial interesse para o projeto urbano.

A climatologia é o estudo científico do clima e uma das disciplinas que compõem o projeto bioclimático. Trata dos padrões de interação da atmosfera com a superfície da Terra e as atividades antrópicas, durante um período de tempo. A climatologia está diretamente relacionada à abordagem geográfica do espaço terrestre e, segundo Broek (1972), um aspecto principal da geografia é o interesse pelo “lugar”.

Os conceitos clássicos caracterizam o clima em relação ao comportamento médio dos elementos atmosféricos (média térmica, pluviométrica e de pressão). No final do século XIX, Julius Hann caracterizou o clima como “o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera em cada lugar da terra”. Para a definição de tipos climáticos, a OMM⁶ estabelece médias estatísticas a partir de uma série de dados num período de 30 anos. A análise da dinâmica do ar representou um avanço evolutivo para a climatologia, permitindo observar que fenômenos atmosféricos eventuais ou episódicos são os que causam maior impacto às atividades humanas em geral. O tratamento do clima, segundo uma cadência rítmica de sucessão de tipos de condições meteorológicas, permitiu uma abordagem genética dos tipos climáticos. A conceituação abrangente de Marx Sorre atende a este enfoque, concebendo o

⁶ Organização Meteorológica Mundial, fundada em 1950 (*World Meteorological Organization*, uma agência especializada da Organização das Nações Unidas).

clima como “a série dos estados atmosféricos acima de um lugar, em sua sucessão habitual” (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

3.1.1 Formação do Clima

A temperatura, a umidade e a pressão atmosférica, elementos constitutivos do clima, são os atributos físicos que representam as propriedades da atmosfera de um local geográfico, interagindo na formação dos climas globais. Em suas diferentes manifestações – precipitação, vento, nebulosidade, ondas de calor e frio, e outras - variam, de forma espacial e temporal, segundo a influência dos fatores geográficos do clima que são: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas. A circulação e a dinâmica atmosférica superpõem-se aos elementos e fatores climáticos imprimindo ao ar uma permanente movimentação (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

O clima e seus fatores e elementos são amplamente analisados pela literatura, que enfatiza uma ou outra forma de abordagem conforme o autor. Uma constante observada nos trabalhos é a definição do que os autores denominam fatores e elementos formadores do clima. Bustos Romero (2000) faz um painel dessas abordagens destacando: Olgyay (1963); Ferreira (1965); Givonni (1976); Lynch (1980); Gomes (1980).

Romero (2000) adotou em seu trabalho a diferenciação que atribui aos fatores a qualidade de origem do clima e aos elementos a de componentes. Os fatores climáticos são subdivididos em globais ou locais, conforme a abrangência dos aspectos determinantes.

Fatores climáticos globais condicionam, determinam e dão origem ao clima nos seus aspectos macro ou geral: radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos, massas de água e terra. Fatores climáticos locais são aqueles que condicionam, determinam e dão origem, ao clima que se verifica numa área mais restrita (cidade, bairro, rua etc.), tais como a topografia, vegetação, e a superfície do solo natural ou construído.

Embora tratados de forma individual, para sua compreensão deve-se ter em mente que elementos e fatores atuam em conjunto, sendo cada um resultante da conjugação dos demais.

Neste trabalho será utilizada a diferenciação adotada por Romero (2000), em relação aos fatores geográficos do clima, que são descritos a seguir com base na autora citada.

3.1.1.1 Fatores climáticos

- **Fatores Climáticos Globais**

Latitude, longitude e altitude

A latitude, a longitude e a altura em relação ao mar são as coordenadas que determinam a posição de um ponto sobre a superfície terrestre. A latitude refere-se à distância, expressa em graus, entre um determinado local e a linha do equador. A temperatura média do ar esfria-se em direção aos pólos, mas o resfriamento não é constante. As isotermas não seguem rigorosamente os paralelos, desviando-se pelos efeitos da altura, ventos, correntes marinhas, e outros fatores do clima. O principal fator geográfico do meio é expresso pela latitude, já que a distância em relação à linha do equador determina a quantidade de energia solar que cada ponto vai receber. Já a longitude não possui a mesma importância, pois reflete apenas a posição do ponto (distância em relação ao meridiano de Greenwich) e nunca o clima. Por sua vez, a altitude é um dos fatores de maior influência sobre a temperatura. Ao subir o ar carrega menos partículas sólidas e líquidas, o que contribui para o seu esfriamento, pois são estas partículas que absorvem as radiações solares e as difundem, aumentando a temperatura do ar nas baixas altitudes (Fitch, 1971, apud Romero, 2000).

Radiação solar

A radiação ocupa lugar primordial entre todos os elementos meteorológicos, porque a radiação solar, princípio básico da vida, é o motor que impulsiona a atmosfera, e porque a Terra só mantém a troca de energia com o cosmos através da radiação (Geiser, 1990, p.9).

As camadas mais altas da atmosfera contém certa quantidade de energia transmitida pelo sol. Sua intensidade varia em função da distância da terra ao sol e das atividades solares, e é expressa em calorías, através da constante solar, cuja média é de $1,97\text{cal/cm}^2/\text{min}$. O espectro é constituído de ondas magnéticas de diferentes comprimentos, dividido grosseiramente em três regiões: ultravioleta,

visível e infravermelha. À medida que a radiação penetra na atmosfera terrestre, sua intensidade é reduzida e sua distribuição espectral alterada em função da absorção, reflexão e difusão dos raios solares pelos diversos componentes do ar. A quantidade de calor absorvida pela terra, a cada ano, está em equilíbrio com as perdas de calor, que ocorrem através de três processos:

Radiação - a energia solar aquece a superfície terrestre.

Evaporação – a terra esfria quando a água evapora e se mistura ao ar.

Convecção – o ar aquecido sobe para a atmosfera superior e é dissipado.

A espessura das camadas atravessadas pelos raios do sol, até atingir um determinado ponto na superfície da terra, depende do ângulo do sol no horizonte, que varia de acordo com a latitude geográfica, atingindo o máximo nos trópicos e decrescendo até os pólos. A direção da radiação é determinada pela posição do sol, medida através de dois ângulos: o azimute e a altura (ROMERO, 2000).

Azimute (AZI) é o ângulo, tomado sobre o plano horizontal, no sentido horário, entre a direção dos raios solares e a direção Norte (Roriz, 2008). O sol nasce no leste (Orto) e se põe no oeste (Ocaso). Os ortos e ocasos variam ao longo do ano. O percurso mínimo se registra no solstício de inverno e o máximo no de verão (Higueras, 2006).

Altura solar é o ângulo, tomado sobre o plano vertical, entre a direção dos raios solares e o plano horizontal (Roriz, 2008). Mede-se em graus a partir do Orto (0°) até o Zênite (90°), chegando ao máximo às 12h. As alturas solares diferem conforme a latitude do lugar, registrando-se as alturas máximas entre os trópicos e as mínimas nos círculos polares (**Figura 1**).

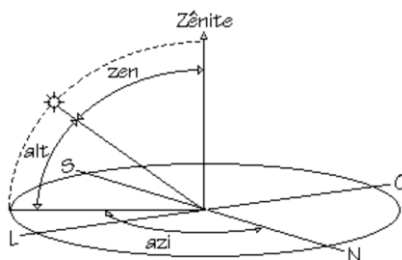


Figura 1 – Ângulos de posição relativa do sol. Adaptado de Roriz (2008).

O percurso aparente do sol (**Figura 2**) descreve uma trajetória circular plana, variando de plano todos os dias. Este plano tem inclinação constante, com ângulo igual ao da latitude local, e passa duas vezes por ano nos equinócios (21 de março e 21 de setembro). Após 21 de setembro se desloca diariamente, sempre pelo lado sul, chegando ao deslocamento extremo no dia 21 de dezembro, solstício de verão. A partir daí move-se para o Norte, passando novamente pelo eixo E-O em 21 de março, e chegando ao extremo Norte em 21 de junho, solstício de inverno, quando então inverte seu movimento, repetindo seu ciclo anual.

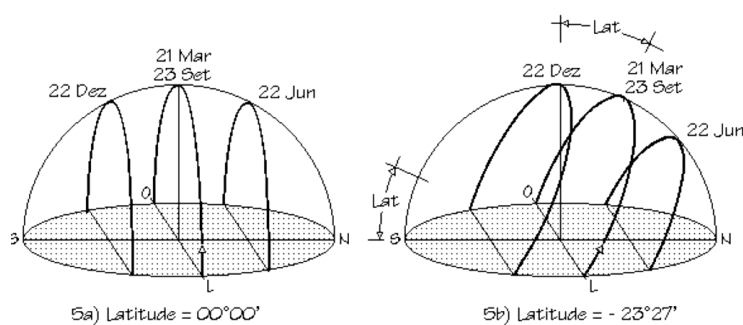


Figura 2 – Percursos aparentes do sol, em três datas, para Equador e Trópicos. Adaptado de Roriz (2008).

As trajetórias de verão tem comprimento maior que as de inverno, resultando em dias maiores. Como sua inclinação é igual à latitude do lugar, o efeito é mais notável quanto maior a latitude. Nos Polos, o dia de verão dura 24 horas, e só há noite no inverno. No Equador, todos os dias e noites do ano tem igual duração: 12 horas (Corbella e Yannas, 2009).

Ventos

Os ventos são consequência direta das variações barométricas, devidas ao desequilíbrio atmosférico, cujas causas essenciais “são a heterogeneidade do globo terrestre do ponto de vista da absorção local e da diversidade das trocas energéticas no interior das próprias correntes gasosas ou nas suas proximidades” (Ferreira, 1965, apud Romero, 2000).

São correntes de convecção na atmosfera que tendem a igualar o aquecimento nas diversas zonas. A diferença de pressão ou temperatura, entre

dois pontos da atmosfera gera um fluxo de ar que se desloca das regiões mais frias (baixa pressão) para as regiões mais quentes (alta pressão), condição que, somada à força mecânica gerada pelo movimento de rotação da terra, ou força de Coriolis, define a circulação geral da atmosfera (Villas Boas, 1983, apud Romero, 2000).

Além dos deslocamentos das massas de ar numa escala global, atuam também no clima os ventos locais, provocados pelos diferenciais térmicos gerados pela presença de terra e água, vale e montanha etc. Estes são de grande interesse para o desenho urbano, sendo preciso conhecer, para seu entendimento, como se processam os mecanismos dos ventos nas camadas mais baixas da atmosfera.

A **Figura 3** ilustra de modo esquemático fenômenos relacionados aos fatores climáticos globais.

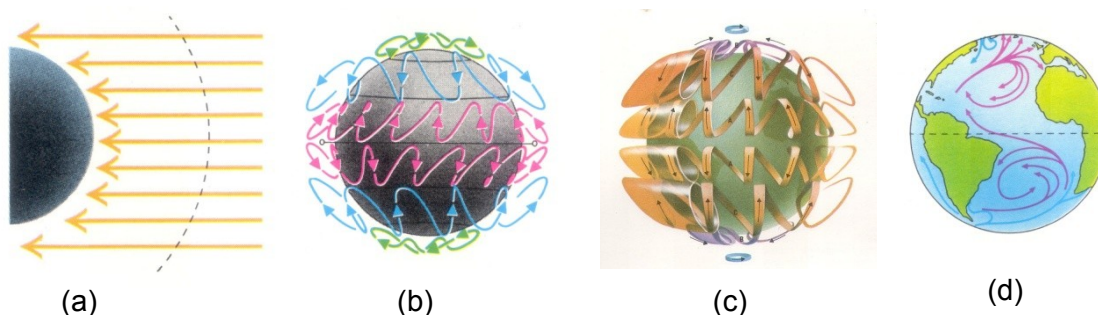


Figura 3 – Fatores climáticos globais - a) Radiação; b) Ventos; c) Transferência de calor na atmosfera; d) Força de Coriolis. Adaptado de The Earth & Man, World Atlas (1978).

Massas de água e terra

A proporção entre as massas de terra e os corpos de água num dado território produz um impacto característico no clima. A principal razão pode ser atribuída à diferente capacidade de armazenagem de calor das massas de água e de terra. A água possui alto calor específico, a acumulação de calor é menor na água que na terra. Qualquer corpo de água apresenta a capacidade de reduzir as temperaturas extremas diurnas e estacionais sobre seu entorno imediato. Assim, as grandes massas d'água possuem grande efeito estabilizador sobre o clima. Já as massas de terra possuem grandes diferenças na armazenagem do calor, devido particularmente às características físicas dos solos, o que produz grandes variações ainda que na mesma latitude.

O relevo tem um impacto climático importante sobre as terras baixas das proximidades. Geralmente força as massas de ar úmidas a subir, e neste processo, o ar esfria e sofre condensação. Como resultado as massas de ar descarregam a maioria de sua umidade (na forma de chuva) no lado mais quente da área. Este fenômeno provoca a chamada sombra de chuva. Como exemplo, no Brasil, tem-se a região nordestina, onde as brisas do mar são desviadas pelo acidente de relevo, criando a sotavento uma região árida: o sertão (Romero, 2000).

- **Fatores climáticos locais**

Topografia

As regiões acidentadas possuem os microclimas mais variados. A orientação e declividade influenciam os aportes de radiação e cada pendente possui características próprias. A topografia tem influência na força, direção e conteúdo de umidade dos fluxos do ar, que podem ser desviados ou canalizados pelas ondulações da superfície terrestre. As pequenas mudanças de elevação e de orientação podem produzir variações significativas em lugares separados por pequenas distâncias.

Vegetação

A vegetação influi na formação dos microclimas estabilizando seus arredores imediatos e reduzindo os extremos ambientais. A vegetação auxilia na diminuição da temperatura do ar, absorve energia e favorece o ciclo oxigênio-gás carbônico, essencial à renovação do ar. Um espaço gramado pode absorver maior quantidade de radiação solar e irradiar menos calor que qualquer superfície edificada, pois grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada no seu próprio metabolismo e dissipada, enquanto em outros materiais é toda transformada em calor (Romero, 2000).

Superfície do solo

Na análise da superfície do solo diferencia-se o solo natural do construído. No primeiro verificam-se o potencial hídrico, as possibilidades de drenagens, filtrações, erosões e capacidade térmica, informações fundamentais para determinar os índices de reflexão ou absorção das superfícies do solo. É importante conhecer também o poder difusor da superfície, o albedo, que é a proporção entre a luz do sol recebida e refletida por uma superfície. Segundo Lynch (1980), se o solo possui um albedo baixo e uma condutibilidade alta, o microclima resultante é suave e estável, uma vez que o excesso de calor é absorvido e armazenado rapidamente e, quando as temperaturas diminuem, é rapidamente devolvido. O dreno do solo aumenta o seu albedo e diminui a sua condutibilidade, reduz a umidade e o efeito refrescante da evaporação tornando o clima instável (Romero, 2000).

No solo construído ou modificado pela ação do homem, a eliminação da cobertura vegetal natural altera o equilíbrio do microambiente e o ciclo térmico diário. O tecido urbano armazena calor durante o dia e reirradia durante a noite. A isto se deve acrescentar o calor produzido pelas máquinas e homens, concentrados em pequenos espaços da superfície terrestre.

3.1.1.2 Elementos climáticos

Os elementos climáticos e suas manifestações representam os valores relativos de cada tipo de clima, são descritos, a seguir, com base em Romero (2000).

Temperatura

O sol ilumina a terra de forma desigual. Este fenômeno, associado aos diferentes coeficientes de absorção de radiação de cada ponto da superfície terrestre, gera variados movimentos de massas de ar e água (correntes marinhas) e de troca de matéria e energia entre a atmosfera, os oceanos e a terra (evaporação, precipitação, etc.).

Em função deste fenômeno a temperatura nas camadas de atmosfera mais próximas da superfície da terra, assim como seu perfil em cada região, sofre constante mudança. A relação entre as taxas de aquecimento e resfriamento da superfície terrestre é o fator determinante da temperatura do ar. A interação entre

as camadas da atmosfera de diferentes temperaturas ocorre através dos processos envolvidos nos efeitos da radiação solar: radiação, evaporação e convecção.

Umidade

A capacidade do ar de conter água aumenta com a temperatura. A distribuição de vapor sobre a terra não é, portanto, uniforme, sendo, em média, maior nas zonas equatoriais e menor nos pólos, acompanhando os padrões anuais de radiação e temperatura.

Quantidade e proporção de vapor d'água na atmosfera:

Umidade absoluta (g/m³) - peso do vapor d'água por unidade de volume de ar;

Umidade específica (g/kg) - peso do vapor d'água por unidade de peso de ar;

Pressão de vapor (mm/Hg) – parte da pressão atmosférica global de vapor d'água.

A pressão de vapor e a umidade absoluta variam segundo o lugar e estão sujeitas às mudanças de estação sendo maiores no verão que no inverno. A altitude produz modificações na pressão de vapor, a concentração de vapor diminui à medida que aumenta a altura. A evaporação das águas de superfície leva à formação de nuvens, que redistribuem a água na forma de chuva; esta água flui através dos corpos hídricos de volta ao oceano ao fim do ciclo hidrológico. As precipitações são maiores perto do equador e menores nos subtropicais, sendo praticamente iguais nos dois hemisférios. O percentual de precipitação retida no solo é menor nos trópicos e nas latitudes médias durante o verão. São três os tipos de precipitações: convencional, orográfica e convergente (Givoni, 1976, apud Romero, 2000).

Pressão atmosférica

Os movimentos de ar resultam das diferenças de pressão atmosférica, causadas pela influência direta das variações de temperatura. O ar deslocado se movimenta horizontal e verticalmente em relação à terra. O movimento horizontal é originário das diferenças térmicas globais, das diferenças de temperatura geradas nos microclimas terrestres: vale/montanha, cidade/campo. O vertical ocorre na troposfera (camada inferior da atmosfera) em função do perfil de temperatura vigente. O ar quente que sobe na linha do equador dirige-se aos pólos, resfria-se e tende a descer. Parte deste ar reflui junto à superfície da terra para o equador e, aquecido, torna a subir (Gomes, 1980, apud Romero, 2000).

No atrito do ar em movimento com obstáculos existentes em seu trajeto ocorre uma perda de energia, que reduz a velocidade de deslocamento e altera seu modelo de circulação. O fluxo de ar, ou vento, nas camadas mais baixas da atmosfera, tem sua velocidade reduzida devido ao atrito com o solo. Neste caso, quanto mais rugosa é a superfície, maior é o atrito e menor a velocidade do ar próxima a ela (Villas Boas, 1983, apud Romero, 2000).

3.1.2 Escalas de estudo e classificação do clima

- **Escalas de estudo**

As escalas de estudo dos fenômenos climáticos se referem à sua dimensão espacial e temporal. As escalas espaciais mais conhecidas são a macroclimática, a mesoclimática e a microclimática. E as escalas temporais mais utilizadas são a geológica, a histórica e a contemporânea. Embora as escalas espaciais ganhem maior destaque nas abordagens geográficas do clima, as duas dimensões são empregadas de forma geral e conjunta nos diversos estudos. O **Quadro I** mostra as dimensões espaciais e temporais de maior aceitação no meio climático meteorológico ⁷.

Quadro I - Organização das escalas espacial e temporal do clima

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

Fonte: Adaptado de Mendonça e Danni-Oliveira (2007)

⁷ Existe controvérsia entre climatólogos e meteorologistas no tocante a escala climática, havendo variação, tanto da nomenclatura para as diferentes dimensões climáticas, quanto para a extensão e periodicidade dos fenômenos característicos (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Escalas espaciais do clima

A escala macroclimática abrange todo o planeta, passando por faixas ou zonas, até as extensas regiões⁸. As zonas climáticas - tórrida, tropical, temperada, frígida e polar – definidas pelos gregos da antiguidade, são as unidades mais conhecidas desta dimensão, mas alguns espaços regionais de grande amplitude também aí se enquadram, como é o caso do clima dos oceanos, dos continentes, de um grande país etc. Sua definição está subordinada à circulação geral da atmosfera, a fatores astronômicos e geográficos maiores (grandes divisões do relevo, oceanos, continentes, etc.) e à variação da distribuição da radiação no planeta (baixas e altas latitudes).

O mesoclima é unidade intermediária entre as de grandeza superior (macroclimáticas) e inferior (microclimáticas). Regiões naturais dos continentes, como grandes florestas, desertos ou pradarias são exemplos dessa subunidade. O clima regional, o clima local e o topoclima são subunidades de transição, os dois últimos inseridos no primeiro. A circulação atmosférica, notadamente a secundária ou regional, define as dimensões das subunidades do mesoclima. Os fluxos energéticos estabelecidos pelas diferentes superfícies locais e a configuração topográfica definem a ordem de grandeza do clima local e do topoclima.

A microclimática, por sua vez, é a menor e mais imprecisa unidade escalar climática. Os fatores que a definem referem-se ao movimento turbulento do ar na superfície, a determinados obstáculos, a detalhes do uso e da ocupação do solo, entre outros. Refere-se geralmente a áreas com extensão espacial muito pequena, como o clima interno de edificações, de uma rua, a beira de um lago etc. (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Escalas temporais do clima

Na escala geológica são estudados os fenômenos climáticos que ocorreram no planeta desde a sua formação, e as mudanças climáticas de algumas centenas a várias dezenas de milhões de anos passados. A escala histórica estuda os climas do passado a partir do período da história registrada pelo homem. E na escala contemporânea atuam a maioria dos climatólogos atuais. Demanda dados

⁸ Respectivamente climas global, zonal e regional.

produzidos por uma ou mais estações meteorológicas, de preferência superiores a 30 anos. A análise dos tipos de condições meteorológicas, a variabilidade climática de curta duração, as tendências climáticas e o estabelecimento de médias são abordagens desta escala da climatologia (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

- **Classificação dos climas**

Os elementos e fatores atuam em conjunto, sendo cada um também o resultado desta interação, isto dificulta uma classificação geral ou tipificação que, por esta razão, não é facilmente aceita pelos autores que tratam do tema ⁹.

De uma forma geral, os climas têm sido classificados, segundo as grandes regiões da Terra, em: tropical, subtropical, temperado e polar ¹⁰. Esta classificação assim como outras, não são precisas, e são utilizadas apenas para determinados propósitos (Oliveira, 1988).

Os Sistemas de Classificações Climáticas (SCC) são importantes por possibilitarem a análise e definição dos climas de diferentes regiões considerando, simultaneamente, diferentes elementos climáticos. O registro das informações permite análises posteriores voltadas a objetivos diversos. A complexidade do processo levou a abordagens e técnicas distintas, resultando em vários sistemas de classificações climáticas. Observa-se que os critérios utilizados nos principais sistemas variam entre a precipitação, temperatura, vegetação e massas de ar, como variáveis independentes ou em diferentes combinações (Nóbrega, 2009).

A classificação climática sempre esteve vinculada ao aspecto conceitual do clima, às escalas do fato climático, orientando as duas correntes de análise climática: a analítica e a genética. Atualmente há mais de 200 esquemas de classificação climática, destacando-se os métodos analíticos, ou empíricos, de Köppen e Thornthwaite, aplicados em várias partes do mundo, principalmente no Ocidente. Na análise genética, ou dinâmica, destaca-se o método de classificação climática de Arthur Strahler (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

A percepção dos fenômenos climáticos foi fundamental para que a humanidade pudesse, na constituição de seu habitat, encontrar respostas

⁹ Bustos Romero, (2000), destaca Ferreira (1965) e Gomes (1980) que assinalam as dificuldades práticas das classificações.

¹⁰ Função da combinação de diversos fatores que, no seu conjunto, dão uma conotação regional aos climas (OLIVEIRA, 1988).

adequadas na busca de proteção, conforto e equilíbrio térmico, essenciais ao seu bem estar e sobrevivência. Estas respostas foram materializadas na expressão arquitetônica e urbanística dos assentamentos humanos característicos das diversas regiões do planeta e eras da civilização. Esta evolução se deu de acordo com o grau de conhecimento, desenvolvimento tecnológico e cultura das regiões.

3.2 Conforto térmico

Desde a antiguidade o homem busca um ambiente agradável para viver, adaptando-se aos limites impostos pelo clima ou modificando-o para obter situações mais favoráveis nas mudanças climáticas estacionais. A interação entre arquitetura e clima é patente em exemplos da arquitetura e do urbanismo regionais (**Figura 4**), na adaptação do espaço protegido humano à topografia, à vegetação e variações climáticas (Corbella E Yannas, 2009).

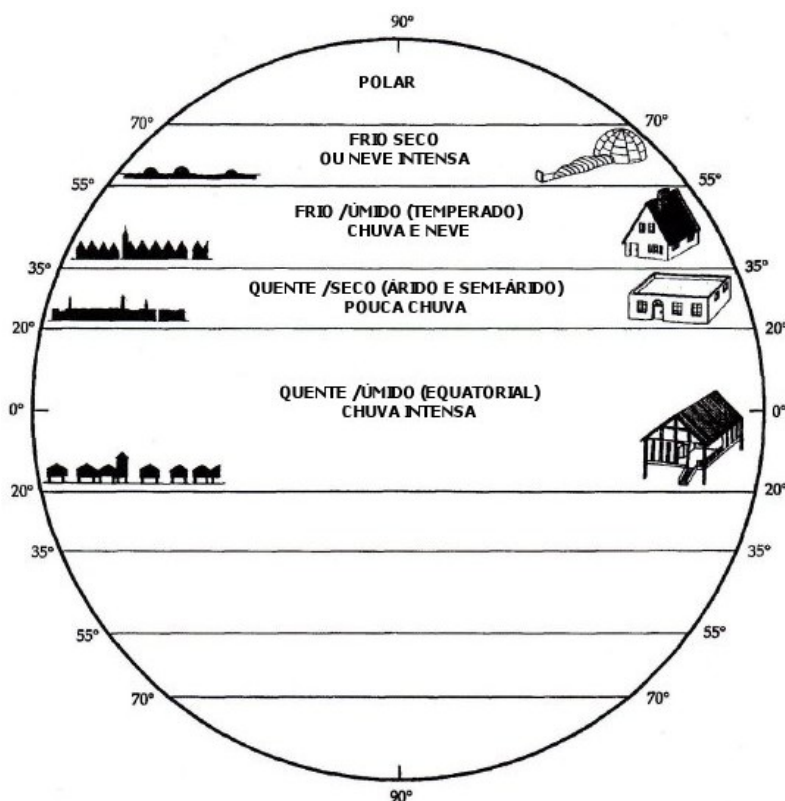


Figura 4 – Formas de arquitetura regional adequadas às condições das zonas climáticas. Adaptado de GOLANY (1992, p.460).

A habitação é o principal instrumento que nos permite satisfazer as condições adequadas de conforto. Modifica o entorno natural e nos aproxima das condições

ótimas de habitabilidade. Deve filtrar absorver ou repelir os elementos do meio ambiente segundo influam benéfica ou negativamente com o conforto do ser humano. O critério ideal para o desenho de um refúgio em equilíbrio com o meio ambiente, é que cubra satisfatoriamente todas as necessidades fisiológicas humanas (Olgyay, 1998 p.16) ¹¹.

Este trabalho aborda especialmente o conforto térmico, definido segundo a ASHRAE Standard 55 (apud Lamberts, 2011) como “A condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

Conforme Rivero (1986, pg.62), “O conforto térmico de um indivíduo se alcança quando as condições do meio permitem que o sistema termorregulador esteja em estado de mínima tensão”. Para este autor, os dois conceitos podem ser considerados complementares, já que o primeiro tem um caráter subjetivo, e o segundo tem fundamentos fisiológicos.

A importância dos estudos de conforto térmico está baseada principalmente em três fatores: a satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; o desempenho humano relacionado às condições de conforto térmico; e a conservação de energia. Seus principais objetivos, são analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente (Lamberts, 2011).

A seguir serão abordados conceitos relativos ao equilíbrio e conforto térmico humanos, cujo conhecimento é necessário para a obtenção de condições mais adequadas de conforto térmico, divididos nos seguintes tópicos:

- As trocas térmicas
- O equilíbrio térmico humano
- Variáveis do conforto térmico
- As variáveis ambientais
- Os índices de conforto
- A carta bioclimática de Olgyay

¹¹ Tradução da autora.

As trocas térmicas

Na natureza, todos os corpos possuem certa quantidade de energia térmica, usualmente denominada: calor. A quantidade de calor está relacionada à temperatura, mas não significa a mesma coisa. Quando a energia interna aumenta ou diminui, o mesmo ocorre com a temperatura, desde que não haja mudança no volume ou massa do corpo (Rivero, 1986).

O calor tem a peculiaridade de transmitir-se sempre do corpo mais quente para o mais frio, e nunca é possível impedir totalmente sua transmissão. Todos os corpos que contêm energia interna têm também a propriedade de transformá-la parcialmente em ondas eletromagnéticas. Estas se propagam em todas as direções e em linha reta a partir da superfície emissora, e ao chegar a um corpo são absorvidas, refletidas ou emitidas, em proporções que dependem de certas características da superfície receptora. Toda a energia radiante absorvida por um corpo se transforma em calor. Portanto, pode-se imaginar processos contínuos de transmissão de calor ocorrendo ao nosso redor, resultantes das diferenças de temperaturas, provocados por fontes de calor como a radiação solar, o próprio corpo humano e aparelhos geradores de calor. Este espaço também está permanentemente carregado de energia radiante, já que todos os elementos do espaço interior como paredes, piso, tetos e equipamentos, e do espaço exterior, como as árvores, terra e edifícios, emitem radiações (Rivero, 1986).

As trocas térmicas entre os corpos sucedem de uma de duas condições básicas: existência de corpos que estejam a temperaturas diferentes; e mudança do estado de agregação (Frota, 2001).

Corpos com temperaturas diferentes trocam calor, o qual se transmite sempre do mais quente para o mais frio através dos mecanismos de radiação, condução e convecção, classificados como processos de trocas térmicas secas, ou seja, que envolvem variação de temperatura: o corpo mais quente perde, e o mais frio, ganha calor. O calor envolvido nesse processo é denominado calor sensível.

A radiação consiste na troca de calor entre dois corpos afastados entre si por uma distância qualquer, conforme sua capacidade de emitir e absorver energia térmica. O intercâmbio de energia radiante entre dois corpos só é possível quando o meio que os separa é transparente.

A condução é a transmissão de calor entre dois corpos em contato molecular, mesmo parcial, e com temperaturas diferentes. Ocorre sempre entre sólidos, pois se um dos corpos é fluido ocorrem fenômenos convectivos que alteram o processo.

A convecção é a troca de calor entre dois corpos em contato molecular, sendo pelo menos um deles fluido. Nesse processo ocorre, numa primeira fase, a transmissão de calor por contato ou condução, e numa segunda, a alteração sofrida pela temperatura do fluido modifica sua densidade pelo que adquire um movimento convectivo ascendente ou descendente conforme tenha sido a troca de temperatura. A transmissão de calor por convecção se distingue entre a natural: quando o único movimento do ar é gerado pela diferença de temperatura entre suas partes; e a forçada: quando o ar tem velocidade própria, como o vento ou um equipamento mecânico (Rivero, 1986).

Trocas térmicas que envolvem a mudança de estado de agregação¹² são denominadas trocas úmidas. A água passa do estado líquido para o estado de vapor e vice versa, sem a mudança de temperatura. Essas trocas ocorrem pelos processos de evaporação e condensação, e o calor perdido nesse processo é denominado calor latente.

A evaporação decorre da mudança de um estado líquido para um estado gasoso. Requer grande quantidade de energia térmica, que se transforma e serve para manter o estado de vapor.

A condensação provém da mudança de um estado gasoso do vapor d'água contido no ar para um estado líquido. Ocorre quando o nível de saturação do ar é excedido. É quando o calor latente se transforma novamente em calor sensível, provocando aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação.

Segundo Rivero (1986), esses processos constituem uma forma particular de transferência de calor: um corpo perde calor por evaporação que será ganho por aquele no qual se produz a condensação.

¹² No âmbito do conforto termo-higrométrico, a água é o elemento que proporciona as trocas térmicas por mudança de estado de agregação, e apenas nos casos em que passa do estado líquido para o estado de vapor e do estado de vapor para o estado líquido (FROTA, 2001).

O equilíbrio térmico humano

O homem é um ser homeotérmico, isto significa que seu organismo deve ser mantido a uma temperatura interna constante, independente das condições do clima, variando aproximadamente entre 35 e 37°C, sendo 32°C o limite inferior e 42°C o limite superior. Os limites indicam estados de enfermidade.

O organismo adquire energia através do metabolismo, que é o processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos, produzidos por reações químicas internas, sendo a mais importante, a combinação do carbono dos alimentos com o oxigênio fornecido pela respiração. Aproximadamente 20% dessa energia se transforma em potencialidade de trabalho e os 80% restantes em calor, que deve ser dissipado para que o organismo mantenha seu equilíbrio (Frota, 2001). Parte desse calor é necessária ao funcionamento fisiológico ou atividades internas do organismo, e outra parte é gerada devido ao desempenho das atividades externas (Lamberts, 2011).

O calor produzido e dissipado por uma pessoa depende de diversas variáveis, como o sexo, a idade, estação do ano, o grau de aclimação, mas principalmente da atividade que realiza. Em repouso absoluto — metabolismo basal — o calor dissipado pelo corpo para o ambiente, é de cerca de 75 watts (Rivero, 1986).

Quadro II - Calor gerado por unidade de tempo

| Atividade | kcal |
|--|------|
| Dormir | 73 |
| Sentado, em repouso | 95 |
| Tarefas de escritório | 120 |
| Trabalhos levanos (domésticos) | 198 |
| Trabalhos medianos (artesanais, limpeza) | 284 |
| Trabalhos pesados, ginástica | 378 |

Fonte: Adaptado de Rivero (1986)

Quando a quantidade de calor perdida é menor que a gerada, sente-se calor, se é maior, sente-se frio. A temperatura interna do organismo é mantida pelo aparelho termorregulador, ativado segundo as condições térmicas do ambiente: no frio reduz as perdas pelo aumento da resistência térmica da pele, por vasoconstrição, arrepios e tritar, e aumenta as combustões internas – termogênese

- através do sistema endócrino; no calor aumenta a troca térmica com o ambiente, por vasodilatação e exsudação, e reduz as combustões internas – termólise – também através das glândulas. A termorregulação representa um esforço extra, reduzindo a potencialidade de trabalho. Em condições de conforto térmico o organismo perde para o ambiente, o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade, sem ativar nenhum mecanismo de termorregulação, (Frota, 2001).

A troca de calor entre o corpo humano e o entorno, para obter seu equilíbrio térmico, pode ser classificada através dos quatro processos principais: radiação, condução, convecção e evaporação.

As trocas por radiação, condução e convecção, acontecem sempre que se cumpre o princípio das diferenças de temperaturas, como ocorre em qualquer corpo, mas a evaporação se constitui num poderoso meio de perda de calor em condições excepcionais (**Figura 5**).



Figura 5 - Equilíbrio térmico humano. Adaptado de Guyton (1977, apud Romero, 2000).

Estima-se que a proporção de perda de calor do corpo humano seja de 2/5 partes através da radiação, 2/5 por convecção e 1/5 por evaporação. Essas proporções podem mudar se houver variações nas condições térmicas (Olgyay, 1998).

A equação de balanço de calor do corpo humano pode ser escrita da seguinte forma: $(M+W) - (Cd + Cv + Cr + E) = D$ ¹³

Onde:

M = metabolismo (calor produzido pelo corpo)

W = energia usada para realizar o trabalho mecânico

Cd = energia dissipada por condução

Cv = energia dissipada por convecção

Cr = energia dissipada por radiação

E = energia dissipada por evaporação de água sobre a superfície da pele

D = termo de balanço ou acumulação

Se D é negativo há frio, se positivo calor, e se igual a zero com a temperatura da pele em torno de 35°, há sensação de bem estar, ou conforto térmico, estado neutro sem frio ou calor (Corbella E Yannas, 2009).

Variáveis do conforto térmico

Diversas variáveis influenciam esse processo: aquelas relacionadas à própria pessoa, como a atividade desenvolvida e as vestimentas utilizadas; e aquelas referentes aos valores dos elementos do meio, como a temperatura, a umidade e o movimento do ar, a radiação infravermelha emitida pelos elementos do entorno e a radiação solar (Corbella e Yannas, 2009, Rivero, 1986).

A vestimenta funciona como uma resistência térmica adicional. Mantém junto ao corpo uma camada de ar mais ou menos aquecida, conforme seja mais ou menos isolante, o seu ajuste ao corpo e a porção que cobre. Sua unidade de medida é o “*clo*”¹⁴, equivale a 0,155 m² °C/W (Frota, 2001). A pele troca calor por condução, convecção e radiação com a roupa que, por sua vez, troca calor com o ar por convecção e com outras superfícies por radiação. Quanto maior a resistência térmica da roupa, menor serão suas trocas com o meio (Lamberts, 1997).

¹³ Os termos Cd, Cv e Cr, poderão ser positivos ou negativos conforme a temperatura da pele seja maior ou que as temperaturas de contato, que a temperatura do ar, ou das superfícies, respectivamente.

¹⁴ O *Clo* é uma unidade arbitrária para determinar o grau de isolamento de uma peça de vestir. O valor de um *Clo* equivale ao isolamento proporcionado por uma roupa normal de um homem, mantendo o conforto a uma temperatura exterior de 21,1°C, sem movimento de ar, com uma umidade relativa menor que 50%, e sem muita atividade física. A peça de vestir mais quente equivale a 4,5 *Clo* (Olgyay, 1998).

As variáveis ambientais

A temperatura superficial dos elementos de um ambiente é determinante na transmissão de energia radiante, podendo ocorrer perdas ou ganhos de calor por radiação infravermelha, de ou para as superfícies vizinhas Também determina a transmissão de calor por condução com a superfície do corpo em contato com esses elementos.

A radiação solar produz efeito de aquecimento. Ao atingir uma superfície transforma-se em parte numa fonte de calor. Sua exposição direta sobre uma pessoa numa latitude próxima dos 35° proporciona uma sensação de calor de uns 7° acima da temperatura do ar (Rivero, 1986).

A temperatura, a velocidade e a umidade do ar influenciam a quantidade de calor transmitido por convecção e as perdas por evaporação (Rivero, 1986).

Quando a temperatura do ar é muito baixa, ocorrem grandes perdas por convecção, mas essa proporção diminui se a temperatura do ambiente estiver próxima da temperatura da pele. O movimento do ar não diminui a temperatura, mas produz um efeito refrescante. Segundo Rivero (1986), um movimento de ar da ordem de 1,5m/s tem o mesmo efeito térmico sobre uma pessoa, que a diminuição de 3°C na temperatura do ar. A sensação deve-se ao aumento da perda de calor por convecção e aumento da evaporação do corpo.

O conforto aumenta com o movimento do ar controlado, entretanto esse incremento cessa com temperaturas altas (Olgay, 1998).

O Quadro III apresenta algumas velocidades de vento adequadas de acordo com a atividade.

Quadro III - Velocidades do ar máximas de conforto

| Velocidade máxima tolerada (m/s) | Situação do usuário (atividade) |
|----------------------------------|---|
| 5 | Sentado ou em pé, imóvel. |
| 10 | Estado de pouca mobilidade (conversando em pé dando pequenos passos). |
| 15 | Andando. |
| >25 | Desconforto em qualquer atividade. |

Fonte: Adaptado de Fernandez apud Barroso-Krause et al (2005).

Quando a temperatura do meio se eleva, dificulta as perdas por convecção e radiação, e o organismo aumenta sua eliminação de calor por evaporação. A ventilação acelera a evaporação, pois ajuda a renovar mais rapidamente a camada de ar junto à pele afastando o ar saturado, e substituindo-a por outra em condições de absorver mais água, permitindo que a pele fique novamente em condições de evaporar (Corbella e Yannas, 2009).

Portanto, com a ventilação, ainda que o ar se encontre a uma temperatura superior à da pele, aumentam as perdas por evaporação. Dependendo da umidade do ar, esse balanço pode tornar-se desfavorável, se o ar estiver saturado a evaporação não é possível (Rivero, 1986).

Nos estudos sobre conforto e trocas térmicas humanas é importante também o entendimento do conceito de sensação térmica. Corbella e Yannas (2009) exemplifica a sensação experimentada por uma pessoa ao pisar num chão de mármore e em outro de madeira, que estejam próximos. A sensação é de que o de madeira está mais quente e o de mármore mais frio, embora a tendência seja de que todas as superfícies próximas uma das outras em um mesmo ambiente apresentam mesma temperatura. O que ocorre é que sendo o mármore mais condutor retira calor do corpo mais rapidamente, esfriando a parte do corpo em contato com ele. Diferentemente da madeira, menos condutor e mais isolante, que retira calor do corpo mais lentamente, causando a sensação de que aquela superfície se encontra mais quente.

Os índices de conforto

Conforme Frota (2001) diversos modelos ou índices de conforto térmico procuram englobar o efeito conjunto das variáveis que condicionam o conforto. Em geral são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e vestimenta para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, em cartas ou gráficos, as condições que levam a respostas idênticas nos indivíduos.

Romero (2000) sintetiza a análise de Villas Boas (1983) sobre alguns dos diversos índices de conforto, entre os quais as cartas bioclimáticas de Olgyay e de Givoni; os diagramas de conforto térmico de Fanger; a zona de conforto de Vogt e Miller-Chagas; e os diagramas de temperatura efetiva, criados por Houghton e Yaglow em 1923. A partir da análise de outros autores, que notam limitações nesses modelos ao descrever ou modelar as interações entre o organismo humano

e o meio ambiente, Romero (2001) conclui que os modelos de conforto térmico, desenvolvidos com base na realidade local, são um instrumento importante para o estudo das técnicas de controle do ambiente, uma vez que permitem identificar as variáveis do meio que devem ser modificadas ou aproveitadas para conseguir as condições de conforto.

Destaca-se a seguir, de forma resumida, a carta bioclimática de Olgay. Além de sua importância como pioneiro em estudos bioclimáticos, o trabalho de Olgay é também de especial interesse para projetos urbanos, já que considera as condições climáticas externas em suas análises. Para Higuera (2006), é particularmente interessante para os urbanistas, por caracterizar o clima de um lugar relacionando-o com o bem estar das pessoas. As estratégias que apresenta para remediar situações desfavoráveis: radiação solar, para frio; umidade, em alta temperatura e baixa umidade ambiental; e vento, para temperatura e umidade alta, podem ser obtidas intervindo diretamente nas zonas verdes e espaços livres, beneficiando primeiramente o microclima, através de sua modificação, em seguida as edificações e seus usuários.

A carta bioclimática de Olgay

Em sua carta, Olgay (1998) combina temperatura e umidade do ar a partir de estudos sobre os efeitos do clima sobre o homem e das relações entre elementos de clima e conforto. Observa que não há um critério único para uma avaliação precisa de conforto, que pode ser definido como uma zona em que não há incômodo, uma franja similar à zona de neutralidade térmica que varia conforme o indivíduo, tipo de roupa e atividade, e localização geográfica. Sua definição de zona de conforto teve como base estudos anteriores, de outros autores, para determinação de índices de conforto.

Os dados do gráfico (**Figura 6**) se referem aos habitantes da zona temperada dos Estados Unidos, com vestimenta normal para interiores, com pouco esforço muscular e uma altitude em torno de 1.000m do nível do mar. Para aplicação em regiões climáticas afastadas dos 40^o de latitude, deve ser ajustado elevando a linha de conforto do verão em 2/5^o C a cada 5^o de latitude inferior, o perímetro superior pode elevar-se proporcionalmente, sem ultrapassar 29,4°C.

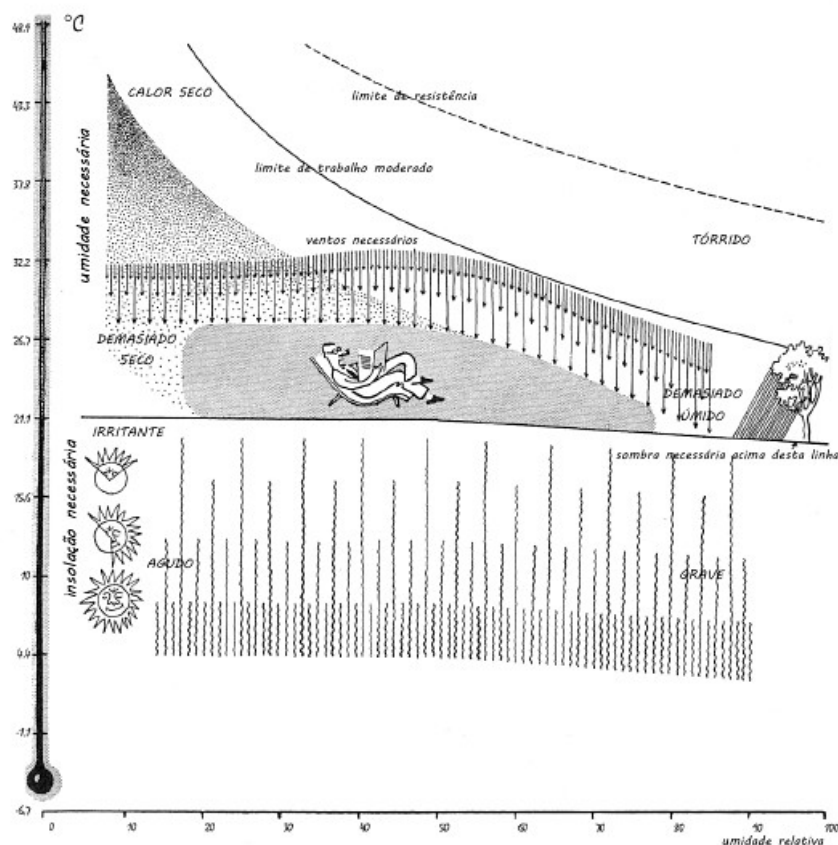


Figura 6 – Carta Bioclimática de Olgay, adaptada de Olgay (1998, p.23).

A carta bioclimática é construída colocando-se a temperatura seca no eixo das coordenadas e a umidade relativa no eixo de abscissas. No meio observa-se a zona de conforto de verão dividida em duas franjas, a desejável e a possível. Mais abaixo está a de inverno. Os elementos climáticos estão representados ao redor por curvas, que indicam a natureza das medidas necessárias para recuperar a sensação de conforto em qualquer ponto situado fora da zona de conforto. Como a necessidade de vento, quando o ponto se encontra acima do perímetro superior da zona de conforto. Os números expressam a velocidade necessária em metros por segundo. Para altas temperaturas e umidade baixa, o frio por evaporação é um elemento adequado. São indicados os cm^3 de umidade por quilograma de ar para reduzir a temperatura acima do perímetro superior de conforto.

No perímetro inferior da franja de conforto encontra-se uma linha divisória, os pontos acima desta necessitam de sombra e abaixo de radiação para combater as temperaturas baixas e secas. Neste caso a radiação necessária para restabelecer a sensação de conforto vai para o exterior. À esquerda do gráfico

aparecem assinalados os valores de temperatura de radiação, quer sejam radiação de calor ou impulsão de frio, necessários para recuperar a sensação de calor. As medidas corretoras para os pontos conhecidos de umidade relativa e temperatura que se encontrem fora da franja de conforto podem ser obtidas diretamente da carta.

A avaliação bioclimática é premissa de um projeto arquitetônico que objetive o equilíbrio climático. As condições climáticas predominantes podem ser grafadas na tabela, que vai indicar os ajustes necessários para alcançar o estado de conforto. Muitas dessas medidas podem ser obtidas adaptando o projeto arquitetônico aos elementos climáticos. Os problemas que não podem ser resolvidos em soluções de projeto devem ser remediados mecanicamente como, por exemplo, ar condicionado. A máxima utilização de meios naturais para produzir espaços mais saudáveis e agradáveis leva à economia de custos, reduzindo ao mínimo a necessidade de ajuda mecânica no controle climático (Olgyay, 1998).

A obtenção de equilíbrio térmico do homem com o meio ambiente requer soluções de continuidade, que devem necessariamente abranger todos os espaços, externos ou internos, habitados pelo homem. A atenção do arquiteto para este aspecto deve refletir-se desde o projeto de um edifício ao planejamento de uma cidade.

A primeira conclusão para que o estudo dos fatores envolvidos na interação do homem com o meio ambiente aponta é que o projeto é capaz de contribuir de forma efetiva para o conforto térmico do espaço habitado. A escolha e o uso adequado dos elementos construtivos e dos dispositivos de controle dos fatores climáticos, aliados a uma correta implantação, podem definir a existência de uma arquitetura em harmonia com o meio. Existem exemplos consistentes desta possibilidade na história da ocupação humana nas várias regiões do planeta.

3.3 Interação entre espaço urbano e clima

3.3.1 O clima urbano

Nas cidades as condições climáticas, alteradas pelos efeitos da urbanização, apresentam temperaturas mais altas que o entorno, um regime especial de ventos, menor umidade e maior sequeidão ambiental. Nas zonas mais densas se produz a ilha térmica, causada pelo diferente ritmo de aquecimento e armazenamento de calor. Na cidade a resposta à insolação é mais lenta que no campo, mas a absorção e armazenamento de calor são mais significativos, devido à sua configuração e composição. Pela manhã a superfície sólida da cidade é mais fria que o campo, à noite a situação é inversa (Higuera, 2006).

Os primeiros estudos de caráter científico acerca do clima urbano surgem no século XIX, em um trabalho de Luke Howard (1818) sobre o clima da cidade de Londres, no qual constatava que as temperaturas do ar na cidade eram comumente mais altas que na área rural imediata. Em 1855, Emilien Renou observou que, além de apresentar temperaturas mais altas do que o campo, na cidade a velocidade do vento era menor (Landsberg, 1981).

A ciência da climatologia urbana consolidou-se nas últimas décadas do século XX, destacando-se os trabalhos de autores como Landsberg (1956), cujo livro *Climate of Towns* é a primeira síntese sobre estudos do clima urbano; Chandler (1965); Oke (1974, 1979); e, no Brasil, Monteiro (1976), entre outros (Romero, 2001).

A partir da síntese de Landsberg, Monteiro (1976, apud Romero, 2001, p.48) enuncia os principais aspectos do clima urbano:

- 1- O clima urbano é a modificação substancial de um clima local.
- 2- Admite-se que o desenvolvimento urbano é propenso a aumentar ou até mesmo eliminar as diferenças produzidas pela localização do sítio.
- 3- Comparando cidade e campo, surgem os seguintes dados fundamentais:
 - a) a cidade modifica o clima por meio de alterações na superfície;
 - b) a cidade produz aumento de calor, modificações no vento, na umidade e até nas precipitações, que muitas vezes aumentam;
 - c) a maior influência surge da alteração na própria composição da atmosfera, chegando a condições adversas na maioria dos casos.

A influência urbana na atmosfera mostra-se em duas camadas (**Figura 7**):

- A camada limite urbana (*urban boundary layer*), é mais próxima à superfície urbana e recebe sua influência térmica. É criada pelo deslocamento de ar através de superfícies rugosas e rígidas.

- A camada de cobertura urbana (*urban canopy layer*) corresponde a setores entre fileiras de edifícios, mescla dos microclimas do entorno mais imediato.

A pluma urbana (*urban plume*) é o prolongamento da camada limite urbana, à sotavento da cidade, sobre a área rural do entorno (Oke, 1978 e Moreno, 1993, apud Romero, 2001).

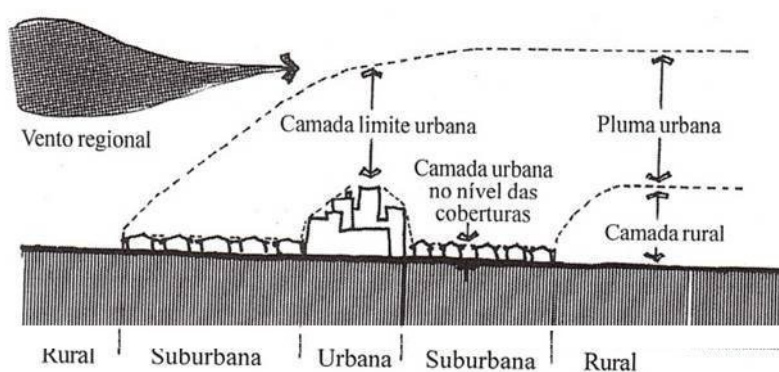


Figura 7 - Atmosfera sob influência urbana (Moreno, 1993, apud Romero, 2001, p. 47)

O clima urbano resulta dos fatores que atuam na camada limite urbana alterando o clima na escala local. Seus efeitos refletem-se na qualidade do ar, impactos pluviais e outros eventos que podem afetar e degradar a cidade e a qualidade de vida de seus habitantes (Monteiro, 1976, apud Brandão, 2003). Situa-se num contexto climático maior, e com este interage segundo as dimensões geográfico-atmosféricas e o grau de dinamismo das atividades humanas. Seus elementos e fatores refletem os do clima em geral, registrando alterações em função da transformação do meio ambiente (Quadro II). Seus elementos são: a temperatura; a umidade relativa; os ventos; as precipitações; e a duração de exposição ao sol. A temperatura da área urbana é em média maior que o entorno. As ilhas de calor perduram à noite, enquanto o calor armazenado durante o dia é dissipado e os gradientes de temperatura aumentam com o crescimento da área urbana (Oliveira, 1988)¹⁵.

¹⁵ O autor, conforme esclarece, trata o clima urbano com base na literatura referente às mudanças climáticas produzidas pelas cidades, associada a informações sobre o clima em geral.

Quadro IV - Características do Clima Urbano

| Elemento | Comparado a ambientes rurais |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Poluentes: | |
| Núcleos de condensação | 10 vezes mais |
| Particulados | 10 vezes mais |
| Misturas gasosas | 5 a 25 vezes mais |
| Radiação: | |
| Total em superfície horizontal | 0 a 20% menos |
| Ultravioleta, inverno | 30% menos |
| Ultravioleta, verão | 5% menos |
| Duração da luz solar | 5 a 15% menos |
| Nebulosidade: | |
| Nuvens | 5 a 10% mais |
| Fog, inverno | 100% mais |
| Fog, verão | 30% mais |
| Precipitação: | |
| Quantidades | 5 a 15% mais |
| Dias com menos de 5mm | 10% mais |
| Queda de neve, interior da cidade | 5 a 10% menos |
| Queda de neve, limite da cidade | 10% mais |
| Tempestades | 10 a 15% mais |
| Temperatura: | |
| Media anual | 0,5 a 3°C mais |
| Mínima de inverno (média) | 1 a 2°C mais |
| Máxima de verão | 1 a 3°C mais |
| Dias com uso de aquecimento | 10% menos |
| Umidade relativa: | |
| Média anual | 6% menos |
| Inverno | 2% menos |
| Verão | 8% menos |
| Velocidade do vento: | |
| Média anual | 20 a 30% menos |
| Rajadas de vento | 10 a 20% menos |
| Calmaria | 5 a 20% mais |

Fonte: adaptado de Landsberg (1981)

A umidade relativa é sempre menor na cidade, dado o aumento da temperatura e a pressão de vapor saturado na atmosfera, embora a quantidade de vapor seja ligeiramente maior em função das atividades humanas. As massas de ar portam mais nuvens do que no campo e mais nevoeiros no inverno do que no verão. A diferença vem da modificação da estabilidade atmosférica pela ilha de calor e o incremento das correntes ascendentes.

A velocidade do vento é menor sobre a cidade, com menos rajadas de vento máximas. Há mais calmarias em função da maior rugosidade do solo e dos obstáculos existentes. Em situações de calmaria do clima regional, as diferenças de pressão das massas de ar formam correntes ascendentes sobre a cidade e o campo, podendo criar brisas que se deslocam da periferia para o centro urbano mais denso, trazendo maior volume de poluentes atmosféricos e precipitações. Os ventos se deslocam geralmente em movimentos de turbilhão, tomando sentido e direções diferentes daqueles observados no clima regional. As massas de ar sobre a área urbana contêm 10 vezes mais partículas de poeira e 5 a 25 vezes mais mistura de gases (Landsberg, 1962 e 1970, apud Oliveira, 1988).

A latitude define a posição de uma estrutura urbana em relação aos movimentos reais e aparentes do sol, bem como seu tempo de exposição, que também dependerá da existência de montanhas, serras e formações rochosas no horizonte do sítio natural. As edificações atuam como horizontes “fabricados” produzindo sombra (Oliveira, 1988).

A ilha de calor representa o fenômeno mais significativo do clima urbano e sua intensidade depende das condições micro e mesoclimáticas de cada cidade. Brandão (2003) destaca as principais causas para a sua formação:

- A maior capacidade de estocagem de calor em função das propriedades dos materiais de construção da cidade;
- A redução do fluxo de calor latente e o aumento do calor sensível em função da reduzida superfície líquida e de áreas verdes nas áreas urbanas, resultando em diminuição da umidade e menor evaporação;
- A redução do *Sky view factor*¹⁶ por elementos urbanos (edifícios) resultando menores perdas de radiação por ondas longas nas ruas e *canyons* urbanos contribuindo para o aumento de ocorrências de inundações urbanas provocadas, em parte, pela impermeabilização do solo e de episódios de poluição atmosférica uma vez que a geometria dos prédios produz o aprisionamento do ar e uma superfície de grande aspereza (Brandão, 2003).

¹⁶ Fator visão do céu.

O desempenho dos elementos do clima urbano é afetado, no conjunto, pelos principais fatores do clima em geral e a radiação assume papel preponderante. A radiação térmica no clima urbano tem duas principais origens: a quantidade de radiação solar ganha, armazenada e difundida (por emissão, reflexão, condução e convecção); e a radiação proveniente da ação humana, como as atividades industriais, o trânsito, os sistemas de condicionamento mecânico, a queima de combustíveis, etc., além do próprio calor metabólico do homem, cuja contribuição é bastante considerável no total de energia térmica gerada (Oliveira, 1988).

“O clima de uma cidade será função do uso do solo, da geometria do ambiente, dos materiais e superfícies, e da presença de vegetação” (Corbella e Magalhães, 2007).

Estes estudos são de fundamental importância para o planejamento urbano, destacando-se a influência da forma urbana como condicionante do clima local das cidades.

3.3.2 Tecido urbano e clima

A forma urbana é um importante fator condicionante do clima urbano. É moldada em grande parte pelo planejamento, através da legislação e dos parâmetros urbanísticos de uso e ocupação do solo que, na cidade formal definem a densidade de ocupação, a intensidade e mistura do tipo de uso do solo, a localização e distribuição dos espaços livres nas áreas urbanas, entre outros. Os aspectos climáticos, entretanto, parecem não ser suficientemente considerados no planejamento em geral, seja pela pouca disponibilidade de modelos aplicáveis, seja por fatores que afetam a tomada de decisões nas esferas de gestão urbana.

O estudo da morfologia urbana ocupa-se da divisão do meio urbano em elementos morfológicos e da articulação destes entre si e com os espaços urbanos. A forma urbana é o resultado final das questões postas à arquitetura e ao urbanismo, traduzindo-se no modo como se organizam os elementos que constituem o espaço urbano, materializando soluções aos aspectos funcionais, quantitativos, qualitativos e figurativos da cidade. Os aspectos funcionais relacionam-se ao tipo de uso do solo e dos edifícios. Os aspectos quantitativos aos dados que traduzem a conformação física da cidade: densidades, superfícies,

dimensões, perfis, etc. Os aspectos qualitativos ao tratamento dos espaços, quanto ao conforto do usuário, estado de conservação dos pavimentos, dispositivos de proteção aos elementos do clima, acessibilidade, etc. Podem também ser quantificáveis, mas por outro tipo de parâmetros de aferição de eficiência como, por exemplo, decibéis, que medem o conforto sonoro, e o *lux*, o de iluminação. Enquanto os aspectos figurativos referem-se ao poder de comunicação estética da forma e o modo como se organizam suas diferentes partes (Lamas, 2010).

Uma forma arquitetônica ou urbana reúne um conjunto de características que constitui um contexto. Este pode abarcar aspectos funcionais, econômicos, tecnológicos, jurídico-administrativos, ou estéticos. Os contextos históricos, na evolução do urbanismo, originaram diferentes propostas de desenho urbano, muitas vezes utilizando elementos morfológicos consagrados em eras precedentes. Um exemplo são as formas renascentistas e barrocas que encontraram sua expressão nas ruas, praças, edifícios, fachadas, planos marginais, e monumentos isolados, elementos também encontrados nas cidades medievais. As diferenças resultam do modo como esses elementos se posicionam, se organizam e se articulam para constituir o espaço urbano.

Segundo Lamas (2010), o território é onde o homem exerce suas atividades procurando, para isto, dominar os elementos físicos, incluindo o clima. As estruturas rurais ou urbanas decorrem desta ação. A forma urbana está permanentemente ligada ao suporte geográfico, ao lugar, cuja importância muitas vezes determina a criação arquitetônica conferindo-lhe identidade.

Nos lugares onde a natureza é amável, as formas construídas se comunicarão fluidamente com o ambiente natural e tentarão se fundir com ele; ao contrário, sob as influências adversas, fecham sensivelmente suas superfícies e tentam manter o equilíbrio mediante a vida no interior (Olgyay, 1998, p.92).

Para Olgyay (1998), a forma de um tecido urbano conjuga fatores que abrangem desde as tendências políticas e sociais a necessidades materiais e técnicas. Esta composição dificulta a análise do entorno climático como elemento distinto, mas o traçado resultante reflete em grande escala as tendências construtivas da tipologia dos edifícios. A densidade da trama varia segundo condições climáticas locais adversas ou favoráveis. Num ambiente frio a estrutura urbana cria proteção contra o vento através de uma trama densa, enquanto nas

zonas temperadas possibilita um traçado livre e integrado à natureza. Em regiões quentes e áridas as construções e a vegetação constituem elementos de sombra e proteção térmica para a rua e as atividades diurnas, neste caso a densa estrutura protege contra o calor e a luminosidade. Nas regiões quentes e úmidas as edificações se desenvolvem de forma esparsa usufruindo o movimento do ar, as árvores e sua sombra são também elementos importantes.

Para Givoni (1998), as características da estrutura física da cidade que mais afetam o clima urbano são: A localização da cidade dentro da região; Tamanho das cidades; Densidade da área construída; Cobertura do solo; Altura dos edifícios; Orientação e largura das ruas; Subdivisão dos lotes de construção; e detalhes dos edifícios que afetam as condições externas.

Oliveira (1988) define a forma urbana como produto das relações entre as morfologias das edificações e os espaços de permanência e circulação, e entre essas e a paisagem. A intensidade das modificações introduzidas pela forma urbana no clima dependeria das características condicionantes do clima urbano, do conjunto de suas relações e do clima pré-existente semelhante ao da área rural imediata. Para o autor, trabalhar apropriadamente as características e o conjunto das relações da forma urbana, permite instrumentalizá-la no controle do clima urbano, para obtenção de conforto e salubridade.

3.3.2.1 Características condicionantes climáticas da forma urbana

Baseado em estudos anteriores sobre o clima urbano, Oliveira (1988) identifica as seguintes características da forma urbana como condicionantes climáticas: a rugosidade e porosidade; a densidade de construção; o tamanho da estrutura urbana; a ocupação do solo; a orientação; a permeabilidade superficial do solo urbano; e as propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes da estrutura urbana.

Estas características constituem um conjunto de categorias de análise que seriam ao mesmo tempo: definidoras da forma; indicadoras das características gerais do projeto; e também utilizadas para análise do espaço urbano como um todo (Romero, 2001).

Rugosidade e Porosidade

Definem o grau de atrito entre as massas de ar e as superfícies urbanas. Quanto maior a rugosidade de uma superfície, maior o atrito e, portanto, maior a turbulência e menor a velocidade dos ventos. Os atributos que definem o grau de rugosidade de uma forma urbana seriam a diversidade e o diferencial de alturas das edificações, e os índices de fragmentação das áreas construídas. A redução da velocidade do vento aumenta o tempo de dissipação dos poluentes atmosféricos. Já a turbulência, aumenta as trocas térmicas por convecção entre as superfícies e a atmosfera (Oliveira, 1988). O contraste entre as alturas das edificações produz maior turbilhonamento dos ventos, proporcionando melhor ventilação se combinada com a porosidade.

A porosidade se refere à maior ou menor permeabilidade aos ventos no tecido urbano. Está relacionada ao espaçamento entre as edificações e/ou arranjos morfológicos. Conforme Oliveira (1993) depende do tipo, orientação e grau de continuidade da trama urbana.

Densidade de construção

Relaciona-se à taxa de ocupação de uma determinada área, às distâncias entre edificações e alturas médias dos edifícios. Oliveira (1988) faz referência a diversos estudos que identificam que as maiores temperaturas coincidem com as áreas mais densamente construídas e populosas, ou com determinados usos. Quanto mais densa a morfologia da massa edificada maior produção de radiação pelas atividades antrópicas, maior captação e difusão da radiação solar e, conseqüentemente, maiores trocas de calor com o ambiente e menor a ventilação.

Tamanho da cidade (horizontal e vertical)

O tamanho da cidade está relacionado à quantidade de fontes de calor e poluentes. Porém, como demonstram os resultados de diversas pesquisas citadas por Oliveira (1988, pag.48), a relação entre o tamanho da cidade e a diferença de temperatura rural-urbana, não é linear. Os padrões de ocupação com maior densidade tende a possuir maiores médias de temperaturas assim como as áreas com crescimento vertical intenso (Barbirato, 2007).

Uso e ocupação do solo

Estreitamente ligado à distribuição das temperaturas dentro das estruturas urbanas. A concentração de atividades industriais, comerciais e de prestação de serviços, assim como o maior o grau de centralização de determinados elementos morfológicos, como edifícios altos, avenidas e estacionamentos, concentra também a produção de calor e de poluentes atmosféricos. Também maior, é a quantidade de radiação solar armazenada. Já os maiores índices de áreas verdes na estrutura urbana, favorecem as trocas térmicas entre essas áreas e as morfologias urbanas adjacentes, contribuindo para menores temperaturas no espaço urbano. Portanto, a concentração / dispersão das atividades, a centralização / descentralização da massa construída e a proporção de áreas verdes, são importantes elementos, por sua influência na configuração espacial e temporal do clima urbano (Oliveira, 1988).

Orientação

Refere-se ao posicionamento da estrutura urbana frente aos caminhos do sol e do vento, e em relação a outros elementos, como o mar, montanhas, lagos, e outros, segundo as necessidades de exposição ou abrigo dos efeitos climáticos produzidos por esses elementos.

Permeabilidade do solo urbano

A permeabilidade está relacionada à parcela de solo urbano coberto por construções, pavimentação, e solo compactado. Quanto maior a proximidade da massa edificada a certos elementos morfológicos circundantes, maior a impermeabilização do solo, o que concorre para menor umidade do ar, menores perdas de calor por evaporação, maior acúmulo de energia radiante e maior temperatura do ar, além da ocorrência de inundações, devido aos maiores índices de precipitações (Oliveira, 1988).

Propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes

Corresponde às propriedades físicas dos materiais que compõem as áreas urbanas, expressas principalmente pelo albedo, absorvância e emissividade. As maiores temperaturas das áreas urbanas incidem em locais revestidos por

superfície escura e impermeável, concreto, cimento e pavimentação asfáltica, bons condutores térmicos e com grande capacidade calorífica.

3.3.2.2 Escalas de análise do espaço urbano

Alguns autores têm proposto integrar as escalas de estudo do clima urbano aos objetivos do planejamento. A partir das escalas climáticas de Oke (1984, 2004) e Monteiro (1976), e com objetivo de orientar o planejamento através de premissas específicas, Romero (2008) propõe um conjunto de escalas para o planejamento e a intervenção em quatro dimensões, integrando atributos relevantes para a interação urbana ambiental: Cidade; Bairro; Área; Setor; Lugar; Edifício.

Macro escala da cidade

Analisa a dimensão das grandes estruturas urbanas, a partir de atributos perceptivos da forma física e organizacional, variedade ambiental, macro sistema de transporte, permanência e continuidade dos elementos construídos. A análise desse conjunto de atributos determina o nível de desempenho ambiental da forma urbana, bem como o grau de permeabilidade do solo, o relevo, nível de insolação, sombreamento, e a ventilação em função da orientação, espaçamento, profundidade, forma e densidade das edificações. A componente dinâmica do clima é função da influência das massas de ar sobre as áreas de deslocamento. As recomendações abordam aspectos decorrentes da natureza da trama urbana: cheios e vazios; e diferencial de alturas, definindo maior ou menor penetração dos ventos em função da porosidade, rugosidade e compacidade. Também podem abordar aspectos da morfologia do sítio, de efeito efetivo na preservação da temperatura e umidade, além da proteção aos ventos.

Escala intermediária do setor

Corresponde à escala do bairro/área/setor, determinada a partir da organização produtiva do espaço. Os atributos ou características significativos refletem as relações morfológicas com o ambiente, quanto à acessibilidade, homogeneidade e funcionalidade. Abordando, dentro destas relações, a orientação das ruas, disposição dos volumes, capacidade térmica dos materiais e sua permeabilidade aos eventos atmosféricos, decorrente do grau de compacidade,

rugosidade e porosidade da estrutura urbana. Os atributos mais significativos decorrem da natureza dos acessos, funcionalidade e organização produtiva que devem visar a complementaridade. Recomenda-se a regularidade de alturas, afastamentos frontais e laterais, que definem o grau de penetração dos ventos contribuindo para a eficiência energética das edificações.

Escala específica do lugar

Abrange os espaços coletivos de valor, distintos do espaço de implantação das construções. Os atributos postulados são: identidade; otimização das relações pessoais; especificidade de funções; estética; apelo emocional; segurança. A análise define aspectos de disposição ambiental: controle de efeitos ambientais; posição dos elementos importantes do espaço; concentração ou expansão para quanto ao conforto ambiental; barreiras ou elementos facilitadores do fluxo de pessoas; ação dos efeitos ambientais na divisão ou unificação do espaço. Os atributos decorrem da natureza das ações cotidianas mais relevantes em sua relação com as estações, contribuindo para a manutenção e a identidade do lugar. Entre as recomendações estão o replantio de árvores danificadas e a implantação de lugares de sombra. Privilegia-se materiais e elementos ordenadores do espaço como a vegetação, a água, a luz, a cor o som e os aromas. Em suma, a humanização da paisagem amenizando impactos da urbanização no meio ambiente.

Escala específica do edifício

Os atributos desta escala são: proteção, otimização microclimática, controle e afeto. O edifício é concebido como um sistema de complexas relações energéticas com o entorno. O equilíbrio da troca determina o estado da energia em seu interior. Nessa escala os atributos mais importantes referem-se à qualidade do abrigo conforme as necessidades individuais. Recomendações devem incluir aspectos arquitetônicos e do cotidiano, acompanhados por um alto nível de embasamento técnico, princípios de eficiência energética e tecnologias que amenizem e valorizem a integração com o entorno, estudos sobre a forma e orientação das edificações, e a eliminação do conceito de barreira.

4.

Estratégias e princípios para o projeto urbano bioclimático

O desenho, equipamentos e configuração dos espaços livres e a definição de trajetos nas cidades, hoje estratégias do planejamento ambiental, são mencionadas como prioridades por Kevin Lynch (1962, apud Higuera, 2006) para a planificação urbana. As estratégias para obtenção de conforto devem atender as condições climáticas na maior parte do ano, em condições de calor ou frio.

A concepção bioclimática permite obter, através da estruturação da própria malha urbana, soluções para amenizar os fatores ambientais adversos, assim como evitar problemas relacionados ao clima urbano e aos efeitos da urbanização no ambiente atmosférico (Romero, 2000). Num ambiente tropical, por exemplo, de acordo com Corbella e Yannas (2003), pode-se aumentar o conforto térmico e diminuir o consumo de energia elétrica, através do desenho urbano. Pode-se modificar o caminho dos ventos para um sentido mais conveniente, e a configuração das sombras e a presença de água, melhorando as temperaturas locais.

Conforme Higuera (2006) o traçado da rede viária e a localização dos espaços verdes são as determinações mais transcendentais para o ambiente urbano. O sistema de zonas verdes e espaços livres é a espinha dorsal de qualquer intervenção que vise o conforto ambiental. Uma nova proposição de natureza na cidade deve priorizar o uso dos espaços por toda a população, sua continuidade espacial, e a biodiversidade. A crise ambiental contemporânea começa num contexto em que o jardim público é entendido como ornamento, forma inorgânica estática, esquecendo as exigências ecológicas de plantas exóticas ou nativas.

A vegetação deve ser estudada tanto em relação ao espaço urbano como um todo, como também quanto aos seus efeitos sobre a circulação dos ventos e a radiação solar. Deve proporcionar sombra, quando necessário, sem interferir com as brisas benéficas. Deve ser estudada quanto à sua função na adequação das espécies ao local conforme as estações.

Além das características paisagísticas, a vegetação estabiliza as encostas, retarda a erosão, influi na quantidade e qualidade da água, filtra a atmosfera, atenua os ruídos e constitui o habitat de numerosas espécies animais. A umidade ambiental é uma condicionante importante do desenho urbano, sendo determinada por elementos de água, nos espaços urbanos, tanto no sistema viário como nos espaços livres e verdes, sobretudo na presença de arborização frondosa. A localização, espécie e porte da vegetação, são elementos cruciais nos planos para proteger espaços livres e o equilíbrio do ecossistema urbano (Higuera, 2006).

As estratégias bioclimáticas para o sistema viário em geral devem ser adequadas aos critérios de insolação, vento e umidade. Um sistema viário hierarquizado, com graus variados de protagonismo do pedestre e da arborização, cria espaços microclimaticamente adequados.

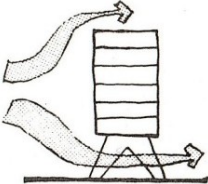
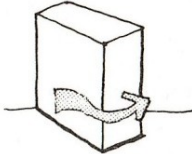
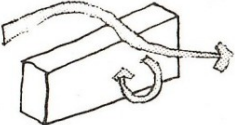
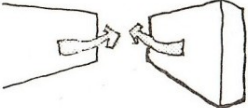
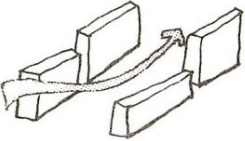
A importância do sol nos processos naturais faz da insolação um parâmetro determinante da qualidade ambiental. A incidência de radiação sobre os edifícios permite captar calor direta e indiretamente. Sobre espaços abertos melhora o conforto nos períodos pouco aquecidos, potencializando a iluminação e o crescimento da vegetação. A boa orientação da fachada não garante, por si só, a quantidade anual de horas de sol necessárias, para tanto se deve calcular a altura e distância entre edifícios, através de métodos gráficos (Higuera 2006).

Além da radiação solar direta e difundida pela atmosfera, existe a radiação refletida das superfícies do entorno, como o solo, e paredes de edificações vizinhas, sendo uma parte da radiação absorvida e outra refletida. A radiação solar pode ser atenuada por materiais e cores pouco refletivas, bem como pela vegetação, que absorve a radiação e aumenta a umidade pela evaporação, sem aumentar a temperatura. A relação entre a altura dos edifícios e a largura das vias, influi no condicionamento do microclima (Romero, 2000).

A definição da seção e orientação das ruas deve levar em conta os ventos dominantes no inverno e no verão. Como assinalado, os obstáculos urbanos, os edifícios altos, o grau de rugosidade das texturas superficiais, e a vegetação, representam barreiras importantes para o vento, podendo converter os fluxos superiores em diferentes correntes, aumentando em até três vezes a velocidade inicial. Conforme o clima e a região isto pode representar um fator benéfico ou adverso. Para resguardar as ruas dos ventos dominantes prejudiciais as melhores barreiras são os próprios edifícios (Higuera 2006).

Dentre os elementos climáticos, o vento é o mais afetado pela urbanização e, portanto, o mais passível de controle pelo desenho urbano. Nas regiões de clima tropical o aproveitamento do vento na ventilação urbana é fundamental, e depende do tratamento das características do vento dominante. Efeitos aerodinâmicos produzidos pelo vento devem ser considerados e utilizados de acordo com os objetivos do projeto: efeito de pilotis; efeito de esquina; efeito de barreira; efeito de Venturi; efeito canalização; efeito de esteira; efeito de redemoinho; efeito de zonas de pressão diferente; efeito de malha; e efeito de pirâmide (Romero, 2000).

Quadro V – Efeitos aerodinâmicos do vento

| Esquema | Efeitos |
|---|--|
|  | Efeito de pilotis Fenômeno de corrente de ar sob o imóvel. A entrada se faz em forma difusa, mas a saída é a jato. |
|  | Efeito de esquina Fenômeno de corrente de ar nos ângulos das construções. |
|  | Efeito de barreira Fenômeno de corrente de ar com desvio em espiral. |
|  | Efeito de Venturi Fenômeno de corrente de ar formando um coletor dos fluxos criados pelas construções projetadas num ângulo aberto ao vento. |
|  | Efeito de canalização Fenômeno de corrente de ar que flui por um canal a céu aberto formado pelas construções. |

Fonte: Extraído de Romero (2000, p.92).

- **Estratégias de Olgyay para as quatro regiões climáticas**

Victor Olgyay (1998), precursor das pesquisas de bioclimatismo que hoje ainda norteiam os estudos mais relevantes sobre o tema, apresentou objetivos gerais para as grandes regiões climáticas, dividindo-os em três grandes partes:

- A ordenação do conjunto, que trata de questões referentes à escolha do sítio, a estrutura urbana, os espaços públicos, a paisagem e a vegetação.
- O desenho da casa, onde especifica a tipologia das habitações mais aconselháveis, as distribuições das mesmas, a planta de distribuição, a forma e o volume, a orientação das fachadas e a cor mais adequada.
- Os elementos construtivos, que estariam mais de acordo com o critério bioclimático.

Devido à importância que mantém como referência sobre o tema, e para fundamentação aos objetivos do presente trabalho, cabe reproduzir aqui a parte do estudo de Olgyay (2008, p.155, 161, 167, 173) ¹⁷ que se refere à ordenação do conjunto, relacionado às quatro regiões climáticas que dividem o planeta - fria, temperada, quente-árida e quente-úmida ¹⁸.

REGIÃO FRIA

- 1 - Escolha da localização – para insolação, as encostas S e SE, são as mais favoráveis. Localizar-se a uma declividade média, ou média baixa, é benéfico para prevenir um efeito excessivo dos ventos e evitar o represamento do ar frio.
- 2 - Estrutura urbana - a ordenação deverá procurar proteção contra os ventos. As edificações de maior tamanho podem agrupar-se, embora mantendo espaços entre elas para aproveitar o efeito solar. As casas tendem a unir-se para expor a menor superfície possível e assim evitar as perdas de calor.
- 3 - Espaços públicos – protegidos do vento, com abertura para áreas de sombra periódica.
- 4 - Paisagem – a topografia geralmente variável, influi na definição das formas das ruas e na utilização do espaço, outorgando-lhe um caráter irregular.
- 5 - Vegetação – as barreiras vegetais protetoras mais favoráveis são aquelas constituídas por vegetação perene, orientadas segundo a orientação NO-SO e situadas a uma distância 20 vezes a altura das árvores. Próximo das casas se plantarão árvores de folha caduca. Deve-se evitar a vegetação em demasia em torno das habitações já que pode produzir umidade.

¹⁷ Tradução da autora.

¹⁸ A classificação das regiões e suas características referem-se ao hemisfério norte.

OBJETIVOS GERAIS NAS REGIÕES FRIAS: aumentar a produção de calor. Incrementar a absorção de radiação e a diminuição da perda por radiação. Reduzir as perdas por condução e evaporação.

REGIÃO TEMPERADA

1 - Escolha da localização – as encostas este ou sul são as mais adequadas, ao igual que ocorre com as necessidades de orientação. A parte mais quente das encostas é a melhor opção, não obstante, tanto a inferior como a superior serão também adequadas quando se procura a suficiente a proteção contra o vento. O aproveitamento das brisas em períodos quentes é muito importante.

2 - Estrutura urbana – a ordenação residencial mais adequada é a livre e aberta, onde os edifícios tendam a mesclar-se com a natureza.

3 - Espaços públicos – amplas áreas de gramas com grupos de árvores para proporcionar sombra são muito benéficos. A melhor disposição das ruas é segundo a orientação SO, já que assim podem evitar-se os ventos invernais e canalizar as brisas de verão. Os passeios peatonais podem traçar-se livremente.

4 - Paisagem – na etapa de projeto é importante ter em consideração a relação existente entre o interior e exterior de uma edificação. A utilização dos espaços externos adjacentes as zonas interiores poderá estender-se por vários meses, sempre e quando estão bem desenhados.

5 - Vegetação – a localização mais favorável das barreiras vegetais – elementos protetores contra os efeitos do vento – é a orientação NO, direção de procedências dos ventos invernais. Não obstante a disposição das arvores não devem bloquear o caminho das brisas de verão que sopram do sul e do sudoeste. As arvores de folhas perenes são as mais efetivas para a proteção contra o vento, ao contrário, as de folhas caducas são as mais adequadas para proporcionar sombra. Planícies cobertas de grama, situadas próximas das edificações são úteis para a absorção de radiação. Nos extremos leste e oeste das residências e preferível plantar árvores que proporcionam sombra.

OBJETIVOS GERAIS NAS REGIÕES TEMPERADAS: tanto o período frio como o quente, representa uma parte substancial do ano, portanto se faz necessário estabelecer certo equilíbrio estacional mediante medidas que permitam reduzir ou permitir – segundo o caso - aumentar a produção de calor, de radiação e de convecção.

REGIÃO QUENTE ÁRIDA

1 - Escolha da localização – nas encostas expostas a SE – E, as partes baixas são mais convenientes, nestas zonas é possível aproveitar e controlar eficazmente os fluxos frios de ar. Também são favoráveis as localizações altas e as que têm possibilidade de evaporação.

2 - Estrutura urbana – as paredes das casas e jardins deverão proporcionar sombra aos espaços exteriores da habitação. É conveniente que as unidades se agrupem em torno de um pátio ou zona similar, a concentração é favorável. Desta forma a estrutura urbana deverá responder ante ao calor com um tecido denso e sombreado.

3 - Espaços públicos – deve haver uma estreita conexão entre os espaços públicos e as áreas residências. É conveniente uma proteção solar total ou parcial, deverão evitar-se as superfícies pavimentadas; são benéficos os tanques de água.

4 - Paisagem – devido a que, em geral, nestas regiões a vegetação é escassa, a concentração de plantas e superfícies gramadas, na forma de “oasis” são muito favoráveis.

5 - Vegetação – a vegetação é um elemento importante, tanto pelo seu papel de superfície absorvente, como por suas propriedades de evaporação e sombra.

OBJETIVOS GERAIS NAS REGIÕES QUENTE-ÁRIDA - reduzir a produção de calor, facilitar a perda de radiação. Reduzir ganhos por condução. Impulsionar a evaporação.

REGIÃO QUENTE ÚMIDA

- 1- Escolha da localização – locais situados um pouco alto e de frente para a direção do vento são mais convenientes; em especial aqueles localizados próximos da crista onde recebe a maior quantidade de movimentos do ar. As encostas norte e sul são melhores que a leste e oeste devido principalmente a que recebe menor radiação.
- 2- Estrutura urbana – as casas devem estar separadas para aproveitar os movimentos do ar. Os espaços cobertos adquirem maior importância. O caráter do tecido urbano deve ser mais disperso e relaxado.
- 3- Espaços públicos – distâncias peatonais mínimas e preferivelmente sombreadas.
- 4- Paisagem – em áreas de topografia plana, a utilização integrada de água não é somente possível, mas benéfica. Os drenos de água deverão estar situados longe da casa; também deverão prever os caimentos necessários para permitir o escoamento da água no caso de tempestades muito fortes.
- 5- Vegetação – os galhos das árvores plantadas para proporcionar sombra deverão ser altos, para não interferir com as brisas. A vegetação baixa deve estar afastada da casa para não interromper o movimento do ar. O ar que incide numa estrutura procedente de um tanque a sombra é muito benéfico.

OBJETIVOS GERAIS NAS REGIÕES QUENTE-ÚMIDAS – reduzir a produção de calor. Reduzir os aumentos de radiação. Potencializar a perda por evaporação.

- **Princípios de desenho urbano bioclimático de Romero**

Romero (2000) apresentou princípios bioclimáticos do desenho urbano para os três tipos de clima encontrados nas regiões tropicais: o quente-seco, o quente-úmido e o tropical de altitude. Romero utilizou o método desenvolvido por Olgyay (1969) no estudo de cinco cidades da Colômbia, para estabelecer princípios para a localização, a orientação e a morfologia do tecido urbano nas regiões tropicais. O tratamento adequado da radiação, umidade e ventilação, e parâmetros para a configuração da forma, dos lotes, do tamanho dos espaços públicos, das ruas e da vegetação.

Nas regiões tropicais quente-secas há grandes variações climáticas e os ventos têm importância relativa. Estas regiões não apresentam um padrão de clima uniforme, sendo necessário dividi-las entre regiões com e sem inverno. As

exigências de controle nos períodos quentes são qualitativamente maiores que as dos períodos frios, sendo estes menos frequentes. A umidade do ar é baixa, a radiação solar direta é intensa e a difusa baixa.

Nas regiões tropicais de clima quente-úmido verificam-se pequenas variações de temperatura diárias e estacionais, a radiação difusa é muito intensa e a umidade do ar elevada. O controle deve tender a diminuir a temperatura, incrementar o movimento do ar, evitar a absorção de umidade, proteger das chuvas e promover seu rápido escoamento.

Nas regiões de clima mais ameno dos planaltos, ou clima tropical de altitude, as condições assemelham-se às do tropical úmido no período de chuvas e às do tropical seco no período de seca. No período de seca deve-se controlar o calor excessivo durante o dia e o frio à noite. A forma e desempenho das edificações são fundamentais, pois o traçado não é capaz suprir todas as exigências climáticas. O controle deve reduzir a geração de calor nas épocas seca diurna e nas úmidas, e incrementar o movimento de ar (sendo no período seco, quando não houver pó). Na época seca aumentar a umidade e reduzir a absorção de radiação no espaço urbano, permitindo a radiação nos edifícios principalmente no período seco, e controlar a luminosidade.

Seguem-se os critérios para escolha do sítio e definição da morfologia dos tecidos urbanos na região de clima tropical quente úmida que é a que interessa a este trabalho.

Regiões tropicais de clima quente-úmido

O primeiro critério refere-se à localização ou, como define Romero (2000), à escolha do sítio, que vai determinar os dados de ventilação e orientação. No clima tropical quente-úmido a localização do assentamento deve preferencialmente dar-se em lugares altos e abertos ao vento. Na orientação, a direção dos ventos dominantes é o elemento preponderante. Ventos de alta velocidade resultam tão incômodos quanto a ausência de ventos.

As declividades naturais devem ser mantidas, ou mesmo implantadas artificialmente quando necessário, de forma a favorecer o escoamento rápido das águas de chuva que alcançam grandes volumes nestas regiões. Este cuidado evita a acumulação de águas que estagnadas são propícias ao desenvolvimento de vetores prejudiciais a saúde. Por outro lado deve-se cuidar da proteção do terreno

contra a erosão. A drenagem do solo deve ser favorecida para diminuir o alto índice de vapor de água contido no ar.

O segundo critério envolve a morfologia do tecido urbano. Nas regiões quente-úmidas a forma do tecido urbano deve ser preferencialmente aberta, extensa e dispersa permitindo uma ventilação eficiente. Deve ser evitado um isolamento marcante entre os ambientes internos e externos favorecendo a implantação de espaços contínuos e integrados.

Em áreas com menor densidade de ocupação as construções, assim como as porções do tecido urbano, devem estar distanciadas e envolvidas por uma arborização capaz de absorver a radiação solar e fornecer sombra. A largura dos lotes deve ser maior que a profundidade e o alinhamento das edificações flexível, isto privilegia sua ventilação a partir dos logradouros, assim como as vedações pouco compactas com a utilização de materiais naturais.

Nas de maior densidade pode-se obter uma ventilação mais eficiente alternando construções de maior e menor gabarito de altura, pois quando este é homogêneo forma uma barreira que provoca o deslocamento do ar, impedindo a sua circulação no interior do tecido urbano.

A orientação das ruas deve buscar o sombreamento dos espaços públicos, favorecendo o usufruto da população. Isto pode ser obtido por meio do traçado das vias, com o dimensionamento diferenciado de caixas e passeios em determinados trechos, ou da implantação de elementos como a vegetação, pórticos e coberturas. Para caminhos só de pedestres a sombra deve ser densa; para caminhos de pessoas e de veículos a sombra deve ser mais leve, tomando-se o cuidado para evitar o acúmulo de poluentes logo abaixo das copas das árvores. Os ambientes devem ser compostos de forma que o cidadão conte com a alternativa de espaços sombreados e ensolarados.

Espaços públicos de pequenas dimensões permitem um melhor aproveitamento do sombreamento. Os espaços abertos e arborizados induzem à dissipação de calor através da evaporação e do diferencial térmico que produzem. A vegetação deve ser disposta do lado do poente, protegendo o trajeto do pedestre ou favorecendo sua permanência no logradouro. Os trajetos devem ser pouco extensos, de preferência com superfícies gramadas ao invés de pavimentadas, pois a grama absorve a radiação solar e reduz a reflexão sobre as superfícies construídas, cujos materiais acumulam calor.

5.

Abordagem metodológica para o estudo de caso

Os métodos dos autores referenciais¹⁹ foram adaptados com o objetivo de verificar em que medida os aspectos bioclimáticos, especialmente aqueles relacionados ao conforto térmico, foram considerados na definição dos traçados urbanos de projetos do concurso do Porto Olímpico da Cidade do Rio de Janeiro, que constituem o estudo de caso. A adaptação é necessária uma vez que os métodos originais têm objetivos, escalas e níveis de detalhamento diversos.

O objeto da análise são os quatro primeiros projetos classificados, que são analisados a partir das informações contidas nos memoriais descritivos e desenhos publicados no livro *Porto Olímpico do Rio de Janeiro*²⁰.

As categorias de análise adotadas se relacionam aos aspectos morfológicos do tecido urbano, de um projeto urbano em nível de estudo preliminar. Isto vai determinar uma primeira adaptação necessária nas metodologias originais. Os parâmetros de análise também se apoiam nas escalas de intervenção e respectivas ações, propostas por Romero (2008), para o desenho da cidade voltado ao conforto ambiental. Neste contexto, o estudo de caso se enquadra na escala intermediária, que corresponde a do bairro/área/setor, o que determina uma segunda adaptação.

As categorias de análise se baseiam nas características da forma urbana, enquanto condicionantes do clima urbano, conforme definido por Oliveira (1988), e segundo princípios e estratégias do projeto urbano bioclimático. Também são utilizados elementos do quadro síntese elaborado por Romero (2001, p.152), relacionado aos Aspectos da Análise do Urbano, que reúne elementos das análises de outros autores²¹ para o tratamento ambiental do desenho urbano - os “atributos

¹⁹ Romero (2001), Oliveira (1988), Higuera (2006).

²⁰ Porto Olímpico do Rio de Janeiro – Concurso Nacional de Projetos de Arquitetura. Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB-RJ): Rio de Janeiro, 2011.

²¹ Olgyay (1998), Oliveira (1988), Romero (1988), Givoni (1989) e Serra (1989).

do urbano”- agrupados em quatro grandes categorias: a forma, o traçado, a superfície e o entorno. Na presente adaptação constam somente os aspectos pertinentes ao nível de detalhamento e à escala do estudo de caso.

Para definição das categorias de análise busca-se selecionar, portanto, aquelas características da forma urbana que mais influenciam o clima local. Algumas destas características - uso do solo, densidade, etc. – são influenciadas por definições feitas na fase de planejamento, mas na análise pretendida interessam as soluções que integram a etapa de detalhamento do projeto urbano.

5.1 Categorias de análise

As categorias de análise são compostas pelas características morfológicas do tecido urbano, verificadas nos projetos segundo os benefícios esperados. As características consideradas são: Densidade de construção, Rugosidade, Porosidade, Orientação, Permeabilidade do solo, Espaços públicos abertos, e Vegetação. Os benefícios esperados refletem as definições de projeto relacionadas a essas características, quanto às necessidades de conforto frente às condições climáticas locais. A análise busca identificar a influência dos aspectos bioclimáticos na configuração dos projetos, a partir das correspondentes estratégias adotadas, ressaltando-se aquelas adequadas ao clima da região onde se insere a área de estudo, que na classificação geral, adotada por Romero (2000), é o quente-úmido das regiões tropicais.

O **Quadro IV** resume as categorias de análise, os aspectos relacionados e suas definições. Identifica-se a relação com as decisões de projeto, e a forma resultante, e sua relação com os elementos climáticos relacionados especialmente ao conforto térmico, explicitando assim sua relevância.

Quadro VI - Categorias de análise²²

| CATEGORIAS | | |
|------------------|---|--|
| | Aspectos | Benefícios esperados |
| DENSIDADE | <ul style="list-style-type: none"> Taxa de ocupação. Distâncias entre edificações. Alturas médias dos edifícios. | <ul style="list-style-type: none"> Favorecer a ventilação. Diminuir a concentração de radiação produzida pelas atividades antrópicas Diminuir a difusão da radiação solar captada. |
| RUGOSIDADE | <ul style="list-style-type: none"> Grau de fricção entre as massas de ar e as superfícies urbanas. Padrões de velocidades e direções dos ventos. Diversidades e diferencial de altura das edificações, e os índices de fragmentação das áreas construídas. | <ul style="list-style-type: none"> Favorecer a ventilação Aumentar as trocas térmicas por convecção Dissipar calor e poluentes Evitar efeitos incômodos do vento. |
| POROSIDADE | <ul style="list-style-type: none"> Grau de permeabilidade aos ventos no tecido urbano. Espaçamento entre as edificações e/ou arranjos morfológicos. Seção e orientação das ruas. | <ul style="list-style-type: none"> Favorecer a ventilação Aumentar as trocas térmicas por convecção Dissipar calor e poluentes |
| ORIENTAÇÃO | <ul style="list-style-type: none"> Posicionamento da estrutura urbana e/ou das ruas, frente aos caminhos do sol e vento. Posicionamento em relação a elementos como o mar, montanhas, lagos, etc.. Forma e tamanho das ruas. | <ul style="list-style-type: none"> Exposição ou abrigo dos efeitos climáticos dos elementos do entorno. Favorecer a ventilação. Evitar o excesso de radiação direta |
| PERMEABILIDADE | <ul style="list-style-type: none"> Infiltração de água no solo. Área do solo urbano coberta por edificações e construções. Áreas pavimentadas (ruas, passeios). Quantidade de solo nu compactado. | <ul style="list-style-type: none"> Favorecer a umidade do ar, e as perdas de calor por evaporação. Diminuir o acúmulo de energia radiante, a temperatura do ar, e ocorrências de inundações. |
| ESPAÇOS PÚBLICOS | <ul style="list-style-type: none"> Presença de áreas verdes, praças, parques. Distribuição, tamanho, localização. Conexões entre os espaços públicos. | <ul style="list-style-type: none"> Trocas térmicas com as morfologias urbanas adjacentes Redução de temperatura. |
| VEGETAÇÃO | <ul style="list-style-type: none"> Presença de arborização. Localização. Tipo e espécies. | <ul style="list-style-type: none"> Redução de temperaturas pelo consumo de calor latente por evaporação. Necessidades de sombra e circulação dos ventos. Criar ou evitar barreiras ao sol e vento. |

²² O conteúdo do quadro se baseia principalmente em Oliveira (1988).

5.2 Critérios de verificação

São definidos critérios que permitem identificar a forma pela qual os aspectos relacionados a uma determinada categoria foram apreendidos na leitura do projeto, se através de informações genéricas ou de demonstrações específicas. Cada categoria deve ter pelo menos um dos seus aspectos contemplados, tendo em vista os benefícios esperados. Assim são estabelecidos dois simples critérios de verificação:

- 1) **Sugerido:** Os aspectos relacionados a uma determinada categoria são mencionados de forma genérica, sem informar os parâmetros ou métodos aplicados na sua definição, mas, por uma análise gráfica e textual do conjunto, pode-se identificar aspectos potencialmente benéficos correspondentes a uma determinada categoria, ainda que não apresentados de forma sistematizada.
- 2) **Demonstrado:** O projeto apresenta informações explícitas relacionadas a uma determinada categoria, de forma gráfica ou descritiva, e a partir de detalhes, informações, dados utilizados, etc.

6.

Análise bioclimática da forma urbana:

O caso do Porto Olímpico

A definição do projeto do Porto Olímpico para estudo de caso considerou o fato de se tratar de uma área de renovação urbana, com grande expectativa de requalificação e incorporação de conceitos de sustentabilidade. O interesse da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, manifestado no edital do concurso, de que as novas edificações e os setores urbanos criados sejam claros indicadores de um novo patamar de qualidade ambiental na cidade, representa uma oportunidade para a aplicação da metodologia de análise. Por se tratar de novos projetos, em torno de um mesmo programa e concebidos sob o paradigma da sustentabilidade, o concurso oferece uma amostragem homogênea e bastante qualificada, que atende aos objetivos desta dissertação.

A cidade do Rio de Janeiro está localizada na latitude 22°54'. Na classificação de Köppen, o clima regional predominante é o Aw - clima tropical de inverno seco e verão chuvoso (Embrapa, 2004). Em nível local, segundo (Brandão, 2003), sua posição geográfica é um fator significativo na definição do clima da cidade, pois nessa latitude a trajetória do sol resulta em intensa insolação durante todo o ano. Por outro lado, posiciona a cidade na região transicional de conflito entre os sistemas atmosféricos polares e intertropicais.

O sítio urbano carioca, caracterizado por um relevo montanhoso e de baixadas, constitui outro fator importante para o quadro climático local. Aliado às peculiaridades do quadro litorâneo e às diferenças geradas pela própria estrutura urbana, fazem do Rio de Janeiro uma cidade de paisagens contrastantes e complexas. Significativas variações espaciais temporais nos atributos climáticos, em função da atuação diferenciada dos componentes geo ecológicos e de uso do solo, são perceptíveis.

A área de estudo situa-se nas proximidades da Avenida Brasil, uma das principais vias de acesso da cidade, onde predominam atividades industriais e

intenso fluxo de veículos. Apesar da baixa densidade, a ausência de áreas verdes e os elevados níveis de poluição mantêm as temperaturas locais em patamares mais altos (Brandão, 2003).

O concurso do Porto Olímpico²³ foi um concurso público nacional, promovido pela da Cidade do Rio de Janeiro e organizado pelo IAB – RJ, objetivando a seleção da melhor proposta arquitetônica e urbanística para as instalações olímpicas e seu respectivo entorno, a serem implantadas na Região Portuária da Cidade do Rio de Janeiro. Entre as instalações destacam-se: a Vila de Mídia e a Vila de Árbitros, que deverão atingir um mínimo de 10.600 quartos; o Hotel de 500 quartos; e o Centro de Convenções, que deverá abrigar instalações olímpicas provisórias. O termo de referência apresenta as bases para o desenvolvimento das propostas e um resumo de áreas relacionadas a um programa mínimo de arquitetura para as edificações dos diversos setores.

Foram analisados os quatro primeiros projetos classificados, do primeiro ao quarto lugar, relacionados a seguir nesta ordem, a partir do número de identificação no concurso e seus respectivos autores.

- (1) 219 _ João Pedro Backheuser
- (2) 239 _ Roberto Aflalo
Flavio Ferreira
Marcos Favero
Carlos Eduardo Spencer
Miguel Aflalo
José Luiz Lemos
- (3) 222 _ Francisco Spadoni
Tiago de Oliveira Andrade
- (4) 204 _ Jorge Mario Jauregui

Com o propósito de informar as principais diretrizes que nortearam a elaboração dos projetos, foi feito um resumo das diretrizes contidas no edital ²⁴, apresentado no **Quadro VII**.

²³ Todas as informações acerca do estudo de caso foram extraídas do livro “O Porto Olímpico do Rio de Janeiro”.

²⁴ Edital de Concurso Público MRJ/IPP e IAB-RJ N° 01/2010.

Quadro VII - Diretrizes do edital

| |
|---|
| A Vida Urbana Após os Jogos Olímpicos |
| As instalações projetadas devem abrigar de forma adequada as atividades do evento e deixar um legado para os programas previstos para o após evento, privilegiando a vida urbana e a população da cidade. |
| Requalificação do Entorno da Avenida Francisco Bicalho |
| A qualidade ambiental na nova área deve sinalizar um novo patamar para o desenvolvimento urbano. Através da valorização da interação social, de um tratamento paisagístico abrangente em varias escalas, e do reconhecimento das preexistências ambientais e culturais. Pretende-se reverter o quadro adverso da região da Avenida Francisco Bicalho e da Área Portuária, tornando-a indutora de um processo de ampla requalificação da Área Central do Rio de Janeiro. A diversidade programática deve ser um dos atributos qualificadores, onde o uso residencial desempenha papel relevante. É desejável a implantação de variadas escalas comerciais, incluindo prédios de escritórios e hotelaria. |
| Sustentabilidade |
| As decisões de projeto devem acompanhar as crescentes exigências de salvaguarda do meio ambiente. As questões de sustentabilidade surgem tanto no plano urbano quanto na arquitetura. Na correta definição dos volumes construídos, na implantação, aberturas e devidas proteções, aliadas ao plano paisagístico, para minimizar a insolação excessiva e garantir conforto térmico e reduzir o uso da climatização. Em nível de Estudo Preliminar, aparece também na especificação dos materiais, prevendo o armazenamento e uso da água bruta. E, ainda que os prédios não venham a ser certificados, são válidas as recomendações e exigências que caracterizam esse processo. Devem ser consideradas as diretrizes ambientais do Projeto Porto Maravilha que incluem: materiais com certificação ambiental; economia e reaproveitamento de água; economia e geração de energias limpas; maximização da ventilação e iluminação naturais; telhados verdes; acesso e uso de bicicletas. |
| Qualidade do Desenho |
| Destacam responsabilidade e consequência como parte das decisões de projeto em face das questões de custos, construtivas, do gerenciamento da realização e de sua adequação ao uso e usuários, itens que de fato atestam a eficiência do projeto. As decisões de projeto devem destacar a melhor imagem para o empreendimento, a qualidade do espaço e a eficiência técnica, mas, para um resultado pleno, devem estar sempre associadas a esses quatro itens. |
| Acessibilidade Universal/ Desenho Universal |
| O desenho universal expressa o desígnio hoje fundamental de que os planos- urbanos, de arquitetura, desenho industrial e produto - gerem espaços, objetos e signos que possam bem servir a todas as pessoas, portadoras ou não de deficiências. No plano urbano, a acessibilidade deve estar inteiramente integrada ao projeto de paisagismo, no movimento favorável do terreno, nos desenhos de piso, nos detalhes complementares. Deve estar também incorporada ao detalhamento de arquitetura dos prédios. |

As áreas definidas para a implantação do projeto, objeto do concurso Porto Olímpico, se localizam no lado oeste da área portuária da cidade do Rio de Janeiro pertencentes a I Região administrativa na Área de planejamento I, e integram o Projeto Porto Maravilha.

São duas áreas, designadas por sua posição em relação à Avenida Francisco Bicalho, Terreno Leste e Terreno Oeste (**Figura 8**), a saber:



Figura 8 – Ortofoto da região portuária com indicação dos terrenos objeto do concurso ²⁵.

²⁵ Fonte: Porto Olímpico do Rio de Janeiro – Concurso Nacional de Projetos de Arquitetura. Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB-RJ): Rio de Janeiro, 2011.

Terreno Leste

Formado por um único lote e conhecido por 'Praia Formosa', está limitado pela Praça Marechal Hermes, Rua General Luis Mendes de Moraes, Praça Dinah de Queiroz e imóveis do lado par da Rua Pedro Alves, que impedem sua ligação com grande parte do bairro do Santo Cristo: Imóvel sito à Praça Marechal Hermes, 63, com área 107.000 m² [RGI]. O Projeto Porto Maravilha previu vias cortando esse terreno e essas, para a formulação de propostas, poderão ser revistas.

Terreno Oeste

Formado pelos imóveis que compõem uma quadra entre as Avenidas Francisco Bicalho e Pedro II e as Ruas Melo e Souza e Idalina Senra, a saber: .Imóvel sito à Avenida Francisco Bicalho, no 146 [Usina de Asfalto], com área 15.880 m² [RGI]; .Imóvel sito à Avenida Pedro II, no 67 [CEDAE], com área 18.400 m² [RGI]; .Imóveis sitos à Rua Idalina Senra, nos 32, 34, 36, 38, 40, 42 e 46, e à Rua Melo e Souza, no 101, com área total 8.414 m² [RGI]. Somando uma área total de 42.694m².

A **Figura 9** mostra os dois terrenos, com a Avenida Francisco Bicalho ao centro e o bairro do Estácio ao fundo.



Figura 9 - Avenida Francisco Bicalho vista do mar, a Estação Rodoviária à esquerda. Fonte: IPP

6.1 Análise e resultados

Os projetos analisados neste estudo de caso serão citados segundo a ordem de sua classificação no concurso do Porto Olímpico: 1; 2; 3 e 4.

As categorias foram definidas com o objetivo de se identificar informações relacionadas às estratégias utilizadas para obtenção de uma forma urbana adequada ao clima, com foco no conforto térmico. Estas categorias estão inter-relacionadas, podendo ser tratadas em conjunto ou isoladamente, conforme o mais adequado para a clareza do desenvolvimento da análise. Para o conforto térmico, os principais controles devem visar reduzir a absorção de radiação e produção de calor, aumentar a perda de calor por evaporação e convecção, e incrementar o movimento do ar (melhorar a ventilação, reduzir temperaturas).

As imagens dos projetos constam da versão digital do livro *Porto Olímpico do Rio de Janeiro*. Serão apresentadas de forma simplificada, com o objetivo de ilustrar e destacar os aspectos relevantes para o foco da análise. Foram feitas pequenas edições, de forma a retirar informações ilegíveis em escala reduzida e destacar os aspectos considerados relevantes para o presente estudo.

Inicialmente, serão verificados e descritos os aspectos relevantes relacionados às categorias analisadas. O **Quadro VII** sintetiza essa verificação, relacionando cada projeto às categorias conforme os critérios de verificação. Em seguida serão apresentadas as conclusões e resultados obtidos

- **Soluções adotadas nos projetos relacionadas às categorias**

Densidade

A boa prática, para o tipo de clima local, minimiza a densidade e maximiza os espaços verdes e áreas livres, para reduzir a acumulação de calor. Na análise desta categoria deve-se também considerar que a densidade já está previamente definida no programa. A análise prende-se, então, às soluções adotadas para distribuir a densidade prevista, levando em conta as questões bioclimáticas. Na análise do arranjo geral dos conjuntos urbanos propostos, há uma potencial consideração quanto à adequação das densidades ao clima, ainda que sem uma referência direta. Verificam-se estratégias para geração de espaços públicos livres de forma a amenizar a densidade introduzida.

O projeto **1** destaca o alto coeficiente de área edificada do terreno oeste, e a pouca disponibilidade existente para geração de espaços públicos, em virtude da introdução de equipamentos que não permitem a densificação vertical. Propõe, como solução, a criação de uma extensa área de espaço livre, sobre o embasamento do centro de convenções, para implantação de um parque urbano. Menciona os conceitos adotados para solução da distribuição de altas densidades, com prédios entremeados por praças e rua de pedestres (**Figura 10**).



Figura 10 – Criação de áreas livres sobre embasamento de prédios (Projeto 1).

O projeto **2** faz menção específica ao conforto ambiental, explicando que os edifícios em fita ou em torre ficam mais estreitos, propiciando iluminação natural plena e ventilação cruzada, como no caso das habitações propostas. Justifica o conceito adotado como adequado às altas densidades, propiciando a geração de pátios internos com diversas áreas livres (**Figura 11**). No terreno oeste destaca a criação de uma grande praça pública, através da disposição dos edifícios.



Figura 11 – Forma e disposição dos prédios definindo iluminação natural e ventilação (Projeto 2).

O projeto 3 prioriza a construção de uma grande praça na implantação do complexo empresarial. No setor habitacional adota o princípio de quadra única, criando um espaço coletivo no centro da quadra e outros, de uso mais reservado, sobre as garagens entre os edifícios (**Figura 12**). Também na área dos hotéis a ocupação de todo o perímetro propicia a abertura de um grande espaço público central.



Figura 12 – Princípio de quadra única, criando espaço coletivo central (Projeto 3).

O projeto 4 menciona as diretrizes de zoneamento baseadas no conceito de eco eficiência, localizando edifícios altos distantes do canal para assim obter uma boa área de praça a céu aberto (**Figura 13**).



Figura 13 – Zoneamento e implantação a partir de conceitos de eco eficiência (Projeto 4)

Rugosidade e porosidade

Em geral, estas duas categorias são tratadas em conjunto, pois são diretamente associadas e complementares. Na análise, buscam-se informações relacionadas: ao acesso e favorecimento da ventilação nas áreas urbanas e edificações; aos efeitos nos ventos locais; à mitigação de problemas de turbulência; aos efeitos incômodos para pedestres e usuários dos espaços abertos. A análise abrange também a orientação em relação aos ventos, já que está relacionada, em especial, ao aspecto da porosidade.

Verifica-se, de forma geral, uma potencial atenção ao aspecto da ventilação nos tecidos urbanos propostos em todos os projetos. Em relação ao acesso e movimento do ar se observa, por exemplo, diversidade de alturas e espaçamentos das edificações, além de menções ao aproveitamento da ventilação natural. Detalhes das edificações como abertura, elevações e pilotis também podem contribuir para o acesso e o movimento do ar (**Figuras 14, 15, 16, e 17**).



Figura 14 – Perfil das edificações (Projeto 1)



Figura 15 – Perfil das edificações (Projeto 2)



Figura 16 – Perfil das edificações (Projeto 3)



Figura 17 – Perfil das edificações (Projeto 4)

De forma mais específica, constam informações sobre a aplicação de técnicas para conhecimento e simulação das condições de ventos locais.

O projeto 2 mostra um estudo específico das condições de vento locais, verificando padrões de ventos dominantes (velocidades e direções ao longo do ano) para favorecimento da ventilação natural, e obtenção de ventilação adequada dos pátios externos, evitando desconforto de ventos fortes (**Figura 18**). Também é estudada a interação dos ventos com o conjunto dos edifícios, verificando-se a criação de áreas de baixa e alta pressão na malha de edifícios do terreno leste, que contribuem na movimentação do ar e direção dos ventos, e na área de torres, para solução de possíveis problemas de turbulência (**Figura 19**).

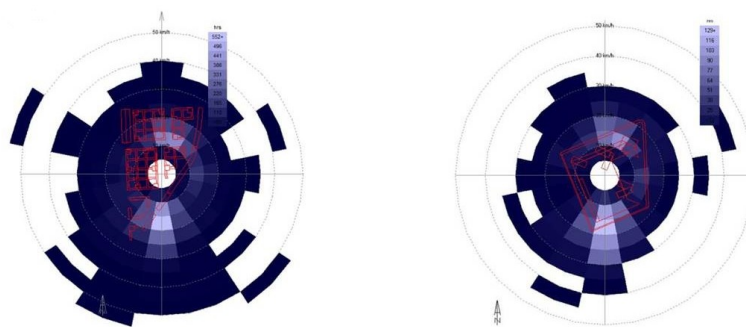


Figura 18 – Gráfico da velocidade e direção dos ventos predominantes (Projeto 2).

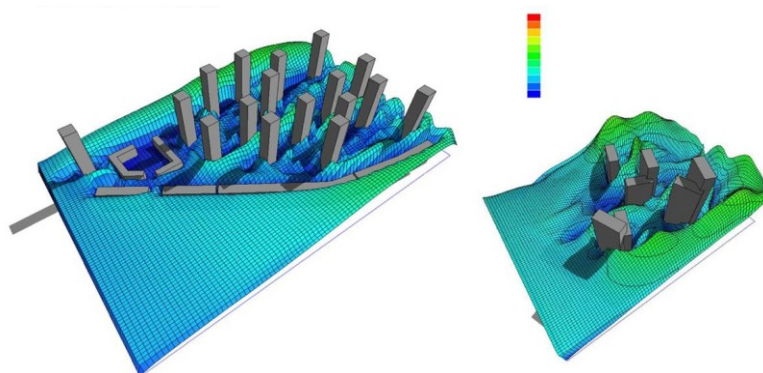


Figura 19 – Estudo dos ventos predominantes na área de projeto, sobre modelo digital do terreno (Projeto 2).

O projeto 3 menciona o favorecimento da circulação dos ventos e do controle da temperatura, através do formato aerodinâmico e de aberturas na arquitetura do prédio do hotel, assim como pelos canais de ventilação naturais no setor habitacional (**Figura 20**).

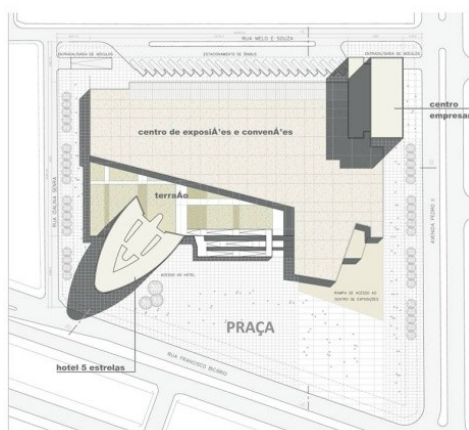


Figura 20 – Uso de formas aerodinâmicas para favorecer a circulação dos ventos (Projeto 3).

No projeto 4 é mostrado um estudo sobre as direções dos ventos predominantes de inverno e verão. Também é apresentado um esquema da movimentação do ar em torno dos edifícios, sua interação com a forma dos mesmos e com os elementos de sombreamento e vegetação, privilegiando a saída de ar quente e refrescando o edifício, com reflexos no microclima do entorno (**Figuras 21 e 22**).

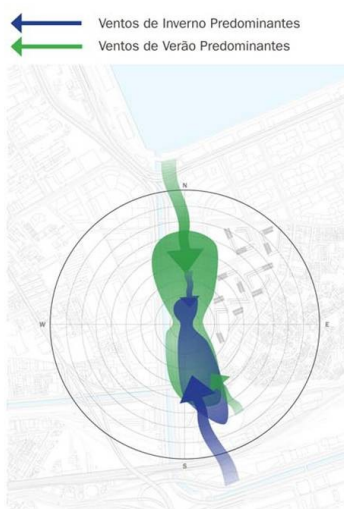


Figura 21 – Estudo da influência dos ventos na área de projeto (Projeto 4)

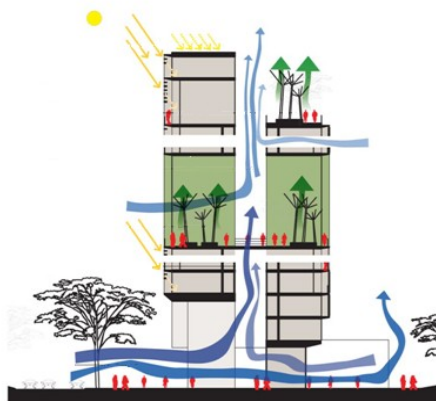


Figura 22 – Esquema de movimentação do ar em interação com a forma dos edifícios (Projeto 4).

Orientação

Esta categoria se verifica exclusivamente através de informações específicas nos projetos. Busca-se apreender as influências do sol e do vento na definição da forma e orientação do conjunto edificado, vias, e espaços públicos abertos. Em relação ao vento consideram-se os estudos e informações já identificados no item rugosidade e porosidade, se acrescentando aqui aquelas relacionadas exclusivamente à orientação relativa ao sol.

O projeto 2 destaca o uso de softwares de desempenho para análise de condições climáticas, na determinação da disponibilidade dos recursos naturais e implantação ideal dos edifícios. Com o uso do diagrama solar (**Figura 23**) se verifica como o movimento do sol afetará o potencial de coleta de energia solar, e a melhor orientação para reduzir ganhos de calor. Também é verificada, para os dois terrenos, as condições de sombreamento obtidas entre os edifícios, de forma a reduzir a carga térmica sem criar grandes sombras ou áreas escuras. Além destes, o projeto também indica a realização de estudos da radiação solar (**Figura 24**), identificando as áreas de maior incidência e carga solar, de forma a determinar o tratamento das fachadas, as possibilidades de sombreamento e a localização de equipamentos de energias renováveis. Indica o uso de persianas e *brise-soleil*, de acordo com a orientação das fachadas. Menciona que orientação e disposição da volumetria do centro empresarial se ligam às questões de conforto ambiental e visual da cidade, com redução de ganhos de calor, voltadas para o eixo norte-sul, com menor incidência de radiação em relação ao eixo leste-oeste.

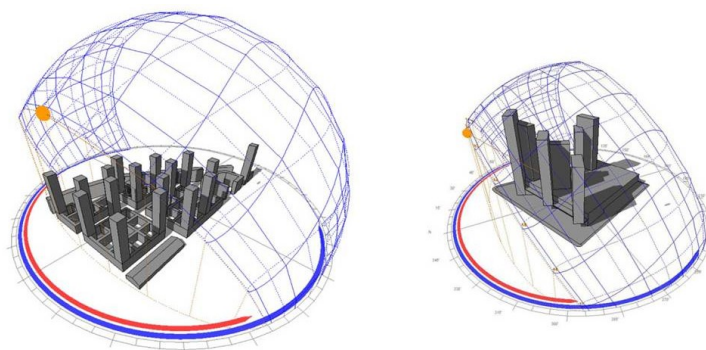


Figura 23 – Diagrama solar para definição da orientação e sombreamento (Projeto 2).

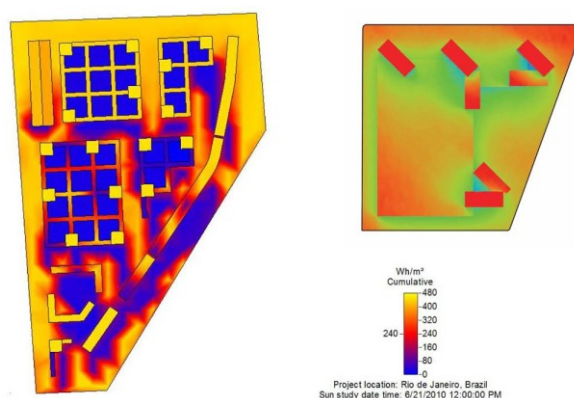


Figura 24 – Estudo da incidência de radiação solar (Projeto 2).

No projeto 3 está indicado o uso de diagrama solar para o estudo de proteção das fachadas da insolação direta, através de *brises* laminares, nos prédios do terreno oeste, mostrando também estudos de insolação da praça central e pátios elevados coletivos do terreno leste (**Figura 25**).

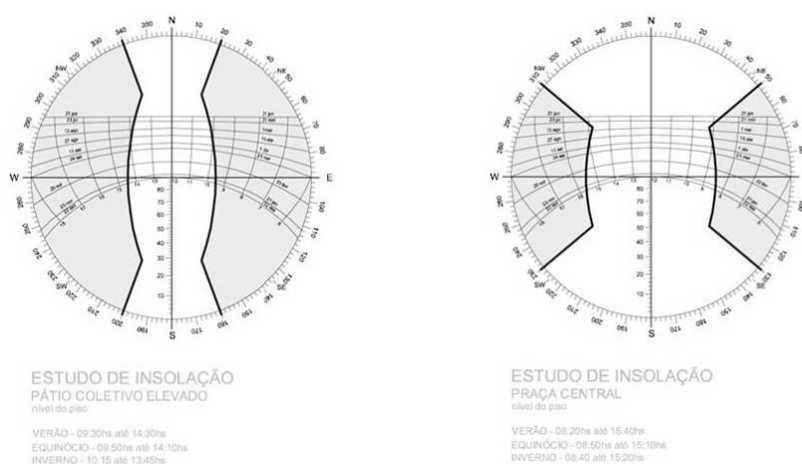


Figura 25 – Estudo de insolação através de diagrama solar (Projeto 3).

O projeto 4 apresenta um estudo da trajetória solar sobre os terrenos nos solstícios de verão e inverno (**Figura 26**), e, de forma esquemática, a incidência de sol nas fachadas conforme as diversas orientações, indicando os respectivos dispositivos de proteção e sombreamento como: *brise soleil*; saliências do edifício para sombreamento do piso térreo; e outros (**Figura 27**). Além de uma indicação específica na torre do hotel em relação à trajetória solar com indicação de *brise soleil* para a fachada norte.

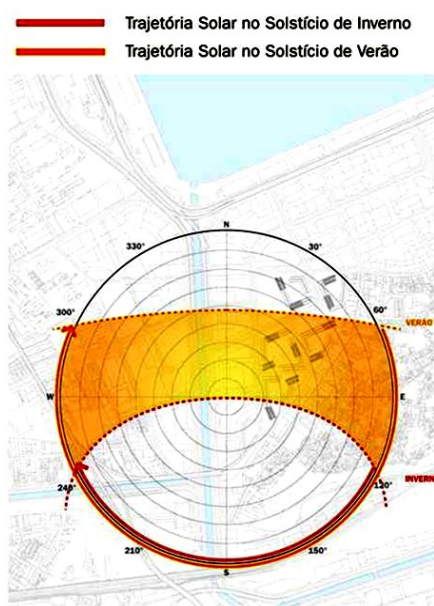


Figura 26 – Estudo da trajetória solar nas estações (Projeto 4).

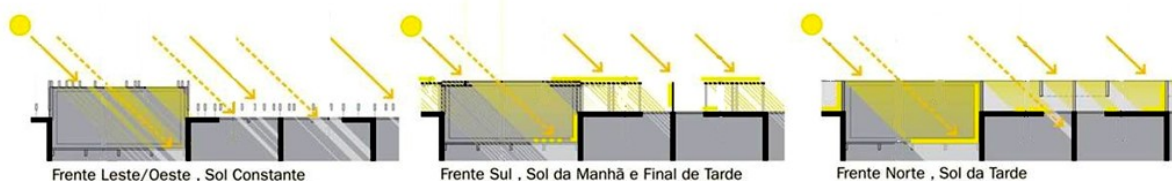


Figura 27 – Incidência de sol nas fachadas conforme a orientação (Projeto 4).

Permeabilidade

A análise dessa característica é relacionada à proporção de áreas livres, recobertas por vegetação e menor uso de pavimentação, para obter maiores taxas de infiltração de água no solo. Os materiais de revestimento apresentam variados graus de permeabilidade, mas não são considerados nesta análise, dado o nível de detalhamento que não contempla a especificação de materiais, exceto por uma ou outra referência específica destacada no projeto.

Em todos os projetos se pode apreender, numa análise geral dos tecidos urbanos apresentados, que este aspecto é contemplado, através de diversas praças e parques, indicados graficamente como áreas gramadas, ou não revestidas, arborizadas, e com canteiros. Também as soluções como coberturas verdes se destacam como estratégias para melhorar as temperaturas tanto do edifício como do ambiente próximo.

O projeto **3** destaca, de forma específica, a taxa de 50% de permeabilidade do solo no setor habitacional.

As informações gráficas que permitem identificar os aspectos relacionados à permeabilidade estão também relacionadas à categoria de espaços públicos e vegetação. Os perfis representados na categoria relativa à porosidade e rugosidade também ilustram as informações sobre tetos verdes e terraços jardins.

Espaços Públicos e Vegetação

Essas categorias também são tratadas de forma conjunta, já que são diretamente interligadas e apresentadas em nível de estudo preliminar, com pouco detalhamento. Podem aqui também ser referidas individualmente, conforme necessário. Em todos os projetos verifica-se a preocupação na criação de espaços públicos abertos, além daqueles de uso mais reservado das áreas habitacionais, distribuídos de forma diversa entre as áreas edificadas, como mencionado na análise das densidades. Percebe-se nos diversos projetos, a presença de terraços e jardins nos andares intermediários e coberturas dos edifícios residenciais, de hotéis, como no complexo empresarial.

O projeto **1** destaca a criação de um grande parque urbano com 40.000m² (**Figura 28**). Verifica-se também, em representação gráfica, a proposta de jardins

nas coberturas do hotel e edifícios empresariais, e no andar intermediário do hotel. Menciona a proposta de um bairro no setor habitacional, composto por pequenas praças, e vias ladeadas de árvores frondosas, com calçadas cômodas para o pedestre. Praças, ruas de pedestres e parques de diversos tamanhos e usos unidos na trama residencial, além das coberturas dos estacionamentos, com tratamento vegetal, como pequenos parques.



Figura 28 – Parque urbano sobre o embasamento de edificações (Projeto 1).

O projeto 2 destaca a geração de pátios internos com áreas livres de lazer (**Figura 29**), além dos terraços-jardins privados de alguns apartamentos, e um parque linear acompanhando o edifício em fita implantado ao longo da divisa do terreno, com acessos de pedestres para a vizinhança. No terreno oeste é criada uma grande praça pública.



Figura 29– Áreas livres de lazer entre os edifícios (Projeto 2).

O projeto 3 apresenta uma grande praça no terreno oeste e terraço-jardim junto ao centro de convenções (**Figura 30**). No setor habitacional apresenta uma praça central desenhada como um jardim público para os espaços coletivos, além de outros de uso mais reservado sobre as garagens entre os edifícios. Na área dos hotéis que ocupa todo o perímetro, é proposta uma grande área pública central.



Figura 30 – Praça e terraço jardim (Projeto 3).

O projeto 4 também propõe uma grande praça no terreno oeste, e menciona a nova avenida criada para conexão dos dois terrenos, são propostos jardins e espaços verdes margeando essa avenida juntamente com comércio, hotéis, e edifícios de habitação. E especialmente em relação à vegetação, é destacada a incorporação nos dois terrenos de uma forte presença de vegetação nativa, no piso térreo, como também nas coberturas e terraços jardins de uso comum, estendendo-se aos espaços privados (**Figura 31**). Destaca as coberturas terraços jardins que ajuda a refrescar o espaço das torres. Também é mostrado um esquema de interação da arborização para sombreamento da rua e ar fresco para resfriamento do edifício e no entorno.



Figura 31– Praça e terraço jardim (Projeto 4).

QUADRO VIII – Quadro síntese de verificação

| Categorias de análise | Projeto | | | | | | | |
|------------------------------|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | S | D | S | D | S | D | S | D |
| Densidade | ● | | | ● | ● | | ● | |
| Rugosidade e Porosidade | ● | | | ● | ● | | | ● |
| Orientação | ● | | | ● | | ● | | ● |
| Permeabilidade | ● | | ● | | | ● | ● | |
| Espaços públicos e Vegetação | | ● | | ● | | ● | | ● |

Elaboração da autora

- **Análise e resultados**

As categorias de análise selecionadas reúnem um conjunto de atributos que contemplam: aspectos qualitativos, relativos ao tratamento dos espaços, conforto do usuário, dispositivos de proteção aos elementos do clima, acessibilidade, etc.; e aspectos quantitativos, que traduzem a conformação física da cidade, suas densidades, superfícies, dimensões, perfis, etc.

A análise do conjunto de projetos, desenvolvida de acordo com a metodologia definida, permitiu verificar as informações concernentes aos aspectos bioclimáticos capazes de contribuir para a melhoria do conforto térmico no ambiente urbano.

Em alguns projetos, essas definições são incorporadas de forma mais subjetiva, deduzidas a partir de uma análise visual do conjunto. Em outros, há maior precisão na abordagem dos elementos climáticos locais e sua interação com o conjunto edificado, a partir da apresentação de estudos e informações mais detalhadas. Muitas das soluções, entretanto, se referem, mais especialmente, ao tratamento arquitetônico dos edifícios.

Nos projetos, as informações mais uniformes se referem à adequação das quantidades e usos, fatores que se encontram bem definidos no edital e cuja

demonstração de atendimento é entendida como fundamental. Já as questões relacionadas aos aspectos bioclimáticos constam no edital, no item relativo à sustentabilidade, como recomendações gerais, mas sem parâmetros ou exigências mais específicas de que esses aspectos devam ser apresentados ou demonstrados nos trabalhos. Pode-se concluir que o tratamento dado a essas questões ficou a cargo da decisão dos arquitetos.

Cabe registrar que a falta de profundidade do edital, quanto ao estabelecimento de parâmetros bioclimáticos específicos, também reflete uma lacuna da legislação urbana e edilícia, que só recentemente começa a tratar desta normatização, como, por exemplo, no Plano Diretor da Cidade do Rio de Janeiro, de 2011. O estudo da legislação urbana, entretanto, por sua complexidade e abrangência, não faz parte dos objetivos desta dissertação, podendo ser tema de estudos futuros.

Nos projetos analisados, as categorias relativas à densidade, espaços públicos e permeabilidade do solo, constituem um grupo de mais fácil apreensão. Isto reflete na maior consistência e legibilidade das soluções apresentadas para tratamento desses aspectos. Os espaços públicos livres abertos oferecem grandes possibilidades de se criar soluções efetivas para obtenção dos benefícios esperados para essas categorias. Especialmente as áreas de parques, capazes de produzir efeitos microclimáticos significativos no entorno imediato, graças ao desempenho das áreas arborizadas frente às adversidades climáticas. Pode-se constatar que os projetos analisados apresentam, no nível de um estudo preliminar, um bom potencial para usufruir de forma conveniente dessas possibilidades.

É possível encontrar, em todos os projetos analisados, soluções arejadas em termos de adensamento das construções, com diversos espaços abertos, públicos e privados, entremeados às construções, o que propicia maior quantidade de áreas verdes, solos mais permeáveis, e possibilidades de arborização. Entretanto, nas etapas subsequentes, deve ser ajustada, com maior precisão, a implantação dos espaços livres, que devem receber um tratamento adequado para o tipo de uso, com especial atenção quanto aos materiais de revestimento, e a escolha e localização das espécies vegetais.

Nesse contexto, observa-se no conjunto de projetos uma tendência positiva quanto à consideração dos aspectos bioclimáticos na definição da forma urbana. O

principal fator que conduz a essa conclusão se refere à morfologia dos conjuntos urbanos propostos que, de forma geral, apontam para respostas adequadas ao contexto climático local, conforme os fundamentos estudados. Apreende-se um tratamento integrado de aspectos conceituais entendidos como determinantes para a sustentabilidade das cidades - densidades, diversidades de usos, acessibilidade e integração – e especificidades climáticas e de conforto. Outro fator significativo é a demonstração de técnicas e ferramentas utilizadas no levantamento das condições climáticas locais, especialmente insolação e ventilação, simulações da concentração de radiação solar, do comportamento dos ventos no conjunto edificado, geração de sombras sobre outras edificações e espaços abertos, além de tratamentos específicos dados às edificações.

Cabe mais uma vez ressaltar que a análise dos projetos está restrita a uma fase preliminar de projeto, quando se procura adequar o conteúdo programático e indicar diretrizes gerais de implantação. Entretanto, deve-se reforçar a necessidade das considerações dos aspectos bioclimáticos em todas as etapas, desde o planejamento até a fase final de detalhamento dos projetos.

Como recomendações para as etapas seguintes do desenvolvimento do projeto, considera-se importante fortalecer os aspectos potencialmente positivos, a partir de levantamentos específicos das condições climáticas, aprofundando os estudos sobre os efeitos das novas estruturas no ambiente, buscando mitigar efeitos que possam ser negativos e melhorar as condições adversas preexistentes.

Estudos, dos diversos autores pesquisados, definem princípios de desenho e morfologias mais adequadas a cada contexto climático. São diretrizes gerais que, incorporadas ao projeto, possibilitam um melhor desempenho das novas estruturas em termos de conforto térmico. Entretanto, quanto mais definidos os projetos a partir das características locais relacionadas ao clima e o território, mais particularizadas são as soluções e estratégias, e melhores os resultados obtidos, minimizando gastos para remediar ou amenizar situações adversas não previstas.

7.

Conclusão

O planejamento urbano sustentável engloba aspectos ecológicos, econômicos, sociais e culturais. Sua meta é a construção de uma cidade saudável, com formas adequadas, espaços públicos que promovam a sociabilidade e a boa circulação, e baixos níveis de poluição. Neste contexto, o conforto térmico urbano assume importância como um dos elementos essenciais à saúde e bem estar da população.

O desenho urbano, embora não seja capaz de fornecer todas as soluções para as inúmeras e complexas questões envolvidas no funcionamento de uma grande cidade, pode ajudar a prover uma base material adequada para que suas principais funções se realizem de forma sustentável. Os princípios do bioclimatismo se integram aos objetivos da sustentabilidade, e aplicados à arquitetura e ao urbanismo podem constituir ferramentas eficazes dessa construção.

Inspirado em técnicas da arquitetura vernácula, o bioclimatismo, como área multidisciplinar do conhecimento, traduz a progressiva evolução e sistematização de seus objetivos originais, ou seja, construir tendo em vista, além do conforto, o aproveitamento energético potencial de um determinado local. Sua prática é bastante comprovada e consolidada em projetos de arquitetura. No projeto urbano teve sua aplicação efetiva postergada, em parte em função da complexidade que envolve as cidades, em comparação a um projeto arquitetônico isolado, mas também por haver menor disseminação das técnicas e ferramentas disponíveis para o tratamento bioclimático na escala urbana. Neste sentido, cabe destacar a, ainda reduzida, proporção dedicada ao urbano em publicações que tratam do tema do bioclimatismo.

Contudo, cada vez mais, a abordagem bioclimática urbana tem deixado de lado seu caráter experimental em vista da constatação imediata de que sua prática pode levar à redução do consumo de água e energia, melhorar o microclima local

e a qualidade de vida na cidade. Estes resultados são patentes nos exemplos de ecocidades e bairros verdes, implantados nas últimas décadas em vários países.

A percepção dos fenômenos climáticos foi fundamental para que a humanidade encontrasse, na constituição de seu habitat, respostas adequadas na busca de proteção, conforto e equilíbrio térmico, essenciais ao seu bem estar e sobrevivência. Estas respostas foram materializadas na expressão arquitetônica e urbanística dos assentamentos humanos, característicos das diversas regiões do planeta acompanhando o desenvolvimento tecnológico e cultura das regiões.

Na formação do clima interagem diversos fatores e elementos característicos do lugar. Em cada uma das escalas de estudo determinados fatores se tornam mais preponderantes que outros. Essa compreensão estabelece uma base para o entendimento do processo de formação do clima urbano, a partir de suas principais influências, destacando-se, entre estas, a própria forma urbana, e da relação entre seus elementos climáticos e o conforto térmico humano.

O conforto térmico é influenciado por um conjunto de variáveis, diferenciadas entre as pessoais e ambientais. Modelos de conforto térmico, como as cartas bioclimáticas, desenvolvidos com base na realidade local, permitem identificar as variáveis do meio que podem ser modificadas ou aproveitadas para obter as condições de conforto desejadas. A partir dessas especificidades, é possível estabelecer princípios de desenho compatíveis, obtendo harmonia entre a forma urbana e o território pré-existente, conjugando aspectos estéticos e de paisagem aos processos ambientais e climáticos, aproveitando ao máximo os recursos disponíveis, evitando efeitos negativos e melhorando climas adversos a partir de ações que beneficiem o microclima.

Projetos em áreas de expansão e renovação trazem grandes oportunidades para o incremento dessas práticas, que devem ser definidas já nas primeiras etapas de projeto. A definição do projeto do Porto Olímpico para estudo de caso considerou principalmente essa possibilidade. O interesse da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, manifestado no edital do concurso, de que as novas edificações e setores urbanos sejam claros indicadores de um novo patamar de qualidade ambiental na cidade, representou uma oportunidade para a aplicação da metodologia de análise. Por se tratar de projetos em torno de um programa com grande expectativa de requalificação e incorporação de conceitos de

sustentabilidade, o concurso ofereceu uma amostragem homogênea e bastante qualificada.

A metodologia adotada teve como objetivo verificar em que medida os aspectos bioclimáticos foram considerados na amostra de projetos analisada. Através dela foi possível identificar as informações relevantes para a melhoria do conforto térmico, possibilitando verificar, ainda numa fase preliminar, a necessidade de novos estudos e que fundamentem as decisões de projeto na direção de uma forma urbana mais adequada às condições climáticas locais.

Foi possível encontrar uma tendência positiva na consideração de aspectos bioclimáticos na morfologia dos conjuntos urbanos propostos que, de uma forma geral, se mostram adequadas ao clima local. Outro fator positivo foi a apresentação de técnicas e ferramentas utilizadas no levantamento das condições climáticas locais, especialmente aquelas relativas à insolação e ventilação, simulações da concentração de radiação solar, do comportamento dos ventos no conjunto edificado, geração de sombras sobre outras edificações e espaços abertos, além de tratamentos específicos dados às edificações.

Por outro lado, esses aspectos são apresentados muitas vezes de forma subjetiva, sem explicitar estudos específicos a partir de dados climáticos locais ou simulações. Nota-se, ainda, que muitas soluções apresentadas relacionam-se mais ao tratamento arquitetônico dos edifícios, de forma isolada. Essas constatações apontam para a necessidade de maior normatização específica, que incremente a inclusão de todo o arcabouço teórico relacionado ao projeto bioclimático para a prática corrente, também na escala do projeto urbano.

O estudo dos fatores envolvidos na interação do homem com o meio ambiente mostra que o projeto é capaz de contribuir efetivamente para o conforto térmico do espaço habitado. A escolha e o uso adequado dos elementos construtivos e dos dispositivos de controle dos fatores climáticos, aliados a uma correta implantação, podem definir um espaço urbano em maior harmonia com o meio, com benefícios perenes para os habitantes da cidade.

Desta forma, espera-se contribuir, ainda que modestamente, na fundamentação de decisões de projeto e planejamento que contemplem aspectos climáticos e do conforto térmico na concepção do tecido urbano, ampliando os níveis de conforto e sustentabilidade nas cidades.

8. Referências Bibliográficas

ASSIS, Eleonora S. – A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. Maceió: ENCAC-ELACAC, 2005.

ASSIS, Eleonora S. – Impactos da forma urbana na mudança climática: Método para previsão do comportamento térmico e melhorias de desempenho do ambiente urbano. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, FAU-USP. São Paulo: USP, 2000.

BARBIRATO, G. M. – Cidade e Clima – a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.

BARROSO-KRAUSE et alli – Apostila Bioclimatismo no projeto de arquitetura: dicas de projeto, FAU UFRJ, 2005

BRANDÃO, A. M. P. M. – O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: MENDONÇA, Francisco, MONTEIRO, Carlos Augusto (Orgs.) – Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003.

BROEK, Jan - Geography, Its Scope and Spirit. Tradução de Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1972.

CORBELLA, O. D., MAGALHÃES, M.A.A. – Conceptual differences between the bioclimatic urbanism for Europe and the tropical humid climate. Renewable Energy 33 (2008) 1019-1023.

CORBELLA, O. D., YANNAS, Simos – Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003

FROTA, Anésia Barros, SCHIFFER, Sueli Ramos – Manual de conforto térmico. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, Baruch – Climate considerations in Buildings and Urban Design. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GOLANY, G. S. – Urban design morphology and thermal performance - Atmospheric Environment, v.30, n° 3, p.455-465, 1996.

- HIGUERAS, Ester - Urbanismo Bioclimático. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.
- HOUGH, Michael – Cities & Natural Process – A basis for sustainability. London and New York: Routledge, 2006.
- KATZCHNER, L. - Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído. 4, 1997, Salvador. Anais. Salvador: ANTAC, 1997, p. 49-58.
- LAMAS, Jose M. Ressano Garcia – Morfologia Urbana e Desenho da Cidade. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.
- LAMBERTS, Roberto – Conforto e Stress térmico – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- LAMBERTS, Roberto – Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW Editores, 1997.
- LANDSBERG, Helmut E. – The Urban Climate. New York: Academic Press, 1981.
- LANHAM, Ana; GAMA, Pedro; BRAZ, Renato. - Arquitetura Bioclimática, Perspectivas de inovação e futuro. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2004.
- LEMO, Maria Fernanda – Notas de aula do curso de Engenharia Urbana e Ambiental – PUC-RIO, 2008.
- LYNCH, Kevin – A Imagem da Cidade. São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- McHARG, Ian L. – proyectar con la natureza. Barcelona: Gustavo Gili, 2000.
- MENDONÇA, Francisco, DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. – Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MENDONÇA, Francisco, MONTEIRO, Carlos Augusto (Orgs.) – Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003.
- NÓBREGA, Ranyére Silva - Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler - Revista Brasileira de Geografia Física, 03(2010) 18-22.
- OKE, T. R. - Street Design and Urban Canopy Layer Climate - Energy and Buildings, 11(1988)103-113.
- OKE, T. R. - Towards a prescription for greater use of climatic principles in settlement planning - Energy and Buildings, 7 (1984) 1-10.
- OLGYAY, Victor - Arquitectura y clima. Manual de diseño para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

OLIVEIRA, Paulo Marco Paiva de - Cidade Adequada ao clima – a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Brasília: Editora Universidade de Brasília (Textos Universitários), 1988.

OLIVEIRA, Paulo Marco Paiva de – Metodologia do desenho urbano considerando os atributos bioclimatizantes da forma urbana e permitindo o controle do conforto ambiental, do consumo energético e dos impactos ambientais. Brasília: 1993

RANDALL, Thomas. - Sustainable Urban Design. New York: Spon Press, 2005.

RIO DE JANEIRO (Município) – Lei Complementar Nº 111 - Dispõe sobre a Política Urbana e Ambiental do Município, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município do Rio de Janeiro e dá outras providências. Rio de Janeiro, 1 de Fev. 2011.

RIVERO, Roberto. - Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores, 1986.

ROGERS, Richard. - Cidades para um Pequeno Planeta. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2001.

ROMERO, M. A. B. – Arquitetura Bioclimática do Espaço Público. Editora Universidade de Brasília, 2001.

ROMERO, M. A. B. – Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano. São Paulo: ProEditores Associados Ltda, 2000.

ROMERO, M.. - Desenho da cidade e conforto ambiental. Revista de Urbanismo e Arquitetura, América do Norte, 7, out. 2008. Disponível em: <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/rua/article/view/3148>. Acesso em: 10 Dez. 2011.

SPIRN, Anne Whinston. - O jardim de Granito: A natureza no desenho da cidade. São Paulo: Edusp, 1995.

SPIRN, Anne W. - Ecological Urbanism: A Framework for the Design of Resilient Cities, 2011. Em: <http://www.annewhistonspirn.com/author/essays>, 2012.

TAULOIS, Norma (org.) – Porto Olímpico do Rio de Janeiro – Concurso Nacional de Projetos de Arquitetura. Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB-RJ): Rio de Janeiro, 2011.

UNITED NATIONS (DESA – Population Division). World Urbanization Prospects: The 2009 Revision.