

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA

**ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO E ARQUITETURA
BRASILEIRA: QUALIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

MARIANA MOURA BAGNATI

Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D.

Orientador

Porto Alegre, agosto de 2013.

MARIANA MOURA BAGNATI

**ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO E ARQUITETURA
BRASILEIRA: QUALIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos de avaliação para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura.

Orientador

Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D.

Porto Alegre

(2013)

TERMO DE APROVAÇÃO

MARIANA MOURA BAGNATI

ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO E ARQUITETURA BRASILEIRA: QUALIDADE DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Banca Examinadora:

Beatriz Maria Fedrizzi, ENG^a. DR^a.

Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Joaquim César Pizzutti dos Santos, ENG. DR.

Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Engenharia
Universidade Federal de Santa Maria

Silvio Belmonte de Abreu Filho, ARQ. DR.

Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, 22 de agosto de 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu amado marido, Marcelo. Por tua companhia, pelo nosso amor, pelo intenso incentivo, paciência, e sábios conselhos.

Também aos meus pais, Tibério e Valéria, por transmitirem a mim o apreço pelo estudo e pela escrita. Amo-os.

À avó Marísia, por adoçar minha vida por tantos anos. Foste a melhor avó.

Fica o registro do meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a esta Universidade que, desde a graduação, acrescentou não apenas em grau de instrução, mas ampliou meu modo de ver a vida, evidencio aqui a minha gratidão à Faculdade de Arquitetura e, em especial, ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura desta instituição.

Agradeço, ainda, a generosidade dos professores. Dentre eles, agradeço ao meu orientador Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D., pela disponibilidade. À equipe que compõe o Laboratório de Conforto Ambiental – LabCon/UFRGS. Ao queridíssimo professor (sempre), amigo, Rogério Malinsky, que viu potencial em mim, incentivando-me a trilhar por esta próspera estrada. Ainda, fica registrada a minha gratidão à Sílvia Leão, Arq^a. Dr^a., e ao Edson Mahfuz, Arq. Ph.D., pela oportunidade ímpar vivida no estágio docência, cursado na disciplina de Projeto Arquitetônico I, no segundo semestre de 2011.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES - pelo apoio financeiro que também viabilizou esta pesquisa.

A cada autor mencionado, cuja obra teve grande colaboração ao ato de dissertar.

E a Deus, meu companheiro de longa data, muito obrigada! Que o Senhor conduza meus passos hoje e sempre.

RESUMO

Esta dissertação desenvolve a relação entre a arquitetura, o zoneamento bioclimático e a qualidade do ambiente construído através do estudo e da aplicação das normativas brasileiras. Relata desde a questão das trocas térmicas que ocorrem entre a edificação e o meio, passando pelo clima, bioclimatologia, estratégias de projeto, Etiquetagem, até os projetos do arquiteto Paulo Mendes da Rocha. Reporta às ferramentas de projeto, NBR 15220-3, que oferece embasamento para a Etiquetagem PROCEL, instrumento de avaliação do desempenho higrotérmico de edificações, mencionando e analisando exemplares arquitetônicos brasileiros através da obra de Paulo Mendes da Rocha. Esta investigação tem por objetivo esmiuçar a bioclimatologia e a qualidade do ambiente construído, por meio da preservação dos recursos naturais, além de trazer dados que auxiliem no planejamento de projetos arquitetônicos de maneira consciente, eficazes e atrelados ao ambiente brasileiro. O referencial teórico corresponde a uma revisão de importantes autores e obras do âmbito desta pesquisa, assim como da geografia, do urbanismo, das normativas. Por fim, através da aplicação dessas normativas, é feita a averiguação dos projetos arquitetônicos de Paulo Mendes da Rocha em oito zonas bioclimáticas brasileiras, com o intuito de estabelecer a conexão entre os resultados alcançados e as técnicas construtivas aplicadas às obras.

Palavras-chaves: Arquitetura. Bioclimatologia. Qualidade do ambiente. Desempenho térmico.

ABSTRACT

This dissertation develops the relationship between architecture, bioclimatic zoning, and the environmental quality of construction through the study and application of Brazilian normative. Reports from the issue of thermal exchanges that occur between the building and the environment, through climate, bioclimatic, design strategies, Labeling, until the designs of the architect Paulo Mendes da Rocha. Reports to design tools, NBR 15220-3, which provides the basis for PROCEL's Labeling, assessment tool of hygrothermal performance of buildings, citing and analyzing architectural examples through the work of the Brazilian Paulo Mendes da Rocha. This research aims to scrutinize the bioclimatic and environmental quality of the building through the preservation of natural resources, in addition to bringing in data that assist the planning of architectural projects consciously, effectively and linked to Brazilian environment. The bibliography corresponds to a review of important authors and works of the scope of this research, as well as geography, urbanism, normative. Finally, through the application of these regulations, is made to investigate the architectural projects of Paulo Mendes da Rocha in eight Brazilian bioclimatic zones, in order to establish the connection between the results and the construction techniques applied to the projects.

Keywords: Architecture. Bioclimatology. Environmental quality. Thermal performance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo	13
1.2 Justificativa	14
1.3 Metodologia	15
2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
3 TROCAS TÉRMICAS	17
4 CLASSIFICAÇÃO DOS CLIMAS	20
5 A ARQUITETURA	24
5.1 A forma e o ato arquitetônico consciente	24
5.2 Fechamentos	29
5.2.1 Fechamentos opacos	30
5.2.2 Fechamentos transparentes	34
5.2.2.1 Orientação e tamanho dos fechamentos transparentes	35
5.2.2.2 Tipos de vidro	36
6. A BIOCLIMATOLOGIA NO BRASIL	39
6.1 Victor Olgyay, Baruch Givoni e Povel Fanger	39
6.2 O projeto bioclimático	40
6.3 NBR 15220-3 e o Zoneamento bioclimático brasileiro	43
6.4 NBR 15220-3 e a caracterização das zonas bioclimáticas brasileiras	47
7. ESTRATÉGIAS DE PROJETO	54
7.1 A ventilação natural	54
7.1.1 Ventilação através da ação dos ventos	56
7.1.2 Ventilação através do “efeito chaminé”	57
7.1.3 Fluxo de ar nos recintos	58
7.1.4 A ventilação e o telhado	61
7.2 As aberturas	63
7.2.1 Dispositivos de proteção solar	66
7.2.2 Dispositivos internos	66
7.2.3 Dispositivos externos	69
7.3 Orientação solar	80
7.4 Iluminação natural	81
7.5 A escolha de cores	84
7.6 Resfriamento evaporativo	85
7.7 Usufruindo da inércia térmica	88
7.8 Condicionamento de ar	88
8 A ETIQUETAGEM PROCEL	90
9 ARQUITETURA NO BRASIL E OS PROJETOS DE PAULO MENDES DA ROCHA	97
9.1 Paulo Mendes da Rocha na dissertação	97

9.2 Exemplares arquitetônicos.....	99
9.3 Configuração da análise dos projetos	106
9.4 Tabelas de análise dos projetos e considerações	112
10 CONCLUSÃO.....	124
11 SUGESTÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS TRABALHOS.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1: Diagrama de organização da dissertação.	16
--	----

Capítulo 3

Figura 3.1: Trocas térmicas de uma edificação com seu entorno.	19
---	----

Capítulo 4

Figura 4.1: Os climas do Brasil.	23
---------------------------------------	----

Capítulo 5

Figura 5.1: Cidade de Marrakesh.	25
Figura 5.2: A casa iraquiana.	26
Figura 5.3: O funcionamento da casa iraquiana.	26
Figura 5.4: Palácio do Penhasco, ruínas do povo de Mesa Verde.	27
Figura 5.5: Robie House (1909), em Chicago, de Frank Lloyd Wright.	28
Figura 5.6: Villa Savoye (1930), em Poissy, de Le Corbusier.	28
Figura 5.7: Residência Robert Schuster (1978), em Tarumã-Açu, de Severiano Porto.	29
Figura 5.8: Transmissão da radiação em fechamentos opacos e em transparentes.	30

Capítulo 6

Figura 6.1: Índice esquemático do clima.	41
Figura 6.2: Zoneamento bioclimático do brasileiro.	44
Figura 6.3: Carta de Givoni adaptada ao Brasil.	45
Figura 6.4: Carta bioclimática de Brasília.	46
Figura 6.5: Classificação da zona bioclimática.	47
Figura 6.6: Tamanho das aberturas conforme NBR 15220-3.	48
Figura 6.7: Classificação das vedações conforme NBR 15220-3.	48
Figura 6.8: Carta bioclimática da zona 1, em destaque Caxias do Sul (RS).	49
Figura 6.9: Carta bioclimática da zona 2, em destaque Ponta Grossa (PR).	49
Figura 6.10: Carta bioclimática da zona 3, em destaque Florianópolis (SC).	50
Figura 6.11: Carta bioclimática da zona 4, em destaque Brasília (DF).	51
Figura 6.12: Carta bioclimática da zona 5, em destaque Santos (SP).	51
Figura 6.13: Carta bioclimática da zona 6, em destaque Goiânia (GO).	52
Figura 6.14: Carta bioclimática da zona 7, em destaque Picos (PI).	52
Figura 6.15: Carta bioclimática da zona 8, em destaque Belém (PA).	53

Capítulo 7

Figura 7.1: Índices de ventilação recomendada.....	55
Figura 7.2: Ventilação por ação dos ventos.....	56
Figura 7.3: Distância entre obstáculo e edificação em relação ao sentido da ventilação interna.	57
Figura 7.4: Efeito chaminé, edifício de escritórios BRE, por Feilden-Clegg na Inglaterra.	57
Figura 7.5: Ventilação cruzada vista em corte.	58
Figura 7.6: Fluxos de ar em ambientes internos vazios (em planta).	58
Figura 7.7: Fluxos de ar em ambientes em diferentes situações e disposições de aberturas em fachadas opostas (em corte).	59
Figura 7.8: Fluxos de ar em ambientes internos e com obstruções (em planta).	60
Figura 7.9: A presença de arbustos influenciando no fluxo de ar interno.	60
Figura 7.10: A presença da vegetação e as modificações na corrente de ar.	61
Figura 7.11: Diferentes opções de telhados que priorizam a ventilação.	62
Figura 7.12: O comportamento do vento a partir da forma do telhado.	63
Figura 7.13: Dispositivos de sombreamento.	64
Figura 7.14: Cortina em rolo, persiana horizontal e persiana vertical, respectivamente.	67
Figura 7.15: Detalhe.	68
Figura 7.16: A varanda do Palácio da Alvorada (1958), em Brasília, de Oscar Niemeyer.	70
Figura 7.17: A marquise da Casa das Canoas (1953), em São Conrado, de Oscar Niemeyer.	71
Figura 7.18: Sacada de edifício residencial Terra Solis (1988), em Cuiabá, de Carlos Bratke.	71
Figura 7.19: Brises verticais da Sede da ABI (1939), no Rio de Janeiro, de Marcelo e Milton Roberto; e do Edifício Morro Vermelho (1974), em Brasília, de João Filgueiras Lima.	72
Figura 7.20: Brise horizontal do Edifício Montreal (1950), em São Paulo, de Niemeyer.	72
Figura 7.21: Brise horizontal.	73
Figura 7.22: Brises mistos do Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro (1947), de Lúcio Costa; e da Sede da Hidroservice (1972), de Paulo Brito.	74
Figura 7.23: Brises mistos da lavanderia do Conjunto Residencial Pedregulho no Rio de Janeiro (1946), de Affonso Reidy.	74
Figura 7.24: Cobogó do Edifício Caledônia (1948), no Rio de Janeiro, de Lúcio Costa. Ao lado imagem do Parque Eduardo Guinle.	75
Figura 7.25: Elemento vazado do Edifício Eiffel (1956), em São Paulo, de Niemeyer.	75
Figura 7.26: Edifício Eiffel (1956), em São Paulo, de Niemeyer.	76
Figura 7.27: Pérgulas do Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (1953), de Affonso Reidy.	76
Figura 7.28: Técnica para uso da prateleira de luz para as fachadas norte e sul.	77
Figura 7.29: Exemplos de diferentes tipos de proteções solares.	78
Figura 7.30: Exemplos de diferentes tipos de proteções solares.	79
Figura 7.31: Iluminação natural.	82
Figura 7.32: Técnicas de iluminação natural.	83
Figura 7.33: Luz natural indireta e redirecionamento da luz através da claraboia.	84
Figura 7.34: Índices de absorvância e de emissividade segundo a cor.	85
Figura 7.35: Umidificação e resfriamento evaporativo.	86
Figura 7.36: Cobertura verde.	87
Figura 7.37: Detalhe construtivo de cobertura verde.	87

Capítulo 8

Figura 8.1: Equação geral e variáveis.....	92
Figura 8.2: Pontuação e classificação.....	93
Figura 8.3: Exemplo da etiqueta aplicada na avaliação geral de edifício construído.....	94

Capítulo 9

Figura 9.1: Capela de São Pedro e a fachada translúcida.....	99
Figura 9.2: Complexo do Engenho Central com o hotel ao centro, praça os conecta.....	100
Figura 9.3: Fórum de Avaré com o térreo protegido e sombreado.....	101
Figura 9.4: Complexo SIVAM, com o eixo central e o edifício de forma circular verificado.	102
Figura 9.5: Maquete do MAM, demonstrando relação entre volumes.....	103
Figura 9.6: Sede Social Jóquei Clube Goiás e a praça das piscinas.....	104
Figura 9.7: Estação rodoviária, fachada norte, passarelas internas e iluminação zenital.....	104
Figura 9.8: Capela Nossa Senhora da Conceição.....	105
Figura 9.13: Mapa das cidades onde estão localizados os projetos.....	111
Figura 9.9: ZB 6 - Sede Social Jóquei Clube	111
Figura 9.10: ZB 4 - SIVAM	111
Figura 9.11: ZB 7 - Rodoviária	111
Figura 9.12: ZB 8 – Capela	111
Figura 9.14: ZB 1- Cap.....	111
Figura 9.15: ZB 2 - Hotel	111
Figura 9.16: ZB 5 - MAM	111
Figura 9.17: ZB 3 - Fórum de Avaré	111

LISTA DE TABELAS

Capítulo 5

Tabela 5.1: Valores do coeficiente de absorção (α) e da emissividade (ϵ).....	31
Tabela 5.2: Condutividade térmica dos materiais para efeito de comparação.	31
Tabela 5.3: Condutividade térmica dos materiais para efeito de comparação.	32
Tabela 5.4: Coeficiente de transmissão térmica das principais soluções construtivas utilizadas no Brasil.....	33
Tabela 5.5: Comportamento térmico de alguns vidros.....	38

Capítulo 9

Tabela 9.1: Exemplo de tabela aplicada nos projetos.....	107
Tabela 9.2: Legenda das estratégias de projeto.	110
Tabela 9.3: Apreciação do projeto da zona bioclimática 1.....	112
Tabela 9.4: Apreciação do projeto da zona bioclimática 2.....	113
Tabela 9.5: Apreciação do projeto da zona bioclimática 3.....	114
Tabela 9.6: Apreciação do projeto da zona bioclimática 4.....	115
Tabela 9.7: Apreciação do projeto da zona bioclimática 5.....	116
Tabela 9.8: Apreciação do projeto da zona bioclimática 6.....	117
Tabela 9.9: Apreciação do projeto da zona bioclimática 7.....	118
Tabela 9.10: Apreciação do projeto da zona bioclimática 8.....	119

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação promove a caracterização do ambiente construído através da adaptação do projeto bioclimático em edificações no país. Para tanto, o Brasil é escolhido como cena da pesquisa, tendo em vista as oito diferentes zonas bioclimáticas dispostas no extenso território nacional.

A investigação é desenvolvida para a promoção do projeto bioclimático eficiente, em outras palavras, visa fornecer ferramentas e métodos construtivos para fomentar a construção de edificações que sejam confortáveis ao usuário, e que minimizem o dispêndio de energia artificial. Por fim, há a verificação de oito projetos brasileiros do arquiteto Paulo Mendes da Rocha situados nestas oito diferentes regiões.

E, para que o profissional tenha o controle sobre o desempenho térmico da edificação que projeta, o comprometimento frente ao uso racional da energia é necessário para um projeto bioclimático. É o que afirma Romero (2000)¹ ao descrever “O desenho dos espaços deve ser condicionado e adaptado às características do meio, tais como topografia, revestimento do solo, ecologia, latitude, objetos tridimensionais e clima.” E pela busca e incentivo da edificação eficiente energeticamente é que este trabalho é desenvolvido.

Do ponto de vista do usuário, o produto final criado pelo arquiteto - a edificação - é mais que uma envoltória, trata-se do abrigo que proporciona bem-estar e segurança. Para o arquiteto o enfoque é ainda mais vasto, conforme afirma Rivero (1985)² “O que importa realmente é compreender que não fazemos arquitetura se somente enfocamos unilateralmente os problemas físicos, ou os funcionais, ou os estéticos, ou os econômicos; será arquitetura, e daí sua enorme complexidade, na medida em que sejam solucionadas integralmente todas as exigências que cercam o indivíduo, devidamente ponderadas de acordo com o tema em estudo.”

1.1 OBJETIVO

O propósito deste trabalho é qualificar a edificação por meio da bioclimatologia, reconhecendo a heterogeneidade climática do Brasil. Para tanto, procura-se escrever métodos

¹ ROMERO, Marta (2000): **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo, ProEditores, 128 p.

² RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

para racionalizar a energia recebida pelas edificações do país a partir da caracterização e diferenciação bioclimática do território brasileiro. É feita a identificação das estratégias de projeto e a aplicação da qualificação da envoltória, conforme a análise e o emprego da Etiquetagem PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) para as edificações, com base na NBR 15220-3 (Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social).

O ponto de partida é aceitar como uma das intenções da arquitetura oferecer a satisfação e o bem-estar higrotérmico ao ser humano através dos princípios do condicionamento térmico natural. Tais preceitos reduzem os efeitos do desconforto, com a diminuição da produtividade, fadiga, esgotamento físico. Para tanto, os requisitos do projeto bioclimático devem estar presentes desde a fase inicial do projeto. Além disso, visa-se a atitude adequada e comprometida do profissional frente às questões ambientais que estão em voga, estimulando-o a apropriar-se das características do sítio em que a edificação se insere, e demonstrando que o número de respostas arquitetônicas continuará sendo amplo.

Após, faz-se uma análise bioclimática de projetos do arquiteto Paulo Mendes da Rocha que reforçam e fundamentam o estudo previamente desenvolvido.

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção arquitetônica recente inovou o uso do aço e do concreto, revolucionando a utilização do fechamento transparente, cujo emprego foi estendido até que os edifícios fossem transformados em caixas de vidro, sem qualquer preocupação quanto ao sítio, orientação solar, entre outros fatores do gênero. Na mesma linha de pensamento, é fato que desde o princípio da arquitetura moderna internacional o que ocorre é a reprodução de modelos que são importados, a partir de interpretação precária e que não condiz com a realidade brasileira.

Corbella *et al* (2003)³ ratifica “Olhando para o panorama atual do Brasil, poucos edifícios contemporâneos no Rio de Janeiro (Latitude 22,9° S; Longitude 44° E) são capazes de prover conforto térmico e visual para seus usuários, sem uma forte dependência dos sistemas convencionais de energia. O desenvolvimento de uma arquitetura voltada ao meio

³ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos (2003): **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro, Editora Revan, 288 p.

ambiente que possa liberar-se dessa dependência é um dos desafios que enfrenta a presente geração de arquitetos brasileiros.”

Este estudo visa colaborar com a exploração da avaliação do desempenho térmico das edificações brasileiras, a fim da promoção de uma construção consciente e conectada ao meio, incentivando a produção de projetos bioclimáticos. Para isso, ao final deste trabalho é feita a investigação de oito projetos do arquiteto Paulo Mendes a fim de apurar o comportamento de um profissional de renome internacional frente às diferentes condições climáticas a que estão submetidos.

1.3 METODOLOGIA

Esta dissertação tem caráter de pesquisa, baseada no referencial teórico pertinente à arquitetura e à bioclimatologia. Inicialmente, são relatadas desde as trocas térmicas, classificação climática, bioclimatologia, até aspectos metodológicos - demonstrando técnicas possíveis para alcançar o conforto térmico e energético.

São demonstradas estratégias de projeto a partir de exemplares arquitetônicos, bem como detalhes construtivos capazes de instrumentalizar o leitor com as ferramentas projetuais. Tem, ainda, caráter investigativo ao averiguar projetos do arquiteto Paulo Mendes, buscando relacionar os resultados obtidos através da aplicação da Etiquetagem PROCEL e da NBR 15220-3 às características das obras. Para tanto, reporta-se a instrumentos de projeto, como a Etiquetagem PROCEL e a NBR 15220-3, para avaliação do desempenho térmico da edificação nas diversas zonas bioclimáticas, mencionando e investigando exemplares arquitetônicos brasileiros desenvolvidos.

A Etiquetagem PROCEL, bem como a NBR 15220-3, surgem como ferramentas de averiguação do objeto arquitetônico. É um método que traz à análise da arquitetura a classificação de edificações quanto à eficiência bioclimática por meio da exatidão dos números. É um instrumento que incentiva a qualificação térmica de edifícios produzidos.

Esta dissertação intenta dar subsídios para que se atinja a expressão arquitetônica adequada ao ambiente climático em que esteja situada. O suporte teórico para o desenvolvimento das análises e reflexões que constam na dissertação vem de dados e informações coletados a partir de livros, teses, dissertações e normas técnicas do gênero.

2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No diagrama a seguir é possível ver a organização e conexão de temas que fazem parte desta dissertação, a qual é sustentada em três pilares: a bioclimatologia, as normativas que regulamentam um projeto bioclimático e a arquitetura. No âmbito geral, trata-se de trocas térmicas, clima, arquitetura, bioclimatologia, estratégias de projeto, Etiqueta PROCEL Edifica.

Através da bioclimatologia é dirigido o estudo sobre o zoneamento bioclimático brasileiro, que influencia na regulamentação do projeto bioclimático através da NBR 15220-3 e do RTQ-C. São ainda explanadas as questões do projeto bioclimático e das estratégias projetuais aplicáveis, fortalecendo as ligações entre a bioclimatologia e a arquitetura.

Assim, a arquitetura é o objeto de exame comportamental da edificação quanto à energia incidente sobre ela. Por fim, os projetos apreciados são do arquiteto Paulo Mendes, que tem produções nas oito zonas bioclimáticas do Brasil, os quais são submetidos à averiguação quanto à eficiência térmica através dos instrumentos de projeto NBR 15220-3 e RTQ-C. Posteriormente, são expressas as conclusões.

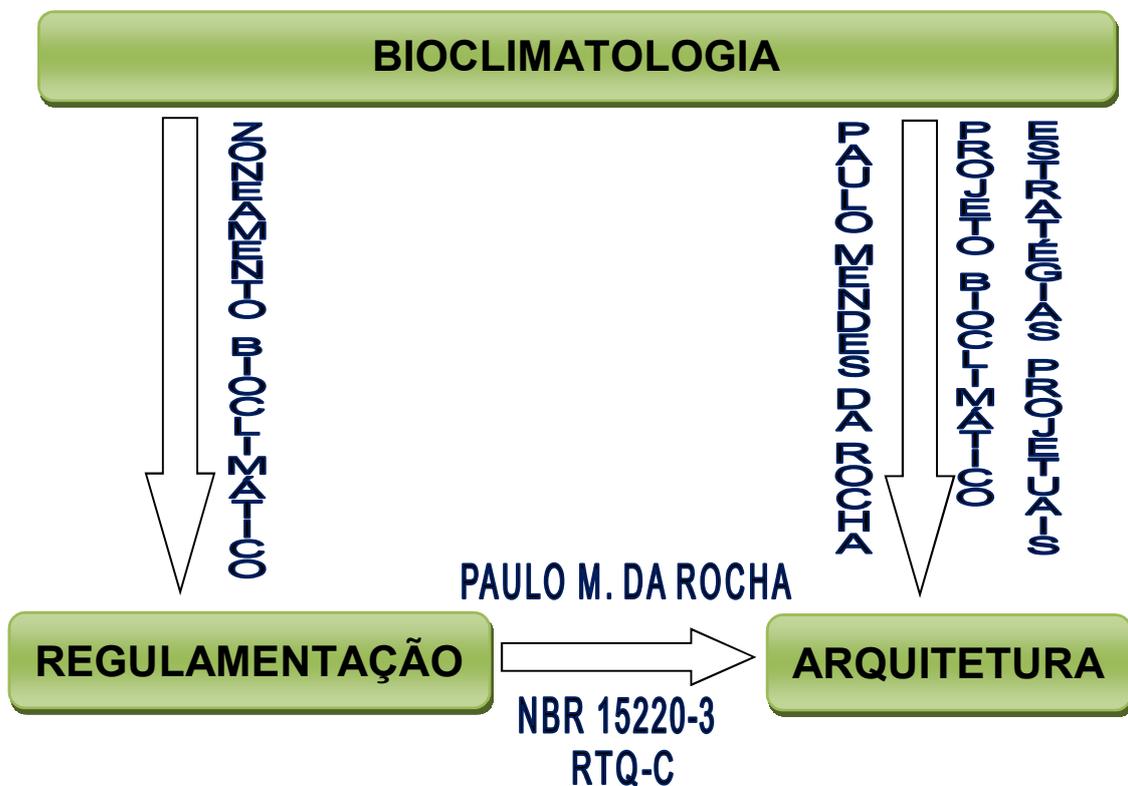


Figura 2.1: Diagrama de organização da dissertação.

Fonte: Figura elaborada pela autora.

3 TROCAS TÉRMICAS

Para a melhor compreensão da sistemática de avaliação da qualidade do ambiente construído, é preciso esclarecer alguns fenômenos de trocas térmicas a que estão submetidas as edificações em relação ao meio em que se inserem, assunto que é abordado neste capítulo, e ilustrado segundo a figura 3.1. Dessa maneira, torna-se mais evidente a análise da aplicação de uma ou de outra estratégia de projeto em uma edificação, conforme propõe esta dissertação.

Essas trocas térmicas ocorrem pela coexistência de corpos em temperaturas diferentes e pela mudança do estado de agregação. Em termos de calor sensível, o corpo com maior temperatura perderá calor para o corpo com menor temperatura. E relativo ao calor latente, quando se refere ao conforto termo-higrométrico, a água, ao passar do estado líquido para o gasoso (e vice-versa) é o elemento que viabiliza as trocas térmicas sem a mudança de temperatura – por mudança de estado de agregação.

O fluxo de calor pode ser transmitido de cinco formas. São elas:

- Condução

O calor é transferido, por meio material, de uma molécula a outra entre corpos diferentes, ou em um mesmo corpo cujas partes estejam com temperaturas diferentes. Os materiais têm diferentes capacidades de condução. O ar, por exemplo, é um mau condutor de calor, enquanto materiais metálicos são bons condutores de calor.

- Convecção

Advém da troca de calor acontece entre dois corpos, um sólido e outro fluido (líquido ou gás). As trocas de calor são ativadas pela velocidade do ar, quando relacionada a superfícies verticais. Para superfícies horizontais, o sentido do fluxo é o mais influente.

- Radiação

É a energia transmitida entre dois corpos, distanciados, a partir da capacidade de cada um em emitir e absorver energia térmica. A transmissão de calor não necessita de um meio material para ocorrer, consequência da natureza eletromagnética da energia (Anésia Frota *et al*, 2001)¹. A energia solar - que se propaga pelo vácuo - é um exemplo de radiação.

¹ FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli (2001): **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 243 p.

- Evaporação

Acontece quando a molécula de água contida no ar, ou sobre uma superfície qualquer, muda de estado líquido para o estado gasoso, a partir de um dispêndio de energia para tal.

- Condensação

Ocorre quando o vapor d'água contido no ar passa do estado gasoso para o estado líquido, que também é acompanhada de um dispêndio de energia.

Quando o grau higrométrico do ar atinge 100%, o vapor d'água excedente no ar se condensa, passando para o estado líquido. Essa temperatura em que o ar se encontra neste instante é denominada de “ponto de orvalho” (Anésia Frota *et al*, 2001)².

Se o ar, nessas condições, entra em contato com uma superfície de temperatura inferior (uma parede, por exemplo), o excesso de vapor se condensará sobre a face e, se esta for impermeável, haverá condensação superficial. Tal situação é muito comum em cozinhas e banheiros, locais onde há maior produção de vapor. A fim de evitar a condensação superficial, recomenda-se a eliminação do vapor d'água através da ventilação dos ambientes, conforme será relatado posteriormente nesta dissertação.

Entendidas as relações de trocas térmicas que ocorrem entre o ambiente e a edificação, no próximo capítulo é feita a classificação climática do Brasil desenvolvida por Edmon Nimer, cujo estudo relacionou as categorizações de Köppen, Gaussen e Bagnouls. Quando a variação climática supera a sensação de “bem-estar” dos seres humanos, há a necessidade de se criar recursos que possibilitem a sobrevivência em condição de conforto. Portanto, para a investigação das estratégias de projeto aplicáveis em cada região brasileira – estabelecidas pelas normativas NBR 15220-3 e RTQ-C -, bem como para a avaliação da qualidade do ambiente construído, há que se compreender o estudo do clima como um importante instrumento ao examinar os projetos de Paulo Mendes, conforme proposto neste estudo.

² FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli (2001): **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 243 p.

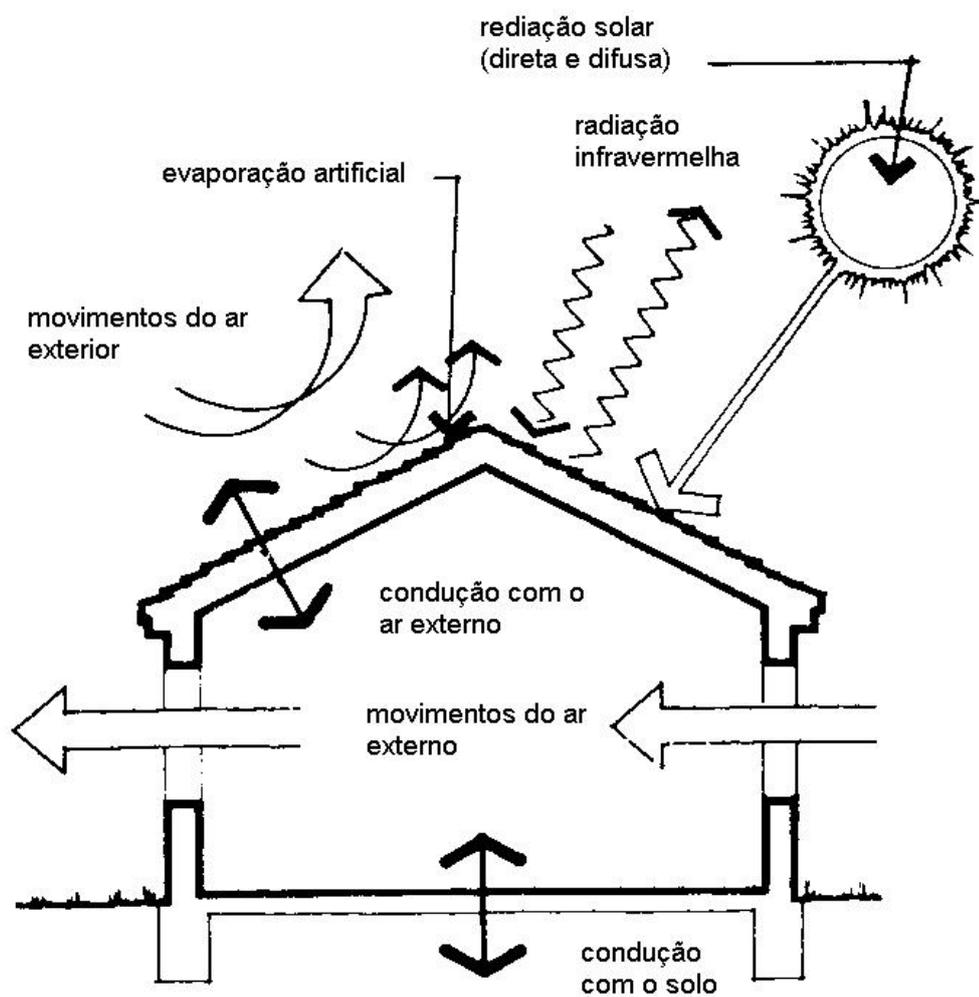


Figura 3.1: Trocas térmicas de uma edificação com seu entorno.
Fonte: Roger Camous *et al* (1986)³.

³ CAMOUS, Roger; WATSON, Donald (1986): **El habitat bioclimatico**. México, Editorial Gustavo Gili, 160 p.

4 CLASSIFICAÇÃO DOS CLIMAS

Ao adequar detalhes do projeto de uma edificação, é possível um melhor aproveitamento do clima através do planejamento, por exemplo, do paisagismo, da escolha da tipologia arquitetônica, da orientação da edificação, do estratégico projeto das aberturas, dentre outras técnicas pertinentes. As características mais influentes em um projeto arquitetônico no Brasil são determinadas pela NBR 15220-3 e examinadas pelo RTQ-C que, por consequência, estão baseadas também na classificação climática e no zoneamento bioclimático do país. Ambas as ferramentas de averiguação serão utilizadas nesta dissertação na análise dos projetos arquitetônicos de Paulo Mendes.

Devido às dimensões continentais do Brasil, ele está sujeito à grande diversidade de climas. É importante salientar que várias regiões climáticas do país, tal como são caracterizadas, possuem uma área superior a de muitos países, e podem apresentar subclimas, os quais se diferenciam por distintas conformações estabelecidas pela topografia, massas de vegetação, massas de água, entre outros.

Tempo é a situação atmosférica em um determinado momento, considerando os elementos meteorológicos, como temperatura, vento, umidade, entre outros. O estado do tempo é variável. No entanto, dentre essas contínuas mudanças, há algo constante, passível de previsibilidade, chamado clima.

O clima é, desde a antiguidade, um dos elementos de maior relevância para o projeto e construção da habitação. Ele pode ser definido como a configuração característica e constante do tempo de um lugar, em meio às variações. Os fatores climáticos globais, os fatores climáticos locais e os elementos climáticos são aqueles que condicionam definem o clima.

O Brasil está localizado, em quase sua totalidade, entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio (zona intertropical) e, Mendonça *et al* (2007)¹ registra que o formato do país “assemelha-se a um triângulo isósceles, com um dos vértices apontando para o sul e a base, para o norte.” Cerca de 55% do território nacional encontra-se na zona climática equatorial e 39% na tropical, conferindo-lhe a predominância de climas quentes, com pouca amplitude térmica. Por volta de 6% da região mais ao sul do país está na faixa subtropical, com temperaturas mais baixas e maiores amplitudes térmicas.

¹ MENDONÇA, Francisco; OLIVEIRA, Inês (2007): **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos, 206 p.

A classificação climática aqui apresentada é aquela desenvolvida por Edmon Nimer, o qual fez a classificação a partir da definição de autores como Köppen, Gaussen e Bagnouls, selecionando aspectos expressivos de cada região do Brasil (Antônio da Silva, 1994)²:

- Região Sul – apresenta o clima mesotérmico do tipo temperado, exclusivamente. Tem o ritmo das estações e valores pluviométricos bem definidos. Há oscilação térmica ao longo do ano, conferindo ao clima um caráter temperado por conta dos centros de ação das latitudes baixas e altas. Tem o verão bastante quente e o inverno frio, sendo submetida às frentes polares. Ainda, a uniformidade do relevo, a permanência na zona temperada, por não se estender muito ao sul, nem se afastar da orla marítima, existe a tendência de uniformidade das unidades climáticas.
- Região Sudeste – é aquela que possui maior diversificação climática. Nele há uma transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos do tipo temperado das latitudes médias. Durante o ano há a predominância de temperaturas amenas. Nessa região pode-se destacar quatro categorias climáticas: clima quente para as regiões litorâneas; subquente para locais situados em cima das cotas altimétricas; clima mesotérmico brando que representa a região serrana; clima mesotérmico médio nas elevadas cotas altimétricas, como as Serras do Mar e da Mantiqueira.
- Região Nordeste – apresenta climatologia de alta complexidade por conta da posição geográfica e dos sistemas de circulação atmosférica, com elevada variação pluviométrica e reduzida variação térmica. Há o predomínio das altas temperaturas, com amplitude anual pequena. A região é definida por dois tipos climáticos: o clima quente, que representa por volta de 95% da área; o clima subquente que está nas maiores altitudes, como Diamantina e Espinhaço.
- Região Norte – abrange a região amazônica quase na sua totalidade, e é onde se destaca a homogeneidade climática, que se deve ao relevo simplificado e à extensão da floresta. Possui o clima quente e a predominância de elevadas temperaturas. A intensa umidade relativa e nebulosidade limitam as máximas

² SILVA, Antônio da (1994): **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao PPGEC/UFRGS, Porto Alegre).

diárias, mantendo-as fora de valores extremos. Também, a oscilação térmica estacional é inferior quando comparada à oscilação entre os dias e noites.

- Região Centro-Oeste – Apesar de ter um período muito quente, há o inverno com temperaturas bastante baixas, por conta da continentalidade e do ar seco em tempos estáveis. São reconhecidos o clima quente – que é predominante - e subquente, em locais acima de 1.000 m.

A sistematização das características climáticas e suas influências são essenciais para a elaboração e compreensão da influência no desenho urbano e no projeto das edificações. Neste capítulo, portanto, foi construído o cenário que serve de suporte básico para as informações dos capítulos seguintes desta dissertação. Na figura 4.1 estão representados os climas do Brasil segundo Edmon Nimer.

Observada a caracterização climática do Brasil, que influenciou no zoneamento bioclimático do país e na preparação das normativas que são instrumentos de avaliação das edificações desta dissertação, é a partir do próximo capítulo que a edificação, dentro do panorama arquitetônico, é apurada. Dentre outras questões de relevância e que influenciam na qualidade do ambiente construído, é abordada a edificação quanto à forma, à influência do emprego de materiais, sejam eles opacos ou transparentes, à função.

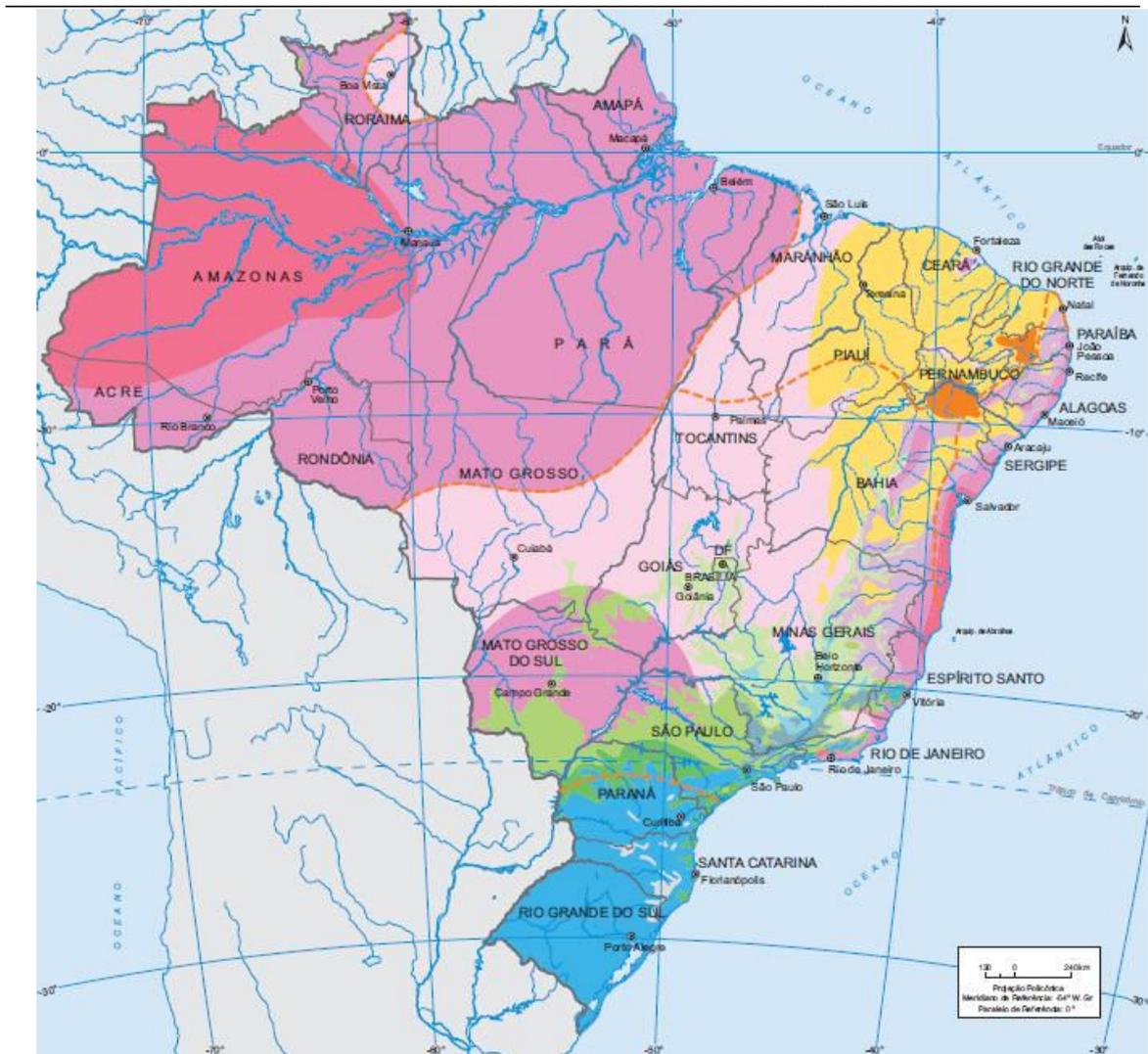


Figura 4.1: Os climas do Brasil.

Fonte: Nimer (1979)³.

Nota: atualizado pela Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2002.

³ NIMER, Edmon (1979): **Um modelo metodológico de classificação de climas**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p 59-89, out/dez.

5 A ARQUITETURA

O abrigo tornou-se edificação, o espaço tornou-se lugar quando o ser humano apropriou-se do espaço aplicando sobre ele seus conhecimentos a fim de estabelecê-lo com maior conforto. Sabendo-se que o homem não é um elemento passivo – ou seja, realiza trocas térmicas com o meio para estabelecer com ele um equilíbrio -, a edificação existe, dentre outros motivos, como resposta às manifestações climáticas que seu organismo não controla.

Baseado na classificação de Castello (2007)¹, lugar é um espaço no qual o usuário reconhece qualificações que o distingue dos demais espaços, qualificando-o como tal. Enquanto o estudo da habitabilidade, e de demais conceitos que a envolvem, existe para transformar espaços, mesmo que aparentemente inóspitos, em lugares de vivência e de uso confortável para o indivíduo, o estudo da arquitetura influi diretamente na qualidade do ambiente construído, um dos apoios desta dissertação.

Embora existam os mais diversos climas na superfície terrestre, o homem é biologicamente semelhante em todo o mundo, ele tornou-se um ser adaptado às diferentes condições climáticas, através do uso de mecanismos culturais como a vestimenta, a arquitetura, a vegetação, entre outros.

A arquitetura vernacular vale-se do aproveitamento das características desejáveis do clima em que o meio está inserido, subtraindo aquelas menos favoráveis. Rivero (1985)² enfatiza em seu trabalho que “toda a energia radiante absorvida por um corpo se transforma em calor”, assim é necessário estudar os fatores atuantes no processo de concepção da edificação de forma a amenizar ou otimizar a radiação por ela recebida, sugestionada pela região em questão.

5.1 A FORMA E O ATO ARQUITETÔNICO CONSCIENTE

A forma da edificação tem influência sobre o conforto térmico e sobre o potencial de eficiência energética, uma vez que interfere nos fluxos de ar, assim como nos níveis de iluminação e de radiação solar incidentes. No subitem do estudo serão demonstrados alguns

¹ CASTELLO, Lineu (2007): **A percepção do lugar: repensando o conceito de lugar em arquitetura-urbanismo**. Porto Alegre, PROPAR – UFRGS, 328 p.

² RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

exemplares arquitetônicos que buscaram o conforto térmico de modo eficiente a partir da cultura e da tradição na construção de edificações em diferentes regiões do mundo.

Souto (2010)³ descreve “Uma das principais atividades da arquitetura é a criação de lugares e não apenas espaços. Existe uma diferença significativa entre ambos os conceitos, pois espaço é uma abstração, se refere às relações geométricas, distâncias e áreas. Já o termo lugar se refere a cada intervenção em particular através dos materiais, cores, formas, orientação solar, topografia e geografia local existente. Também são englobadas nesse conceito todas as características regionais como usos, aspectos culturais, históricos e sociais. O lugar tem sempre uma localização geográfica precisa e está associado a um período histórico determinado.”

Na cidade de Marrakesh, em Marrocos, na figura 5.1, local em que se torna evidente o profundo conhecimento e adaptação do ser humano ao lugar. Nesse ambiente, de clima mediterrânico seco, as edificações foram construídas de modo a aproveitar as melhores características do sítio. O traçado canaliza para o interior da cidade a brisa, úmida e refrescante, que vem do mar; e desvia o vento quente que vem do continente, viabilizando o conforto através da escala urbana. Além disso, as ruas são estreitas para aumentar o sombreamento, minimizando a incidência da forte radiação solar.

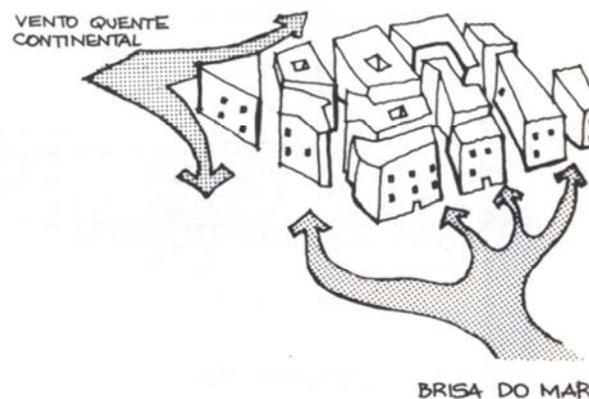


Figura 5.1: Cidade de Marrakesh.
Fonte: Marta Romero (2000)⁴.

A arquitetura vernácula iraquiana, representada nas figuras a seguir, é outro modelo de adaptação com sabedoria ao clima local: quente e seco. Trata-se de casas tradicionais, com pátios internos, e estreitas ruas que proporcionam o necessário sombreamento, presentes nas

³ SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

⁴ ROMERO, Marta (2000): **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo, ProEditores, 128 p.

principais cidades do país. As casas estão agrupadas e formam um bloco compacto com a finalidade sombrear as ruas.

O pátio interno, isolado e aberto, cumpre as necessidades de seu povo quanto às atividades familiares e sociais. Além disso, vale ressaltar os esquemas de ventilação, conforme as figuras 5.2 e 5.3.



Figura 5.2: A casa iraquiana.
Fonte: Marta Romero (2000)⁵.

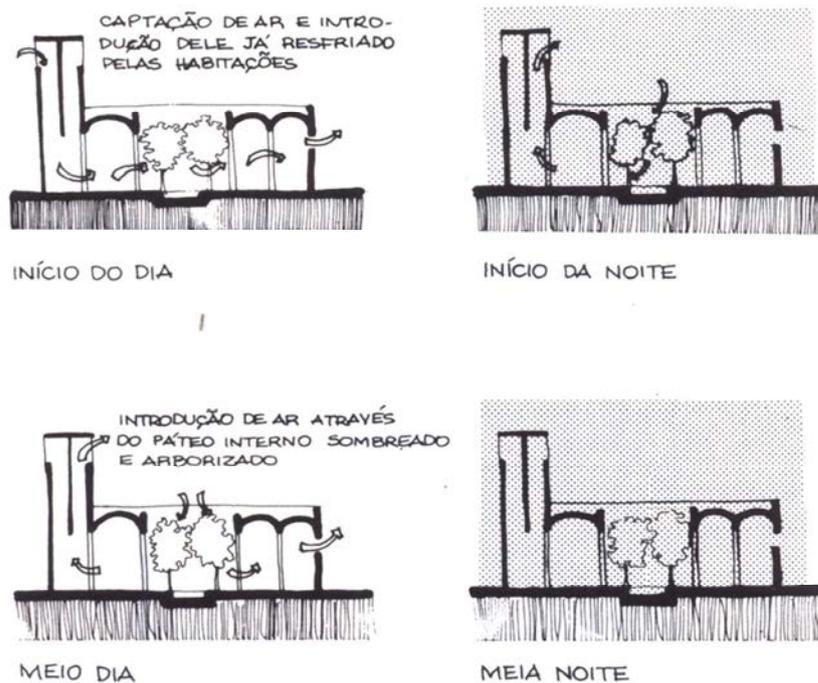


Figura 5.3: O funcionamento da casa iraquiana.
Fonte: Marta Romero (2000)⁶.

O iglu - abrigo feito de neve para pessoas que habitam locais de frio extremo, como o Alasca e o Ártico –, é outro exemplo relevante, o qual, através da sua forma hemisférica,

⁵ ROMERO, Marta (2000): **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo, ProEditores, 128 p.

⁶ ROMERO, Marta. *op. cit.*

reduz-se a superfície de contato com o ar externo e diminui, por conseguinte, as perdas de calor para meio externo. Internamente, a temperatura do iglu é mantida estável pelas próprias paredes de gelo, impedindo que o frio concentre-se nos cantos (já que ele tem a forma circular), mantendo frio o centro, onde é colocada, geralmente, uma fogueira.

Outro exemplo pertinente de arquitetura vernácula fica no deserto do Colorado (Estados Unidos), onde é possível encontrar as ruínas do povo de Mesa Verde, na figura 5.4. As habitações, formadas de barro ou de pedra, em uma região árida e constituída de extremos climáticos. São habitações posicionadas, cuidadosamente, em grupo, compactas e com muitos andares. Estão protegidas do sol, no período do verão, pela encosta do morro. E, no período de inverno, a inclinação mais baixa do sol viabiliza o aquecimento delas.

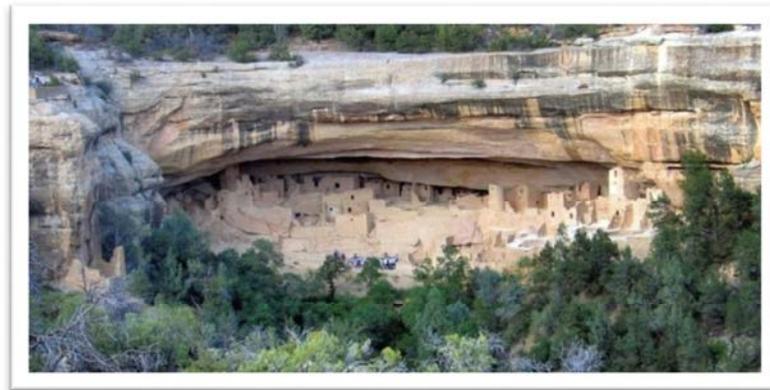


Figura 5.4: Palácio do Penhasco, ruínas do povo de Mesa Verde.
Fonte: *site* www.nps.gov/meve/photosmultimedia/cultural_sites.htm⁷.

No início do século XX, destaca-se, dentre outros, Frank Lloyd Wright através de seus projetos que buscavam adequar-se ao entorno, elaborou as casas de campo (ou casas-pradaria), nas quais os extensos telhados – elementos característicos de sua volumetria – possibilitavam grandes áreas de sombreamento, sem deixar de fazer uso da iluminação natural. Vide a figura 5.5.

⁷Figura do Palácio do Penhasco. 2011. Disponível em: http://www.nps.gov/meve/photosmultimedia/cultural_sites.htm. Acesso em: jun 2011.

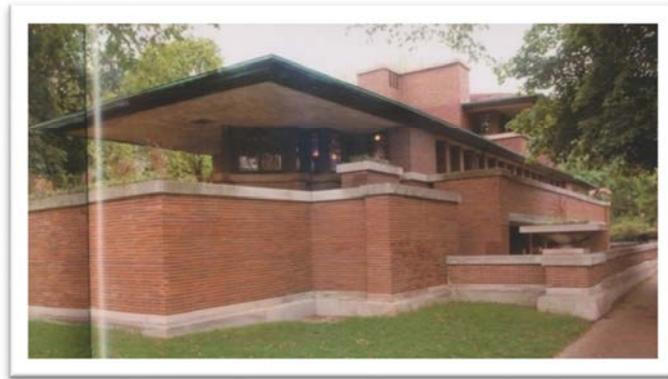


Figura 5.5: Robie House (1909), em Chicago, de Frank Lloyd Wright.
Fonte: Alan Hess (2006)⁸.

Da mesma maneira, Le Corbusier, ao explorar e divulgar o uso dos pilotis na arquitetura, implementava a permeabilidade de ventilação no térreo para melhorar a qualidade da circulação dos pedestres em meios urbanos, principalmente. É o que se observa na figura 5.6, a Villa Savoye.



Figura 5.6: Villa Savoye (1930), em Poissy, de Le Corbusier.
Fonte: Jacques Sbriglio (2009)⁹.

Um exemplo brasileiro a se destacar é a Residência Robert Schuster (de 1978), do arquiteto Severiano Porto. Habitação projetada e construída por alguém com profundo conhecimento do clima da região, bem como da arquitetura vernácula indígena. O sítio da residência, que fica na cidade de Tarumã, no estado do Amazonas, fica numa região de clima quente-úmido, foi idealizado com as seguintes características:

- a casa tem grandes beirais que protegem da chuva;

⁸ HESS, Alan (2006): **Las casas de Frank Lloyd Wright**. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 541 p.

⁹ SBRIGLIO, Jacques (2009): **Exposição Le Corbusier: entre dois mundos**. Brasília, Caixa Econômica Federal, 32 p.

- tem cobertura de inclinação elevada, o que viabiliza o rápido escoamento da chuva;
- o piso elevado favorece à ventilação.

Segundo os estudos desenvolvidos por Leticia Neves (2006)¹⁰, “A estrutura da residência é toda em madeira lavrada da região, a cobertura é em cavaco com juntas ventiladas, que também contribuem na ventilação. O resultado obtido é de um edifício em harmonia com o entorno, que valoriza os materiais e técnicas construtivas encontrados na região, e atende às necessidades locais com soluções simples e integradas à natureza.”

A casa Tarumã, de Severiano Porto, está reproduzida na figura 5.7.



Figura 5.7: Residência Robert Schuster (1978), em Tarumã-Açu, de Severiano Porto.
Fonte: Leticia Neves (2006)¹¹.

Conforme explica Rivero (1985)¹², “Como a quantidade de radiação solar que incide sobre cada plano varia segundo a orientação e a época do ano é fácil compreender que o mesmo volume de espaço interior pode obter formas diversas, que vão apresentar, logicamente, comportamentos térmicos globais diferentes.” Assim, a forma de uma edificação é um item que influencia as suas condições de conforto interno e, por conseguinte, seu desempenho energético.

5.2 FECHAMENTOS

No item será desenvolvido o estudo de trocas térmicas entre os meios externo e interno do objeto arquitetônico, relativo aos materiais empregados e suas características

¹⁰ NEVES, Leticia (2006): **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural**. (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos).

¹¹ NEVES, Leticia. *op. cit.*

¹² RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

físicas, interferindo no conforto interno da edificação. Tal item é subdividido em duas partes: os fechamentos opacos e os fechamentos transparentes.

Cada material tem um comportamento distinto quanto à radiação solar, uma das solicitações térmicas que afetam a construção. A partir do estudo dos fechamentos, o profissional poderá selecionar, dimensionar e especificar os materiais presentes no seu projeto de maneira mais criteriosa e consciente. A intenção do profissional ao especificar um tipo de fechamento deve ser, dentre outros motivos, de evitar excessivas perdas de calor no inverno e ganhos demasiados no verão.

5.2.1 FECHAMENTOS OPACOS

Nos fechamentos opacos, o calor é transmitido quando há diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa, sendo que o fluxo de calor dar-se-á da superfície mais quente para a mais fria. É na figura 5.8 que há a representação da transmissão da radiação solar através desses materiais.

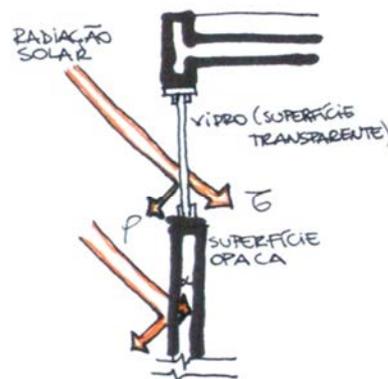


Figura 5.8: Transmissão da radiação em fechamentos opacos e em transparentes.

Fonte: figura elaborada pela autora.

Conforme se observa na figura acima, a face externa do fechamento é submetida ao calor do meio através da radiação e da convecção. A radiação nela incidente será parte refletida e parte absorvida, o que dependerá da absorvância (α) e da refletância (ρ) do material empregado. Logo, a temperatura desta face aumenta, proporcionalmente à resistência superficial externa (R_{se}), aqui considerada $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

$$\alpha + \rho = 1$$

Os materiais de construção são seletivos à radiação solar (radiação de onda curta) e esta característica está ligada a cor da superfície, conforme é visualiza-se na tabela 5.1.

Superfície	Absorção para radiação solar (α)	Absortividade (α) e emissividade (ϵ) temperatura entre 10 °C e 40 °C
preto fosco	0,85 - 0,95	0,90 – 0,98
tijolo/pedra/telha cor vermelha	0,65 - 0,80	0,85 – 0,95
tijolo/pedra cor amarela, couro	0,50 - 0,70	0,85 – 0,95
tijolo/pedra/telha cor amarela	0,30 - 0,50	0,40 – 0,60
vidro da janela	Transparente	0,90 – 0,95
alumínio/ouro/bronze	0,30 - 0,50	0,40 – 0,60
latão, alumínio fosco, aço	0,40 - 0,65	0,20 – 0,30
latão/cobre (polidos)	0,30 - 0,50	0,02 – 0,05
alumínio/cromo (polidos)	0,10 - 0,40	0,02 – 0,04

Tabela 5.1: Valores do coeficiente de absorção (α) e da emissividade (ϵ).

Fonte: Otto Koenigsberger *et al* (1977)¹³.

Assim, quando se tem um material de baixa absorvância, por exemplo, de 0,3, significa que 30% da energia que atua sobre ele é absorvida, enquanto 70% da energia é refletida.

Ainda, Rivero (1985)¹⁴ afirma que a importância do coeficiente de absorção “é maior no verão, nos fechamentos que como o horizontal recebem grandes quantidades de radiação solar. Sua influência também aumenta na medida em que o fechamento tem menor resistência e amortecimento; as chapas de fibrocimento ou de metal são termicamente muito sensíveis à sua cor externa.”

À medida que a temperatura da face externa é elevada, haverá um incremento no diferencial em relação à face interna. Ocorrerá, por conseguinte, troca térmica por condução. A velocidade com que o calor é transmitido através do material depende da sua condutividade térmica (λ). Quanto maior for a condutividade térmica do material, maior é a quantidade de calor transmitida entre as superfícies. Conforme a tabela 5.2.

Materiais	λ (W/m.°C)
Concreto de pedra britada	1,51
Madeira natural	0,15
Alumínio	230

Tabela 5.2: Condutividade térmica dos materiais para efeito de comparação.

Fonte: Roberto Rivero (1985)¹⁵.

A resistência térmica, outra variável relevante no processo de condução térmica sofrida pelo material, calculada através da espessura do fechamento. Assim, afirma Rivero

¹³ KOENIGSBERGER, Otto; INGERSOLL, T.; MAYHEW, Alan; SZOKOLAY, Steven (1977): **Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid, Paraninfo, 328 p.

¹⁴ RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

¹⁵ RIVERO, Roberto. *op. cit.*

(1985)¹⁶ “Os fechamentos de maior massa provocam um retardo térmico mais acentuado; os compostos por materiais isolantes e por isso mesmo leves, transmitem mais rapidamente as variações térmicas.”

É possível, também, utilizar materiais de baixa condutividade, ou empregando múltiplas camadas, incluindo, dentre elas, uma camada de ar. Quando a troca ocorre por radiação, nesta camada de ar, dependerá diretamente da emissividade da camada superficial do material (ϵ) em contato com ela. A emissividade indica a quantidade de energia térmica difundida por unidade de tempo e está exposta na tabela 5.3.

Superfície	Emissividade (ϵ)
Alumínio polido	0,04
Tijolo	0,95
Vidro	0,95

Tabela 5.3: Condutividade térmica dos materiais para efeito de comparação.
Fonte: Anésia Frota *et al* (2001)¹⁷.

Na última fase desta troca de calor entre os meios externo e interno através do fechamento opaco, as trocas retornam a ser por convecção e por radiação. Agora, a face interna do fechamento terá a temperatura aumentada em relação à temperatura do ar interno. Ocorrerá a perda de calor desta superfície para o ambiente interno através da convecção, dependendo diretamente da resistência superficial interna (R_{si}) do material; enquanto as perdas por radiação estão sujeitas à emissividade da superfície (ϵ).

Segundo Frota *et al* (2001)¹⁸, o coeficiente de transmissão térmica (U) “engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutibilidade térmica, a posição horizontal ou vertical da lâmina e, ainda, o sentido do fluxo.” Este cálculo é importante, já que a partir dele se pode ponderar o comportamento de um fechamento opaco quanto à transmissão de calor. Tal situação viabiliza a comparação de fechamentos opacos de acordo com seu comportamento, possível de verificar na tabela 5.4.

¹⁶ RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

¹⁷ FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli (2001): **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 243 p.

¹⁸ FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. *op. cit.*

Elemento	Tipo	U (W/m ² K)
Paredes	Tijolo 6 furos espessura de 12,5 cm	2,39
	Tijolo 6 furos espessura de 17 cm (deitado)	2,08
	Tijolo 8 furos espessura de 12,5 cm	2,49
	Tijolo 4 furos espessura de 12,5 cm	2,59
	Tijolo maciço espessura de 9 cm	4,04
	Tijolo maciço espessura de 12 cm	3,57
	Tijolo maciço espessura de 26 cm	2,45
Janelas	Vidro comum 3 mm	5,79
Cobertura	Laje concreto 10 cm + fibrocimento	
	Verão, não ventilado	2,04
	Verão, bem ventilado	2,04
	Inverno, não ventilado	2,86
	Inverno, bem ventilado	3,89
	Laje concreto 10 cm + cerâmica	
	Verão, não ventilado	2,04
	Verão, bem ventilado	2,04
	Inverno, não ventilado	2,87
	Inverno, bem ventilado	3,89
	Forro pinus 1 cm + fibrocimento	
	Verão, não ventilado	2,00
	Verão, bem ventilado	2,00
	Inverno, não ventilado	2,79
	Inverno, bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1 cm + cerâmica	
	Verão, não ventilado	2,01
	Verão, bem ventilado	2,01
	Inverno, não ventilado	2,79
	Inverno, bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1 cm + fibrocimento + alumínio polido	
	Verão, não ventilado	1,11
	Verão, bem ventilado	1,11
	Inverno, não ventilado	2,04
	Inverno, bem ventilado	3,75

Tabela 5.4: Coeficiente de transmissão térmica das principais soluções construtivas utilizadas no Brasil.

Fonte: Eneid Ghisi (1994)¹⁹.

¹⁹ GHISI, Eneid (1994): **Melhoria nas condições de conforto térmico de edificações**. Relatório de Bolsa de Iniciação Científica, Florianópolis, CNPQ.

A inércia térmica é também um item relevante quando se trata sobre tipos de fechamentos. O calor, conduzido de um extremo a outro do fechamento, será, em parte, retido no seu interior como consequência à massa térmica. Quanto maior for a massa térmica, maior será o calor armazenado no material. Essa energia, posteriormente, quando houver uma redução da temperatura externa, ou interna, será devolvida ao meio.

5.2.2 FECHAMENTOS TRANSPARENTES

Dentre os fechamentos transparentes, os vidros são os mais utilizados nos projetos arquitetônicos. Os vidros são materiais transparentes em relação às radiações de ondas curtas (emitidas pelo sol), e opacos em relação às ondas longas. Compete aos fechamentos transparentes permitir que a iluminação natural adentre o interior da construção, e estabelecer ligação entre os espaços interno e externo. Compreendem os fechamentos transparentes: janelas, claraboias e demais elementos transparentes utilizados.

No subitem 5.2.2 é estudado um ponto fraco da envolvente de uma construção, visto que é nos fechamentos transparentes que acontecem as principais trocas térmicas da edificação. Eles apresentam uma série de inconvenientes, tais como: elevada transmissão térmica, baixa resistência acústica, além do custo elevado. Tais situações acarretam no aumento do dimensionamento dos equipamentos de ar condicionado, aumenta o dispêndio com outros elementos que reduzam seus efeitos, como persianas, entre outros; elevando ainda mais o custo e manutenção da edificação.

Na arquitetura contemporânea o vidro ganhou espaço no mercado da construção civil e foi estendido até que os edifícios tornaram-se caixas de cristal. Essa mudança na arquitetura foi um efeito do desenvolvimento tecnológico, no uso e evolução do concreto e do aço. Essa arquitetura, inicialmente usada em países nórdicos, foi implantada, de modo desenfreado, nos países tropicais e subtropicais sem a devida preocupação com as consequências técnicas e adequação ao meio.

Os três tipos de trocas térmicas – condução, convecção e radiação – ocorrem nos fechamentos transparentes. Quanto à condução e à convecção, ambas ocorrem de maneira similar tanto nos fechamentos opacos quanto nos transparentes. Apenas no último há a possibilidade de estabelecer trocas de ar ao abrir e fechar as aberturas. A radiação terá grande

parcela da energia térmica transmitida para o interior, o que irá variar de acordo com o vidro aplicado e sua transmissividade (τ).

Segundo Koenigsberger *et al* (1977)²⁰, as principais variáveis que podem contribuir para o aumento do acesso do calor ao interior da construção são a orientação, o tamanho da abertura, o tipo de vidro empregado, e o uso de proteções solares interna e externamente.

5.2.2.1 ORIENTAÇÃO E TAMANHO DOS FECHAMENTOS TRANSPARENTES

A janela terá seu nível de exposição ao sol determinado pelo tamanho e pela orientação da abertura. Silva (1994)²¹ afirma que a posição da janela influencia na distribuição da luz. Em outras palavras, a trajetória do sol na abóbada celeste é distinta para cada orientação e latitude. Isso quer dizer que aberturas de mesmo tamanho e formas, porém com orientações diferentes, receberão quantidades de radiação solar desiguais.

Para obter valores representativos de radiação solar para um determinado local, pode-se utilizar o Ano Climático de Referência (TRY), de maneira mais completa e precisa com valores de radiação horários, conforme afirma Goulart (1993)²² na sua dissertação. Ainda, é possível utilizar a carta solar, observando a altura e o azimute solar, para saber quando o sol estará incidindo sobre uma fachada.

Silva (1994)²³ assegura que a forma da janela afeta a uniformidade da luz que penetra no recinto. Janelas retangulares horizontais permitem uma distribuição de iluminação mais próxima a elas. Enquanto as janelas na posição vertical viabilizam que a luz natural atinja locais mais profundos na peça da edificação. E aquelas de forma quadrada apresentam um efeito intermediário na distribuição da luz natural.

O mesmo autor ainda descreve que janelas mais altas permitem que a luz penetre mais profundamente no ambiente. E, quanto maior for a área da abertura, maior será o fator solar. Assim, a quantidade de luz que adentra o ambiente é proporcional ao tamanho da abertura.

²⁰ KOENIGSBERGER, Otto; INGERSOLL, T.; MAYHEW, Alan; SZOKOLAY, Steven (1977): **Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid, Paraninfo, 328 p.

²¹ SILVA, Heitor da Costa (1994): **Window Design for Thermal Comfort in Domestic Buildings in Southern Brazil**. (Tese de Doutorado defendida na Architectural Association, School of Architecture, Londres).

²² GOULART, Solange (1993): **Dados Climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFSC, Florianópolis).

²³ SILVA, Heitor da Costa. *op. cit.*

A saber, segundo Lamberts *et al* (2004)²⁴, “O fator solar de uma abertura pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar.”

Em sequência ao estudo de fechamentos transparentes, faz-se, no item 5.2.2.2, uma especificação dos tipos de vidro existentes no mercado.

5.2.2.2 TIPOS DE VIDRO

É baseado na escolha do tipo do vidro a ser utilizado em uma construção que é possível um maior controle sobre a radiação solar incidente. Ao realizar a escolha é possível: permitir a maior ou menor entrada de luz natural e do calor solar, permitir maiores ou menores perdas de calor do interior da edificação, viabilizar o contato visual entre interior e exterior.

Apesar dos vidros possuírem elevada transmitância térmica (U), são eles os únicos materiais da construção que têm a capacidade de controlar de maneira racional a radiação solar em termos de luz e calor.

Essa radiação incidente sobre o vidro pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior do ambiente, devido, respectivamente, à absorvidade (α), refletividade (ρ) e transmissividade (τ) do material. A quantia absorvida no interior do vidro se transforma em calor e pode ser reemitida para o exterior, ou para o interior (dependendo das relações de temperatura), na forma de radiação de onda longa.

As três características dos vidros, citadas no parágrafo anterior, indicam que diferentes tipos de vidro terão distintas capacidades. Essas características ópticas que caracterizam e diferenciam os vidros produzidos - a radiação refletida, absorvida e transmitida - possuem efeitos que dependerão, ainda, do comprimento de onda e do ângulo de incidência da radiação.

Dentro deste estudo sobre a atuação dos fechamentos transparentes, existem, no espectro solar, duas regiões relevantes a serem citadas: a região de onda curta e a de onda longa. A região de onda curta é subdividida em ultravioleta e infravermelha. Enquanto a

²⁴LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando (2004): **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, ProLivros, 192 p.

região de onda longa corresponde às radiações infravermelhas transmitidas pelos corpos aquecidos.

Buoro (2008)²⁵ afirma “Outro fator importante que deve ser destacado aqui são as características dos vidros: cada fabricante, tipo de vidro (incolor, verde, reflexivo, entre outros), espessura, têm-se uma porcentagem de radiação visível (transmitida e refletida) e uma porcentagem da radiação solar total (transmitida direta, refletida externa, absorvida, e o fator solar). Estas características interferem tanto no desempenho térmico, quanto no desempenho luminoso, e por isto devem ser avaliadas adequadamente em cada projeto.”

O vidro simples (transparente) é o mais utilizado nas construções no Brasil, visto que possui um baixo custo e pelo acesso facilitado no mercado. Tem boa visibilidade, mas elevada transmissividade de radiação solar para o interior do ambiente. É pouco reflexivo, transparente às ondas curtas e opaco às ondas longas. A última característica citada é responsável pelo “efeito estufa”: o vidro permite a entrada da radiação solar, que é acumulada no interior do espaço.

O vidro verde, ou absorvente, detém uma leve pigmentação que reduz a transmissão da onda curta, aumentando levemente, contudo, a absorção da parte visível.

Os vidros absorventes, ou fumês, e as películas atenuam a transmissão da onda curta através do aumento da absorção da onda curta, reduzindo a visibilidade. Também, o vidro em questão é altamente absorvente em relação à onda longa e pouco reflexivo em relação a ambos comprimentos de onda. É válido relatar que, ao optar por esse tipo de vidro, é possível um maior gasto na iluminação artificial.

Os vidros reflexivos e as películas são compostos por uma película reflexiva, trata-se de uma camada metálica que dá o efeito espelhado. No mercado existem tanto a película reflexiva à onda longa, como à onda curta, e em ambos espectros. A primeira diminui as perdas de calor para o exterior. A segunda reduz a passagem do calor para o interior. Ainda, o uso deste vidro ocasiona a redução da visibilidade.

Os plásticos, como o policarbonato e o acrílico, são transparentes à radiação de onda longa em demasia, o que reduz o efeito estufa e aumenta a perda de calor para o exterior.

²⁵ BUORO, Anarrita Bueno (2008): **Conforto térmico e eficiência energética em Hotéis Econômicos**. (Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de São Paulo, São Paulo).

Existem também os vidros de múltiplas camadas, que podem ser feitos através da junção de diferentes tipos de vidros, a fim de se obter um efeito mais completo e satisfatório.

Na tabela 5.5, vê-se os diferentes comportamentos térmicos de tipos diferentes de vidros.

τ = coeficiente de transmissão para um raio normal à superfície

α = coeficiente de absorção para um raio normal à superfície

ρ = coeficiente de reflexão para um raio normal à superfície

G = coeficiente global de transmissão ($G = \tau + 0,4 \alpha$)

Tipos de vidros	τ	A	ρ	G
Comum	0,85	0,07	0,08	0,88
Absorvente claro	0,52	0,41	0,07	0,68
Absorvente médio	0,31	0,63	0,06	0,56
Absorvente escuro	0,09	0,86	0,05	0,43
Refletor médio	0,25	0,42	0,33	0,42
Refletor escuro	0,11	0,42	0,47	0,28
Absorvente exterior/câmara de ar/comum	0,32	0,62	0,06	0,57

Tabela 5.5: Comportamento térmico de alguns vidros.
Fonte: Roberto Rivero (1985)²⁶.

Rivero (1985)²⁷ esclarece: “fechamentos transparentes são termicamente débeis; os problemas que originam aumentam à medida em que o meio exterior se afasta das exigências do conforto.”

Após o desenvolvimento de pontos da arquitetura, tais como, fechamentos, a forma, e a função, que influenciam diretamente na qualidade do ambiente construído e, portanto, na sua avaliação, conforme solicita este trabalho utilizando as ferramentas NBR 15220-3 e RTQ-C; são desenvolvidas as temáticas da bioclimatologia, da arquitetura e do Brasil, relacionadas no capítulo 6.

²⁶ RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

²⁷ RIVERO, Roberto. *op. cit.*

6. A BIOCLIMATOLOGIA NO BRASIL

Olgyay (1968)¹ afirma que a bioclimatologia busca empregar os conhecimentos sobre o clima em relação à interação com o ser humano. O entendimento da bioclimatologia no Brasil tem conexão direta com esta pesquisa quando se percebe que a aplicação de um projeto bioclimático, com a possibilidade de uso tanto da NBR 15220-3 como do RTQ-C, resultará em conforto térmico ao usuário e, portanto, na qualidade do meio.

A autora Romero (2001)² descreve que a “arquitetura bioclimática é uma área relativamente nova e pouco desenvolvida, mas que tem, na arquitetura vernácula, os antecedentes que servem como exemplos de respostas adequadas do homem às exigências do meio ambiente.” Para ela, ainda, a arquitetura bioclimática “é uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, é culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e o meio.”

É com grandes estudiosos da bioclimatologia que é iniciado este capítulo, são eles Olgyay, Givoni e Fanger.

6.1 VICTOR OLGAYAY, BARUCH GIVONI E POVL FANGER

Estes três autores estão unidos pela pesquisa quanto ao desempenho do edifício frente ao clima em que é inserido.

Olgyay (1963)³ define as condições de conforto térmico propondo um processo de construção de habitação dividido em quatro partes: clima, biologia, tecnologia e arquitetura. Faz-se o exame dos dados climáticos da região, a avaliação biológica a partir das sensações humanas; as soluções tecnológicas de acordo com o clima; a aplicação arquitetônica para os três passos anteriores. O livro, “*Design with climate*”, ainda, foi o primeiro a desenvolver um mecanismo que considerou as variáveis do lugar em um texto de fácil compreensão.

Olgyay (1968)⁴, em “*Clima y arquitectura en Colombia*”, afirma que a metodologia ideal seria trabalhar a favor das forças da natureza, potencializando as boas características a fim de criar melhores condições de moradia. E, a partir de dados climáticos elaborou um

¹ OLGAYAY, Victor (1968): **Clima y arquitectura en Colombia**. Colombia, Universidad del Vale, 240 p.

² ROMERO, Marta (2001): **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 226 p.

³ OLGAYAY, Victor (1963): **Design with climate**. Princeton, Universidade de Princeton, 236 p.

⁴ OLGAYAY, Victor. *op. cit.*

gráfico bioclimático no qual estão relacionadas as necessidades de proteção contra elementos climáticos indesejáveis, enquanto são avaliados os elementos climáticos de qualquer dia do ano. Com o registro de elementos, há condição de estabelecer recomendações climáticas em relação ao sítio.

Givoni (1976)⁵ buscou relacionar o homem, o clima e a arquitetura. Ele analisa as trocas de calor existentes entre o homem e o meio, através das respostas fisiológicas e sensoriais quanto à pressão atmosférica e aos efeitos biofísicos dos fatores do ambiente. Posteriormente, existe a análise da compatibilidade entre a face externa da edificação, quanto às propriedades termofísicas, e aos efeitos das variáveis climáticas. Ainda, Givoni aplica em sua obra princípios de desenho, seleção de materiais em conformidade com o clima, além de verificar, por meio de cálculos, os efeitos térmicos das coberturas, os efeitos internos da orientação solar e a ação da radiação solar sobre a cobertura.

Fanger (1972)⁶, no livro “*Thermal comfort*”, dedicou-se ao estudo da zona de conforto do ser humano na edificação, fornecendo subsídios aos estudos urbanos visto que avaliou como os elementos climáticos e demais variáveis afetam a percepção do conforto térmico do indivíduo. Destaca-se a contribuição com o estudo das zonas de conforto segundo o tipo de atividade exercida e a vestimenta utilizada.

A partir de então há a necessidade de elucidar a questão do projeto bioclimático no item 6.2.

6.2 O PROJETO BIOCLIMÁTICO

O projeto bioclimático é aquele que tem por objetivo cumprir com as exigências de conforto térmico do ser humano através dos próprios elementos arquitetônicos, visando fazer uso das condições favoráveis do clima.

Olgyay desenvolveu sobre uma carta psicrométrica um diagrama bioclimático, relacionando temperatura, umidade relativa e estabelecendo uma zona de conforto, conforme a figura 6.1, baseada nas condições externas da construção:

⁵ GIVONI, Baruch (1976): **Man, climate and architecture**. Londres, Applied Science Publishers, 499 p.

⁶ FANGER, Povl Ole (1972): **Thermal comfort**. Nova Iorque, McGraw – Hill, New York Book Co., 256 p.

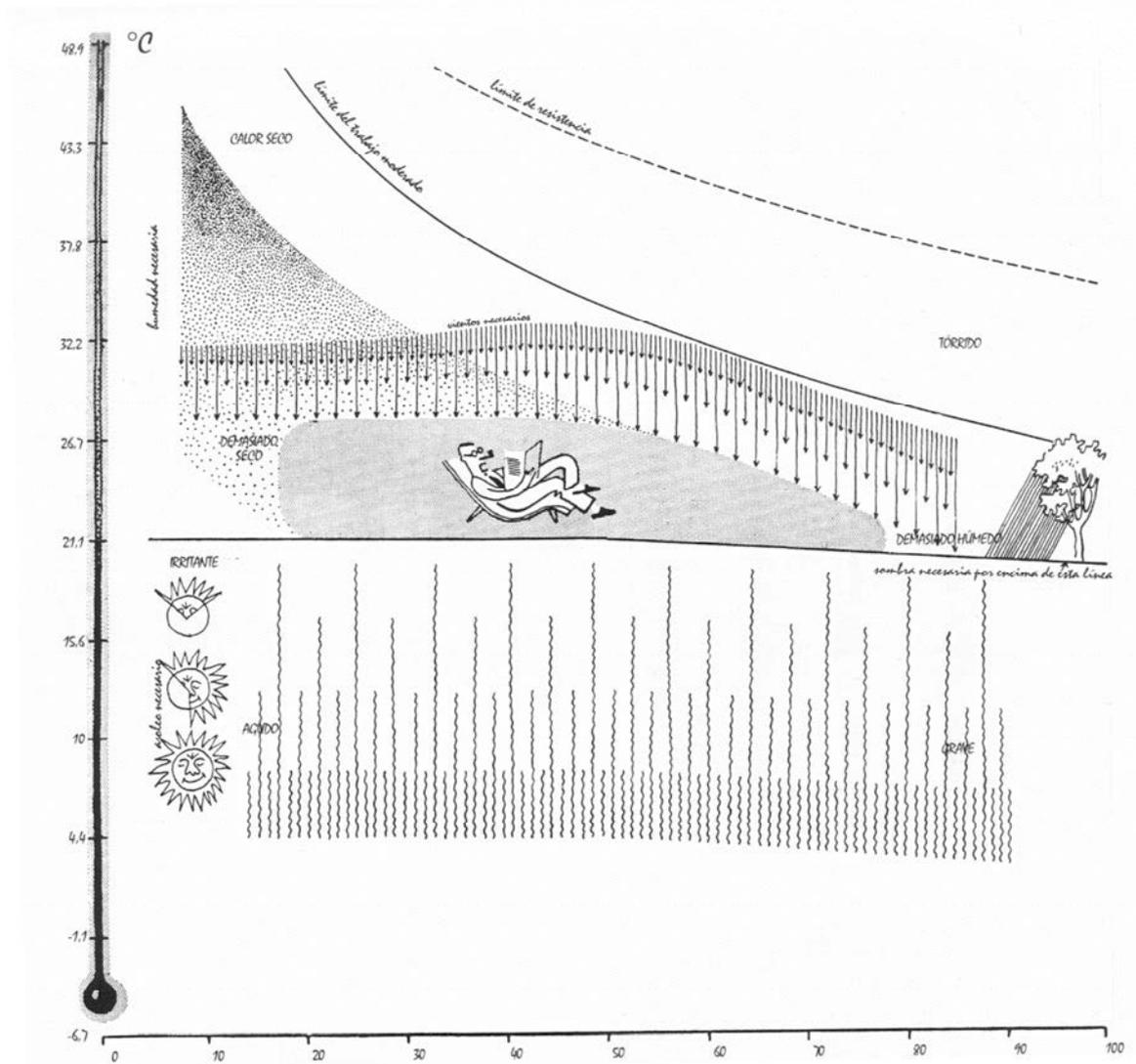


Figura 6.1: Índice esquemático do clima.
 Fonte: Victor Olgay (2006)⁷.

Givoni, em 1969, propôs uma nova carta bioclimática, baseada na de Olgay, dispondo, contudo, estratégias construtivas para adequar a arquitetura ao clima a partir das temperaturas internas da edificação. Givoni (1976)⁸ cita que o clima interno de edificações não condicionadas reage mais extensivamente em relação à variação do clima externo e à experiência de utilização de seus usuários.

Relativo à zona de conforto, observa-se uma grande amplitude favorável ao organismo humano. A umidade relativa varia de 20% a 80%, enquanto a temperatura varia de 18 °C a 29

⁷ OLGAY, Victor (2006): **Arquitectura y clima manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 203 p.

⁸ GIVONI, Baruch (1976): **Man, climate and architecture**. Londres, Applied Science Publishers, 499 p.

°C, e ainda assim se manter confortável. Entretanto, quando o ambiente estiver com a temperatura de 18 °C, é necessário cuidado para que a ventilação não acarrete desconforto. E, caso a temperatura esteja próxima de 29 °C, a incidência da radiação deve ser controlada.

Quanto à ventilação a recomendação é que se evite a existência de barreiras edificadas, a fim de favorecer a boa movimentação do ar. Além disso, para uma temperatura e umidade elevadas, indica-se a ventilação em benefício da sensação térmica. E, para temperatura elevada, com umidade inferior a 60%, é indicado o resfriamento convectivo noturno. As estratégias de ventilação mais utilizadas são: a ventilação cruzada, a ventilação da cobertura, a ventilação sob a casa, uso de captadores de vento.

O resfriamento evaporativo é utilizado para reduzir a temperatura e, ao mesmo tempo, aumentar a umidade relativa do ambiente que pode ocorrer com aparelhos existentes no mercado, através do uso de fontes – como nos pátios árabes -, e em períodos quentes e de seca, com o uso da vegetação, através da evapotranspiração do vegetal.

A massa térmica para resfriamento é um artifício usado para reduzir a amplitude da temperatura interna em relação à temperatura externa. A massa térmica pode ser usada em fechamentos, com o uso da própria terra, e emprego de materiais isolantes.

Segundo Lamberts *et al* (2004)⁹, algumas regiões têm um clima que ultrapassa os limites de temperatura e de umidade relativa e inviabilizam o uso do resfriamento passivo. Para tanto, “quando a temperatura do bulbo seco for maior de 44 °C e a de bulbo úmido for superior a 24 °C – recomenda-se o uso de aparelhos de ar condicionado para climatização.” Ressalta-se que o ar condicionado também pode ser usado como coadjuvante em outras situações. Assim como o uso do ar condicionado nessas condições não elimina a possibilidade do uso em conjunto de sistemas naturais de resfriamento.

A umidificação é indicada quando a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura estiver abaixo de 27 °C, já que haverá desconforto por conta do ar seco. Como medida simples a ser tomada é utilizar um recipiente com água no ambiente interno, bem como manter as aberturas herméticas, para evitar a saída do vapor d’água produzido no interior da edificação pelas pessoas, pelas atividades praticadas e pela presença de plantas.

Entre 14 °C e 20 °C é aconselhável utilizar a massa térmica e o aquecimento solar passivo, ou o aquecimento solar passivo unido ao isolamento térmico. Enquanto a primeira

⁹ LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando (2004): **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, ProLivros, 192 p.

armazena calor para compensar baixas temperaturas, a segunda alternativa evita as perdas de calor para o exterior.

O aquecimento solar passivo é indicado quando a temperatura está entre 10,5 °C e 14 °C. Neste caso, o isolamento térmico da edificação é indicado, a fim de evitar as perdas de calor. Essa edificação deve ter aberturas maiores para orientações de exposição ao sol, e menores naquelas em que a presença do sol é menor.

Em regiões mais frias onde é comum a temperatura ser inferior a 10,5 °C é provável que o aquecimento solar passivo não seja suficiente. Para tanto, é adequado o uso do aquecimento artificial, sendo recomendável o uso das opções conjugadas, a fim de evitar gastos energéticos demasiados.

Para o estabelecimento de estratégias bioclimáticas de projeto é preciso o conhecimento do clima brasileiro e de suas regiões. A NBR 15220-3, bem como o regulamento técnico do RTQ-C, oferecem a diretriz para que o profissional execute um projeto comprometido com o meio em que está inserido.

6.3 NBR 15220-3 E O ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

Nesta etapa do estudo esclarece-se a influência da NBR 15220-3 e do zoneamento bioclimático brasileiro como instrumentos de desenvolvimento de um projeto bioclimático, que sustenta a boa condição do espaço edificado, segundo certifica esta elaboração. Portanto, aprofundar os conhecimentos sobre a NBR 15220-3 favorece o avanço deste trabalho enquanto delimitadora dos pré-requisitos de um projeto coerente com o meio em que está inserido, revelando estratégias apropriadas para cada uma das oito zonas bioclimáticas do país. O Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C (2010)¹⁰ detalha “A zona bioclimática tem por objetivo determinar as estratégias que um edifício deve seguir para obter o conforto térmico de seus ocupantes. Desta forma, o zoneamento bioclimático é o resultado geográfico do cruzamento de três tipos diferentes de dados: zonas de conforto térmico humano, dados climáticos, e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico.”

A NBR 15220-3 é a norma que estabelece a divisão do território nacional em zonas. Ainda, fornece diretrizes técnico-construtivas para condicionamento térmico-passivo da

¹⁰ **4 Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

edificação para cada zona. A NBR 15220-3 visa o campo de aplicação das estratégias em habitações unifamiliares de interesse social (NBR 15220-3, 2003)¹¹. Além disso, registra a classificação do clima de 330 cidades.

A NBR 15220-3 dividiu o país em regiões onde há uma relativa homogeneidade climática, como está representado na figura 6.2. Para tanto, foi utilizada a base de dados climáticos do Brasil, com os dados de médias mensais das: temperaturas máximas, temperaturas mínimas, e umidades relativas do ar. Das 330 cidades, de diferentes posições geográficas, algumas foram classificadas a partir de dados de Normais Climatológicas registrados em décadas de apuração, enquanto outras localidades foram ordenadas por interpolação dessas informações.

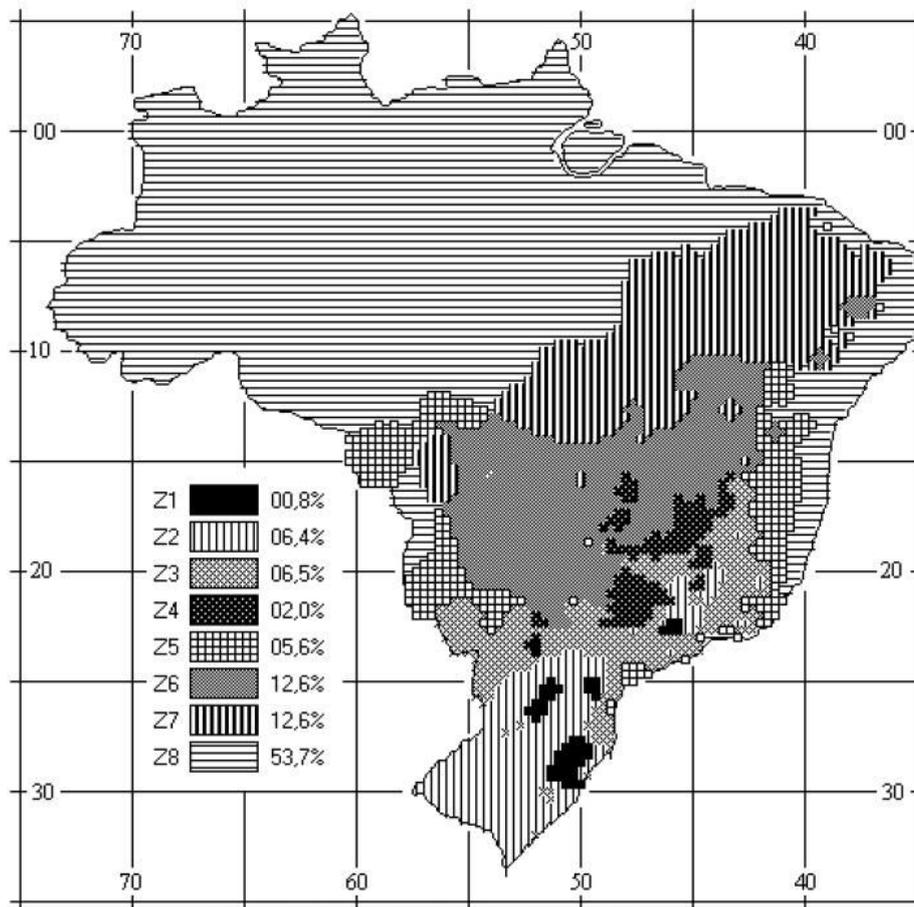


Figura 6.2: Zoneamento bioclimático do brasileiro.

Fonte: NBR 15.220-3 (2003)¹².

O procedimento para agrupamento das zonas bioclimáticas foi feito a partir da Carta

¹¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

¹² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op. cit.*

Bioclimática de Givoni adaptada ao Brasil (figura 6.3). O método adotado para classificação foi o seguinte: as informações mensais de temperatura e umidade do ar de cada cidade foram dispostas no gráfico. Através da aplicação desses dados sobre o gráfico e de cálculos realizados é possível determinar o clima de cada região, as estratégias bioclimáticas aplicáveis em cada cidade averiguada, bem como o percentual de cada estratégia acumulado no decorrer do ano.

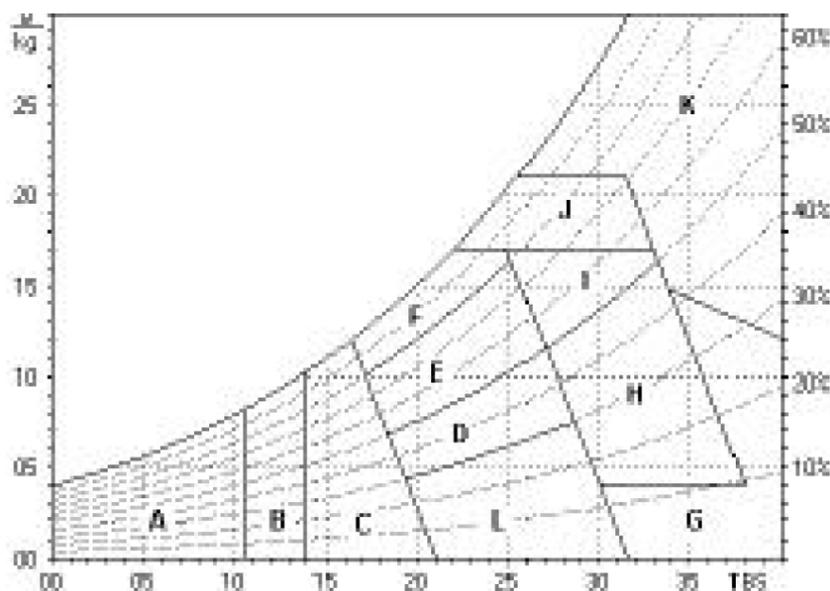


Figura 6.3: Carta de Givoni adaptada ao Brasil.

Fonte: NBR 15.220-3 (2003)¹³.

São oito as zonas bioclimáticas brasileiras. Para as cidades de mesma zona bioclimática, a partir do estudo de dados climáticos como a temperatura e a umidade do ar, as mesmas estratégias de projeto para a obtenção do conforto térmico têm aplicação pertinente. A partir da figura 6.4 acima vê-se as seguintes estratégias em destaque (NBR 15220-3, 2003)¹⁴:

- A – zona de aquecimento artificial (calefação);
- B – zona de aquecimento solar da edificação;
- C – zona de massa térmica para aquecimento;
- D – zona de conforto térmico (baixa umidade);
- E – zona conforto térmico pleno;

¹³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

¹⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op.cit.*

F – zona de desumidificação (renovação do ar);

G + H – zona de resfriamento evaporativo;

H + I – zona de massa térmica de refrigeração;

I + J – zona de ventilação;

K – zona de refrigeração artificial;

L – zona de umidificação do ar.

A partir dos dados da figura 6.4, exemplo da carta bioclimática da cidade de Brasília, dentre outras informações, é que serão explorados os projetos em destaque no capítulo 13 desta dissertação; e estudadas algumas técnicas construtivas em destaque no capítulo 11.

Para fins de esclarecimento a NBR 15220-3 (2003)¹⁵ cita como exemplo o caso de Brasília, no qual se observa na carta “as respectivas percentagens da horas/ano correspondentes a cada estratégia. Valores menores que 1% são desprezados. Em seguida são selecionadas as cinco principais estratégias, exceto a da região “E” (conforto térmico).”

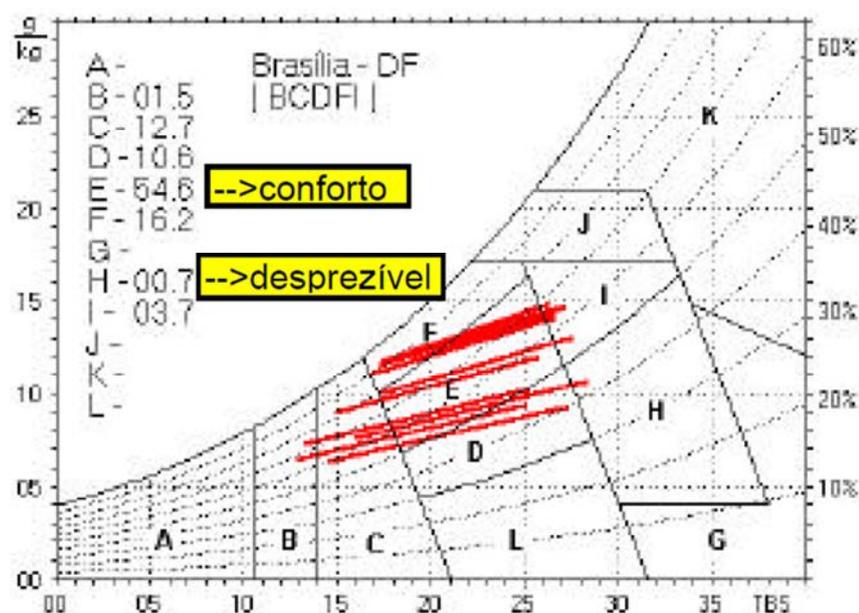


Figura 6.4: Carta bioclimática de Brasília.

Fonte: NBR 15.220-3 (2003)¹⁶.

Assim, tem-se a seguinte disposição de percentuais:

F – 16,2% (zona de desumidificação)

D – 10,6% (zona de conforto térmico - baixa umidade)

¹⁵ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

¹⁶ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op. cit.*

C – 12,7% (zona de massa térmica para aquecimento)

I – 3,7% (zona de ventilação)

B – 1,5% (zona de aquecimento solar da edificação)

As letras supracitadas definem, portanto, as estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Brasília bem como a zona bioclimática a que pertence.

As letras que compõem as estratégias bioclimáticas sugeridas para Brasília pela norma, no caso “BCDFI”, são definidoras da zona a que a cidade pertence. Ao observar a figura 6.5, verificando de cima para baixo, as estratégias identificadas com “sim”, tem presença obrigatória; e aquelas com “não”, são proibidas na zona em questão.

Classificação							Zona	N ^o Cidades
A	B	C	D	H	I	J		
Sim					Não	Não	1	12
Sim							2	33
	Sim		Não	Não			3	62
	Sim						4	17
		Sim	Não	Não			5	30
		Sim					6	38
				Sim			7	39
			Não				8	99

Legenda: Sim = presença obrigatória
Não = presença proibida

NOTAS:
1 As estratégias não assinaladas com sim ou não podem estar no código do clima, mas sua presença não é obrigatória.
2 Percorrer a tabela de cima para baixo, adotando a primeira zona cujos critérios coincidam com o código.

Figura 6.5: Classificação da zona bioclimática.

Fonte: NBR 15.220-3 (2003)¹⁷.

Por exemplo, para pertencer à zona 1, é necessário conter a estratégia “A”, e as estratégias “I” e “J” não podem existir. Para o caso de Brasília não é indicada a estratégia “A”, e contém a estratégia “I”. Dessa maneira, Brasília não pertence à zona bioclimática 1.

Seguindo o sentido de leitura da figura, de cima para baixo, vê-se que Brasília pertence à zona bioclimática 4, visto que contém a estratégia “B” indicada pela norma.

6.4 NBR 15220-3 E A CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS

Para formular os métodos de condicionamento térmico-passivo que, ordenados para cada zona bioclimática, foram apreciados os seguintes critérios: tamanho das aberturas (ventilação), proteção das aberturas, vedações externas (paredes e coberturas), e métodos para

¹⁷ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

condicionamento térmico passivo.

Conforme define a NBR 15220-3 o que diferenciam aberturas pequenas, médias e grandes é a relação entre o percentual da área de abertura em relação à área de piso, segundo a figura 6.6, que segue:

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Figura 6.6: Tamanho das aberturas conforme NBR 15220-3.

Fonte: NBR 15.220-3 (2003)¹⁸.

Enquanto as vedações externas, como parede e cobertura, são classificadas de acordo com a figura 6.7 abaixo:

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - ϕ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Figura 6.7: Classificação das vedações conforme NBR 15220-3.

Fonte: NBR 15.220-3 (2003)¹⁹.

Para cada zona bioclimática, será tomada como exemplo uma cidade a qual se aplica. As informações a seguir são baseadas na NBR 15220-3 (2003)²⁰.

Para a zona bioclimática 1 (figura 6.8), representante de 00,8% do território nacional, há o exemplo da cidade de Caxias do Sul (RS). Para a zona recomenda-se: aberturas médias que permitam a entrada da radiação solar durante o inverno; construção com paredes externas leves e cobertura leve isolada. Como estratégias indicam-se para o inverno o aquecimento solar da edificação (B) e vedações internas pesadas para maior inércia térmica (C). Contudo, a norma afirma que o condicionamento passivo será insuficiente no período mais frio do ano.

¹⁸ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

¹⁹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op. cit.*

²⁰ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op.cit.*

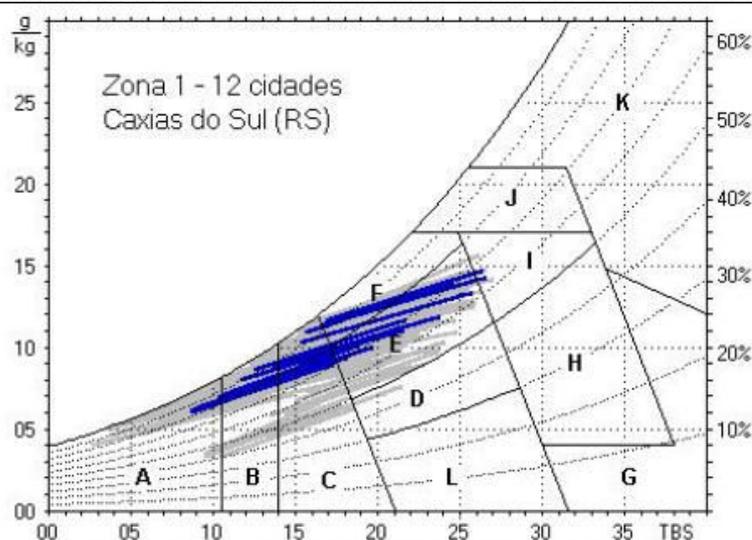


Figura 6.8: Carta bioclimática da zona 1, em destaque Caxias do Sul (RS).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²¹.

Ponta Grossa (PR) é a cidade em destaque na zona bioclimática 2 (figura 6.9), a qual representa 06,4% da área do Brasil. Para a zona sugere-se que: as aberturas de ventilação sejam médias com acesso à radiação solar durante o inverno; as paredes externas devem ser leves, com a cobertura leve e isolada. As estratégias recomendadas são a ventilação cruzada no verão (J), e no inverno o aquecimento solar da edificação (B) e paredes internas que garantam maior inércia térmica (C). A norma descreve que o condicionamento passivo será insuficiente no inverno.

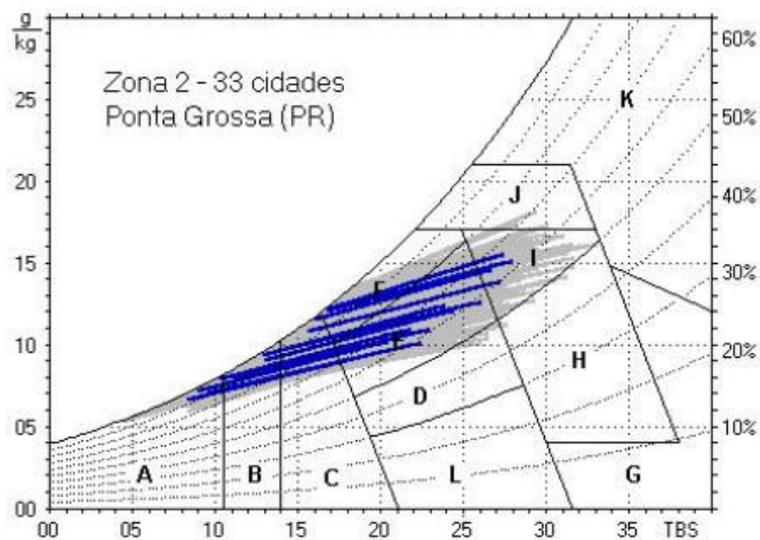


Figura 6.9: Carta bioclimática da zona 2, em destaque Ponta Grossa (PR).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²².

²¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

A cidade de Florianópolis pertence à zona bioclimática 3 (figura 6.10), que está presente em 06,5% do território brasileiro. Para a zona orienta-se: aberturas de tamanho mediano que permitam o acesso da radiação solar no inverno; as paredes externas sejam leves e refletoras, e a cobertura leve e isolada. Como métodos construtivos, são destacados: a ventilação cruzada no verão (J), o aquecimento solar da edificação (B) e vedações internas pesadas no inverno (C).

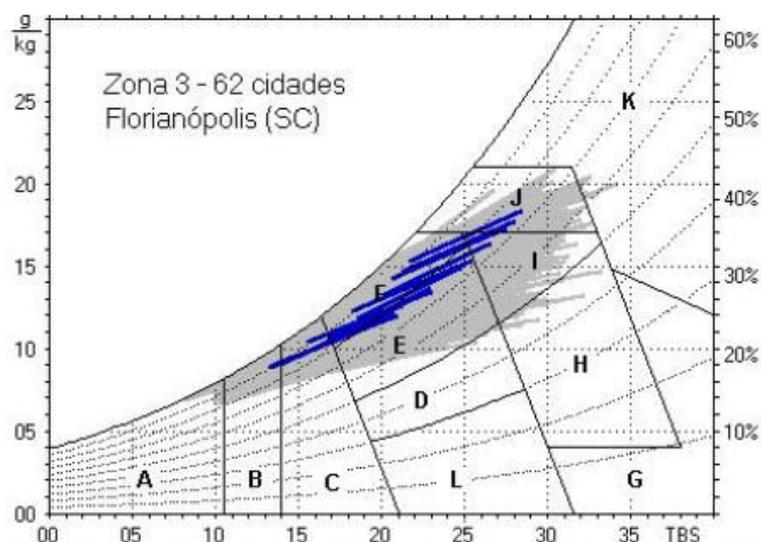


Figura 6.10: Carta bioclimática da zona 3, em destaque Florianópolis (SC).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²³.

Para a zona bioclimática 4 (figura 6.11), que ocupa 02,0% da área brasileira, é destacada Brasília. Para ela propõe-se: aberturas médias e sombreadas; com paredes externas pesadas e cobertura leve isolada. As estratégias recomendadas para o inverno são o aquecimento solar da edificação (B) e vedações internas pesadas para maior inércia térmica (C); para o verão resfriamento evaporativo e a massa térmica de resfriamento (H) e a ventilação seletiva (J).

²² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

²³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op. cit.*

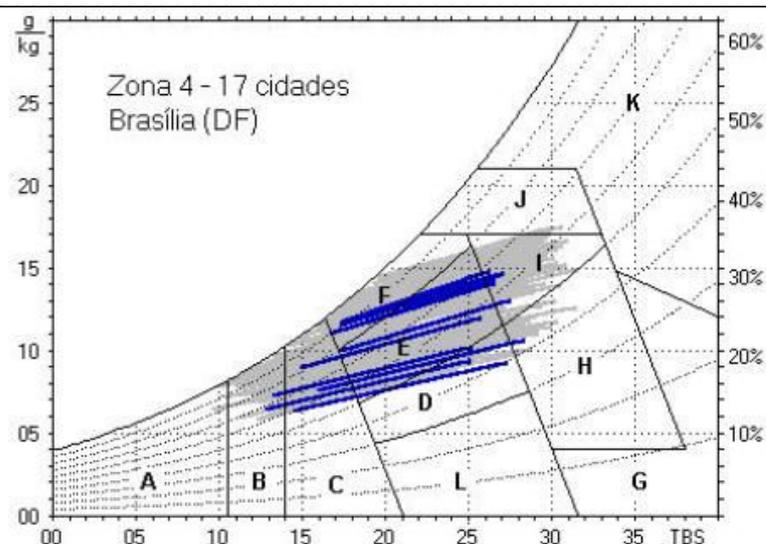


Figura 6.11: Carta bioclimática da zona 4, em destaque Brasília (DF).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²⁴.

Para a zona bioclimática 5 (figura 6.12), presente em 05,6% do território nacional, há o exemplo da cidade de Santos (SP). Para ela recomenda-se: aberturas médias e sombreadas; construção com paredes externas leves refletoras e cobertura leve isolada. Como estratégia indica-se para o inverno vedações internas pesadas para maior inércia térmica (C), e para o verão a ventilação cruzada (J).

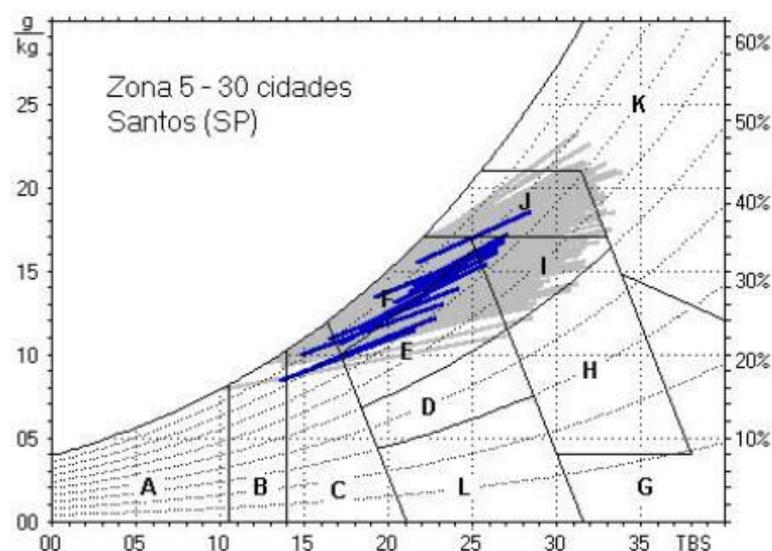


Figura 6.12: Carta bioclimática da zona 5, em destaque Santos (SP).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²⁵.

Goiânia (GO) é a cidade em destaque na zona bioclimática 6 (figura 6.13), que consta

²⁴ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

²⁵ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op. cit.*

em 12,6% da área do Brasil. Para a zona sugere-se que: as aberturas de ventilação sejam médias e sombreadas; as paredes externas devem ser pesadas, com a cobertura leve e isolada. As estratégias recomendadas são paredes internas pesadas que garantam maior inércia térmica (C) para o período do inverno; resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento (H) e a ventilação seletiva no verão (J), quando a temperatura externa é inferior à interna.

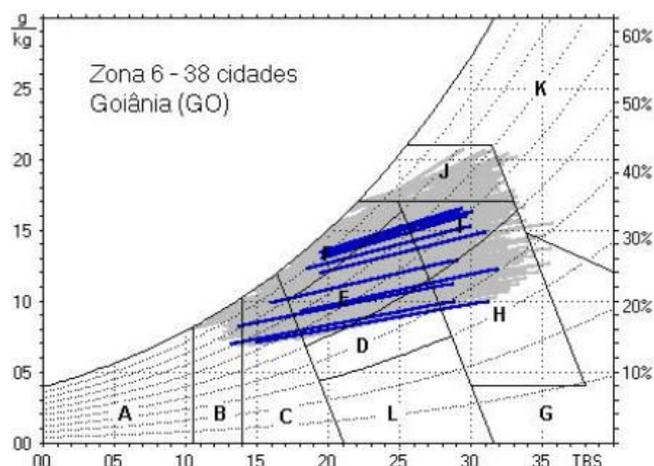


Figura 6.13: Carta bioclimática da zona 6, em destaque Goiânia (GO).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²⁶.

A cidade de Picos pertence à zona bioclimática 7 (figura 6.14), a qual está presente em 12,6% do território brasileiro. Para ela orienta-se: aberturas pequenas e sombreadas; as paredes externas pesadas, com cobertura pesada. Como método construtivo, indica-se: resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento (H) e a ventilação seletiva no verão (J), quando a temperatura externa é inferior à interna.

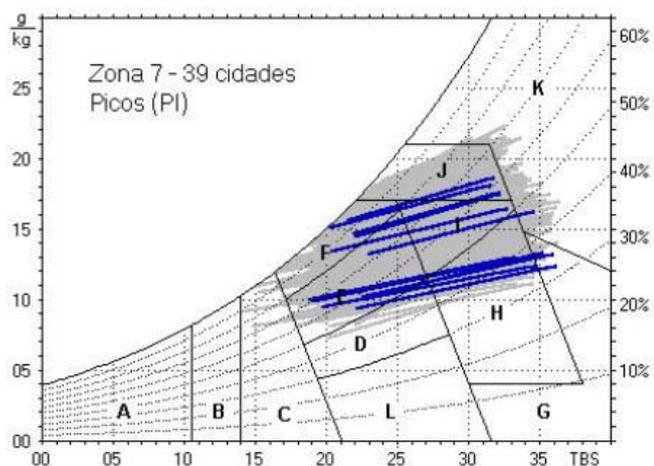


Figura 6.14: Carta bioclimática da zona 7, em destaque Picos (PI).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²⁷.

²⁶ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

Para a zona bioclimática 8 (figura 6.15), representante de 53,7% da área nacional, é destacada Belém (PA). É nessa zona que estão situadas a maioria das capitais brasileiras. Para ela propõe-se: aberturas grandes e sombreadas; construção com paredes externas leves e refletoras, bem como para a cobertura. A estratégia recomendada para o verão é a ventilação cruzada permanente (J). Contudo, consta na norma que o condicionamento passivo será insuficiente nas horas de calor elevado.

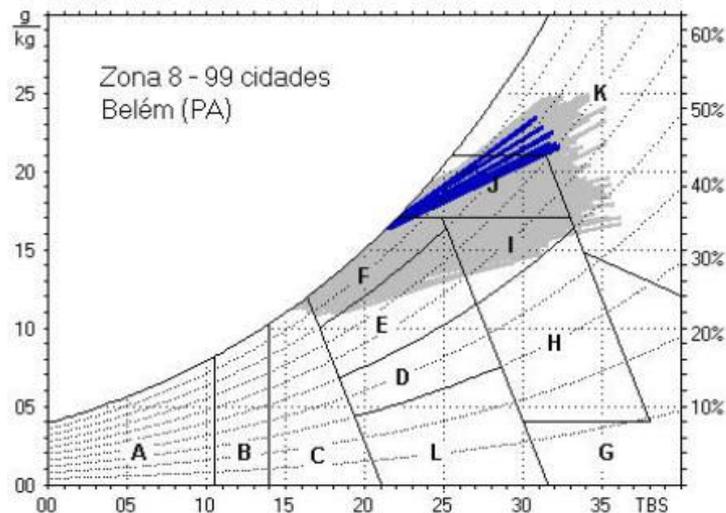


Figura 6.15: Carta bioclimática da zona 8, em destaque Belém (PA).
Fonte: NBR 15.220-3 (2003)²⁸.

A bioclimatologia e a NBR 15220-3 estão no mesmo capítulo pelo vínculo que possuem: a promoção do projeto bioclimático. Para a difusão desse projeto no Brasil, a NBR 15220-3 é um instrumento para o profissional que revela estratégias projetuais adequadas às oito zonas bioclimáticas existentes. Depois de caracterizar as zonas bioclimáticas brasileiras, elucidando como funciona o regulamento técnico, é no capítulo 7 que são apresentadas as técnicas construtivas caracterizadas como ferramentas de um projeto arquitetônico bioclimático. A especificação desses artificios confere à averiguação dos projetos de Paulo Mendes, no capítulo 9, o embasamento necessário para a qualidade da pesquisa.

²⁷ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

²⁸ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *op. cit.*

7. ESTRATÉGIAS DE PROJETO

Este capítulo tem a função de discutir sobre as possíveis técnicas de projeto que sejam aplicáveis na busca pelo ambiente qualificado e para o exame dos projetos de Paulo Mendes conforme solicita esta pesquisa. É preciso somar essas informações para, de uma maneira prática, trabalhar um projeto arquitetônico pertinente à bioclimatologia.

Buscar a arquitetura adequada ao clima é o mesmo que idealizar espaços que viabilizem as condições de conforto ao indivíduo. A autora Frota *et al* (2001)¹ afirma: “À arquitetura cabe, tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como os de excessivos calor, frio ou ventos, como também propiciar ambientes que sejam, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos.” Deve existir uma afinidade entre os fatores do clima e as soluções arquitetônicas aplicadas, empregando o uso passivo da energia através da utilização de técnicas construtivas.

7.1 A VENTILAÇÃO NATURAL

Em regiões com períodos quentes o movimento do ar é significativo para o bem-estar do ser humano. Não é menos importante para os elementos que compõem o espaço interno de uma residência, já que são corpos que retêm calor. A ventilação visa reduzir a temperatura superficial dos corpos (Roberto Rivero, 1985)².

Existem duas exigências elementares para a sobrevivência de um ser humano em um ambiente: o controle da concentração de gás carbônico e o suprimento de oxigênio. Outra função da ventilação é promover a retirada do calor em excesso dos ambientes, provenha ele da radiação solar, ou do calor gerado no próprio meio através de fontes diversas. A ventilação propicia a renovação do ar do meio, promove a higiene e o conforto térmico em regiões de clima quente e úmido. Ela é capaz de dissipar o calor e a concentração de vapores, fumaça, poluentes, etc.

Hertz (1998)³ comenta, ainda, que “A falta de ventilação nas zonas urbanas, com uma alta densidade de população, tem sido uma causa fundamental na transmissão de doenças,

¹ FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli (2001): **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 243 p.

² RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

³ HERTZ, John (1998): **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo, Pioneira, 125 p.

além de provocar desconforto e tensão.” A intensidade do fluxo de ar depende da forma do edifício, da presença de obstruções, da resistência oferecida pelas aberturas, da diferença de pressão exercida pelo ar nos ambientes interno e externo, entre outros.

Na figura 7.1 se observa a demanda de ar por hora em função do provimento de oxigênio, da dissolução do gás carbônico concentrado, da eliminação dos odores corporais por pessoa em atividade sedentária. Além de representar a quarta curva que indica adultos em atividade física moderada.

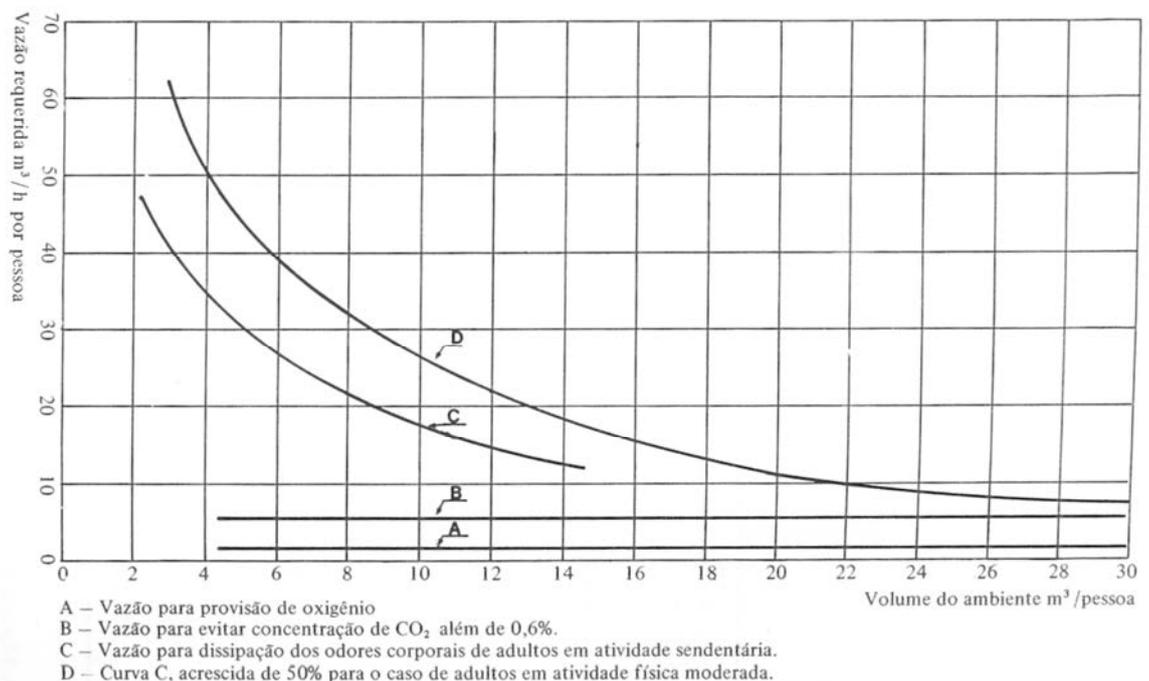


Figura 7.1: Índices de ventilação recomendada.
Fonte: Eustáquio Toledo (1967)⁴.

A ventilação natural ocorre quando há o deslocamento de ar através da edificação, por meio das aberturas que funcionam como local de entrada e de saída. Para tanto, é necessário que as aberturas sejam corretamente posicionadas e dimensionadas, proporcionando um fluxo de ar adequado. Ela ocorre de duas maneiras: pela ação dos ventos, e pela diferença de densidade através do “efeito chaminé” (Anésia Frota et al, 2001)⁵.

⁴ TOLEDO, Eustáquio (1967): **Ventilação natural dos edifícios**. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 170 p.

7.1.1 VENTILAÇÃO ATRAVÉS DA AÇÃO DOS VENTOS

A distribuição das pressões que o vento exerce sobre uma edificação depende da sua direção em relação ao objeto construído e da presença de obstáculos que obstruam o caminho do vento. E a pressão exercida pelo vento depende da velocidade e do ângulo em que incide (Anésia Frota *et al*, 2001)⁵.

O ar desloca-se paralelamente ao solo. Ao encontrar um obstáculo, como uma edificação, a tendência é que haja a retomada do curso. Conforme a figura 7.2, as paredes que estão expostas ao vento estão sofrendo pressões positivas, e é nelas que as aberturas para entrada de ar devem estar alocadas. Enquanto as paredes sujeitas a subpressões, aquelas que não estão expostas à ventosidade, devem receber aberturas para saída de ar.

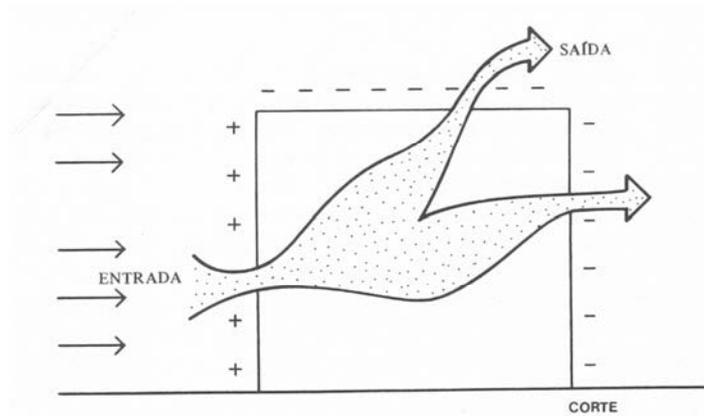


Figura 7.2: Ventilação por ação dos ventos.

Fonte: Anésia Frota *et al* (2001)⁶.

A ação dos ventos, principalmente em áreas urbanas, sofre a ação da presença de obstáculos, ou seja, tudo aquilo que dificulta ou obstrui a passagem. O obstáculo pode ser desde um arbusto, até a existência de uma edificação próxima à construção em questão. Tal situação é retratada na figura 7.3, relacionando o obstáculo, a edificação e o trajeto percorrido pela ventilação a partir da variação entre as distâncias dos dois objetos.

⁵ FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli (2001): **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 243 p.

⁶ FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. *op. cit.*

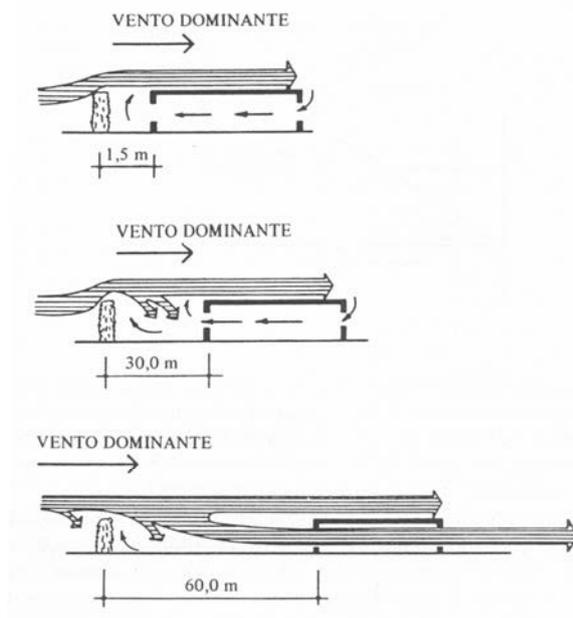


Figura 7.3: Distância entre obstáculo e edificação em relação ao sentido da ventilação interna. Fonte: Victor Olgyay (1963)⁷.

7.1.2 VENTILAÇÃO ATRAVÉS DO “EFEITO CHAMINÉ”

Relativo ao “efeito chaminé”, interpretado na figura que segue, considera-se as diferentes pressões causadas pela diferença de temperatura do ar externo e interno. Com o aumento do calor interno de uma edificação, enquanto o ar frio, e mais denso, desce; o ar aquecido, e menos denso, ascende. Para tanto, ao dispor aberturas próximas ao piso e ao teto, haverá, respectivamente, uma tendência do ar ingressar no ambiente pelas aberturas baixas e partir pelas aberturas altas – por conta do ar mais frio externo em relação ao ar interno.

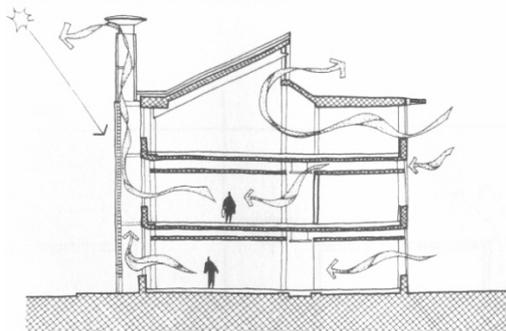


Figura 7.4: Efeito chaminé, edifício de escritórios BRE, por Feilden-Clegg na Inglaterra. Fonte: G. Brown *et al* (2004)⁸.

⁷ OLGAYAY, Victor (1963): **Design with climate**. Princeton, Universidade de Princeton, 236 p.

7.1.3 FLUXO DE AR NOS RECINTOS

A ventilação do interior de uma edificação depende diretamente da posição e das dimensões das aberturas, o que influencia na qualidade e na quantidade dessa ventilação. Outrossim, dispor duas janelas em um único plano não terá um bom resultado visto que com pressões iguais não há circulação de ar eficiente. Para tanto, uma ventilação eficaz é aquela em que as aberturas apresentam-se em paredes opostas. Tal ventilação é denominada ventilação cruzada. Vide os diferentes fluxos do ar nas figuras 7.5 e 7.6.

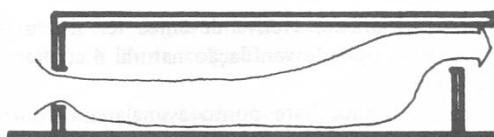


Figura 7.5: Ventilação cruzada vista em corte.
Fonte: Roberto Rivero (1985)⁹.

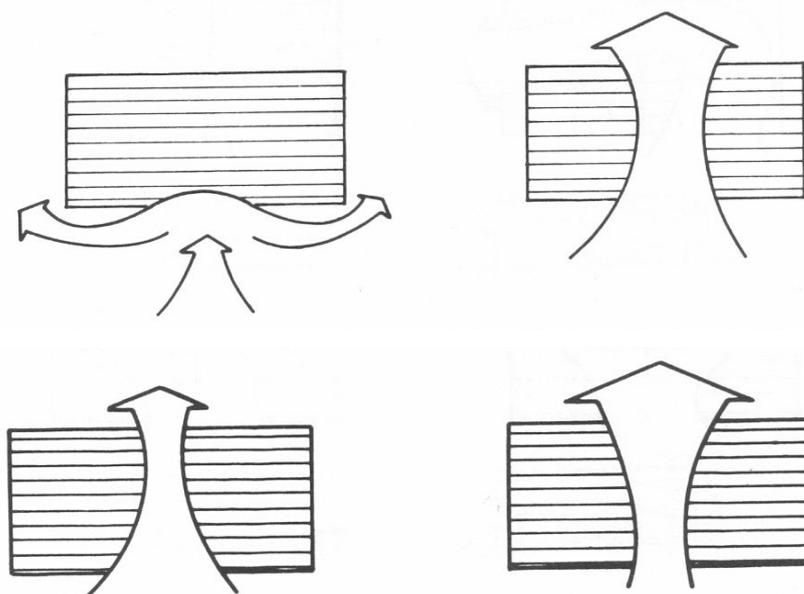


Figura 7.6: Fluxos de ar em ambientes internos vazios (em planta).
Fonte: Victor Olgyay (1963)¹⁰.

⁸ BROWN, G.; DEKAY, Mark (2004): **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Porto Alegre, Bookman, 415 p.

⁹ RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

¹⁰ OLGAYAY, Victor (1963): **Design with climate**. Princeton, Universidade de Princeton, 236 p.

Na figura 7.7, é possível visualizar as diferentes condutas da ventilação frente à presença de dispositivos de proteção tipo quebra-sol, dentre outros. E, na figura 7.8, há a representação de como a ventilação reage à existência de obstruções internas.

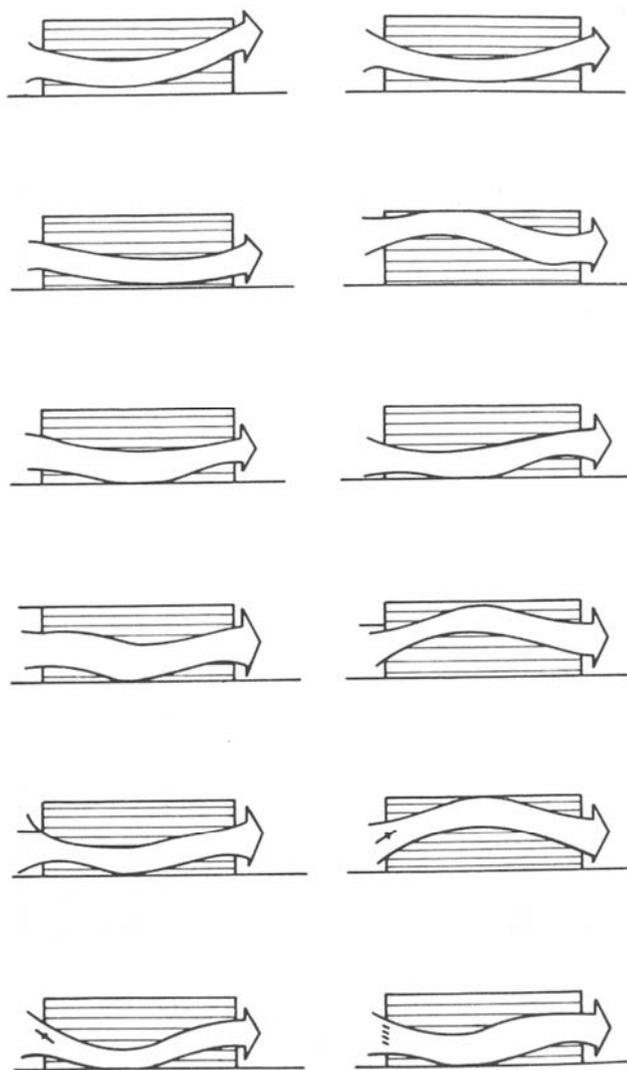


Figura 7.7: Fluxos de ar em ambientes em diferentes situações e disposições de aberturas em fachadas opostas (em corte).

Fonte: Victor Olgay (1963)¹¹.

¹¹ OLGAY, Victor (1963): **Design with climate**. Princeton, Universidade de Princeton, 236 p.

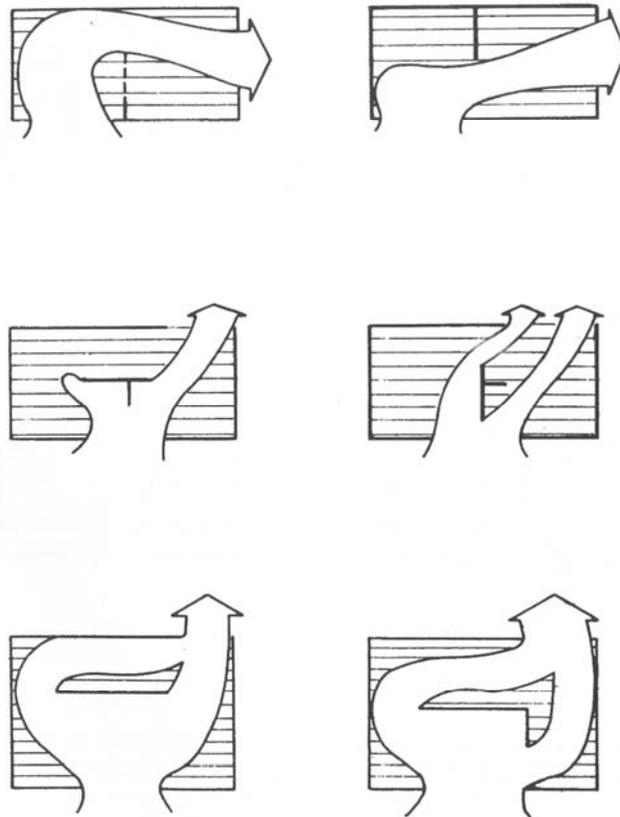


Figura 7.8: Fluxos de ar em ambientes internos e com obstruções (em planta).
Fonte: Victor Olgay (1963)¹².

Ainda, a figura 7.9 expõe casos em que a ventilação é capaz de produzir um efeito favorável quando associada à vegetação, principalmente para casos em que as aberturas não estão orientadas na direção do vento dominante.

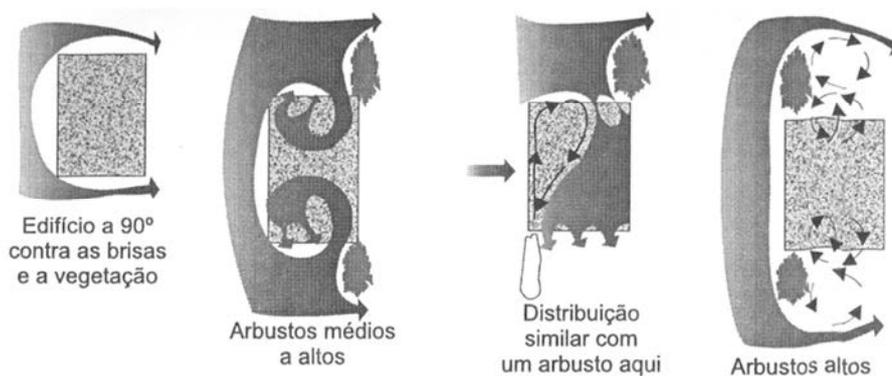


Figura 7.9: A presença de arbustos influenciando no fluxo de ar interno.
Fonte: Eduardo González *et al* (1986)¹³.

¹² OLGAY, Victor (1963): **Design with climate**. Princeton, Universidade de Princeton, 236 p.

¹³ GONZÁLEZ, Eduardo; HINZ, Elke; OTEIZA, Pilar de; QUIRÓS, Carlos. (1986): **Proyecto, Clima y Arquitectura**. México, Editora Gili, vol. I-III.

Vê-se a vegetação alterando o fluxo da corrente de ar na figura 7.10 em planta e em corte, segundo imagem.

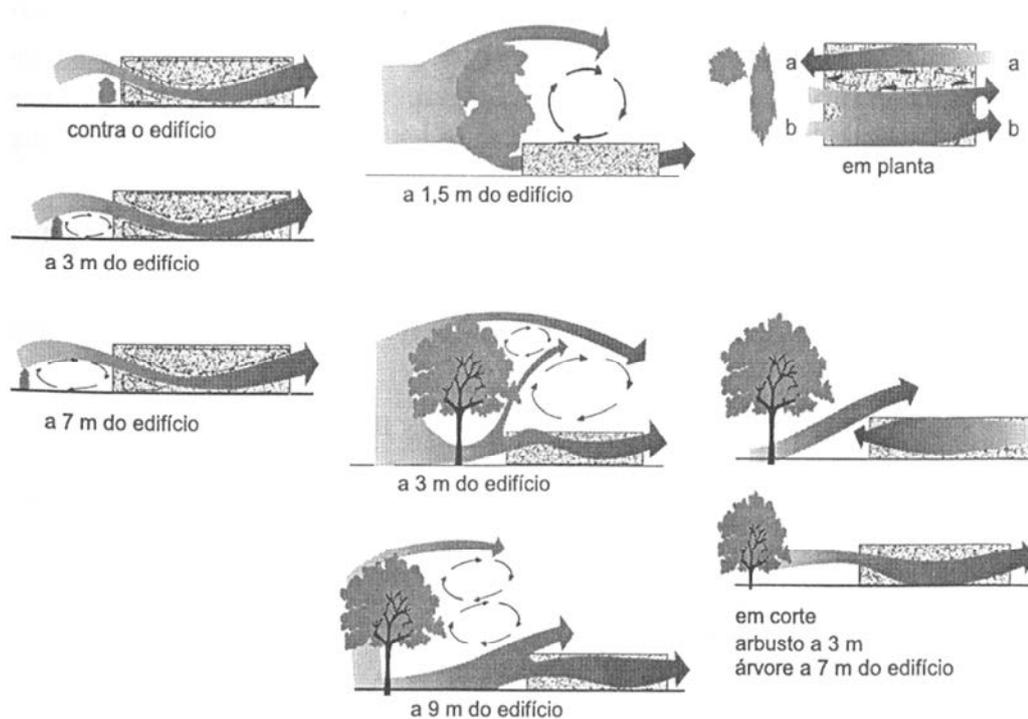


Figura 7.10: A presença da vegetação e as modificações na corrente de ar.
Fonte: Eduardo González *et al* (1986)¹⁴.

7.1.4 A VENTILAÇÃO E O TELHADO

Dado o alto nível de exposição à radiação solar, o telhado deve receber um controle para o ganho de calor. Ele deve ser leve e forte, para resistir aos ventos, e inclinado a fim de eliminar a água da chuva (John Hertz, 1998)¹⁵.

Na figura 7.11 são representadas graficamente diversas técnicas para ventilação do telhado. E na figura 7.12, é apresentado o comportamento do vento a partir do formato do telhado.

¹⁴ GONZÁLEZ, Eduardo; HINZ, Elke; OTEIZA, Pilar de; QUIRÓS, Carlos. (1986): **Proyecto, Clima y Arquitectura**. México, Editora Gili, vol. I-III.

¹⁵ HERTZ, John (1998): *Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil*. São Paulo, Pioneira, 125 p.

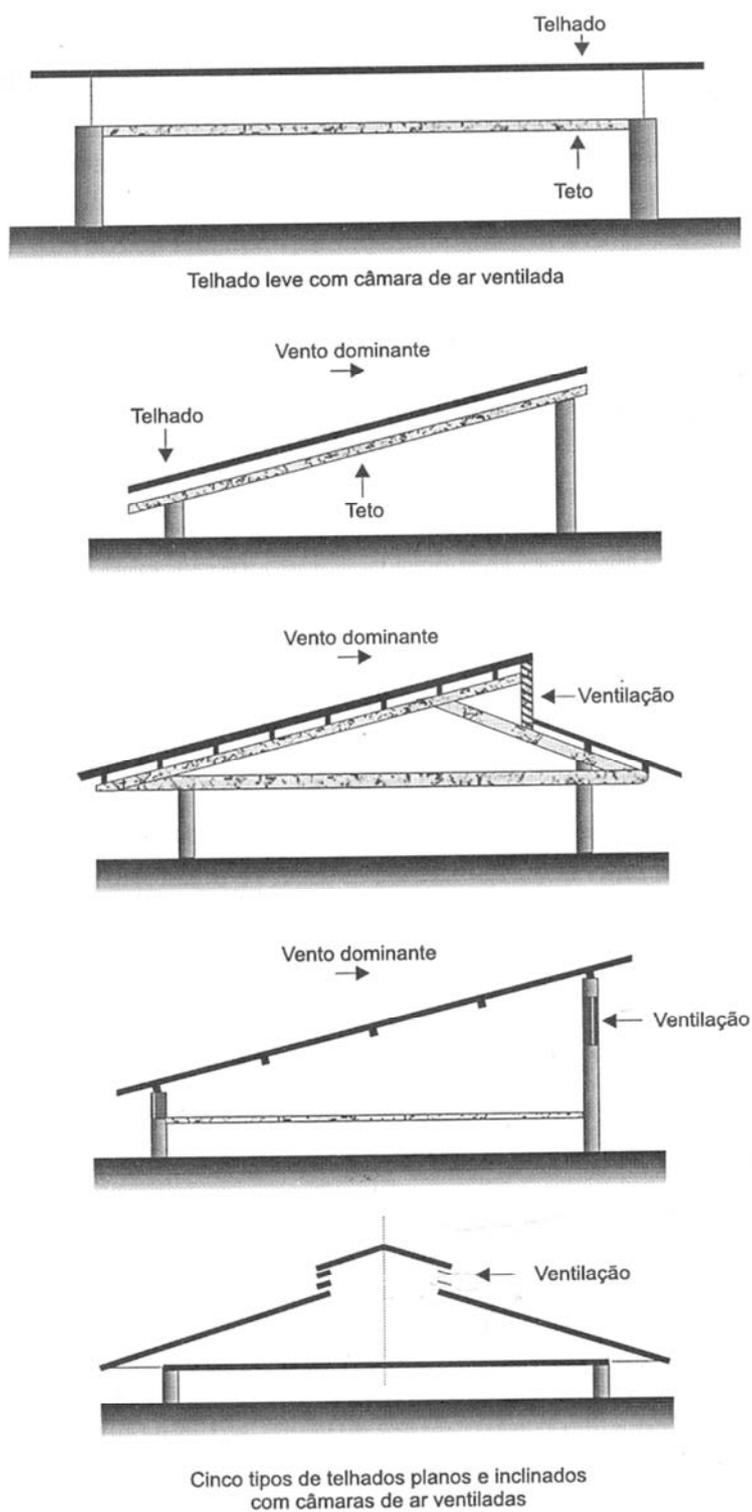


Figura 7.11: Diferentes opções de telhados que priorizam a ventilação.
Fonte: Eduardo González *et al* (1986)¹⁶.

¹⁶ GONZÁLEZ, Eduardo; HINZ, Elke; OTEIZA, Pilar de; QUIRÓS, Carlos. (1986): **Proyecto, Clima y Arquitectura**. México, Editora Gili, vol. I-III.

A autora Roaf *et al* (2007)¹⁷ sugere em sua obra que o telhado seja desenhado com cuidado, visto que a sua forma exerce influência na pressão que o ar desempenha sobre a casa. Segundo ela, quanto mais alto o telhado maior será a pressão positiva à barlavento, e maior a pressão negativa à sotavento.

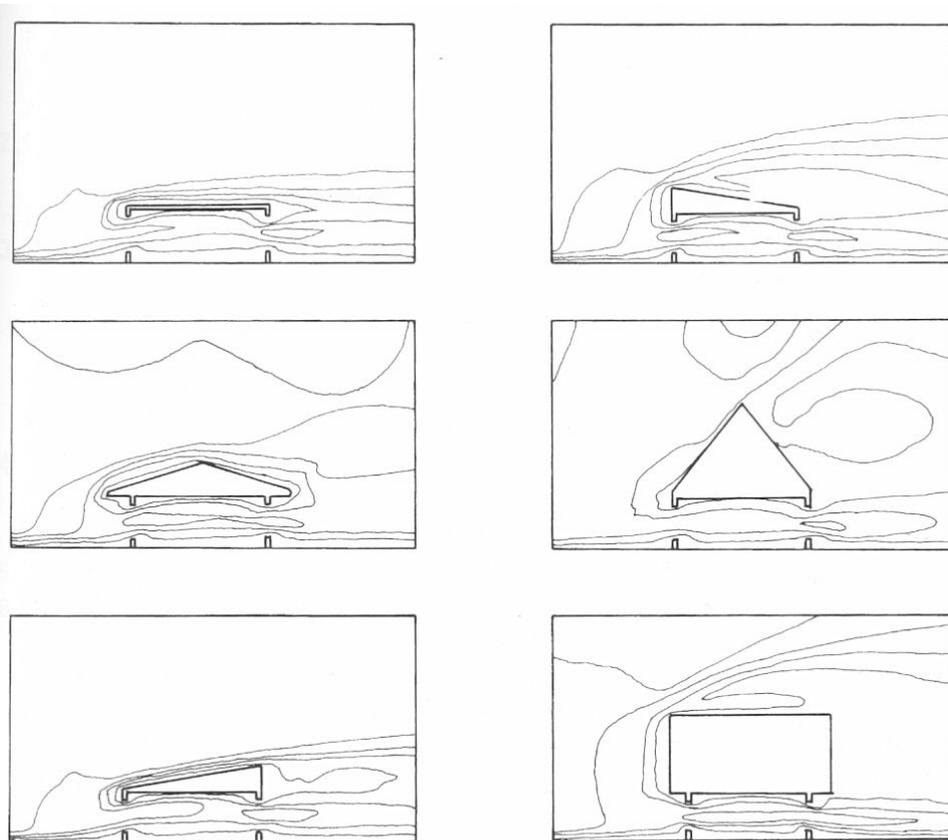


Figura 7.12: O comportamento do vento a partir da forma do telhado.
Fonte: Kindangen *et al* (1997)¹⁸.

No próximo subitem há a explanação sobre as aberturas e estratégias projetuais aplicáveis nesta importante peça da edificação que conecta o interior ao exterior da edificação.

7.2 AS ABERTURAS

Através das janelas é possível ventilar, iluminar, e estabelecer trocas térmicas entre os meios externo e interno, além do contato visual proporcionado. A radiação solar incidente,

¹⁷ ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie (2007): **Ecohouse**. Burlington, Architectural Press, 479 p.

¹⁸ KINDANGEN, J.; KRAUSS, G.; DEPECKER, P. (1997): **Effects of windshapes on wind-induced air motion inside buildings**. Building and Environment 32, janeiro, 1-14 p.

além de produzir a luz visível, ainda é responsável pelos efeitos térmicos. Brown *et al* (2004)¹⁹ afirma que em uma edificação “O tamanho, o número e a orientação das janelas afetam enormemente o consumo energético”. Enquanto Hertz (1998)²⁰ declara que “Do ponto de vista funcional, as características das janelas também variam de acordo com as necessidades específicas dos tamanhos dos cômodos e das atividades neles desenvolvidas.” Para tanto, o assunto está disposto nesta dissertação como uma estratégia a ser considerada.

Quanto à iluminação natural, a forma da janela afeta na relação de uniformidade. Referente à distribuição de luz, Silva (1994)²¹ explica que a janela de forma retangular, cuja maior medida está na posição horizontal, possibilita maior distribuição de luz próximo à ela. A janela posicionada verticalmente permite que a luz atinja pontos mais profundos da sala. Enquanto a janela de forma quadrada apresenta um efeito intermediário na distribuição da luz.

O tamanho da janela é o quesito, dentre os estudados por Silva (1994)²², que mais afeta na distribuição da iluminação natural. A quantidade de luz que entra em um ambiente é diretamente proporcional ao tamanho da janela.

São elementos complementares à janela, conforme a figura 7.13:

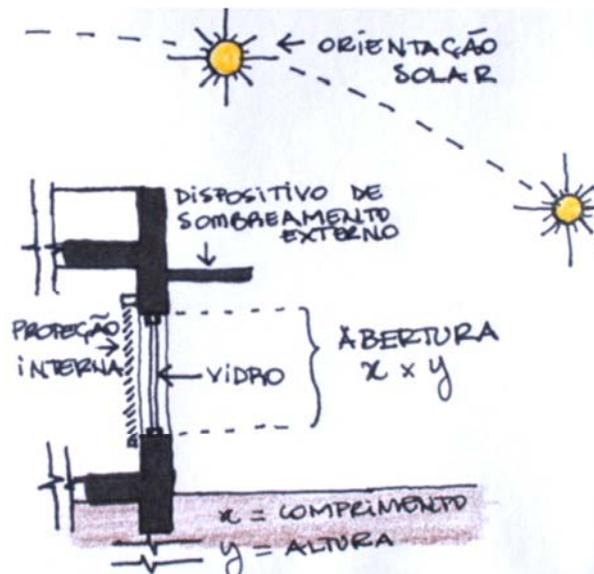


Figura 7.13: Dispositivos de sombreamento.

Fonte: figura elaborada pela autora.

¹⁹ BROWN, G.; DEKAY, Mark (2004): **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Porto Alegre, Bookman, 415 p.

²⁰ HERTZ, John (1998): **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo, Pioneira, 125 p.

²¹ SILVA, Heitor da Costa (1994): **Window Design for Thermal Comfort in Domestic Buildings in Southern Brazil**. (Tese de Doutorado defendida na Architectural Association, School of Architecture, Londres).

²² SILVA, Heitor da Costa. *op. cit.*

Em termos de desempenho térmico, Silva (1994)²³ descreve em sua tese, para o caso de Porto Alegre, “É importante compreender a janela como um sistema que aprovisiona luz natural e que seu desenho tem relação com a performance térmica.” Ele investigou, entre outros itens, três parâmetros que afetam os índices de distribuição da iluminação no ambiente, são eles: a forma, a posição e o tamanho da janela.

Com a área de janela reduzida, há um aumento global no número de horas com temperatura interna aceitável para o conforto do ocupante. Não obstante, o incremento de horas depende principalmente de outros fatores como a massa térmica da edificação, estação do ano e orientação da abertura.

A melhora no quesito conforto, alcançada através da redução da área da abertura, é mais efetiva em edificações de massa térmica elevada. Contudo, essa melhora está dentro dos limites estabelecidos. O efeito é limitado para janela de certas orientações.

Dentre as conclusões da tese em questão, define-se que dentre os parâmetros avaliados no estudo – tais como a massa térmica, a orientação, o sombreamento, a ventilação, a aplicação de persianas noturnas de proteção - cada um teve um efeito mais significativo no ambiente interno, moderando o ambiente e controlando os níveis de conforto, do que a área de janela.

Estabelece-se que, no verão, a área reduzida de janela também diminuiu a coleta de radiação. As inferências são as seguintes:

- o conforto do ocupante pode ser intensificado ao considerar a orientação da janela e a massa térmica;
- o número de horas em temperaturas aceitáveis é superior quando as janelas são sombreadas e a ventilação é promovida.

No inverno, com a dedução da perda de calor através da redução da área de janela, as condições internas são as seguintes:

- edificações com massa térmica inferior perdem menos calor se as janelas possuem persianas de proteção noturnas;
- nas edificações de maior massa térmica existe uma pequena melhora, visto que nelas a temperatura interna é menos afetada pela amplitude da temperatura externa, independente da orientação.

²³ SILVA, Heitor da Costa (1994): **Window Design for Thermal Comfort in Domestic Buildings in Southern Brazil**. (Tese de Doutorado defendida na Architectural Association, School of Architecture, Londres).

Quando se refere à orientação, o melhor desempenho térmico da abertura de qualquer tamanho é quando a janela está voltada para a fachada norte, considerando-se verão e inverno, para o caso de Porto Alegre e segundo a tese citada. No verão, a melhor orientação é sul e a pior é oeste. No inverno, a pior orientação para janelas é sul, a melhor é norte, e as demais têm um desempenho equivalente.

Brown *et al* (2004)²⁴ detalha que “A quantidade de luz que penetra em um recinto é uma função da transmissividade das aberturas, da refletância das paredes e do teto, da localização e do tamanho das aberturas, da proporção e do tamanho do recinto e das obstruções externas.”

O ganho térmico através das aberturas também pode ser controlado por meio da aplicação de dispositivos de proteção solar, e da escolha de um vidro especial, conforme mencionado anteriormente.

7.2.1 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

O Brasil é um país com elevado número de horas exposto à radiação solar e, dependendo da zona bioclimática e do período do ano, o controle dos ganhos térmicos de uma edificação é apetente. No desenho de dispositivos de proteção solar há que se ponderar sobre o nível de influência do seu projeto sobre a iluminação natural e o grau de visibilidade entre os meios interno e externo.

Corbella *et al* (2003)²⁵ destaca que “Num clima tropical, a principal causa de desconforto térmico é o ganho de calor produzido pela absorção da energia solar que atinge as superfícies dos ambientes construídos. Então, o primeiro objetivo do projeto arquitetônico é a proteção da radiação solar.”

7.2.2 DISPOSITIVOS INTERNOS

Apesar de ser um tipo de dispositivo bastante simples, a proteção interna é incapaz de evitar o “efeito estufa”. Dentre as proteções internas estão as cortinas e persianas que, além de compor o ambiente internamente, são responsáveis por ordenar o grau de privacidade e da luz

²⁴ BROWN, G.; DEKAY, Mark (2004): **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Porto Alegre, Bookman, 415 p.

²⁵ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos (2003): **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro, Editora Revan, 288 p.

natural que passa pela abertura, sendo possível, inclusive, bloqueá-la totalmente através do uso de cortina *black-out*, por exemplo.

“As cortinas podem ser desde transparentes até opacas, de claras a pretas, chegando ao limite dos materiais que proporcionam o chamado *black-out*. Há também as chamadas cortinas celulares, compostas de duas ou três camadas de tecido especial, em composições do tipo casa de abelha, sanfona. Podem ser brancas, coloridas ou compostas”, é o que assegura Frota (2004)²⁶.

Cortinas e persianas, conforme figura subsequente, oferecem diversas formas de regulagem, sendo possível tê-las com abertura total, parcial, ou totalmente fechadas. As persianas internas são oferecidas nas mais diversas cores, podem ser horizontais ou verticais, e são fornecidas com variação de ângulo que se aproxima de 180°. As lâminas são, geralmente, bem estreitas e o mercado as oferta nos mais diversos materiais, como em alumínio pintado, em madeira, entre outros.



Figura 7.14: Cortina em rolo, persiana horizontal e persiana vertical, respectivamente.
Fonte: site <http://www.persilux.com.br>²⁷.

Existe ainda a opção de aplicar a veneziana em uma camada interna que separa lâminas de vidro (figura 7.15). Essa escolha ganhou espaço em muitos hospitais pelo baixo acúmulo de sujeira. Brown *et al* (2004)²⁸ descreve o seguinte: “A câmara-de-ar entre as camadas de vidro também pode ser ventilada, para remover o calor excessivo captado pelas venezianas entre os vidros”. “O calor solar absorvido pela câmara-de-ar é emitido, promovendo um efeito chaminé que dispersa o calor por convecção.” A seguir, vê-se um detalhe construtivo do mecanismo.

²⁶ FROTA, Anésia (2004): **Geração da Insolação**. São Paulo, Geros, 289 p.

²⁷ **Figuras da cortina em rolo, da persiana horizontal e da persiana vertical**. 2012. Disponível em: <http://www.persilux.com.br>. Acesso em: jun 2012.

²⁸ BROWN, G.; DEKAY, Mark (2004): **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Porto Alegre, Bookman, 415 p.

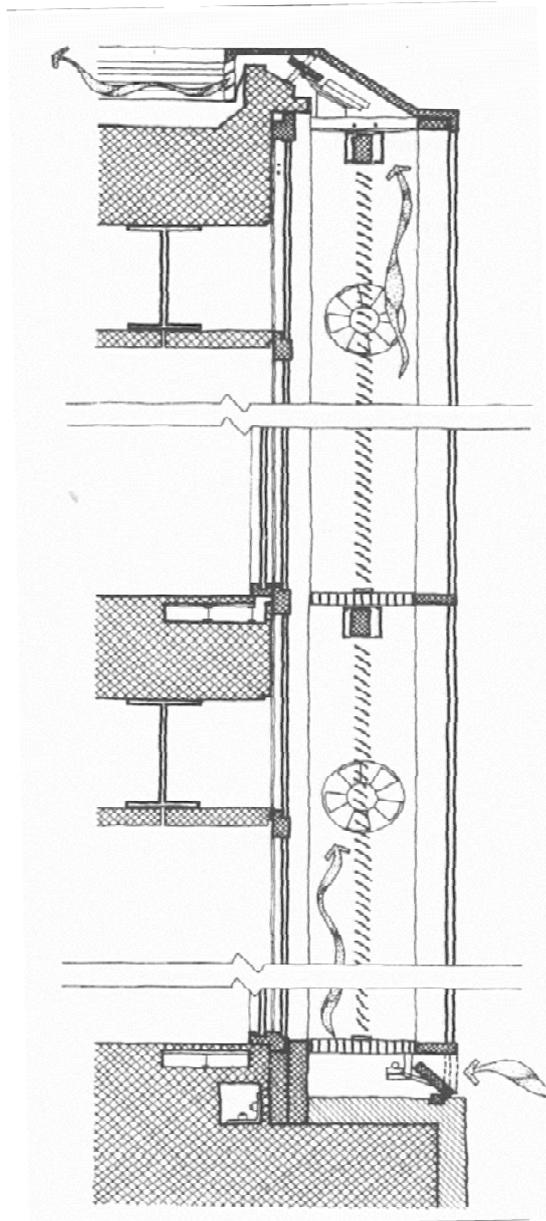


Figura 7.15: Detalhe construtivo de veneziana aplicada na camada de ar, entre lâminas de vidro.
Fonte: Brown *et al* (2004)²⁹.

Embora seja uma alternativa de solução, vale lembrar que todo o mecanismo utilizado exige manutenção e, estando em uma camada interna, a manutenção do sistema torna-se mais difícil e mais cara.

²⁹ BROWN, G.; DEKAY, Mark (2004): *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. Porto Alegre, Bookman, 415 p.

7.2.3 DISPOSITIVOS EXTERNOS

Frota (2004)³⁰ explica “O *brise-soleil*, ou quebra-sol, representa um dispositivo cuja função é sombrear, com o objetivo de reduzir a incidência de Sol sobre uma construção, ou sobre espaços exteriores, de modo a obter melhores condições de temperatura e controle de incidência de luz solar, que pode provocar problemas tanto de iluminação – contrastes e ofuscamentos – e de sobreaquecimento, como de deterioração/fotodegradação dos objetos expostos.” Segundo a autora, este é um importante método para o controle dos ganhos de calor oriundo da radiação solar, contribuindo para a redução do sistema de condicionamento térmico artificial e para a conservação de energia. Quando bem aplicada, viabiliza adequado uso da luz natural.

Ainda, os dispositivos externos evitam a ação do efeito estufa, que ocorre quando a maior parte da radiação solar, por transparência às ondas curtas, passa através do vidro para o interior do recinto, no qual a energia é absorvida e refletida pelos corpos aquecidos - como porta, mesa, estante, ou um ser vivo, por exemplo -, porém agora como onda longa. O vidro, opaco à onda longa, impede a saída de boa parcela dessa energia, o que eleva a temperatura dos locais (Roberto Rivero, 1985)³¹. Para tanto, existem as proteções externas que controlam a entrada da radiação solar no ambiente, e por meio delas é possível evitar o efeito nocivo à manutenção do bom desempenho térmico da edificação.

A presença dos dispositivos de proteção solar externos faz com que as trocas térmicas mais intensas ocorram antes que a energia solar atinja o corpo da edificação. Conforme Frota (2004)³², tal tipo de proteção é mais efetiva se:

- existir uma distância de pelo menos 30cm entre o sistema de sombreamento e o corpo do edifício, porque além de proporcionar a ventilação do espaço, evita um contato maior com o corpo da edificação, dificultando a realização de trocas térmicas;
- apresentar um acabamento superficial na face exposta ao sol de alta reflexão, a fim de reduzir a absorção do calor gerado pela radiação solar;

³⁰ FROTA, Anésia (2004): **Geração da Insolação**. São Paulo, Geros, 289 p.

³¹ RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

³² FROTA, Anésia . *op. cit.*

- a face tiver um acabamento de material com baixa emissividade térmica, como o metal, por exemplo, para que uma quantidade menor de calor seja emitida à superfície externa da edificação;
- o material utilizado for isolante térmico, o que resultará em uma temperatura superficial menor.

Vale lembrar que o uso de proteção externa irá interferir na fachada da edificação. Contudo, é possível ver o dispositivo como um aliado na composição arquitetônica, como um elemento compositivo que pode ajudar a estabelecer ritmo na fachada assim como a agregar valor à tipologia do projeto.

Dentre os diversos métodos para proteção solar externa, cita-se: a varanda, a marquise, a sacada, o *brise-soleil* vertical, o *brise-soleil* horizontal, o *brise-soleil* composto por elementos verticais e horizontais, os toldos, os cobogós, as pérgulas. Para qualquer dos métodos a aplicação deve ser estudada e dimensionada, a fim de obter o melhor aproveitamento da luz natural, e protegendo contra o calor que provém da radiação solar.

A varanda é um elemento presente na arquitetura colonial brasileira. O espaço criado por ela é utilizável, além de proteger contra as chuvas. Contudo quando mal empregada, pode acarretar em ambientes internos escuros. Abaixo está a figura 7.16, do Palácio do Planalto, em Brasília. O pé-direito elevado e as superfícies em acabamento branco visam minimizar essa característica.



Figura 7.16: A varanda do Palácio da Alvorada (1958), em Brasília, de Oscar Niemeyer. Fonte: Philippou (2008)³³.

³³ PHILIPPOU, Styliane (2008): **Oscar Niemeyer : curves of irreverence**. New Haven, Yale University, 414 p.

A marquise da figura 7.17, solidária ao corpo da edificação, é feita usualmente de concreto armado e muito comum em lojas e acessos de edifícios, já que representa também uma proteção a quem chega à edificação. Contudo, pelo maior contato com o corpo edificado, o calor é conduzido com mais facilidade.



Figura 7.17: A marquise da Casa das Canoas (1953), em São Conrado, de Oscar Niemeyer. Fonte: Philippou (2008)³⁴.

A sacada que aparece na figura 7.18, além de ter área utilizável, é também uma forma anteparo do edifício em relação à radiação direta. A sacada do pavimento superior protege o pavimento inferior. É uma alternativa comum em edifícios residenciais.



Figura 7.18: Sacada de edifício residencial Terra Solis (1988), em Cuiabá, de Carlos Bratke. Fonte: Wissenbach (1995)³⁵.

³⁴ PHILIPPOU, Styliane (2008): **Oscar Niemeyer : curves of irreverence**. New Haven, Yale University, 414 p.

³⁵ WISSENBACH, Vicente (coord.) (1995): **Carlos Bratke : arquiteto**. São Paulo, Pro Editores, 171 p.

O *brise-soleil* vertical, exposto na figura 7.19, é constituído por placas verticais. Sua aplicação é indicada para as fachadas de orientações leste e oeste.

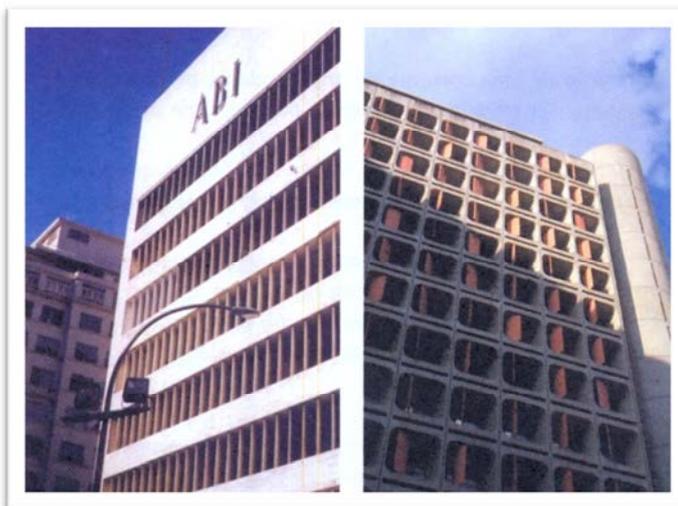


Figura 7.19: Brises verticais da Sede da ABI (1939), no Rio de Janeiro, de Marcelo e Milton Roberto; e do Edifício Morro Vermelho (1974), em Brasília, de João Filgueiras Lima. Fonte: Anésia Frota (2004)³⁶.

O *brise-soleil* horizontal, presentes nas figuras 7.20 e 7.21, cuja aplicação é indicada para a fachada de orientação norte, é formado por elementos horizontais.

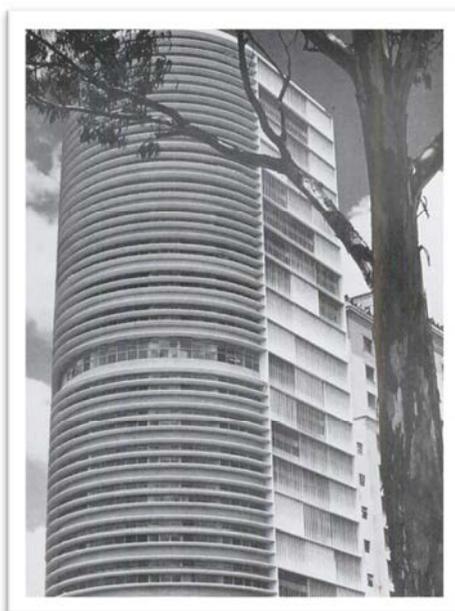


Figura 7.20: Brise horizontal do Edifício Montreal (1950), em São Paulo, de Niemeyer. Fonte: Philippou (2008)³⁷.

³⁶ FROTA, Anésia (2004): **Geração da Insolação**. São Paulo, Geros, 289 p.

³⁷ PHILIPPOU, Styliane (2008): **Oscar Niemeyer : curves of irreverence**. New Haven, Yale University, 414 p.

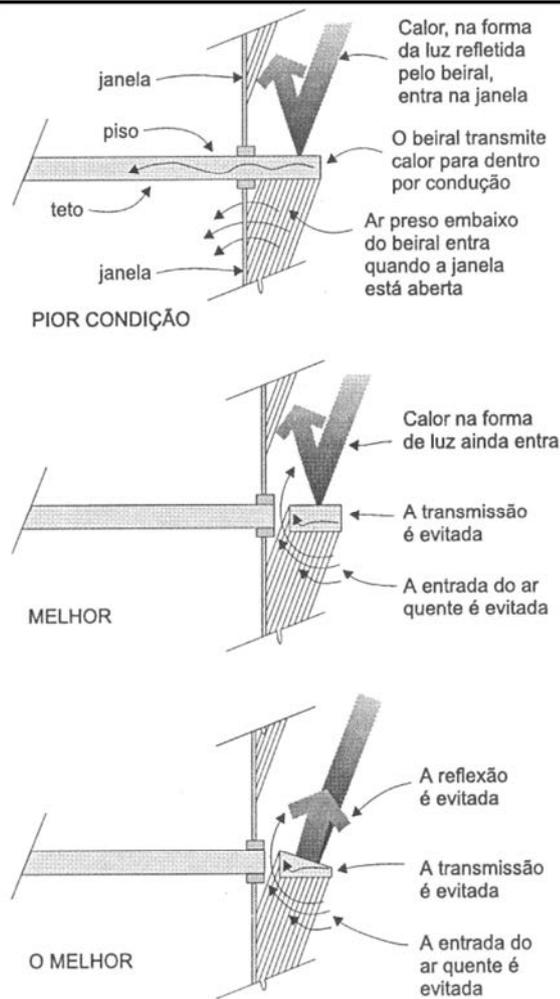


Figura 7.21: Brise horizontal.
 Fonte: John Hertz (1998)³⁸.

Tanto o brise vertical como o horizontal estão dispostos no mercado sob os mais variados materiais, tais como: placas de concreto armado, concreto celular, chapas de aço, perfis de alumínio, telas, policarbonato, entre outros. Ainda, eles podem ser fixos, ou móveis.

Os brises compostos por placas horizontais e verticais são indicados para orientações intermediárias, como noroeste, nordeste, por exemplo, conforme as figuras 7.22 e 7.23.

³⁸ HERTZ, John (1998): Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo, Pioneira, 125 p.

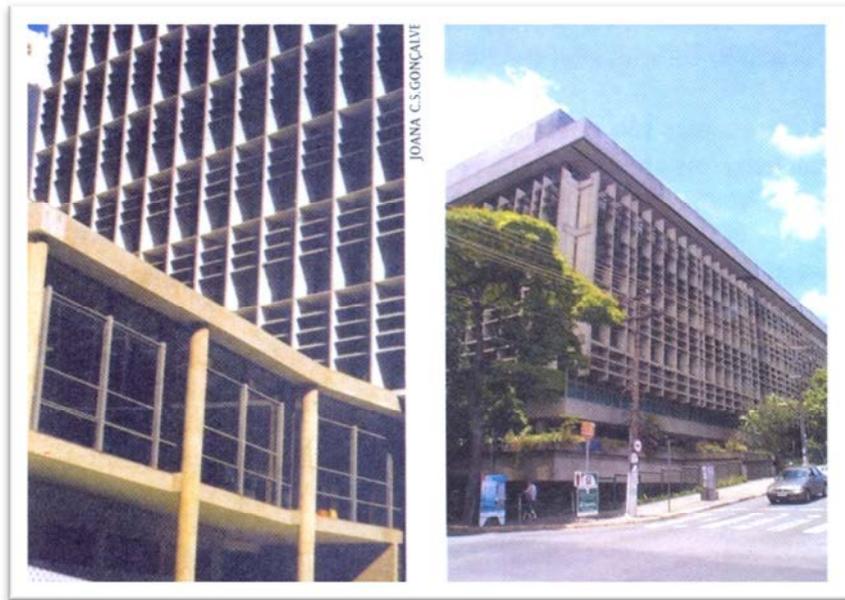


Figura 7.22: Brises mistos do Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro (1947), de Lúcio Costa; e da Sede da Hidroservice (1972), de Paulo Brito.
Fonte: Anésia Frota (2004)³⁹.



Figura 7.23: Brises mistos da lavanderia do Conjunto Residencial Pedregulho no Rio de Janeiro (1946), de Affonso Reidy.
Fonte: Bonduki (2000)⁴⁰.

O toldo é geralmente feito de estrutura metálica recoberta por lona, tem o funcionamento similar às marquises, sendo possível, contudo, tê-lo fixo ou móvel. A aplicação é comum em estabelecimentos comerciais - como lojas e cafeterias - e em residências, escolas, entre outros.

O elemento vazado, ou cobogó é um bloco vazado com a função de delimitar ambientes, mantendo a circulação do ar, filtrando a radiação solar direta, além de ter o aspecto diferenciado. São fabricados em cimento, cerâmica, vidro, gesso, entre outros materiais. Um

³⁹ FROTA, Anésia (2004): **Geração da Insolação**. São Paulo, Geros, 289 p.

⁴⁰ BONDUKI, Nabil (org.) (2000): **Affonso Eduardo Reidy**. Lisboa, Blau, 216 p.

ponto negativo do uso do cobogó é a ausência de vedação acústica. Todavia, tal situação pode ser minimizada com o uso alternado da parede de madeira/alvenaria com este elemento.

O cobogó provém do muxarabi árabe. Este elemento treliçado de madeira e aplicado em janelas garante a privacidade interna da residência, visto que possibilita a visão para o exterior a partir do interior, mas não o contrário. O cobogó foi popularizado no Brasil a partir da década de 50. Sendo muito explorado no nordeste do país e em Brasília. Na figura 7.24 o cobogó é utilizado no Edifício Caledônia, que faz parte do Parque Guinle. E nas figuras 7.25 e 7.26, está presente no Edifício Eiffel.



Figura 7.24: Cobogó do Edifício Caledônia (1948), no Rio de Janeiro, de Lúcio Costa. Ao lado imagem do Parque Eduardo Guinle. Fonte: Philippou (2008)⁴¹.

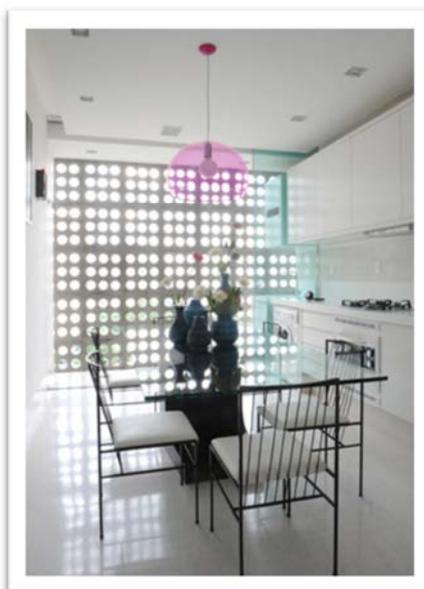


Figura 7.25: Elemento vazado do Edifício Eiffel (1956), em São Paulo, de Niemeyer. Fonte: *site* <http://www.arquitetonico.ufsc.br/cobogo>⁴².

⁴¹ PHILIPPOU, Styliane (2008): **Oscar Niemeyer : curves of irreverence**. New Haven, Yale University, 414 p.

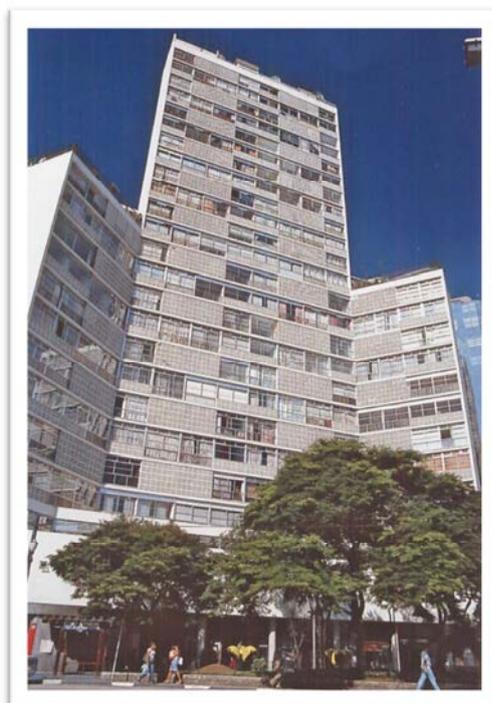


Figura 7.26: Edifício Eiffel (1956), em São Paulo, de Niemeyer.
Fonte: Philippou (2008)⁴³.

As pérgulas da figura 7.27 são elementos que protegem um local da incidência direta da radiação solar. Trata-se de uma sequência de vigas – de madeira, metal ou concreto – dispostas paralelamente, funcionando, ainda, como suporte para vegetação tipo trepadeira.



Figura 7.27: Pérgulas do Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (1953), de Affonso Reidy.
Fonte: Bonduki (2000)⁴⁴.

⁴² **Figura cobogós**. 2011. Disponível em: <http://www.arquitetonico.ufsc.br/cobogo>. Acesso em: jun 2012.

⁴³ PHILIPPOU, Styliane (2008): **Oscar Niemeyer : curves of irreverence**. New Haven, Yale University, 414 p.

⁴⁴ BONDUKI, Nabil (org.) (2000): **Affonso Eduardo Reidy**. Lisboa, Blau, 216 p.

É possível, também, fazer uso da luz difusa, protegendo da radiação direta, sem prejudicar as questões de conforto térmico. É o caso do uso de *light shelves*, apresentadas na figura 7.28, ou de prateleiras de luz. Hertz (1998)⁴⁵ informa que “Esses elementos têm a função de refletores, dirigindo uma porcentagem mínima da luz direta para o teto do fundo do cômodo e, ao mesmo tempo, sombreando a maior parte da janela, permitindo apenas a penetração da luz difusa que ocorre no horizonte.” Assim, o teto do compartimento reflete a luz que ingressa no ambiente, sem haver ofuscamento.

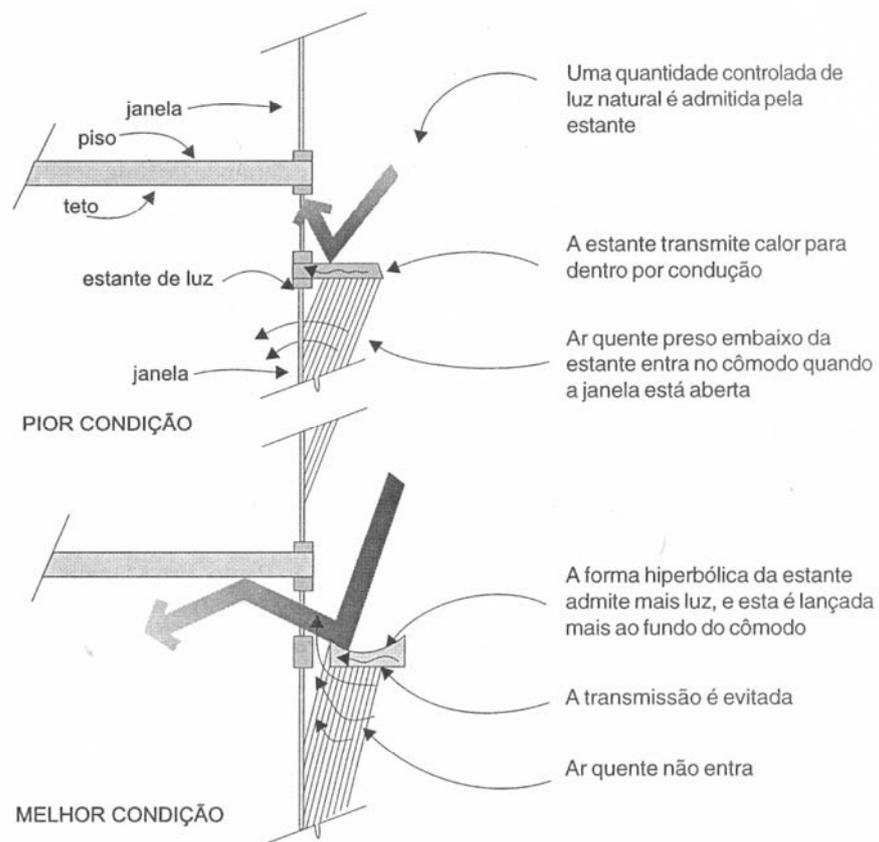


Figura 7.28: Técnica para uso da prateleira de luz para as fachadas norte e sul.

Fonte: John Hertz (1998)⁴⁶.

Brown *et al* (2004)⁴⁷ afirma: “A superfície superior da prateleira de luz deve ser branca, ou, se o ganho térmico não for problema, espelhada. A refletância do teto deve ser alta. A superfície superior da prateleira de luz jamais deve ser vista pelos usuários, devido a seu potencial de ofuscamento.”

⁴⁵ HERTZ, John (1998): *Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil*. São Paulo, Pioneira, 125 p.

⁴⁶ HERTZ, John. *op. cit.*

⁴⁷ BROWN, G.; DEKAY, Mark (2004): *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. Porto Alegre, Bookman, 415 p.

A alternativa citada divide a janela em duas, a parte superior é designada para a iluminação, enquanto a inferior à visão e à iluminação. O uso é aconselhável para a orientação norte, no Brasil. A aplicação de qualquer dispositivo de proteção solar deve ser posterior ao diagnóstico bioclimático. Estão representados diferentes dispositivos de proteção solar nas próximas figuras.

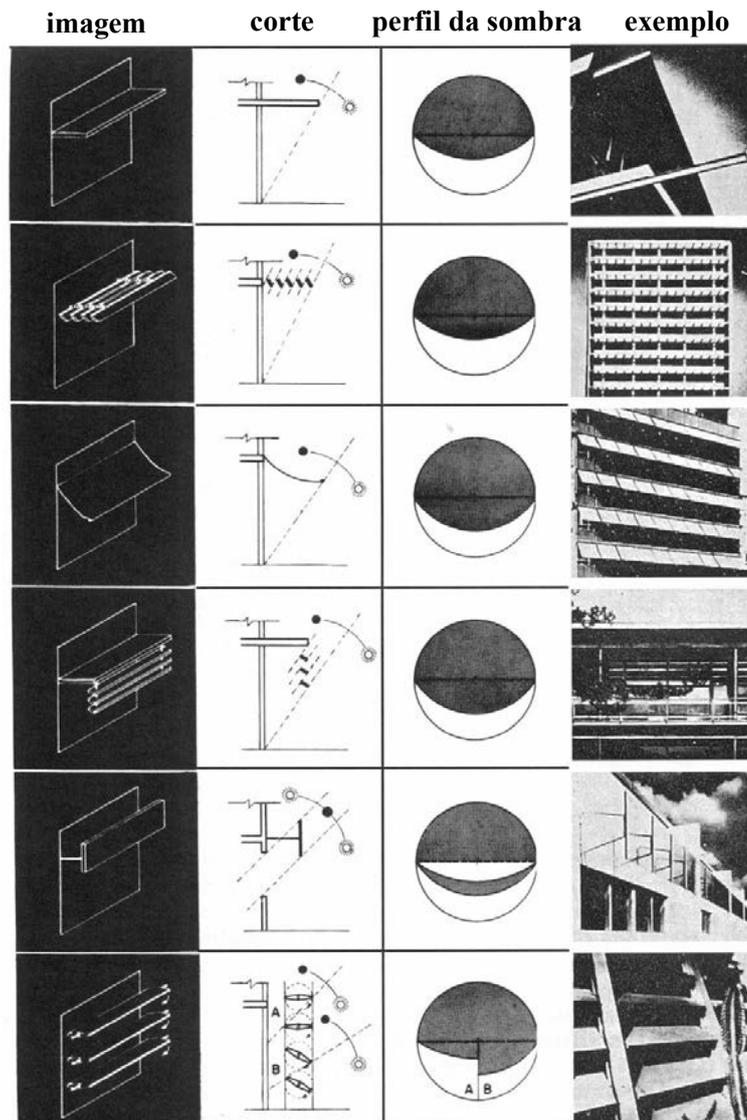


Figura 7.29: Exemplos de diferentes tipos de proteções solares.

Fonte: Victor Olgay (2006)⁴⁸.

⁴⁸ OLGAY, Victor (2006): **Arquitectura y clima manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 203 p.

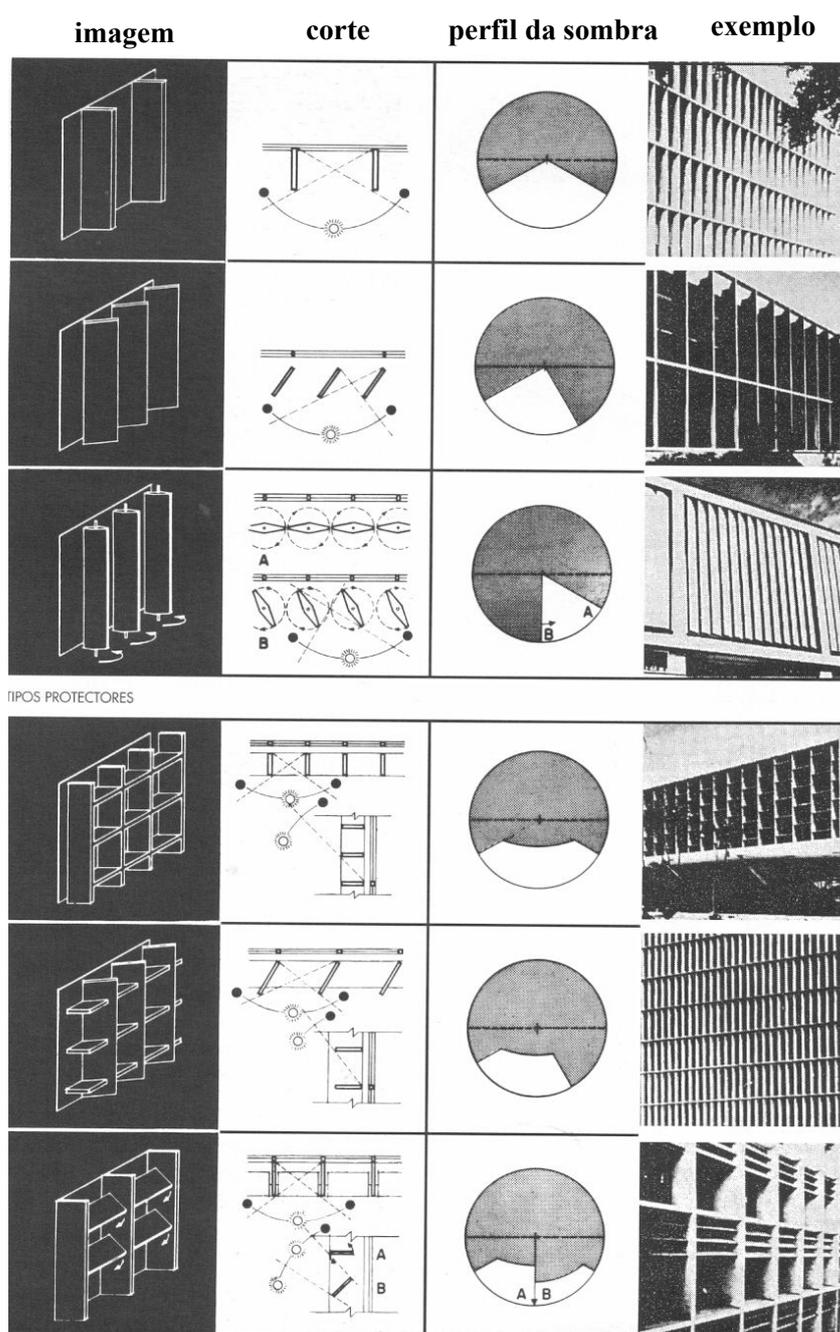


Figura 7.30: Exemplos de diferentes tipos de proteções solares.
 Fonte: Victor Olgay (2006)⁴⁹.

⁴⁹ OLGAY, Victor (2006): **Arquitectura y clima manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 203 p.

7.3 ORIENTAÇÃO SOLAR

O autor Hertz (1998)⁵⁰ descreve a importância da orientação solar no projeto de uma edificação: “A orientação de um edifício é determinada por fatores como o vento, a radiação solar e a vista, além da necessidade de privacidade e do controle do ruído circundante.” Ainda, afirma que é através da orientação que é possível calcular a quantidade de radiação incidente em um objeto construído, e que “Graças a uma orientação direcional correta do edifício, pode-se obter uma diferença de até 3 °C entre a temperatura externa e a interna, além de conseguir reduzir a potência da forte incidência da radiação solar durante as horas quentes.”

Lamberts *et al* (2004)⁵¹ afirma que, no hemisfério sul, adota-se os seguintes dados para efeitos de estudo de fachada relativo à posição solar:

- fachada orientada para leste: recebe sol no período da manhã em todas as estações;
- fachada orientada para oeste: recebe sol no turno da tarde e em todas as estações. Diz-se a fachada crítica, que recebe maior quantidade de radiação solar;
- fachada orientada para norte: o sol é mais baixo durante o dia no inverno, e em boa parte da primavera e do outono. Enquanto que, no verão, o sol estará mais alto, incidindo em poucas horas do dia;
- fachada orientada para sul: o sol é inexistente durante o inverno, pouco presente na primavera e no outono. Enquanto no verão estará mais presente no início e no final do dia.

Kinsel (2009)⁵² afirma, com base nas simulações realizadas na sua dissertação, que os ambientes com aberturas para leste, no turno da manhã, apresentam maiores temperaturas. Os ambientes voltados para norte têm temperaturas elevadas quando o sol está na posição elevada, aproximadamente às 13 horas. Os espaços voltados para oeste recebem maior radiação solar no turno da tarde. Enquanto os recintos voltados para a fachada sul apresentam um comportamento linear durante o dia devido às poucas horas de incidência solar direta nessa orientação.

⁵⁰ HERTZ, John (1998): *Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil*. São Paulo, Pioneira, 125 p.

⁵¹ LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando (2004): **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, ProLivros, 192 p.

⁵² KINSEL, Luciane (2009): **Avaliação do conforto e da energia em edifícios residenciais de Porto Alegre**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

Ainda, ela cita que “Os resultados simulados mostraram que ambientes com aberturas orientadas para norte e sul mantêm as temperaturas mais constantes ao longo do dia em comparação com as orientações leste e oeste, visto que ambientes com aberturas voltadas para leste recebem as primeiras radiações solares no horário da manhã, enquanto ambientes com aberturas orientadas para oeste recebem incidência solar à tarde e mantêm as temperaturas internas elevadas por mais horas.” Por fim, ela afirma que, partindo do resultado dos seus estudos, a orientação que consome mais energia para manter a temperatura em nível confortável é a oeste.

Goulding *et al* (1992)⁵³ descreve que as superfícies que estão voltadas para o norte, no hemisfério sul, recebem maior radiação solar no inverno que no verão, quando comparada às outras orientações. Todavia, as aberturas que estão voltadas para oeste, durante o verão, podem superaquecer os ambientes com essa orientação caso não estejam protegidas dos raios solares com baixo ângulo de incidência.

7.4 ILUMINAÇÃO NATURAL

Neste ponto da dissertação, faz-se necessário demonstrar, através de técnicas construtivas, métodos pelos quais seja viável ter maior aproveitamento da luz natural, principalmente quando se trata do Brasil – que recebe quantidades abundantes de radiação solar -, tendo em vista o menor consumo de energia artificial.

Em locais, como salas de aula, escritórios, entre outros, a salvaguarda da qualidade da luz natural providencia a boa definição de cores. Além de, em uma residência, ser responsável pela economia de energia paga pelo morador. Cerca de 12% da energia que é gasta nas residências é direcionada à iluminação artificial (Roberto Lamberts *et al*, 2004)⁵⁴.

Na figura 7.31 estão representadas possibilidades de obter iluminação natural.

⁵³ GOULDING, John R.; LEWIS, J.; STEEMERS, Theo C. (1992): **Energy conscious design – A Primer for Architects**. Londres, B.T. Batsford Limited, 160 p.

⁵⁴ LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando (2004): **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, ProLivros, 192 p.



Figura 7.31: Iluminação natural.
Fonte: figura elaborada pela autora.

Hertz (1998)⁵⁵ apresenta algumas vantagens da iluminação natural quando comparada à iluminação artificial:

- o olho humano adapta-se melhor à luz natural, visto que a luz artificial, por ter espectro diferente, pode afetar a qualidade da cor e forçar a vista;
- a luz natural não requer custo nem manutenção;
- a luz artificial produz mais calor. A lâmpada incandescente, fluorescente e a energia solar produzem, respectivamente, 10%, 30% e 65% de luz.

Além das janelas é possível iluminar locais enclausurados e valorizar ambientes com a iluminação zenital. Para explorar a luz natural, com cautela, evitando ganhos e perdas de calor em excesso, existe uma gama de recursos arquitetônicos que proporcionam melhorias visuais e na qualidade do ambiente, tais como: prateleira de luz, átrio, poço de luz, claraboia, refletor externo, uso de dutos com espelhos, lanternim, entre outros.

Técnicas de iluminação natural são evidenciadas na figura 7.32.

⁵⁵ HERTZ, John (1998): *Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil*. São Paulo, Pioneira, 125 p.

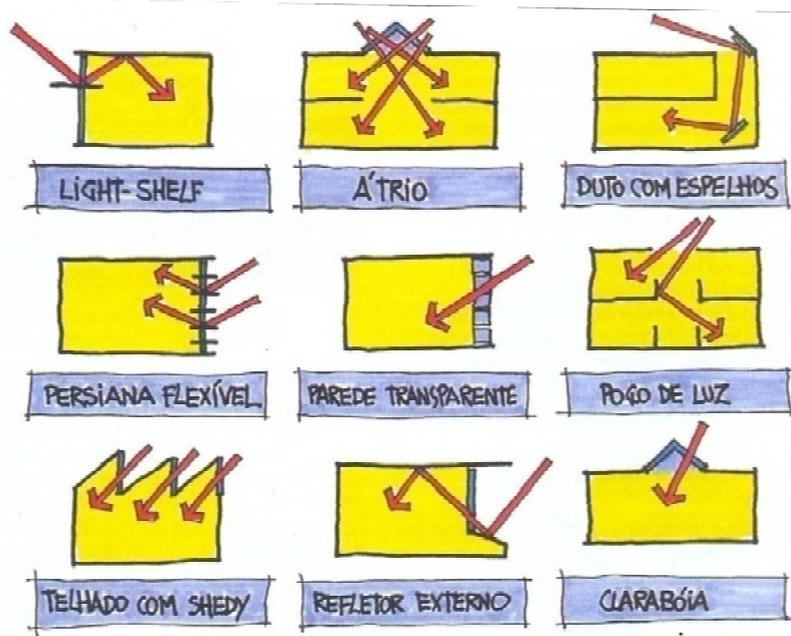


Figura 7.32: Técnicas de iluminação natural.
 Fonte: Roberto Lamberts *et al* (2004)⁵⁶.

Além do que já foi exposto é possível obter economia de energia com gestos simples, como a instalação de iluminação artificial mais eficiente, trocando as lâmpadas incandescentes por fluorescentes. Também, instalando sensores de presença em corredores e escadas de edifícios, ou o uso de sensores fotoelétricos. Aconselha-se, contudo, que a luz natural e a artificial sejam complementares e pensadas em conjunto.

Segundo o estudo desenvolvido por graduandos da UFSC (2006)⁵⁷, é interessante que a luz natural não incida diretamente sobre o plano de trabalho. E que o controle é possível através do uso da reflexão da luz, bem como do direcionamento da luz no interior da claraboia, por exemplo, é o que está estampado na figura 7.33.

⁵⁶ LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando (2004): **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, ProLivros, 192 p.

⁵⁷ **Iluminação Zenital (UFSC)**. 2006. Disponível em: http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-2/zenital/index.php?pag=trabalho. Acesso em junho de 2012.

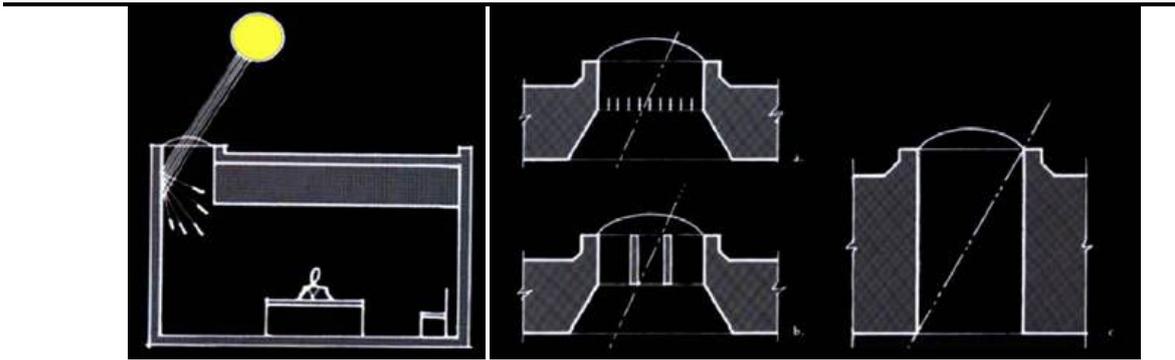


Figura 7.33: Luz natural indireta e redirecionamento da luz através da claraboia.

Fonte: site http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-2/zenital/index.php?pag=trabalho⁵⁸.

Corbella *et al* (2003)⁵⁹ frisa que “O conhecimento da luminosidade da abóbada celeste local, junto a parâmetros de projeto tais como a geometria e o tamanho da sala estudada, tipo de vidro utilizado nas janelas, cores das superfícies externas e superfícies refletoras externas, permitem calcular o nível e a qualidade da iluminação natural interna, e se esta deverá ser complementada, ou modificada, de acordo com o nível de iluminação requerido. Este nível, independentemente de se tratar de luz natural ou artificial, depende do tipo de finalidade ou tarefas a realizar no ambiente interno estudado e da idade das pessoas que ali trabalham.”

Romero (2001)⁶⁰ complementa o item, citando: “A luz é também um material de construção, que, segundo o jornalista de *La Vanguardia*, Manuel Ibañes Escofet, não pode ser comprado, mas está ali para ser aproveitado.”

No item 7.5 há a exposição da influência das cores no índice de absorvância das superfícies.

7.5 A ESCOLHA DE CORES

As cores, além da função estética, têm a importância quando o assunto é conforto térmico e visual. As cores escuras, pelo elevado índice de absorvância, absorvem maior quantidade de radiação e são indicadas para locais nos quais o aquecimento é pertinente. Em contrapartida é possível fazer uso de cores claras, aproveitando-se da baixa absorvância

⁵⁸ **Iluminação Zenital (UFSC)**. 2006. Disponível em: http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-2/zenital/index.php?pag=trabalho. Acesso em junho de 2012.

⁵⁹ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos (2003): **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro, Editora Revan, 288 p.

⁶⁰ ROMERO, Marta (2001): **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 226 p.

térmica, em locais onde é necessária a redução dos ganhos térmicos. E, explorando a elevada refletância, é aplicável em recintos em que a luz natural seja pouco desfrutada.

Pintura:			
	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Figura 7.34: Índices de absorvância e de emissividade segundo a cor.

Fonte: NBR 15.220-2 (2003)⁶¹.

Rivero (1985)⁶² menciona a importância do correto uso da cor: “A diminuição do coeficiente de absorção da superfície por meio de uma cor adequada é outro dos recursos, talvez o mais econômico, embora exija um constante cuidado de manutenção.

É interessante destacar que desta maneira se corrigem também outros problemas como as grandes dilatações térmicas das lajes superiores de concreto, que às vezes ocasionam a ruptura das camadas impermeáveis.

O resfriamento evaporativo, que é desenvolvido no item 7.6, é outra técnica de projeto retratada nesta dissertação.

7.6 RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

O sistema vale-se da prerrogativa de que o corpo humano perde mais calor através da convecção do ar que pela evaporação do suor. Hertz (1998)⁶³ explica que “O resfriamento por evaporação funciona por um processo chamado “adiabático”, através do qual o ar passa sobre uma superfície molhada, aumentando, assim, a umidade relativa do ar. Por sua capacidade de armazenar calor, o vapor recebe, por transferência, o calor do ar, baixando a temperatura real.” Dessa forma, com a temperatura reduzida e a umidade elevada, por meio do processo de evaporação adiabático, o corpo perderá calor mais rapidamente, atingindo o conforto. Tal procedimento não é exatamente novo, arqueólogos registram o uso do resfriamento por

⁶¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2: Desempenho térmico de edificações - parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.

⁶² RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

⁶³ HERTZ, John (1998): **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo, Pioneira, 125 p.

evaporação já no ano 2.500 a.C. No Egito, faraós tinham escravos para refrescar o ar, abanando a água dos recipientes e provocando o efeito citado.

Porém, vale ressaltar que o processo é aplicável em regiões quente-secas, como Brasília, por exemplo. Para zonas quente-úmidas, que representam boa parte do território nacional, vale o uso da técnica de ventilação sem umidificação aplicada.

Uma das técnicas para resfriamento evaporativo e umidificação comumente aplicada é o uso de superfícies gramadas e arborizadas. Parte do calor absorvido pela grama é utilizada na fotossíntese, e a outra parte para a evapotranspiração. O processo é representado na figura 7.35:



Figura 7.35: Umidificação e resfriamento evaporativo.

Fonte: Roberto Lamberts *et al* (2004)⁶⁴.

Também é possível usufruir do método resfriando superfícies pavimentadas ou da própria edificação, como telhados ou pisos. A superfície em questão, após úmida, reduzirá os ganhos térmicos para o interior da edificação.

O mesmo efeito pode ser obtido com a água da chuva ou do sereno, caso seja utilizada a telha cerâmica não vitrificada, permitindo que a água penetre nos poros da telha. Outra forma é a aplicação de vegetação, como trepadeiras, em fachadas com exposição ao sol. Com a redução da temperatura superficial graças à evapotranspiração da planta, menor quantidade de calor penetrará na edificação.

E, com método similar é possível o mesmo resultado empregando-se as coberturas verdes. Essa aplicação é defendida por Krebs (2005)⁶⁵ pelos seguintes fatos: a redução da

⁶⁴ LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando (2004): **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, ProLivros, 192 p.

zona permeável do solo nos grandes centros urbanos, o impacto da transformação do ambiente natural em ambiente construído, o isolamento térmico e acústico promovido, o já referenciado ganho na umidificação do ar, além de filtrar os gases nocivos do meio. Tal método é exposto na figura 7.36 e 7.39.

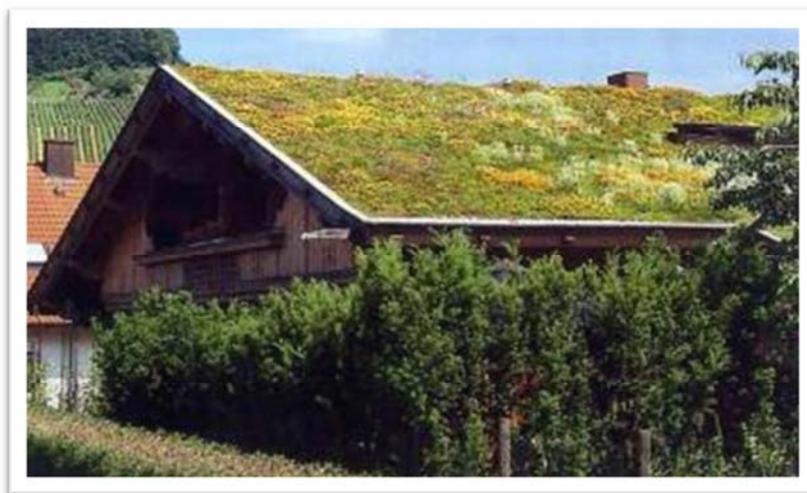


Figura 7.36: Cobertura verde.
Fonte: dissertação Lisandra Krebs (2005)⁶⁶.

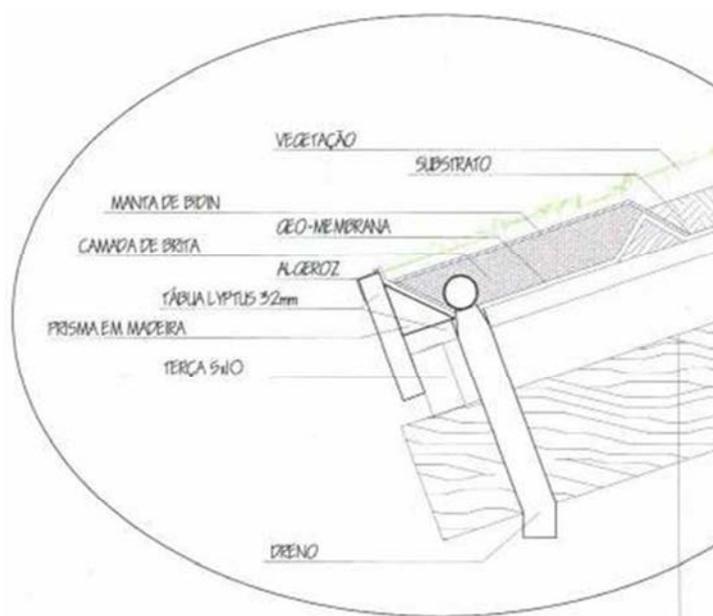


Figura 7.37: Detalhe construtivo de cobertura verde.
Fonte: dissertação Lisandra Krebs (2005)⁶⁷.

⁶⁵ KREBS, Lisandra Fachinello (2005): **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos da região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha.** (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia/UFRGS, Porto Alegre).

⁶⁶ KREBS, Lisandra Fachinello. *op. cit.*

7.7 USUFRUINDO DA INÉRCIA TÉRMICA

“O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção e das leis básicas de transferência de calor permite prever qual será a resposta de um prédio às variações de um clima externo e, em conseqüência, tomar decisões a respeito de quais materiais empregar num determinado clima, para facilitar uma situação de conforto térmico aos seus habitantes.” Essa afirmação feita por Corbella *et al* (2003)⁶⁸ corrobora com a ideia de que os materiais empregados na construção de uma edificação podem auxiliar no desempenho térmico e influir no conforto de seus habitantes.

Frota *et al* (2001)⁶⁹ elucida que “uma parede apresenta maior ou menor inércia segundo seu peso e sua espessura.” Sem deixar de lembrar que os revestimentos também podem contribuir no processo de trocas térmicas. É possível, através do estudo das propriedades físicas dos materiais, ter o controle para retardar ou acelerar a transmissão da radiação solar do exterior para o interior do ambiente. Logo, a massa térmica pode ser utilizada tanto para resfriamento, como para aquecimento, dependendo da região bioclimática em questão.

É possível atingir o aquecimento da envolvente quando, com a face voltada para o sol, se constroi fechamentos opacos espessos, reduzindo a área de aberturas. Então, o calor será acumulado durante o dia e encaminhado, como citado anteriormente, à noite para o interior do recinto, quando a temperatura tende a baixar. E para o resfriamento, destinado a lugares de clima quente, a recomendação é que as janelas sejam sombreadas, refreando a ventilação durante o dia, e utilizando a ventilação seletiva no período noturno, a fim de remover o calor retido.

O próximo item a ser configurado é o condicionamento de ar na unidade 7.8.

7.8 CONDICIONAMENTO DE AR

Por vezes, para que o conforto térmico do usuário seja alcançado, a exploração dos recursos naturais e o emprego de técnicas arquitetônicas são insuficientes. Logo, é necessário

⁶⁷ KREBS, Lisandra Fachinello (2005): **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos da região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha.** (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia/UFRGS, Porto Alegre).

⁶⁸ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos (2003): **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental.** Rio de Janeiro, Editora Revan, 288 p.

⁶⁹ FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli (2001): **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo, Studio Nobel, 243 p.

fazer uso de métodos artificiais, tais como: ar condicionado, ventilador, aquecedor, entre outros.

Para a ventilação artificial existem dois sistemas mais comuns disponíveis no mercado: o exaustor e o ventilador. O exaustor é frequentemente aplicado em locais onde há a contaminação do ar. Através de uma pressão negativa exercida pelo exaustor remove-se o ar impuro/quente, direcionando-o para o exterior da edificação.

O ventilador é largamente utilizado no país, pode ser móvel ou fixo, como o ventilador de teto. Geralmente estes são oferecidos com as opções de exaustão e de ventilação. O sistema aumenta a remoção do suor da pele através da convecção, elevando a sensação de conforto, sem alterar a temperatura do ambiente. Trata-se de uma opção de baixo custo.

Para fins de aquecimento artificial existem: a lareira, o radiador incandescente, o painel radiador individual ou de sistema central, e o ar condicionado de ciclo reverso. A maioria dos sistemas disponíveis no mercado é elétrica, emitindo calor por convecção e por radiação.

Quanto ao ar condicionado que oferece o aquecimento e o resfriamento de ambientes, destaca-se a importância de garantir um equipamento eficiente e um ambiente onde a estaqueidade seja estabelecida.

A utilização de sistema de ar condicionado é um hábil instrumento de controle da temperatura, da umidade, da pureza e da distribuição do ar. Através dessa tecnologia é possível atingir o conforto interno, independente da situação do meio externo. Sem deixar de destacar que existem locais que a existência do ar condicionado é imprescindível, tais como: em centrais de tratamento intensivo de hospitais, em *data centers*, e outros. Dentre os equipamentos mais utilizados estão: ar condicionado de janela, *split*, minicentrais, *chiller* e *fan-coil*.

Sugere-se o uso dos sistemas naturais de condicionamento e de iluminação, quando for possível. E quando for necessário o uso de sistemas artificiais deve-se optar pelos mais eficientes, de preferência, além de visar a integração entre os sistemas natural e artificial.

O condicionamento de ar é a última parcela das estratégias de projeto aqui descritas. A partir de então, no capítulo 8, há a especificação da Etiquetagem PROCEL Edifica. Trata-se de um importante enlace desta dissertação, já que é a etiqueta uma das ferramentas de averiguação dos projetos que são apreciados no capítulo 9, além da NBR 15220-3, em que é verificada a aplicabilidade das estratégias aqui desenvolvidas.

8 A ETIQUETAGEM PROCEL

O processo de Etiquetagem PROCEL surge nesta investigação como uma ferramenta de averiguação da eficiência energética de edificações localizadas nas oito zonas bioclimáticas brasileiras. Neste caso, há a explanação sobre esse artifício, seus requisitos e o processo matemático que envolve a fim de gerar um conceito, uma classificação para o grau de desempenho térmico de uma edificação inserida em uma determinada zona bioclimática do país. A Etiquetagem é, desta maneira, um instrumento de reconhecimento do grau de enlace entre arquitetura e a bioclimatologia, testada no capítulo 9, conforme os projetos do renomado arquiteto. Este mecanismo surge como um complemento de promoção do projeto bioclimático que, vinculado aos dados fornecidos pela NBR 15220-3, confere maior precisão na classificação da eficiência térmica de uma edificação.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) Edifica, foi criado pela Eletrobrás, em conjunto com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), quando a empresa presumiu a viabilidade de economia nos gastos de energia através do emprego de tecnologias eficientes em edificações. Segundo o *site* da Eletrobrás (2010)¹ “O potencial de conservação de energia deste setor é expressivo. A economia pode chegar a 30% para edificações já existentes, se estas passarem por uma intervenção tipo *retrofit* (reforma e/ou atualização). Nas novas edificações, se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, comparada com uma edificação concebida sem o uso dessas tecnologias.”

O dispêndio energético em edificações destinadas aos usos de residência, comércio, públicos e de serviços é expressivo. Próximo de 50% da eletricidade produzida no Brasil é gasta na operação, no suporte de edificações, assim como em métodos artificiais para o conforto dos usuários (*site* Eletrobrás, 2010)². E há a estimativa de crescimento no consumo devido ao equilíbrio da economia do país. O PROCEL Edifica surge para fomentar a eficiência da eletricidade no setor, diminuindo o consumo de energia, o desperdício de materiais, promovendo a proteção dos recursos naturais. Santucci (2011)³ cita que “O objetivo

¹ **Informações PROCEL Edifica**. 2010. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/elb/procel/>. Acesso em: jul 2012.

² **Informações PROCEL Edifica**. *op. cit.*

³ SANTUCCI, Jô (2011): **Eficiência Energética: como acender essa luz**. Conselho em Revista (CREA-RS), v 84, 18-21 p.

é estabelecer os parâmetros referenciais para verificação dos níveis de eficiência energética de edifícios comerciais, públicos e de serviços.”

Destaca-se, dentre as metas do programa:

- a divulgação do bioclimatismo, através da inclusão do conforto ambiental e da eficiência energética no currículo dos cursos de Arquitetura e de Engenharia;
- difundir a eficiência energética e o conforto ambiental entre os profissionais do ramo do planejamento urbano.

Inicialmente, a aplicação da etiquetagem é voluntária, porém, dentro de alguns anos será obrigatória.

A etiquetagem e a inspeção são métodos de certificação quanto ao nível de eficiência energética em edificações, definidas pelo Regulamento Técnico para a Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). O RTQ-C classifica os edifícios a partir da análise da eficiência de três itens: a envoltória, a iluminação, e o condicionamento de ar. Os itens, mais bonificações, estão presentes na equação geral que classifica quão eficiente é uma edificação. É possível obter a classificação de apenas um sistema, deixando os demais itens em aberto, para tanto é fornecida apenas a classificação parcial referente ao sistema avaliado.

A envoltória é analisada a partir de um conjunto de características do edifício. “componentes opacos e dispositivos de iluminação zenital são definidos em pré-requisitos enquanto as aberturas verticais são avaliadas através de equações. Estes parâmetros compõem a “pele” da edificação (como cobertura, fachadas e aberturas), e são complementados pelo volume, pela área de piso do edifício e pela orientação das fachadas.” (Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C, 2010)⁴

O quesito iluminação é avaliado por meio do cálculo da densidade de potência estabelecida pela iluminação do interior, a partir do tipo de atividade exercida pelos usuários em cada ambiente, portanto, o item é avaliado por ambiente. A quantidade de iluminação apropriada para cada atividade exercida é determinada pela norma NBR 5413. “Calcula-se a potência instalada de iluminação, a iluminância de projeto e a iluminância gerada pelo sistema para determinação da eficiência. Quanto menor a potência utilizada, menor é a energia

⁴ **4 Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

consumida e mais eficiente é o sistema, desde que garantidas as condições adequadas de iluminação.” (Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C, 2010)⁵

O sistema ar condicionado tem a eficiência classificada em duas classes. A primeira avaliação do INMETRO é quanto à qualidade do aparelho empregado, individual e *split*. Deve-se utilizar a avaliação da etiquetagem do aparelho em questão na equação geral da edificação. A segunda classificação é de aparelhos de condicionamento de ar tipo centrais, os quais não têm a etiqueta de avaliação do INMETRO, cuja classificação é mais complexa e deve seguir as prescrições presentes no regulamento em questão.

Será através dos resultados dos cálculos dos sistemas – envoltória, iluminação e condicionamento de ar – que os resultados serão dispostos na equação geral, e o resultado obtido será do nível de eficiência total do edifício.

As bonificações – pontuação bônus recebida pelo uso racional da energia solar e da água, dentre outros – e os pré-requisitos, cujo cumprimento é obrigatório, são capazes de elevar e de reduzir o grau de eficiência da edificação.

A equação é apresentada na figura 8.1.

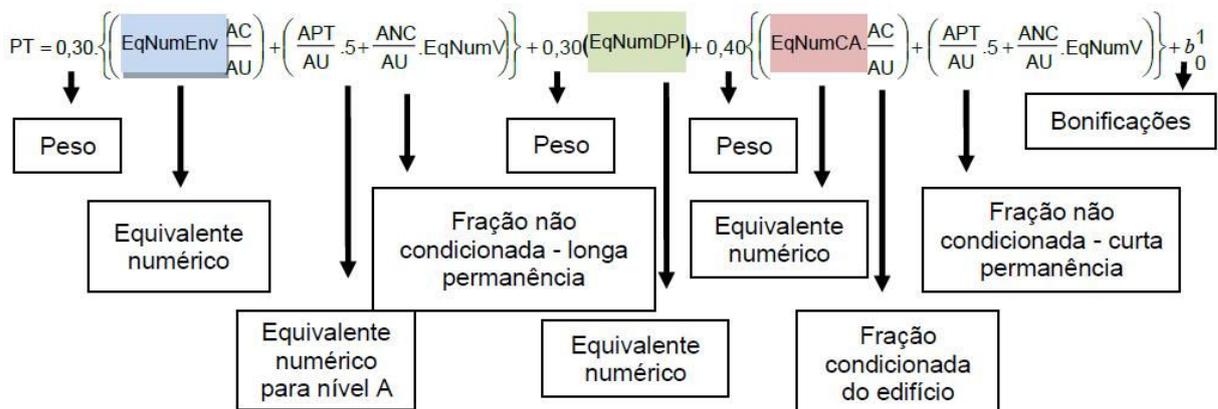


Figura 8.1: Equação geral e variáveis.

Fonte: Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C (2010)⁶.

São variáveis da equação:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação, DPI é a sigla de Densidade de Potência de Iluminação;

EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

⁵ 4 Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

⁶ 4 Manual para aplicação dos Regulamentos. *op. cit.*

EqNumV: equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT: área útil de ambientes de permanência transitória e não condicionados;

ANC: área útil de ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) por meio de simulação;

AC: área útil dos ambientes condicionados;

AU: área útil;

b: representa as bonificações que variam de 0 a 1.

A etiquetagem é aplicada em projetos e em edifícios construídos de uso comercial, público e de serviços, cuja área útil seja superior a 500 m², ou que seja atendido por alta tensão. A classificação da edificação abrange a edificação mais eficiente, de conceito “A”, até a menos eficiente, de conceito “E”, conforme a figura 8.2.

PT	Classificação Final
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Figura 8.2: Pontuação e classificação.

Fonte: Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C (2010)⁷.

No Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C (2010)⁸ lê-se “O cálculo do indicador de consumo (IC) visa prever como a envoltória de um edifício vai impactar o seu consumo de energia. Através do cálculo do IC é possível identificar envoltórias mais eficientes.

Somam dezesseis as equações que auxiliam no cálculo do grau de eficiência energética da edificação, cada zona bioclimática brasileira possui duas. Para selecionar a equação do indicador de consumo da envoltória (IC_{env}) é preciso verificar se a área projetada do edifício (A_{pe}) é superior ou inferior a 500 m².

⁷ 4 Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

⁸ 4 Manual para aplicação dos Regulamentos. *op. cit.*

O Programa Procel Edifica tem parceria com importantes instituições brasileiras, tais como: Ministério de Minas e Energia, ELETROSUL, IAB, CREA, LabEEE/UFSC e, dentre outras Universidades, a UFRGS.



Figura 8.3: Exemplo da etiqueta aplicada na avaliação geral de edifício construído.
Fonte: Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C (2010)⁹.

Silva *et al* (2011)¹⁰ afirma “Como o envelope basicamente representa a forma do edifício, e ar condicionado assim como iluminação artificial são considerados detalhes não arquitetônicos, o passo mais lógico é focar no primeiro item, o qual impacta 30% na equação geral.” Esta dissertação avaliará os requisitos do potencial da envoltória dos exemplares

⁹ 4 Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

¹⁰ SILVA, Heitor da Costa; ZIEBELL, Clarissa Sartori; PÖHLS, Lennart Bertram; BAGNATI, Mariana Moura. Design Process and Building Simulation. In: **International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering**. Bridgeport: Springer, 2011.

arquitetônicos trabalhados a seguir, de autoria de Paulo Mendes, por meio do método prescritivo do RTQ-C, a fim de analisar a relação edificação e sítio na condição mais natural possível, desconsiderando sistemas artificiais, como iluminação e condicionamento de ar, os quais por meio da própria tecnologia podem ser implementados. Contudo, não serão considerados os pré-requisitos, visto que há projetos ainda não executados e, portanto, algumas variáveis necessárias ainda não são contempladas. Esta decisão visa à obtenção de resultados mais precisos, baseados em dados reais, evitando suposições.

Compõem os requisitos de exame da envoltória avaliados nos projetos do item 9.4, segundo o Manual para aplicação dos Regulamentos - RTQ-C e RAC-C (2010)¹¹:

- a zona bioclimática em que está localizado o projeto;
- Área total construída (A_{tot}) = é a soma de área de piso de ambientes fechados da construção, medidas externamente;
- Área de projeção da cobertura (A_{pcob}) = é a projeção horizontal da cobertura da edificação, incluindo terraços cobertos;
- Área de projeção do edifício (A_{pe}) = é a área de projeção média dos pavimentos, sem contar o subsolo;
- Volume total (V_{tot}) = é o volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura), exceto os pátios internos descobertos;
- Área da envoltória (A_{env}) = é a soma das áreas das fachadas, empenas, e cobertura, incluindo aberturas;
- Fator altura (FA) = é a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída, sem o subsolo;
- Fator forma (FF) = é a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação;
- Fator solar (FS) = é a razão entre o ganho de calor que ingressa no ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nela;
- Percentual de área de abertura na fachada total (PAF_T) = é a razão entre a soma das áreas de abertura – com fechamento translúcido - de cada fachada e a área total de fachada da edificação;

¹¹ **4 Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

-
- Percentual de área de abertura na fachada oeste (PAF_o) = razão entre a soma das áreas de abertura – com fechamento translúcido – da fachada oeste e a área da fachada oeste;
 - Ângulo vertical de sombreamento (AVS) = é o ângulo formado entre dois planos horizontais que contêm a mesma abertura;
 - Ângulo horizontal de sombreamento (AHS) = é o ângulo formado entre dois planos verticais que contêm a mesma abertura.

A Etiquetação PROCEL promove o projeto bioclimático ao prover maior exatidão na determinação do grau de desempenho térmico de uma edificação, estando vinculada às informações indicadas pela NBR 15220-3 para um projeto eficiente em termos térmicos para as oito zonas bioclimáticas presentes no Brasil. Exposta a Etiquetação PROCEL, no capítulo 9 há a aplicação dos estudos desenvolvidos até aqui a partir do exame do projetos de Paulo Mendes, cada qual situado em uma das zonas bioclimáticas brasileiras, e a posterior análise dos resultados obtidos. Nele há a verificação dos atributos projetuais adotados pelo arquiteto frente à diversidade dos ambientes, e posterior análise dos resultados obtidos pela Etiquetação, estabelecendo conexões entre esses dois pontos.

9 ARQUITETURA NO BRASIL E OS PROJETOS DE PAULO MENDES DA ROCHA

Após o desenvolvimento gradual de assuntos que envolveram a bioclimatologia, e aspectos pertinentes, o estudo ganha fechamento ao serem apresentados e averiguados exemplares arquitetônicos brasileiros.

Optou-se por retratar obras do arquiteto Paulo Mendes da Rocha. A análise dos trabalhos será feita sob o enfoque do projeto bioclimático, através dos dados fornecidos pela NBR 15220-3, e do instrumento de verificação da eficiência térmica da envoltória, o RTQ-C, para posteriores conclusões.

9.1 PAULO MENDES DA ROCHA NA DISSERTAÇÃO

O arquiteto é nascido na cidade de Vitória (ES) em 25 de outubro de 1928. Graduou-se como arquiteto na Faculdade Mackenzie em 1954, em São Paulo. Possui no seu histórico obras como a Loja Forma (1987), o Museu Brasileiro de Escultura (1988), a Biblioteca de Alexandria (1988), a Pinacoteca do estado de São Paulo (1993), o Museu da Língua Portuguesa (2000), dentre outras realizadas no Brasil e no exterior. Ele foi escolhido representante da arquitetura brasileira pela VII Mostra de Arquitetura da Bienal de Veneza no ano 2000. São destacadas três referências constantes nas obras do arquiteto: Le Corbusier, Mies van der Rohe e Vilanova Artigas (Ana Souto, 2010)¹.

Seus projetos têm características da escola paulista brutalista (Ruth Zein, 2005)², dentre as quais se ressalta:

- a presença do volume único que abriga funções diversas;
- clareza na interação edifício-sítio;
- a horizontalidade das volumetrias;
- solução estrutural clara;
- associação entre vazios verticais e jogos de níveis internos;
- emprego do concreto armado na estrutura;

¹ SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

² ZEIN, Ruth Verde (2005): **A arquitetura da escola paulista brutalista 1953-1973**. (Tese de Doutorado apresentada ao PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

- presença de aberturas de iluminação natural;
- cor natural do concreto empregada.

A escolha por explorar neste estudo a produção arquitetônica de Paulo Mendes está firmada na preocupação do arquiteto em projetar um objeto contextualizado. Ao observar seus projetos fica explícito o zelo em conjugar as inúmeras variáveis que o projeto arquitetônico deve visar, atrelando o programa, a estrutura, a técnica construtiva e, dentre outras tantas variáveis, o lugar. O arquiteto é um produtor de lugares e Paulo Mendes exercita isso.

Na tese de Souto (2010)³ há a declaração “Através dessa relação com o entorno, o arquiteto mantém íntegro o projeto, a paisagem natural existente, definindo uma relação onde os limites visuais não são estabelecidos pelo lote, mas sim pelo entorno. A paisagem participa ativamente do projeto.”

Ainda, Comas (2001)⁴ afirma “Sem desmerecer outras realizações e realizadores, não cabe dúvida que, quantitativa e qualitativamente, o prumo da última década do século 20 na arquitetura brasileira foi fixado pela obra de Paulo Mendes, e o consenso a respeito é internacional.” Paulo Mendes ganhou maior notoriedade também ao receber o prêmio Pritzker em 2006, considerado o maior prêmio da categoria e é oferecido aos principais nomes da arquitetura contemporânea. Além dele, apenas outro arquiteto brasileiro recebeu o prêmio, foi Oscar Niemeyer.

No entanto, a principal razão pela escolha da obra desse arquiteto deve-se à abrangente produção arquitetônica que possui: Paulo Mendes criou obras para as oito regiões bioclimáticas do Brasil, país de tamanho continental, o que revela a pluralidade dos seus traços. É significativo observar que comportamento o arquiteto assume frente aos diferentes contextos que lhe são apresentados, promovendo a relação entre território e projeto.

³ SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

⁴ COMAS, Carlos Eduardo (2001): **Paulo Mendes da Rocha: o prumo dos 90**. Revista Arquitetura & Urbanismo, Editora Pini, edição 97, 102-109 p.

9.2 EXEMPLARES ARQUITETÔNICOS

Os projetos selecionados dentro da obra do arquiteto Paulo Mendes foram escolhidos como representantes de cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras nesta dissertação. Os exemplares arquitetônicos que serão averiguados sob o enfoque do projeto bioclimático são citados abaixo. As informações procederam de Artigas (2002)⁵, Artigas (2007)⁶, Lemos (2007)⁷ e de Souto (2010)⁸.

A Capela de São Pedro (figura 9.1), que se localiza em Campos do Jordão (SP), pertence à zona bioclimática 1. Nesta obra, de 1987, Paulo Mendes teve a colaboração de Eduardo Argenton Colonelli, Alexandre Delijaicov, Carlos José Dantas Dias e Geni Sugai. A capela é um anexo criterioso ao Palácio da Boa Vista do Governador do Estado de São Paulo, cujo volume é submisso à edificação principal.

A capela é translúcida, misturando materiais como concreto armado e vidro. É marcada pela horizontalidade da platibanda de concreto armado. Trata-se de um volume rigoroso e simples onde o arquiteto incorpora a paisagem ao projeto. Comas (2001)⁹ afirma “A abstração exacerbada torna-se figura: o bloco de vidro que era areia vira vaso, a laje que levita a rocha artificial que corresponde à pedra que é Pedro, a borda curva transforma o espelho d’água em lagoa e a lagoa conota o apóstolo pescador.”

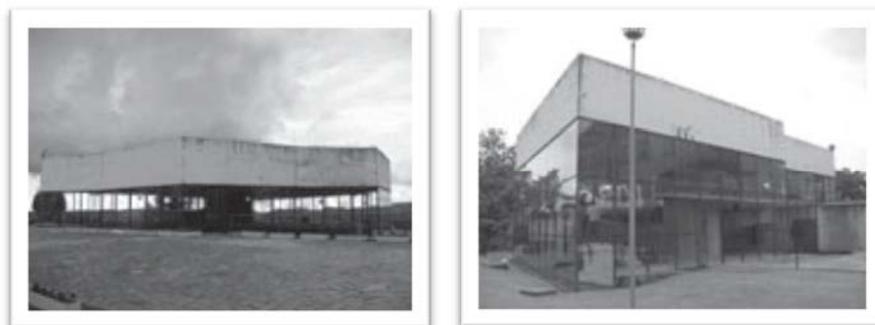


Figura 9.1: Capela de São Pedro e a fachada translúcida.

Fonte: Souto (2010)¹⁰.

⁵ ARTIGAS, Rosa (org.) (2002): **Paulo Mendes da Rocha**. São Paulo, Cosac & Naify, 240 p.

⁶ ARTIGAS, Rosa (org.) (2007): **Paulo Mendes da Rocha: projetos 1999 – 2006**. São Paulo, Cosac & Naify, 160 p.

⁷ LEMOS, Ana Maria Barboza (2007): **Portais urbanos - rodoviários**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

⁸ SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

⁹ COMAS, Carlos Eduardo (2001): **Paulo Mendes da Rocha: o prumo dos 90**. Revista Arquitetura & Urbanismo, Editora Pini, edição 97, 102-109 p.

¹⁰ SOUTO, Ana Elisa Moraes. *op. cit.*

O Hotel pertencente ao Parque do Engenho Central (figura 9.2), situado em Piracicaba (SP), está na zona bioclimática 2. No projeto, de 2005, o arquiteto contou com a colaboração de José Armênio de Brito Cruz, André Dias Dantas e Fabiana Terenzi Stuchi. O Engenho Central, que foi desativado em 1974, é composto por construções antigas, que serão restauradas e adaptadas a novos usos. Uma grande esplanada é a proposta de conexão entre os antigos e novos edifícios. Como este projeto abrange um complexo de edificações, o hotel foi escolhido para apreciação, o qual contém nove andares com 126 apartamentos, cuja distribuição se dá nas faces opostas do volume. Há um vazio central conectado por passarelas metálicas que fazem a circulação.

Artigas (2007)¹¹ afirma “O projeto para o Parque do Engenho é parte do Projeto Beira Rio, que está sendo desenvolvido na cidade de Piracicaba, com o objetivo principal de enfatizar a navegabilidade do rio Piracicaba”... “Nos antigos depósitos de açúcar será instalado o Centro de Convenções anexo a um hotel que atenderá à demanda do Parque do Engenho e da própria cidade”.



Figura 9.2: Complexo do Engenho Central com o hotel ao centro, praça os conecta.
Fonte: Artigas (2007)¹².

O Fórum de Avaré (SP) (figura 9.3), situado na cidade que deu nome à obra, pertence à zona bioclimática 3. Esta obra, que data de 1962, o arquiteto teve a colaboração de outros profissionais, como João Eduardo de Gennaro e Newton Arakawa. Trata-se de uma edificação descrita como uma praça coberta, que abriga e oferece sombra ao vasto público que atende. É como uma extensão da praça localizada em frente ao fórum.

A planta está organizada em três faixas, com a presença de um vazio central. Uma edificação com total permeabilidade ao uso público, sem deixar de preservar atividades específicas, como salas de juizes e promotores, dispostas em níveis.

¹¹ ARTIGAS, Rosa (org.) (2007): **Paulo Mendes da Rocha: projetos 1999 – 2006**. São Paulo, Cosac & Naify, 160 p.

¹² ARTIGAS, Rosa (org.). *op. cit.*

Artigas (2002)¹³ aponta que “Tendo em vista a temperatura elevada da região, o espaço assim organizado cria um clima interno bastante adequado, com luz natural controlada e uma atmosfera acolhedora.”

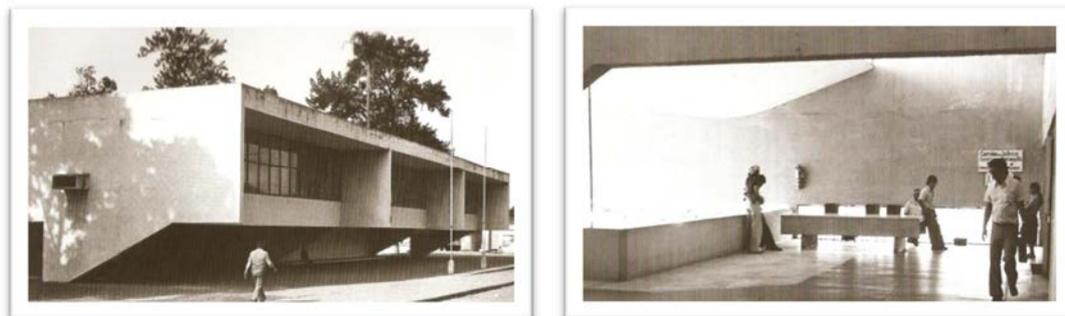


Figura 9.3: Fórum de Avaré com o térreo protegido e sombreado.
Fonte: Artigas (2002)¹⁴.

Na figura 9.4 estão as imagens do Centro de Coordenação Geral do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), de Brasília (DF), é pertencente à zona bioclimática 4. Para esta obra, de 1998, Paulo Mendes teve os seguintes colaboradores: Ângelo Bucci, Fernando de Mello Franco, Marta Moreira e Milton Braga. O complexo é uma rede que coleta e processa informações cujo objetivo é administrar e proteger a Amazônia Legal, que compreende a região Norte do país, e partes do Mato Grosso e do Maranhão. O programa organiza-se através de uma galeria, que corresponde ao eixo estrutural do projeto, onde estão os acessos gerais, e algumas instalações. Parte dos usos está no subsolo, e demais instalações técnicas estão em edificações circulares sobre o eixo principal. Como este projeto abrange um complexo de edificações, foi escolhido para apreciação apenas o volume de forma circular que abriga os escritórios do SIVAM (desconsiderando o subsolo).

O programa é organizado a partir de uma galeria que funciona como um eixo estrutural. A edificação escolhida abriga os escritórios do SIVAM. A forma circular escolhida retrata o intuito de evitar corredores de fim morto, tal forma seria capaz de atender possíveis expansões, caso necessárias.

Souto (2010)¹⁵ explica que “No projeto SIVAM, a inspiração é clara, o caráter proposto por Oscar à Brasília é assumido por Paulo no projeto. O arquiteto enfatizou aspectos

¹³ ARTIGAS, Rosa (org.) (2002): **Paulo Mendes da Rocha**. São Paulo, Cosac & Naify, 240 p.

¹⁴ ARTIGAS, Rosa. *op. cit.*

¹⁵ SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

simbólicos e técnicos relacionados ao programa e à cidade de Brasília. A monumentalidade das edificações propostas é evidente e os espaços abertos são generosos, mantendo a continuidade visual franca.”

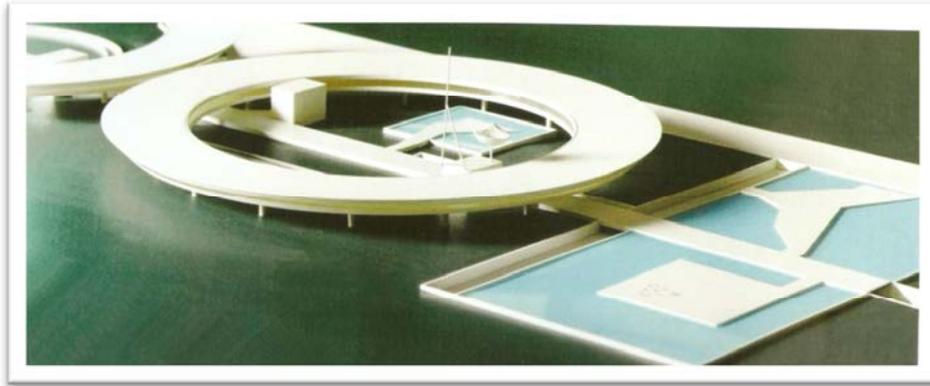


Figura 9.4: Complexo SIVAM, com o eixo central e o edifício de forma circular verificado.
Fonte: Artigas (2007)¹⁶.

Na figura 9.5 está o Museu de Arte Moderna (MAM), que se localiza em Santos (SP), pertence à zona bioclimática 5. Nesta obra, ainda por construir, Paulo Mendes Paulo Mendes teve a colaboração do Metro Arquitetos Associados. O prédio é um anexo à Pinacoteca Benedicto Calixto. Com formato de caixa, abrigará auditório, espaço multimídia, locais para grandes e pequenas exposições, além da área técnica.

O projeto é em formato de caixa, de aproximadamente 60m x 20m. Nela está o térreo distribuído em dois pequenos volumes vermelhos, seguidos por três pavimentos interligados por escadas na parte externa da edificação, evidenciando a vista para a praia. Além do subsolo destinado ao estacionamento. O fechamento escolhido será em pré-fabricados de concreto.

Melendez (2010)¹⁷ reporta-se “A ideia é aproveitar a ampla área livre e implantar um museu que coloque a cidade na rota das exposições internacionais de arte.”

¹⁶ ARTIGAS, Rosa (org.) (2007): **Paulo Mendes da Rocha: projetos 1999 – 2006**. São Paulo, Cosac & Naify, 160 p.

¹⁷ MELENDEZ, Adilson (2010): **Museu de Arte Moderna, Santos, SP**. Revista Projeto Design, Editora ARCO, edição 367.



Figura 9.5: Maquete do MAM, demonstrando relação entre volumes.
Fonte: Melandez (2010)¹⁸.

A Sede Social Jóquei Clube Goiás (figura 9.6), situada em Goiânia (GO), está na zona bioclimática 6. Na obra, de 1963, o arquiteto contou com a colaboração de João Eduardo de Gennaro. A Sede Social está localizada na parte central de Goiânia, com a presença de mata nativa de grande porte. No programa consta: restaurante, salão de festas, praça das piscinas, ginásio, vestiários; com o último pavimento, flutuante, destinado às atividades como leitura, dentre outras.

A edificação em forma de caixa elevada em concreto aparente, é estabelecida e hierarquizada em diferentes níveis. A construção conecta a praça das piscinas ao parque.

Souto (2010)¹⁹ constata que “A iluminação lateral e zenital é utilizada no projeto e a implantação foi criteriosa em relação à localização da edificação e o posicionamento das piscinas. A vegetação arbórea existente é incorporada ao projeto para fechamento das visuais através das amplas visuais de dentro do salão de festas. No projeto ocorre a estratificação da edificação em três níveis diferenciados, a fim de distribuir o programa e estabelecer relações com o lugar e zonear os usos.”

¹⁸ MELENDEZ, Adilson (2010): **Museu de Arte Moderna, Santos, SP**. Revista Projeto Design, Editora ARCO, edição 367.

¹⁹ SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).



Figura 9.6: Sede Social Jôquei Clube Goiás e a praça das piscinas.
Fonte: Artigas (2002)²⁰.

A Estação Rodoviária de Cuiabá (MT), na figura 9.7, pertence à zona bioclimática 7, e a obra data de 1977. Está localizada na região central de Cuiabá, a edificação foi implantada em platô criado em um terreno acidentado. Os dados dessa obra, para avaliação da Etiquetagem PROCEL, foram baseados em um modelo 3D do projeto disponível na internet no programa SketchUp.

Em termos de volume, tem-se uma caixa suspensa, cujos materiais principais são o concreto armado e o vidro. Para as plantas há uma setorização viabilizada através de rampas. A hierarquia das circulações favorece aos pedestres.

Lemos (2007)²¹ aponta: “Um edifício amplo, iluminado, vazado e muito ventilado. Essa seria a melhor descrição para o portal de Cuiabá”.



Figura 9.7: Estação rodoviária, fachada norte, passarelas internas e iluminação zenital.
Fonte: Lemos (2007)²².

²⁰ ARTIGAS, Rosa (org.) (2002): **Paulo Mendes da Rocha**. São Paulo, Cosac & Naify, 240 p.

²¹ LEMOS, Ana Maria Barboza (2007): **Portais urbanos - rodoviários**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao PROPARG/UFRGS, Porto Alegre).

²² LEMOS, Ana Maria Barboza. *op. cit.*

A Capela de Nossa Senhora da Conceição, representada na figura 9.8, de Recife (PE), é pertencente à zona bioclimática 8. Para esta obra, de 2005, Paulo Mendes teve os seguintes colaboradores: Eduardo Argenton Colonelli, Eduardo Pereira Gurian, Laura Guedes, Rafael Baravelli. O terreno em que se encontra a capela é na área da fábrica Cerâmica Brennand, próximo ao rio Capibaribe. No local funciona o ateliê do artista Francisco Brennand, além de conter a exposição permanente dos artefatos.

Essa obra é a restauração das ruínas de uma construção do século XIX, trabalhada em tijolos e pedra. Paulo Mendes deu-lhe uma nova cobertura, que está suspensa em relação às paredes, a qual é definida em uma laje plana de concreto protendido, sustentada por duas colunas presentes no eixo longitudinal da nave.

Artigas (2007)²³ assinala que “O fechamento em cristal transparente é independente e destacado tanto das alvenarias como da cobertura, disposto de modo prismático. A pequena área se amplia nas transparências, reflexões e refrações que fluem através de envasaduras das antigas portas e janelas.”

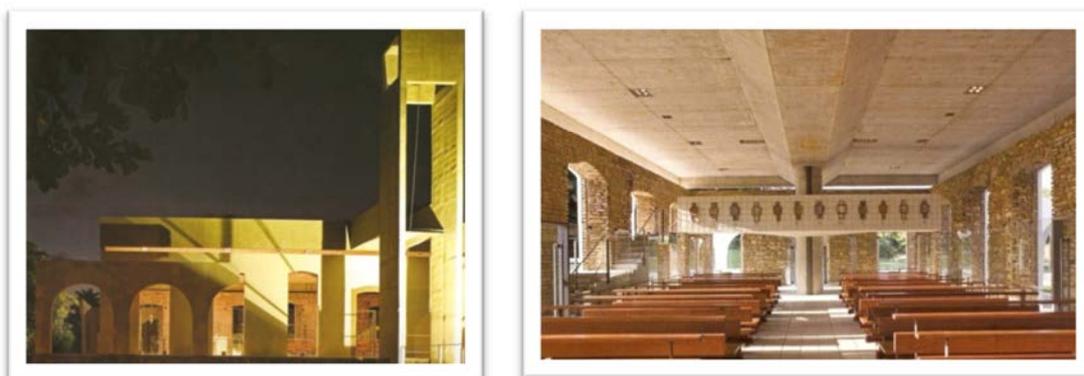


Figura 9.8: Capela Nossa Senhora da Conceição.
Fonte: Artigas (2007)²⁴.

Esta dissertação, conforme mencionado, analisará o potencial da envoltória desses projetos a partir dos estudos até aqui desenvolvidos, fazendo uso também da NBR 15220-3, e da ferramenta para avaliação Etiquetagem PROCEL para Edificações, RTQ-C.

Os edifícios foram avaliados através do método prescritivo do RTQ-C, apenas em nível parcial da envoltória, excluindo os pré-requisitos existentes no regulamento. Os projetos arquitetônicos utilizados para esse tipo de avaliação foram obtidos nas referências presentes

²³ ARTIGAS, Rosa (org.) (2007): **Paulo Mendes da Rocha: projetos 1999 – 2006**. São Paulo, Cosac & Naify, 160 p.

²⁴ ARTIGAS, Rosa(org.). *op. cit.*

neste subitem; enquanto o cálculo da eficiência das edificações é executado através do *Webprescritivo* oferecido pelo sítio do LABEED/UFSC, na sua versão preliminar até então.

Após a exposição dos projetos a serem explorados, na unidade 9.3 há a explicação do modo em que essas obras são verificadas.

9.3 CONFIGURAÇÃO DA ANÁLISE DOS PROJETOS

Cada projeto é apreciado através de uma tabela de verificação dos projetos do Paulo Mendes. As oito tabelas estão organizadas da seguinte forma, no item 9.4: a primeira informação refere-se à zona bioclimática a que pertence o projeto. Abaixo, à esquerda, está o nome do projeto, assim como a cidade e o estado em que se localiza. Na mesma linha, à direita é apontada a latitude. A relevância desse último dado deve-se ao maior contraste existente entre as orientações solares e a radiação solar incidente, à medida que a cidade está mais ao sul.

Na terceira linha seguem as recomendações para projetos arquitetônicos que são pertinentes à zona bioclimática em questão segundo a NBR 15220-3. Abaixo são demonstradas as estratégias aplicadas pelo Paulo Mendes na obra em averiguação. Ambas as constatações são feitas através de símbolos, que tornam mais didática a apreensão. A estratégia que mais desfavorece o projeto quanto ao seu desempenho térmico está identificada com contorno vermelho.

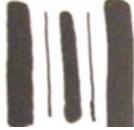
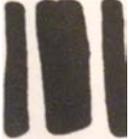
E, por último, está a classificação da obra quanto à Etiquetagem PROCEL de Edificações para a envoltória. A seguir segue o exemplo de tabela aplicada em cada projeto estudado:

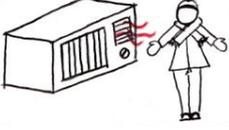
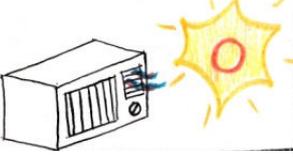
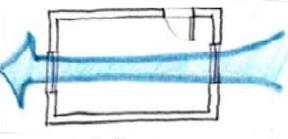
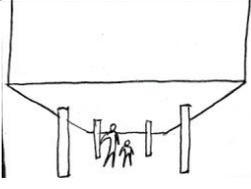
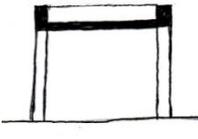
ZONA BIOCLIMÁTICA (EM QUE SE LOCALIZA O PROJETO)	
<ul style="list-style-type: none"> • NOME DO PROJETO • CIDADE ONDE SE LOCALIZA O PROJETO 	LATITUDE 22° 41' 20" S
NBR 15220-3 RECOMENDA	SÃO APRESENTADAS AS ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS PELA NBR PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA EM QUESTÃO ATRAVÉS DE SIMBOLOGIA
ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO	SÃO CARACTERIZADAS AS ESTRATÉGIAS ARQUITETÔNICAS APLICADAS PELO ARQUITETO ATRAVÉS DE SIMBOLOGIA Observação: em vermelho estará identificado o método aplicado que menos contribui para a eficiência energética da edificação
ETIQUETA PROCEL	A AVALIAÇÃO DA ETIQUETAGEM PROCEL PARA A ENVOLTÓRIA

Tabela 9.1: Exemplo de tabela aplicada nos projetos.

Fonte: tabela elaborada pela autora.

Segue, abaixo, a simbologia empregada no estudo:

Imagem da estratégia de projeto	Legenda da imagem
	abertura pequena
	abertura média
	abertura grande
	parede externa leve
	parede externa média
	parede externa pesada
	abertura sombreada/protegida
	paisagem integrada ao projeto
	aproveitamento da luz natural

	<p>aberturas reduzidas nas fachadas com maior exposição à radiação solar</p>
	<p>radiação solar nos períodos frios</p>
	<p>resfriamento evaporativo</p>
	<p>condicionamento artificial de ar nos períodos frios</p>
	<p>condicionamento artificial no verão</p>
	<p>planta livre (facilita a ventilação)</p>
	<p>Pilotis</p>
	<p>cobertura leve e isolada</p>
	<p>cobertura pesada</p>

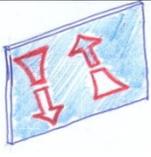
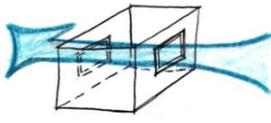
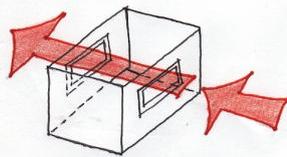
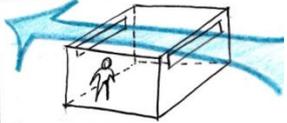
	baixa inércia térmica
	ventilação cruzada no verão
	ventilação cruzada permanente
	ventilação seletiva

Tabela 9.2: Legenda das estratégias de projeto.

Fonte: tabela elaborada pela autora.

Na figura 9.13 está a localização, no território brasileiro, dos projetos de Paulo Mendes estudados nesta dissertação. Nele é possível ter um panorama da diversidade de sítios em que o arquiteto teve que adequar à produção das obras.

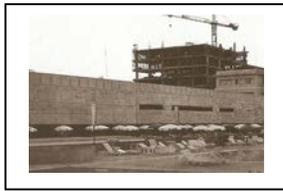


Figura 9.9: ZB 6 - Sede Social Jóquei Clube
Fonte: Artigas (2002)

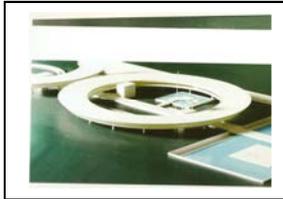


Figura 9.10: ZB 4 - SIVAM
Fonte: Artigas (2007)

Figura 9.11: ZB 7 - Rodoviária
Fonte: Lemos (2007)



Figura 9.12: ZB 8 - Capela de Nª Srª da Conceição
Fonte: Artigas (2007)

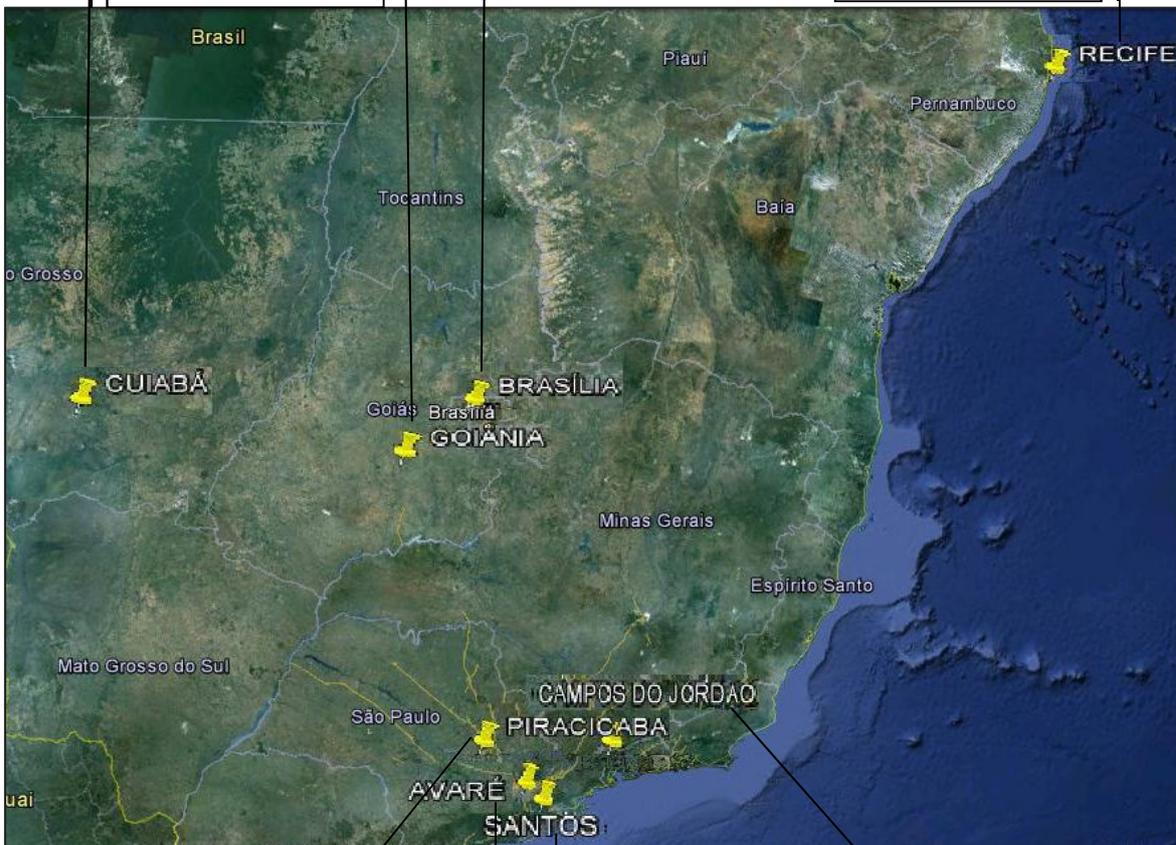
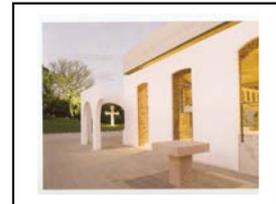


Figura 9.13: Mapa das cidades onde estão localizados os projetos.
Fonte: figura adaptada pela autora, imagem original do Google Earth.

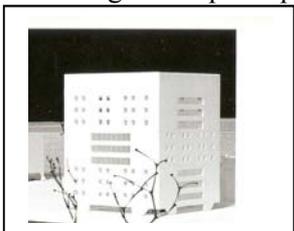


Figura 9.15: ZB 2 - Hotel
Fonte: Artigas (2007)

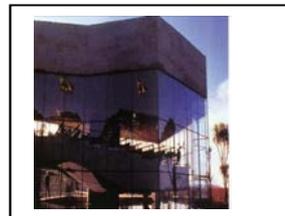


Figura 9.14: ZB 1- Cap. de São Pedro
Fonte: Souto (2010)

Figura 9.17: ZB 3 - Fórum de Avaré
Fonte: Artigas (2002)

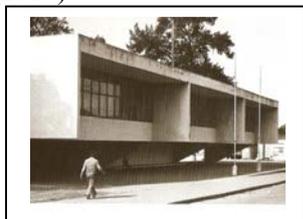


Figura 9.16: ZB 5 - MAM
Fonte: Melendez (2010)

9.4 TABELAS DE ANÁLISE DOS PROJETOS E CONSIDERAÇÕES

Neste ponto são desenvolvidas as tabelas de apreciação dos projetos anteriormente apresentados a partir da simbologia empregada no item 9.3. E, após, a conclusão do capítulo, com a ponderação dos dados exibidos.

ZONA BIOCLIMÁTICA I	
<ul style="list-style-type: none"> • CAPELA DE SÃO PEDRO • CAMPOS DO JORDÃO (SP) 	LATITUDE 22° 44' 20" S
NBR 15220-3 RECOMENDA	
ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO	
ETIQUETA PROCEL	O cálculo da Etiquetagem PROCEL não se aplica a este projeto (área útil inferior a 500m²)

Tabela 9.3: Apreciação do projeto da zona bioclimática 1.

Fonte: tabela elaborada pela autora.

ZONA BIOCLIMÁTICA 2	
<ul style="list-style-type: none"> • HOTEL DO PARQUE DO ENGENHO CENTRAL • PIRAGICABA (SP) 	<p>LATITUDE 22° 43' 30" S</p>
<p>NBR 15220-3 RECOMENDA</p>	
<p>ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO</p>	
<p>ETIQUETA PROCEL</p>	<p>CLASSIFICAÇÃO "A"</p>

Tabela 9.4: Apreciação do projeto da zona bioclimática 2.
 Fonte: tabela elaborada pela autora.

ZONA BIOCLIMÁTICA 3

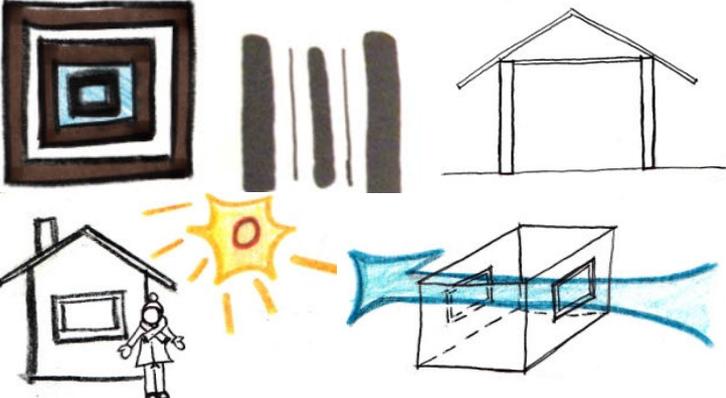
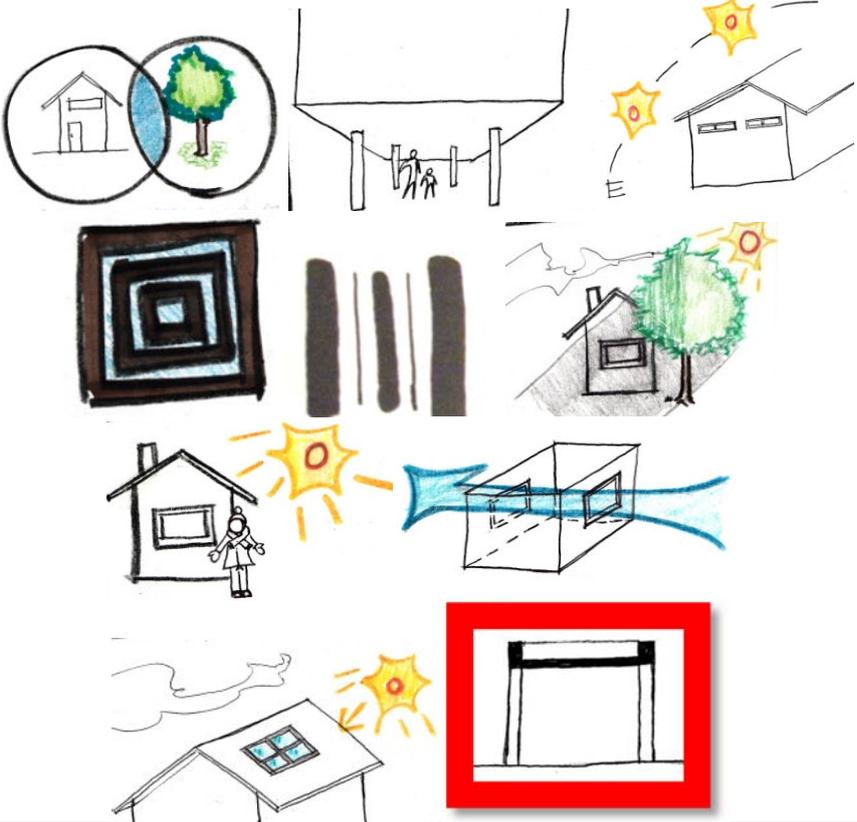
<ul style="list-style-type: none"> • FÓRUM AVARÉ • AVARÉ (SP) 	<p>LATITUDE 23° 05' 56" S</p>
<p>NBR 15220-3 RECOMENDA</p>	
<p>ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO</p>	
<p>ETIQUETA PROCEL</p>	<p>CLASSIFICAÇÃO "A"</p>

Tabela 9.5: Apreciação do projeto da zona bioclimática 3.
Fonte: tabela elaborada pela autora.

ZONA BIOCLIMÁTICA 4	
<ul style="list-style-type: none"> • SIVAM • BRASÍLIA (DF) 	<p>LATITUDE 15° 47' 56" S</p>
<p>NBR 15220-3 RECOMENDA</p>	
<p>ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO</p>	
<p>ETIQUETA PROCEL</p>	<p>CLASSIFICAÇÃO "A"</p>

Tabela 9.6: Apreciação do projeto da zona bioclimática 4.
Fonte: tabela elaborada pela autora.

ZONA BIOCLIMÁTICA 5	
<ul style="list-style-type: none"> • MUSEU DE ARTE MODERNA • SANTOS (SP) 	<p>LATITUDE 23° 56' 13.16" S</p>
NBR 15220-3 RECOMENDA	
ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO	
ETIQUETA PROCEL	CLASSIFICAÇÃO "A"

Tabela 9.7: Apreciação do projeto da zona bioclimática 5.

Fonte: tabela elaborada pela autora.

ZONA BIOCLIMÁTICA 6	
<ul style="list-style-type: none"> • SEDE SOCIAL JÓQUEI CLUBE GOIÁS • GOIÂNIA (GO) 	<p>LATITUDE 16° 40' 00" S</p>
NBR 15220-3 RECOMENDA	
ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO	
ETIQUETA PROCEL	CLASSIFICAÇÃO "A"

Tabela 9.8: Apreciação do projeto da zona bioclimática 6.
Fonte: tabela elaborada pela autora.

ZONA BIOCLIMÁTICA 7

<ul style="list-style-type: none"> • ESTAÇÃO RODOVIÁRIA INTERESTADUAL • CUIABÁ (MT) 	<p>LATITUDE 15° 35' 45" S</p>
<p>NBR 15220-3 RECOMENDA</p>	
<p>ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO</p>	
<p>ETIQUETA PROCEL</p>	<p>CLASSIFICAÇÃO "A"</p>

Tabela 9.9: Apreciação do projeto da zona bioclimática 7.
Fonte: tabela elaborada pela autora.

ZONA BIOCLIMÁTICA 8	
<ul style="list-style-type: none"> • CAPELA DE NOSSA SENHORA DA CONCEIÇÃO • RECIFE (PE) 	<p>LATITUDE 08° 03' 14" S</p>
<p>NBR 15220-3 RECOMENDA</p>	
<p>ESTRATÉGIAS APLICADAS NESTE PROJETO</p>	
<p>ETIQUETA PROCEL</p>	<p>O cálculo da Etiquetagem PROCEL não se aplica a este projeto (área útil inferior a 500m²)</p>

Tabela 9.10: Apreciação do projeto da zona bioclimática 8.

Fonte: tabela elaborada pela autora.

Ao iniciar a investigação por projetos que fossem possíveis de utilizar como exemplo nesta dissertação, a fim de buscar evidências da aplicação de técnicas arquitetônicas que embasassem o estudo, foi feita uma seleção inicial de projetos. Um dos itens obrigatórios é que eles contemplassem as oito distintas zonas bioclimáticas do Brasil. De modo natural alguns projetos de Paulo Mendes estavam entre os selecionados. Foi então que o desafio mudou. Tornou-se interessante a ideia de que o próprio arquiteto poderia conter oito projetos nas diferentes zonas bioclimáticas do país. Como, de fato, possui.

Os edifícios matematicamente averiguados através do método prescritivo no nível de requisitos de avaliação da Etiquetagem PROCEL legitimaram que as envoltórias que Paulo Mendes produz são eficientes termicamente, recebendo o mais alto grau, o nível “A”.

Quanto à Capela de São Pedro, o arquiteto buscou um projeto integrado com a paisagem, o que justifica a utilização da pele de vidro como solução de vedação. Contudo, a pouca inércia térmica que o material em questão oferece faz com que as trocas térmicas entre os ambientes externo e interno ocorram com maior rapidez. Como Campus do Jordão encontra-se em elevada altitude, na Serra da Mantiqueira (SP), a estação de inverno é fria. Portanto, apesar do vidro viabilizar o acesso da radiação solar no interior da capela, o fator inércia térmica do material facilitará a fuga do calor no sentido meio interno para o meio externo, em tendência ao equilíbrio térmico.

Sem embargo, valendo-se que a NBR atesta que o condicionamento passivo para a zona bioclimática em questão é insuficiente, e ponderando-se que a capela é um anexo ao Palácio do Governador, o condicionamento artificial é uma estratégia utilizada pelo arquiteto.

O térreo livre e acolhedor do volume do hotel - que faz parte do Complexo do Engenho Central - oferece sombra a quem chega. Neste projeto, Paulo Mendes tirou partido da simetria das fachadas, utilizando as aberturas de diferentes proporções de maneira adequada: a maioria das aberturas de menor dimensão está voltada para as orientações leste e oeste. Enquanto a maior quantidade de rasgos, onde há maior troca entre o ambiente externo e o interno, está voltada para as fachadas norte e sul. Ainda, utilizando-se do vazio central e das aberturas projetadas o arquiteto faz uso da ventilação cruzada. Outro item a acentuar é o emprego da iluminação natural no projeto, tanto nas aberturas já citadas, como no uso de zenitais.

O térreo livre absorve grande quantidade de pessoas no Fórum de Avaré, visto que se trata de um edifício público, preservando os usuários da radiação solar, tornando-o permeável para que ocorra boa ventilação.

As aberturas nas fachadas leste e oeste são mínimas em relação à área de parede. A fachada norte é sombreada com elementos horizontais – de maior relevância para a orientação. Há um pergolado em concreto armado, finalizado com um plano de maior porte. As aberturas da fachada sul receberam proteção vertical e horizontal que, em termos térmicos, é desnecessário. Contudo, é possível que a opção fundamente-se na harmonia volumétrica.

A posição das aberturas confere à edificação a ventilação cruzada, conforme a NBR. Destacando-se também a iluminação natural projetada pelo arquiteto oriundas das próprias aberturas, bem como da iluminação indireta do vazio central, e do uso de clarabóias.

No projeto do SIVAM, Paulo Mendes usa o térreo livre e ventilado. A posição das aberturas articula a ventilação cruzada. Além disso, e segundo solicita a NBR, o sol de inverno ingressará na construção com mais facilidade, pela posição das aberturas e pela ausência de vegetação de grande porte no entorno. E, através delas, a iluminação natural é incentivada pelo arquiteto, o que resulta na economia de energia elétrica, essencial para um prédio que abriga um órgão público.

O arquiteto, ao empregar espelhos d'água no entorno do SIVAM, dentre outras situações, busca o efeito da umidificação do ar e do resfriamento evaporativo no verão, auxiliando na redução do condicionamento artificial do ar.

No projeto do MAM de Santos, o acesso ao térreo é livre e ventilado. A área de aberturas, dentro de uma proporção, é pequena em relação à área de fachada, bem como nas orientações leste e oeste que, por condicionamento do próprio sítio, são as orientações com maiores áreas de fachada. As poucas aberturas dificultam as trocas térmicas entre o ambiente externo e interno, além de evocar a introspecção do usuário, visto que o projeto é um museu, o que ratifica a administração da técnica. Apesar disso, a planta livre viabiliza a renovação de ar.

A Sede Social do Jóquei Clube Goiás foi projetada para promover o sombreamento e a farta ventilação, através do emprego de uma planta livre, trabalhada em diferentes níveis que ordenam os usos, e que convém à sede de um clube. A iluminação natural é abundantemente incentivada por meio do emprego de zenitais na cobertura da edificação, bem como para prover a iluminação natural ao subsolo. A presença da praça das piscinas próxima à

construção garante o resfriamento evaporativo recomendado pela NBR. As fachadas de orientação norte e sul (laterais) não têm aberturas, há, apenas, a aplicação de cobogós na fachada norte para ventilação.

A estação rodoviária, pela articulação das plantas e pela função que o prédio exige, é uma edificação que proporciona sombreamento e ventilação. A assimetria das fachadas, além de valorizar a tipologia, possui um sistema de negativos que oportuniza a ventilação cruzada. Essa ventilação, além de facilitar a evaporação do suor da grande quantidade de pessoas que por ali passam diariamente, faz o resfriamento da cobertura aquecida. As aberturas, negativos e zenitais presentes na cobertura – telhas translúcidas - são responsáveis pela articulação da iluminação natural.

As orientações leste e oeste, apesar de receberem negativos, têm poucas aberturas, o que evita o superaquecimento da edificação em orientações que exigem maior atenção em termos térmicos. É recomendável nessa zona bioclimática, a aplicação do resfriamento evaporativo, que poderia ter implementado o projeto.

Recife é uma cidade de temperatura e umidade relativa altas, onde foi projetada a Capela de Nossa Senhora da Conceição. A pintura externa branca da capela é uma cor de alta refletância em relação à radiação solar, efeito visado pela NBR para esta zona bioclimática.

As inúmeras aberturas da capela, com os fechamentos de cristal à média altura, fazem com que a ventilação cruzada ocorra na parte superior dos ambientes, removendo o ar quente que, por ser menos denso, tende a acumular-se na parte superior das peças. Outro ponto positivo é que, nessa disposição, os fechamentos permitem a passagem da ventilação sem causar transtorno a quem ingressa na capela, uma ventilação cruzada e seletiva. O efeito da renovação do ar é intensificado pela cobertura elevada em relação às paredes externas. Que ainda estabelece um distanciamento mais evidente entre as parte restaurada e a parte nova da construção. Em termos de implantação, dentre as áreas de fachada com maior exposição à radiação solar estão as de orientação leste e oeste. Apesar de não ser o sugerido em termos térmicos, vale lembrar que tal obra é uma restauração, cuja implantação é pré-existente.

Algumas características marcantes nos trabalhos apreciados do arquiteto são evidenciadas, tais como:

- a resolução volumétrica ortogonal, no formato de caixa;
- o térreo livre e ventilado é repetido em muitos projetos;

-
- a definição do projeto em um único volume, com clareza em termos estruturais e na organização dos espaços;
 - a planta livre e a presença do vazio central que, além de vincular espaços, organiza usos e auxilia na ventilação interna com a redução de obstáculos;
 - a ventilação cruzada;
 - a utilização proposital da luz natural como fator de efeito cênico (luz e sombra) e econômico, reduzindo a necessidade de maiores gastos com iluminação artificial;
 - o arquiteto considera a paisagem dos projetos, integrando-a à arquitetura, compondo elementos.

Entretanto, observa-se que segundo a avaliação da Etiqueta, com a falta de especificação de alguns itens do projeto, a avaliação da Etiqueta pode ser reduzida até o nível mínimo “E”. Portanto, há que se considerar aspectos físicos da edificação, tais como a transmitância térmica das paredes e da cobertura - algumas vezes identificadas como um ponto mais frágil nos projetos do arquiteto. Além da absorvância térmica, do percentual de abertura zenital, fator solar.

É válida a ponderação de Souto (2010)²⁵ sobre Paulo Mendes: “Outra instância vital para a identidade da edificação é sua relação com o lugar. Quanto a essa questão, o arquiteto apresenta claros princípios que evocam essa preocupação. Para ele o território orienta o projeto, o projeto humaniza a natureza. O lugar faz parte do momento de começar o projeto. É uma das primeiras questões abordadas, nas palavras de Paulo Mendes.” Esse desvelo, aliado à formação acadêmica e aplicação da bagagem profissional que possui, de forma genuína resulta positivamente no que se refere à produção arquitetônica consciente e inserida em um contexto, que se comunica com o entorno, sem impor-se a ele.

Paulo Mendes concebe os projetos com a consciência de que a arquitetura não é uma obra isolada no espaço, ela faz parte de um lugar e deve interagir com ele. Para tanto, o arquiteto utiliza as ferramentas necessárias, aplica técnicas construtivas adequadas à cada zona bioclimática.

Subsequente ao desfecho desse ponto, no capítulo 10 há a conclusão geral desta dissertação.

²⁵SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

10 CONCLUSÃO

Esta dissertação estudou um item, dentre os muitos existentes, que envolve o ato de projetar: a envoltória e a sua interação com o meio; em outras palavras, pesquisou-se sobre a arquitetura e a bioclimatologia no Brasil. Para tanto, até chegar nesse ponto, foi importante a escolha de um lugar com grande diversidade climática que servisse como cenário – o Brasil – e, para concluir, a escolha de um arquiteto que tivesse produzido nas oito zonas bioclimáticas brasileiras – Paulo Mendes da Rocha. Para, enfim, analisar os resultados. É neste capítulo em que há a confluência das informações até aqui desenvolvidas.

A primeira conclusão a ser feita é que, conforme determina a NBR 15220-3, cada zona bioclimática do país requer diferentes soluções construtivas para se obter uma edificação com bom desempenho térmico.

A função de fornecer embasamento para formação de profissionais conscientes e engajados com as questões ambientais deve ser cumprida pela academia. Nas salas de aula, os futuros arquitetos têm de aprender a adequar as técnicas construtivas a diferentes situações, visando o conforto térmico e a conservação de energia.

Para tanto, é concebível o questionamento sobre a função da avaliação a partir da Etiquetagem PROCEL em projetos de um arquiteto com o reconhecimento profissional de Paulo Mendes. De fato, a própria qualificação e o engajamento dos profissionais da área por meio do ensino os capacitam a projetar edificações eficientes tanto energeticamente, quanto em termos de qualidade de produção. Paulo Mendes elaborou a maioria dos projetos avaliados antes da presença da Etiquetagem PROCEL em Edificações no país. Teve, sim, uma formação acadêmica que foi responsável pelo princípio da qualificação do profissional que é.

Na apreciação de alguns trabalhos do arquiteto percebe-se que, mesmo não aplicando todas as recomendações que a NBR articula para as zonas bioclimáticas, os projetos têm uma boa classificação nos requisitos da envoltória pela Etiqueta. Observa-se que, às vezes, a falta de um item pode ser compensada pela presença de outras estratégias que não estavam previstas na norma.

A Etiquetagem PROCEL tem um papel relevante no processo projetual, o de ferramenta de averiguação, baseada nos preceitos que regem o conforto térmico em edificações nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, e que faz uso da exatidão dos números para classificação do edifício. Trata-se de mais um mecanismo que o profissional e o

estudante podem recorrer, o qual promove a análise da qualidade espacial, além de estimular a qualificação da produção de edifícios com eficiência energética, com base na NBR 15220-3.

Rivero (1985)¹ afirma “A verdade é que as exigências programáticas não cerceiam e sim orientam, e inclusive estimulam, a capacidade criadora do arquiteto. A resistência que se encontra, na inclusão das condições que constituem o nosso tema, obedece ao fato de que elas formam parte de uma técnica de desenvolvimento relativamente recente, que ainda não aparece nos currículos de estudo de todas as escolas e faculdades de arquitetura.” Isto posto, o estudo da eficiência energética na arquitetura é uma maneira de fomentar a produção de edificações que consomem menos energia, e que aprimora os potenciais físicos do ambiente. E possuir instrumentos que viabilizem a averiguação de projetos e de edifícios, como a Etiquetagem PROCEL e a NBR 15220-3, é um fator positivo que suscita a busca pela qualificação arquitetônica quanto ao desempenho térmico.

A forma arquitetônica e o estudo da inserção do objeto construído no sítio têm grande influência no conforto ambiental, bem como no consumo energético da edificação. E os estudos que viabilizam a conexão ser humano, abrigo e meio, existem pelo e para o seu habitante. O lugar desenvolvido, fabricado conscientemente promove o conforto do usuário. Portanto, estudar os componentes que viabilizam o conforto de uma habitação, e aplicá-lo ao cotidiano projetual, é um modo de promover a criação do lugar arquitetônico, já desenvolvido há muito anos por meio da arquitetura vernácula, e difundida nas escolas de arquiteturas.

¹RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.

11 SUGESTÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS TRABALHOS

Esta dissertação manifestou, dentre outros assuntos, a simulação térmica de projetos através da Etiquetagem PROCEL como elemento de qualificação do projeto. Trata-se de mais um aliado que o profissional possui ao ato de projetar na pesquisa pelo bom desempenho térmico da edificação.

Como sugestões para a condução de novas averiguações, são citadas as seguintes possibilidades:

- pesquisar um projeto em cada zona bioclimática, variando os fatores que implicam o cálculo da Etiquetagem PROCEL, analisando em cada localidade o nível de influência de cada item sobre a envoltória;
- avaliar a sensibilidade dos materiais por meio da análise dos pré-requisitos que compõem a avaliação da envoltória na Etiquetagem PROCEL;
- apurar a avaliação completa da Etiquetagem PROCEL para os projetos do mesmo arquiteto - abrangendo a envoltória, a iluminação, e condicionamento artificial do ar;

Portanto, é imperativo o prosseguimento das investigações no campo da bioclimatologia, pretendendo a apropriação dos dados para harmonizar a arquitetura aos diversos ambientes regionais, resultando, então, em construções duráveis, confortáveis e econômicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTIGAS, Rosa (org.) (2002): **Paulo Mendes da Rocha**. São Paulo, Cosac & Naify, 240 p.
- ARTIGAS, Rosa (org.) (2007): **Paulo Mendes da Rocha: projetos 1999 – 2006**. São Paulo, Cosac & Naify, 160 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2: Desempenho térmico de edificações - parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.
- BONDUKI, Nabil (org.) (2000): **Affonso Eduardo Reidy**. Lisboa, Blau, 216 p.
- BROWN, G.; DEKAY, Mark (2004): **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Porto Alegre, Bookman, 415 p.
- BUORO, Anarrita Bueno (2008): **Conforto térmico e eficiência energética em Hotéis Econômicos**. (Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de São Paulo, São Paulo).
- CAMOUS, Roger; WATSON, Donald (1986): **El habitat bioclimatico**. México, Editorial Gustavo Gili, 160 p.
- CASTELLO, Lineu (2007): **A percepção do lugar: repensando o conceito de lugar em arquitetura-urbanismo**. Porto Alegre, PROPAR – UFRGS, 328 p.
- COMAS, Carlos Eduardo (2001): **Paulo Mendes da Rocha: o prumo dos 90**. Revista Arquitetura & Urbanismo, Editora Pini, edição 97, 102-109 p.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos (2003): **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro, Editora Revan, 288 p.

- FANGER, Povl Ole (1972): **Thermal comfort**. Nova Iorque, McGraw – Hill, New York Book Co., 256 p.
- FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli (2001): **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo, Studio Nobel, 243 p.
- FROTA, Anésia (2004): **Geração da Insolação**. São Paulo, Geros, 289 p.
- GHISI, Eneidir (1994): **Melhoria nas condições de conforto térmico de edificações**. Relatório de Bolsa de Iniciação Científica, Florianópolis, CNPQ.
- GIVONI, Baruch (1976): **Man, climate and architecture**. Londres, Applied Science Publishers, 499 p.
- GONZÁLEZ, Eduardo; HINZ, Elke; OTEIZA, Pilar de; QUIRÓS, Carlos. (1986): **Proyecto, Clima y Arquitectura**. México, Editora Gili, vol. I-III.
- GOULART, Solange (1993): **Dados Climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ UFSC, Florianópolis).
- GOULDING, John R.; LEWIS, J.; STEEMERS, Theo C. (1992): **Energy conscious design – A Primer for Architects**. Londres, B.T. Batsford Limited, 160 p.
- HERTZ, John (1998): **Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo, Pioneira, 125 p.
- HESS, Alan (2006): **Las casas de Frank Lloyd Wright**. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 541 p.
- KINDANGEN, J.; KRAUSS, G.; DEPECKER, P. (1997): **Effects of windshapes on wind-induced air motion inside buildings**. Building and Environment 32, janeiro, 1-14 p.
- KINSEL, Luciane (2009): **Avaliação do conforto e da energia em edifícios residenciais de Porto Alegre**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).
- KOENIGSBERGER, Otto; INGERSOLL, T.; MAYHEW, Alan; SZOKOLAY, Steven (1977): **Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid, Paraninfo, 328 p.

- KREBS, Lisandra Fachinello (2005): **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos da região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha.** (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia/UFRGS, Porto Alegre).
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando (2004): **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo, ProLivros, 192 p.
- LE MOS, Ana Maria Barboza (2007): **Portais urbanos - rodoviários.** (Dissertação de Mestrado apresentada ao PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).
- MELLENDEZ, Adilson (2010): **Museu de Arte Moderna, Santos, SP.** Revista Projeto Design, Editora ARCO, edição 367.
- MENDONÇA, Francisco; OLIVEIRA, Inês (2007): **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo, Oficina de Textos, 206 p.
- NEVES, Leticia (2006): **Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural.** (Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos).
- NIMER, Edmon (1979): **Um modelo metodológico de classificação de climas.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p 59-89, out/dez.
- OLGYAY, Victor (1968): **Clima y arquitectura en Colombia.** Colombia, Universidad del Vale, 240 p.
- OLGYAY, Victor (1963): **Design with climate.** Princeton, Universidade de Princeton, 236 p.
- OLGYAY, Victor (2006): **Arquitectura y clima manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 203 p.
- PHILIPPOU, Styliane (2008): **Oscar Niemeyer : curves of irreverence.** New Haven, Yale University, 414 p.

- ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie (2007): **Ecohouse**. Burlington, Architectural Press, 479 p.
- ROMERO, Marta (2001): **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 226 p.
- ROMERO, Marta (2000): **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo, ProEditores, 128 p.
- RIVERO, Roberto (1985): **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C.Luzzatto Editores/ Ed. da Universidade. UFRGS, 240 p.
- SANTUCCI, Jô (2011): **Eficiência Energética: como acender essa luz**. Conselho em Revista (CREA-RS), v 84, 18-21 p.
- SBRIGLIO, Jacques (2009): **Exposição Le Corbusier: entre dois mundos**. Brasília, Caixa Econômica Federal, 32 p.
- SILVA, Antônio da (1994): **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação**. (Dissertação de Mestrado apresentada ao PPGEC/UFRGS, Porto Alegre).
- SILVA, Heitor da Costa (1994): **Window Design for Thermal Comfort in Domestic Buildings in Southern Brazil**. (Tese de Doutorado defendida na Architectural Association, School of Architecture, Londres).
- SILVA, Heitor da Costa; ZIEBELL, Clarissa Sartori; PÖHLS, Lennart Bertram; BAGNATI, Mariana Moura. Design Process and Building Simulation. In: **International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering**. Bridgeport: Springer, 2011.
- SOUTO, Ana Elisa Moraes (2010): **Projeto arquitetônico e a relação com o lugar nas obras de Paulo Mendes da Rocha 1958-2000**. (Tese de Doutorado apresentada PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

TOLEDO, Eustáquio (1967): **Ventilação natural dos edifícios**. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 170 p.

WISSENBACH, Vicente (coord.) (1995): **Carlos Bratke : arquiteto**. São Paulo, Pro Editores, 171 p.

ZEIN, Ruth Verde (2005): **A arquitetura da escola paulista brutalista 1953-1973**. (Tese de Doutorado apresentada ao PROPAR/UFRGS, Porto Alegre).

1 Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações. PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

2 Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios comerciais, de Serviços e Públicos. PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

3 Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço Públicos. PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

4 Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. PROCEL-EDIFICA, Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás e INMETRO, 2010.

WEBSITES CONSULTADOS

Figura cobogós. 2011. Disponível em: <http://www.arquitetonico.ufsc.br/cobogo>. Acesso em: jun 2012.

Figura do Palácio do Penhasco. 2011. Disponível em: http://www.nps.gov/meve/photosmultimedia/cultural_sites.htm. Acesso em: jun 2011.

Figuras da cortina em rolo, da persiana horizontal e da persiana vertical. 2012. Disponível em: <http://www.persilux.com.br>. Acesso em: jun 2012.

Iluminação Zenital (UFSC). 2006. Disponível em: http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-2/zenital/index.php?pag=trabalho. Acesso em junho de 2012.

-
- Informações PROCEL Edifica.** 2010. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/procel/>. Acesso em: jul 2012.
- Modelo 3D da Estação Rodoviária de Cuiabá.** 2009. Disponível em: <http://sketchup.google.com/3dwarehouse/details?mid=f922462112bf56b28376befb45720344>. Acesso em: out 2012.
- Webprescritivo (UFSC/LABEEE).** 2010. Disponível em: **Iluminação Zenital (UFSC).** 2006. Disponível em: http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006-2/zenital/index.php?pag=trabalho. Acesso em novembro de 2012.