

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



*Avaliação do desempenho da ventilação natural e do sombreamento
em casas de Maceió projetadas segundo princípios abordados na
Cartilha de Armando de Holanda*

RENATA TORRES SARMENTO DE CASTRO

MACEIÓ
2011

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO
NATURAL E DO SOMBREAMENTO EM CASAS DE MACEIÓ
PROJETADAS SEGUNDO PRINCÍPIOS ABORDADOS NA
CARTILHA DE ARMANDO DE HOLANDA**

Renata Torres Sarmiento de Castro

Maceió
2011

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

Renata Torres Sarmiento de Castro

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO
NATURAL E DO SOMBREAMENTO EM CASAS DE MACEIÓ
PROJETADAS SEGUNDO PRINCÍPIOS ABORDADOS NA
CARTILHA DE ARMANDO DE HOLANDA**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito final para obtenção do grau
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Márcio Toledo

Maceió
2011

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- C355a Castro, Renata Torres Sarmento de.
Avaliação do desempenho da ventilação natural e do sombreamento em casas de Maceió projetadas segundo princípios abordados na cartilha de Armando de Holanda / Renata Torres Sarmento de Castro. – 2011.
214 f. : il.
- Orientador: Alexandre Márcio Toledo.
Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2011.
- Bibliografia: f. 202-206.
Apêndices: f. 207-214.
1. Holanda, Armando de, 1940-1979. 2. Arquitetura e clima. 3. Ventilação natural. 4. Sombreamento. 5. Arquitetura de habitação – Alagoas. 6. Arquitetura – Estratégias bioclimáticas. I. Título.

CDU: 728:551.58(813.5)

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

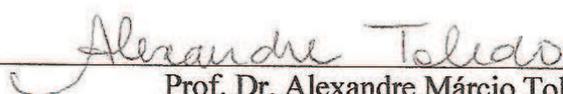
Renata Torres Sarmiento de Castro

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO E DO
SOMBREAMENTO EM CASAS DE MACEIÓ PROJETADAS
SEGUNDO PRINCÍPIOS ABORDADOS NA CARTILHA DE
ARMANDO DE HOLANDA**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito final para obtenção do grau
de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Alexandre Márcio Toledo
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dra. Maísa Fernandes Dutra Veloso
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFRN



Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dra. Regina Dulce Barbosa Lins
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

Dedico esse trabalho aos meus pais, que fizeram de meus sonhos, seus próprios objetivos; e de meus objetivos, sua própria luta.

AGRADECIMENTOS



À Deus pela graça da sabedoria e por todas as portas abertas em minha vida; por toda Luz nos momentos difíceis e de alegria.

Aos meus pais, minha fortaleza e alicerces da minha vida, pelo apoio incondicional e incentivo mais sincero.

Aos meus irmãos, Roberta, Rafaela e Rodrigo, pela presença constante em minha vida e torcida pelo meu sucesso.

Ao meu esposo, Paulo César, que sempre me apoiou, sendo amigo e companheiro.

Aos meus avós, Mário e Berenice, pela base familiar de amor e união, a qual tornou esse trabalho muito mais leve.

À todos os familiares, meus sogros, cunhados, cunhadas e amigos pelo incentivo e torcida, oferecendo estímulo e apoio em todos os momentos.

Ao professor Alexandre Márcio Toledo pelas valiosas sugestões e indicações seguras e precisas para o direcionamento correto do rumo a ser tomado.

Ao professor Dr. Eliseu Diógenes pelos ensinamentos e sugestões; e pela tradução do resumo para a língua inglesa.

À professora Regina Dulce, Verônica Robalinho e Geraldo Majela que permitiram o acesso às suas residências, disponibilizando tempo e documentos para a concretização desse trabalho. Aos professores Leonardo Bittencourt, Maisa Veloso e Regina Dulce que, como membros da banca de avaliação, contribuíram com valiosas sugestões ao meu trabalho. E aos professores do DEHA que enriqueceram meus conhecimentos e explanaram palavras de apoio.

À todos os colegas do DEHA, que juntos enfrentamos obstáculos e compartilhamos angústias; e aos colegas do Grupo de Estudos em Projeto de Arquitetura (gEPA) por todos os momentos de apoio e de descontração.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo incentivo financeiro.

E a todos aqueles que, de certa forma, contribuíram e apoiaram para elaboração e concretização deste trabalho.

"Por isso nunca ficamos desanimados. Mesmo que nosso corpo vá se gastando, o nosso espírito se renova a cada dia. Essa pequena e passageira aflição que vivemos vai nos trazer uma glória enorme e eterna, muito maior que o sofrimento." (II Coríntios, 4:16).

RESUMO

A tradição construtiva luso-brasileira, como ilustram as tradicionais casas de fazenda, e o modernismo dos anos de 1950-1970, como as casas modernistas urbanas, adotavam a preocupação com a ventilação natural e a proteção solar no trópico quente e úmido. Na década de 1970, o arquiteto pernambucano Armando de Holanda desenvolveu o Roteiro para Construir no Nordeste, reunindo nove estratégias bioclimáticas. Para o clima quente e úmido do Nordeste brasileiro, com temperaturas amenas durante quase todo o ano, as principais estratégias de projeto para promover conforto térmico resumem-se em permitir o escoamento da ventilação natural no interior das edificações e promover o sombreamento das fachadas e aberturas. Contudo, com o intensivo desenvolvimento dos conhecimentos em conforto ambiental no Brasil, estima-se que a adoção exclusiva dessas estratégias, sem experimentos práticos, não é suficiente para garantir a eficiência da edificação, necessitando, portanto, da adoção conjunta de métodos de avaliação de desempenho ambiental. O objetivo dessa pesquisa de mestrado em arquitetura e urbanismo é avaliar o desempenho da ventilação natural e do sombreamento de casas projetadas segundo os princípios abordados na cartilha de Armando de Holanda. Avaliaram-se duas casas construídas em Maceió/AL, entre final de 1970 e início de 1980, projetadas por arquitetos e professores da Universidade Federal de Alagoas. A metodologia proposta compreendeu: detalhamento de dados climáticos e estratégias bioclimáticas para Maceió; visitas às residências, levantamentos arquitetônicos, análise bioclimática; entrevistas com os arquitetos/moradores das casas; realização de ensaios de ventilação, no equipamento mesa d'água com maquetes vazadas, e de insolação com modelos virtuais, no programa de computador *SketchUp* e aplicação da carta solar. Constatou-se médio desempenho de ventilação natural e de sombreamento na Casa 1; e médio e positivo desempenho de ventilação natural e de sombreamento, respectivamente, na Casa 2. Verificou-se a utilização de adequadas estratégias bioclimáticas nas casas, porém destacaram-se determinadas soluções inadequadas para o clima quente e úmido, como a compartimentação interna e a ausência de beirais. Conclui-se pelos adequados princípios bioclimáticos do Roteiro, porém pela necessidade de experimentos práticos para garantir conforto térmico às edificações de forma a prever as deficiências e solucioná-las. Sugere-se a aplicação da metodologia proposta e das ferramentas de avaliação em pesquisas e planejamento arquitetônico para possibilitar maior garantia de desempenho térmico nas edificações, localizadas em regiões de clima quente e úmido.

Palavras-chave: ventilação natural, sombreamento, arquitetura bioclimática, Armando de Holanda.

ABSTRACT



This survey deals with the dimensionality of the natural ventilation and its fitness to building houses in the Brazilian Northeast. It is a case study due to the limited sample of the object evaluated, since that its abridgement involved only two houses located in Maceió city in the state of Alagoas. As matter of fact, by the end of 1970 through 1980, a pernambucano architect under the name of Armando de Holanda wrote a booklet guide containing 9 (nine) bioclimatic strategies to solve the problem of the hot and damp ventilation that reaches the tropical regions causing distress to their inhabitants, above all inside the houses. According to Holanda's point of view the trouble could be lessened if the building of the houses were more adequate and suitable to the local temperature of the environment. The statements lined out by Holanda consisted of nine (9) strategic. In the inquiry made up, some of Holanda's a priori strategic propositions have been selected and evaluated such the natural air performance, the shading and other items of two houses built by two architects who drew and carried out an experimental project for their own dwellings. Both houses were object of analysis and evaluation by means of a detailed methodoly concerning the climatic data and the bioclimatic strategies followed by an essay of ventilation and sunny rays with virtual models through computerized SketchUp application of the solar chart. As a result, the house 1 (one) showed up efficient average of natural ventilation and shading, while the house 2 (two) attested the average and positive performance of natural ventilation as well as shading. Yet in both houses the direct observation registered adequate bioclimatic strategies, but some determined solutions seemed inadequate to a hot and damp climate as inward divisions no evidence of eaves. Hypothetically the conclusion is that Holanda's guidance may cause good effect when well fitted, in spite of being necessary some practical experiments to assure thermal comfort to the buildings situated in hot and damp regions, with the adoption of the suggested methodoly and good tools of evaluation preceded by an architectonic planning.

Key-Words: Natural Ventilation, Shading, Bioclimatic architecture, Holanda's strategies, Thermal comfort.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
DO HIGIENISMO AO CONFORTO TÉRMICO	23
O ARQUITETO ARMANDO DE HOLANDA	25
JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA	29
PROBLEMA DE PESQUISA	30
OBJETIVO GERAL	31
Objetivos Específicos	31
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	31
1 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	33
1.1 ARQUITETURA E CLIMA	33
1.2 CONFORTO TÉRMICO	35
1.3 VENTILAÇÃO NATURAL	35
1.3.1 Configuração das Aberturas dos Edifícios	37
1.3.2 Localização das Aberturas	37
1.3.3 Tamanho das Aberturas	39
1.3.4 Tipo e Configuração das Aberturas e Esquadrias	39
1.3.5 Presença de componentes arquitetônicos na proximidade das aberturas ...	40
1.3.6 Abordagens Experimentais em Ventilação Natural	42
1.3.7 Pesquisas em Ventilação Natural de Edifícios	44
1.3.7.1 <i>Desempenho da ventilação natural em apartamentos em Maceió</i>	44
1.3.7.2 <i>Desempenho da ventilação natural em uma residência na cidade de Maceió</i> ...	45
1.3.7.3 <i>Avaliação computacional da ventilação natural em ambientes internos</i>	46
1.3.7.4 <i>Automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações.</i>	47
1.4 INSOLAÇÃO E SOMBREAMENTO	47
1.4.1 Envoltória da Edificação: Materiais Opacos e Transparentes	50
1.4.2 Desempenho Térmico de Elementos Opacos: Paredes e Coberturas	51
1.4.3 Desempenho Térmico de Aberturas	54
1.4.4 Dispositivos de Sombreamento para as Edificações	55
1.4.4.1 <i>Quebra-sol, Brise-soleil e Marquises</i>	56
1.4.4.2 <i>Varandas e Sacadas</i>	57
1.4.4.3 <i>Beirais</i>	57
1.4.4.4 <i>Vegetação</i>	58
1.4.4.5 <i>Dispositivos de proteção internos</i>	58
1.4.4.6 <i>Outros dispositivos</i>	58
1.4.5 Pesquisas em Sombreamento e Insolação de Edifícios	59

1.4.5.1	<i>Contribuição da orientação e do sombreamento na composição de cargas e consumo</i>	59
1.4.5.2	<i>Quantidade de radiação solar em fachadas</i>	60
1.4.5.3	<i>Obtenção de acesso solar em unidades habitacionais unifamiliares</i>	61
1.4.5.4	<i>Metodologia para Análise da Obstrução Solar e Abóbada Celeste</i>	61
1.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
2.1	INTRODUÇÃO	63
2.2	ETAPAS DO TRABALHO	63
2.3	INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO DA PESQUISA EXPERIMENTAL	65
2.4	LOCAL E OBJETOS DE ESTUDO	65
2.4.1	Caracterização Climática de Maceió	66
2.5	PESQUISA DE CAMPO E EXPERIMENTAL	72
2.5.1	Análise Bioclimática	73
2.5.2	Avaliação da Ventilação Natural	73
2.5.2.1	<i>O Equipamento Mesa d'Água e os Ensaios de Visualização</i>	73
2.5.2.2	<i>Critérios Utilizados para Avaliação</i>	75
2.5.2.3	<i>Dado 1: Percurso do Escoamento</i>	79
2.5.2.4	<i>Dado 2: Abrangência do Escoamento</i>	80
2.5.2.5	<i>Dado 3: Qualidade do Escoamento do ar nos Ambientes</i>	81
2.5.2.6	<i>Dado 4: Velocidade Aparente do Escoamento</i>	82
2.5.3	Avaliação da Insolação e Sombreamento	82
2.5.3.1	<i>Carta Solar e Programa de Computador SketchUp</i>	83
2.5.3.2	<i>Critérios Utilizados</i>	84
2.5.3.3	<i>Dado 1: Sombreamento das fachadas</i>	85
3	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA	89
3.1	CASA 1	89
3.1.1	Estratégias Bioclimáticas da Casa 1	94
3.1.2	Princípios da Cartilha de Armando de Holanda na Casa 1	98
3.2	CASA 2	99
3.2.1	Estratégias Bioclimáticas da Casa 2	101
3.2.2	Princípios da Cartilha de Armando de Holanda na Casa 2	105
3.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
4	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL	107
4.1	CASA 1	107
4.1.1	Vento Leste na Casa 1	108
4.1.1.1	<i>Percurso do Escoamento Leste</i>	109
4.1.1.2	<i>Abrangência do Escoamento Leste</i>	110
4.1.1.3	<i>Qualidade do Escoamento Leste nos Ambientes</i>	111
4.1.1.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Leste</i>	112
4.1.1.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Leste na Casa 1</i>	113
4.1.2	Vento Sudeste na Casa 1	113
4.1.2.1	<i>Percurso do Escoamento Sudeste</i>	114
4.1.2.2	<i>Abrangência do Escoamento Sudeste</i>	115
4.1.2.3	<i>Qualidade do Escoamento Sudeste nos Ambientes</i>	116

4.1.2.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Sudeste</i>	117
4.1.2.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Sudeste na Casa 1</i>	117
4.1.3	Vento Nordeste na Casa 1	118
4.1.3.1	<i>Percurso do Escoamento Nordeste</i>	119
4.1.3.2	<i>Abrangência do Escoamento Nordeste</i>	119
4.1.3.3	<i>Qualidade do Escoamento Nordeste nos Ambientes</i>	120
4.1.3.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Nordeste</i>	121
4.1.3.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Nordeste na Casa 1</i>	121
4.1.4	Vento Sul na Casa 1	122
4.1.4.1	<i>Percurso do Escoamento Sul</i>	122
4.1.4.2	<i>Abrangência do Escoamento Sul</i>	124
4.1.4.3	<i>Qualidade do Escoamento Sul nos Ambientes</i>	125
4.1.4.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Sul</i>	125
4.1.4.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Sul na Casa 1</i>	126
4.1.5	Resultado Final da Ventilação Natural da Casa 1	126
4.2	CASA 2	128
4.2.1	Vento Leste na Casa 2	129
4.2.1.1	<i>Percurso do Escoamento Leste</i>	130
4.2.1.2	<i>Abrangência do Escoamento Leste</i>	131
4.2.1.3	<i>Qualidade do Escoamento Leste nos Ambientes</i>	132
4.2.1.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Leste</i>	132
4.2.1.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Leste na Casa 2</i>	133
4.2.2	Vento Sudeste na Casa 2	134
4.2.2.1	<i>Percurso do Escoamento Sudeste</i>	134
4.2.2.2	<i>Abrangência do Escoamento Sudeste</i>	136
4.2.2.3	<i>Qualidade do Escoamento Sudeste nos Ambientes</i>	137
4.2.2.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Sudeste</i>	137
4.2.2.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Sudeste na Casa 2</i>	138
4.2.3	Vento Nordeste na Casa 2	138
4.2.3.1	<i>Percurso do Escoamento Nordeste</i>	139
4.2.3.2	<i>Abrangência do Escoamento Nordeste</i>	141
4.2.3.3	<i>Qualidade do Escoamento Nordeste nos Ambientes</i>	141
4.2.3.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Nordeste</i>	142
4.2.3.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Nordeste na Casa 2</i>	143
4.2.4	Vento Sul na Casa 2	143
4.2.4.1	<i>Percurso do Escoamento Sul</i>	144
4.2.4.2	<i>Abrangência do Escoamento Sul</i>	145
4.2.4.3	<i>Qualidade do Escoamento Sul nos Ambientes</i>	146
4.2.4.4	<i>Velocidade Aparente do Escoamento Sul</i>	146
4.2.4.5	<i>Resultado Final da Avaliação do Vento Sul na Casa 2</i>	147
4.2.5	Resultado Final da Ventilação Natural da Casa 2	147
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
5	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SOMBREAMENTO	150
5.1	CASA 1	150
5.1.1	Fachada Sudeste da Casa 1	151
5.1.1.1	<i>Solstício de Verão</i>	151
5.1.1.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	153

5.1.1.3	<i>Solstício de Inverno</i>	154
5.1.1.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Sudeste da Casa 1</i>	155
5.1.2	Fachada Noroeste da Casa 1	155
5.1.2.1	<i>Solstício de Verão</i>	156
5.1.2.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	157
5.1.2.3	<i>Solstício de Inverno</i>	158
5.1.2.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Noroeste da Casa 1</i>	160
5.1.3	Fachada Sudoeste da Casa 1	160
5.1.3.1	<i>Solstício de Verão</i>	161
5.1.3.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	162
5.1.3.3	<i>Solstício de Inverno</i>	163
5.1.3.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Sudoeste da Casa 1</i>	164
5.1.4	Fachada Nordeste da Casa 1	165
5.1.4.1	<i>Solstício de Verão</i>	166
5.1.4.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	167
5.1.4.3	<i>Solstício de Inverno</i>	168
5.1.4.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Nordeste da Casa 1</i>	169
5.1.5	Resultado Geral do Sombreamento da Casa 1	170
5.2	CASA 2	171
5.2.1	Fachada Norte da Casa 2	171
5.2.1.1	<i>Solstício de Verão</i>	172
5.2.1.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	173
5.2.1.3	<i>Solstício de Inverno</i>	174
5.2.1.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Norte da Casa 2</i>	175
5.2.2	Fachada Leste da Casa 2	176
5.2.2.1	<i>Solstício de Verão</i>	177
5.2.2.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	178
5.2.2.3	<i>Solstício de Inverno</i>	179
5.2.2.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Leste da Casa 2</i>	180
5.2.3	Fachada Oeste da Casa 2	181
5.2.3.1	<i>Solstício de Verão</i>	182
5.2.3.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	183
5.2.3.3	<i>Solstício de Inverno</i>	184
5.2.3.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Oeste da Casa 2</i>	185
5.2.4	Fachada Sul da Casa 2	186
5.2.4.1	<i>Solstício de Verão</i>	187
5.2.4.2	<i>Equinócios de Outono e Primavera</i>	188
5.2.4.3	<i>Solstício de Inverno</i>	189
5.2.4.4	<i>Avaliação do Sombreamento da Fachada Sul da Casa 2</i>	189
5.2.5	Resultado Geral do Sombreamento da Casa 2	190
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	192
	CONCLUSÃO	193
	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	194
	ANÁLISE BIOCLIMÁTICA	196
	AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL	197
	AVALIAÇÃO DO SOMBREAMENTO	198

DESEMPENHO TÉRMICO: VENTILAÇÃO NATURAL E SOMBREAMENTO	199
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS E DESDOBRAMENTOS DA DISSERTAÇÃO	200
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	202
APÊNDICE A – Entrevista ao professor Geraldo Gomes	207
APÊNDICE B – Normas de Desempenho Térmico	210

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Localização da abertura de saída	38
Figura 1.2	Configuração da abertura de entrada	38
Figura 1.3	Abertura de entrada menor do que abertura de saída	39
Figura 1.4	Abertura de entrada maior do que abertura de saída	39
Figura 1.5	Pl. Bx. – Elementos verticais perpendiculares à fachada	41
Figura 1.6	Cortes – Marquises acima das aberturas	41
Figura 1.7	Divisórias internas fora do caminho do vento	41
Figura 1.8	Divisórias internas que bloqueiam o vento	41
Figura 1.9	Radiação solar em superfícies opacas e transparentes, respectivamente	53
Figura 2.1	Esquema do Procedimento Metodológico	64
Figura 2.2	Temperatura Média Mensal em Maceió ao longo do ano	67
Figura 2.3	Temperatura Média Diária em Maceió nos meses de Agosto e Dezembro	68
Figura 2.4	Carta Bioclimática gerada no programa de computador <i>Analysis Bio</i> ..	69
Figura 2.5	Frequência de Ocorrência e Direção do Vento	70
Figura 2.6	Velocidade e Direção do Vento	70
Figura 2.7	Frequência Mensal de Direção do Vento em Maceió/AL	71
Figura 2.8	Carta Solar de Maceió com valores de desejabilidade (valores positivos) e indesejabilidade (valores negativos) da insolação	72
Figura 2.9	Mesa d'Água no LabConf da UFAL	74
Figura 2.10	Diagrama Esquemático da Avaliação Geral da Ventilação Natural para cada Casa	78
Figura 2.11	Diagrama de Níveis de Percurso (NP)	79
Figura 2.12	Programa <i>SketchUp</i> 7.1	83
Figura 2.13	Cômputo da porcentagem da fachada sombreada – exemplo	84

Figura 2.14	Diagrama Esquemático da Avaliação da Insolação e Sombreamento para cada Casa	88
Figura 3.1	Entorno da Casa 1 e fachada, respectivamente	89
Figura 3.2	Locação da casa 1 no terreno	90
Figura 3.3	Plantas Baixas Iniciais da Casa 1	90
Figura 3.4	Plantas Baixas: Ampliação e primeira reforma da Casa 1	91
Figura 3.5	Planta Baixa: segunda reforma da Casa 1	92
Figura 3.6	Casa 1: Arquitetos Leonardo e Regina	93
Figura 3.7	Estratégias bioclimáticas na Casa 1: cobogós, pérgulas e portas sem fechamento superior	94
Figura 3.8	Estratégias bioclimáticas e elementos adotados na Casa 1	95
Figura 3.9	Portas, Janelas e Aberturas da Casa 1	96
Figura 3.10	Soluções de projeto na Casa 1: varanda e venezianas, vegetação e laje impermeabilizada	97
Figura 3.11	Entorno da Casa 2	99
Figura 3.12	Locação da Casa 2 no terreno	99
Figura 3.13	Casa 2: Arquitetos Verônica e Geraldo	100
Figura 3.14	Portas, Janelas e Aberturas da Casa 2	101
Figura 3.15	Estratégias bioclimáticas e elementos adotados na Casa 2	102
Figura 3.16	Jardim e casa 2, respectivamente	103
Figura 3.17	Aberturas voltadas para a laje	103
Figura 3.18	Mezanino e jardim interno	104
Figura 3.19	Varanda e Esquadrias	104
Figura 4.1	Planta baixa e delimitação dos ambientes da Casa 1	107
Figura 4.2	Ensaio do vento Leste na Casa 1: pavimentos térreo, superior e banheiro social, respectivamente	108
Figura 4.3	Escoamento Leste na Casa 1: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	109
Figura 4.4	Diagrama do Percurso do Vento Leste na Casa 1	109
Figura 4.5	Ensaio do vento Sudeste na Casa 1: pavimentos térreo e mezanino, respectivamente	113
Figura 4.6	Ensaio do vento Sudeste na Casa 1: pl. bx. banheiro social e secção vertical, respectivamente	113
Figura 4.7	Escoamento Sudeste na Casa 1: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	114
Figura 4.8	Diagrama do Percurso do Vento Sudeste na Casa 1	114

Figura 4.9	Ensaio do vento Nordeste na Casa 1: pav. térreo, mezanino e banheiro social, respectivamente	118
Figura 4.10	Escoamento Nordeste na Casa 1: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	118
Figura 4.11	Diagrama do Percurso do Vento Nordeste na Casa 1	119
Figura 4.12	Ensaio do vento Sul na Casa 1: pav. térreo, mezanino e banheiro social, respectivamente	122
Figura 4.13	Escoamento Sul na Casa 1: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	122
Figura 4.14	Diagrama do Percurso do Vento Sul na Casa 1	123
Figura 4.15	Planta baixa e delimitação dos ambientes da Casa 2	128
Figura 4.16	Ensaio do vento Leste na Casa 2: pav. térreo e mezanino, respectivamente	129
Figura 4.17	Ensaio do vento Leste na Casa 2: secção vertical dos quartos e do mezanino, respectivamente	129
Figura 4.18	Escoamento Leste na Casa 2: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	129
Figura 4.19	Diagrama do Percurso do Vento Leste na Casa 2	130
Figura 4.20	Ensaio do vento Sudeste na Casa 2: pav. térreo e mezanino, respectivamente	134
Figura 4.21	Escoamento Sudeste na Casa 2: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	134
Figura 4.22	Diagrama do Percurso do Vento Sudeste na Casa 2	135
Figura 4.23	Ensaio do vento Nordeste na Casa 2: pav. térreo e mezanino, respectivamente	139
Figura 4.24	Escoamento Nordeste na Casa 2: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	139
Figura 4.25	Diagrama do Percurso do Vento Nordeste na Casa 2	140
Figura 4.26	Ensaio do vento Sul na Casa 2: pav. térreo e mezanino, respectivamente	144
Figura 4.27	Escoamento Sul na Casa 2: pl. bx. térreo e mezanino, respectivamente	144
Figura 4.28	Diagrama do Percurso do Vento Sul na Casa 1	144
Figura 5.1	Carta Solar na fachada Sudeste da Casa 1	151
Figura 5.2	Sombreamento na fachada Sudeste no Solstício de Verão na Casa 1....	152
Figura 5.3	Sombreamento na fachada Sudeste nos Equinócios na Casa 1	153
Figura 5.4	Sombreamento na fachada Sudeste no Solstício de Inverno na Casa 1.	154

Figura 5.5	Carta Solar na fachada Noroeste da Casa 1	156
Figura 5.6	Sombreamento na fachada Noroeste no Solstício de Verão na Casa 1..	157
Figura 5.7	Sombreamento na fachada Noroeste nos Equinócios na Casa 1.....	158
Figura 5.8	Sombreamento na fachada Noroeste no Solstício de Inverno na Casa 1	159
Figura 5.9	Carta Solar na fachada Sudoeste da Casa 1	161
Figura 5.10	Sombreamento na fachada Sudoeste no Solstício de Verão na Casa 1..	162
Figura 5.11	Sombreamento na fachada Sudoeste nos Equinócios na Casa 1.....	163
Figura 5.12	Sombreamento na fachada Sudoeste no Solstício de Inverno da Casa 1.....	164
Figura 5.13	Carta Solar na fachada Nordeste da Casa 1	166
Figura 5.14	Sombreamento na fachada Nordeste no Solstício de Verão na Casa 1..	167
Figura 5.15	Sombreamento na fachada Nordeste nos Equinócios na Casa 1.....	168
Figura 5.16	Sombreamento na fachada Nordeste no Solstício de Inverno na Casa 1	169
Figura 5.17	Carta Solar na fachada Norte da Casa 2	172
Figura 5.18	Sombreamento na fachada Norte no Solstício de Verão na Casa 2.....	173
Figura 5.19	Sombreamento na fachada Norte nos Equinócios na Casa 2	174
Figura 5.20	Sombreamento na fachada Norte no Solstício de Inverno na Casa 2....	175
Figura 5.21	Carta Solar na fachada Leste da Casa 2	177
Figura 5.22	Sombreamento na fachada Leste no Solstício de Verão na Casa 2.....	178
Figura 5.23	Sombreamento na fachada Leste nos Equinócios na Casa 2	179
Figura 5.24	Sombreamento na fachada Leste no Solstício de Inverno na Casa 2.....	180
Figura 5.25	Carta Solar na fachada Oeste da Casa 2	182
Figura 5.26	Sombreamento na fachada Oeste no Solstício de Verão na Casa 2.....	183
Figura 5.27	Sombreamento na fachada Oeste nos Equinócios na Casa 2	184
Figura 5.28	Sombreamento na fachada Oeste no Solstício de Inverno na Casa 2....	185
Figura 5.29	Carta Solar na fachada Sul da Casa 2	187
Figura 5.30	Sombreamento na fachada Sul no Solstício de Verão na Casa 2.....	188
Figura 5.31	Sombreamento na fachada Sul nos Equinócios na Casa 2	189
Figura 5.32	Sombreamento na fachada Sul no Solstício de Inverno na Casa 2.....	189

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 2.1	Desempenhos dos Dados	76
Tabela 2.2	Pesos dos Dados	76
Tabela 2.3	Pesos dos Dados de Avaliação	77
Tabela 2.4	Pesos das Direções dos Ventos	78
Tabela 2.5	Avaliação do Percurso do Escoamento	80
Tabela 2.6	Avaliação da Abrangência do Escoamento	80
Tabela 2.7	Avaliação da Quantidade de Ambientes com boa Qualidade do ar	81
Tabela 2.8	Avaliação da Velocidade do Escoamento	82
Tabela 2.9	Exposição das Fachadas	86
Tabela 2.10	Pesos dos períodos do ano e dos horários ao longo do dia	86
Tabela 2.11	Pesos das Fachadas	87
Tabela 2.12	Valores de Desempenho Final das Avaliações	88
Quadro 1.1	Fatores que determinam as taxas de perda ou ganho térmico da Edificação	49
Quadro 2.1	Elementos do clima a serem controlados	69
Quadro 2.2	Síntese do Desempenho Final da Ventilação Natural	79
Quadro 2.3	Síntese do Desempenho Final do Sombreamento	88
Quadro 3.1	Princípios da Cartilha Verificados na Casa 1	98
Quadro 3.2	Princípios da Cartilha Verificados na Casa 2	106
Quadro 4.1	Percurso do Escoamento Leste na Casa 1	110
Quadro 4.2	Abrangência do Escoamento Leste	111
Quadro 4.3	Qualidade do Escoamento Sudeste nos Ambientes	111
Quadro 4.4	Velocidade Aparente do Escoamento Leste	112
Quadro 4.5	Avaliação Final do Vento Leste na Casa 1	113
Quadro 4.6	Percurso do Escoamento Sudeste	115
Quadro 4.7	Abrangência do Escoamento Sudeste	116

Quadro 4.8	Qualidade do Escoamento Sudeste nos Ambientes	116
Quadro 4.9	Velocidade Aparente do Escoamento Sudeste	117
Quadro 4.10	Avaliação Final do Vento Sudeste na Casa 1	118
Quadro 4.11	Percurso do Escoamento Nordeste	119
Quadro 4.12	Abrangência do Escoamento Nordeste	120
Quadro 4.13	Qualidade do Escoamento Nordeste	120
Quadro 4.14	Velocidade Aparente do Escoamento Nordeste	121
Quadro 4.15	Avaliação Final do Vento Nordeste na Casa 1	121
Quadro 4.16	Percurso do Escoamento Sul	124
Quadro 4.17	Abrangência do Escoamento Sul	124
Quadro 4.18	Qualidade do Escoamento Sul nos Ambientes	125
Quadro 4.19	Velocidade Aparente do Escoamento Sul	126
Quadro 4.20	Avaliação Final do Vento Sul na Casa 1	126
Quadro 4.21	Avaliação Final da Ventilação Natural na Casa 1	127
Quadro 4.22	Percurso do Escoamento Leste	131
Quadro 4.23	Abrangência do Escoamento Leste	132
Quadro 4.24	Qualidade do Escoamento Sudeste nos Ambientes	132
Quadro 4.25	Velocidade Aparente do Escoamento Leste	133
Quadro 4.26	Avaliação Final do Vento Leste na Casa 2	133
Quadro 4.27	Percurso do Escoamento Sudeste	136
Quadro 4.28	Abrangência do Escoamento Sudeste	136
Quadro 4.29	Qualidade do Escoamento Sudeste nos Ambientes	137
Quadro 4.30	Velocidade Aparente do Escoamento Sudeste	138
Quadro 4.31	Avaliação Final do Vento Sudeste na Casa 2	138
Quadro 4.32	Percurso do Escoamento Nordeste	140
Quadro 4.33	Abrangência do Escoamento Nordeste	141
Quadro 4.34	Qualidade do Escoamento Nordeste nos Ambientes	142
Quadro 4.35	Velocidade Aparente do Escoamento Nordeste	143
Quadro 4.36	Avaliação Final do Vento Nordeste na Casa 2	143
Quadro 4.37	Percurso do Escoamento Sul	145
Quadro 4.38	Abrangência do Escoamento Sul	145
Quadro 4.39	Qualidade do Escoamento Sul	146
Quadro 4.40	Velocidade do Escoamento Sul	146

Quadro 4.41	Avaliação Final do Vento Sul na Casa 2	147
Quadro 4.42	Avaliação Final da Ventilação Natural na Casa 2	148
Quadro 4.43	Avaliação Final da Ventilação Natural nas Casas 1 e 2	149
Quadro 5.1	Insolação na Fachada Sudeste da Casa 1	151
Quadro 5.2	Sombreamento da Fachada Sudeste da Casa 1 no Solstício de Verão ..	152
Quadro 5.3	Sombreamento da Fachada Sudeste da Casa 1 nos Equinócios	153
Quadro 5.4	Sombreamento da Fachada Sudeste da Casa 1 no Solstício de Inverno.....	154
Quadro 5.5	Sombreamento Final da Fachada Sudeste da Casa 1	155
Quadro 5.6	Insolação na Fachada Noroeste da Casa 1	156
Quadro 5.7	Sombreamento da Fachada Noroeste da Casa 1 no Solstício de Verão.	157
Quadro 5.8	Sombreamento da Fachada Noroeste nos Equinócios	158
Quadro 5.9	Sombreamento da Fachada Noroeste da Casa 1 no Solstício de Inverno	159
Quadro 5.10	Sombreamento Final da Fachada Noroeste da Casa 1	160
Quadro 5.11	Insolação na Fachada Sudoeste da Casa 1	161
Quadro 5.12	Sombreamento da Fachada Sudoeste da Casa 1 no Solstício de Verão.	162
Quadro 5.13	Sombreamento da Fachada Sudoeste da Casa 1 nos Equinócios	163
Quadro 5.14	Sombreamento da Fachada Sudoeste da Casa 1 no Solstício de Inverno	164
Quadro 5.15	Sombreamento Final da Fachada Sudoeste da Casa 1	165
Quadro 5.16	Insolação na Fachada Nordeste da Casa 1	165
Quadro 5.17	Sombreamento na Fachada Nordeste da Casa 1 no Solstício de Verão.	166
Quadro 5.18	Sombreamento da Fachada Nordeste da Casa 1 nos Equinócios	167
Quadro 5.19	Sombreamento da Fachada Nordeste da Casa 1 no Solstício de Inverno	168
Quadro 5.20	Sombreamento Final da Fachada Nordeste da Casa 1	170
Quadro 5.21	Avaliação Geral do Sombreamento da Casa 1	171
Quadro 5.22	Insolação na Fachada Norte da Casa 2	172
Quadro 5.23	Sombreamento da Fachada Norte da Casa 2 no Solstício de Verão	173
Quadro 5.24	Sombreamento da Fachada Norte da Casa 2 nos Equinócios	174
Quadro 5.25	Sombreamento da Fachada Norte da Casa 2 no Solstício de Inverno...	175
Quadro 5.26	Sombreamento Final da Fachada Norte da Casa 2	176
Quadro 5.27	Insolação na Fachada Leste da Casa 2	177

Quadro 5.28	Sombreamento da Fachada Leste da Casa 2 no Solstício de Verão	178
Quadro 5.29	Sombreamento da Fachada Leste da Casa 2 nos Equinócios	179
Quadro 5.30	Sombreamento da Fachada Leste da Casa 2 no Solstício de Inverno ...	180
Quadro 5.31	Sombreamento Final da Fachada Leste	181
Quadro 5.32	Insolação na Fachada Oeste da Casa 2	182
Quadro 5.33	Sombreamento da Fachada Oeste da Casa 2 no Solstício de Verão	183
Quadro 5.34	Sombreamento da Fachada Oeste da Casa 2 nos Equinócios	184
Quadro 5.35	Sombreamento da Fachada Oeste da Casa 2 no Solstício de Inverno...	185
Quadro 5.36	Sombreamento Final da Fachada Oeste da casa 2	186
Quadro 5.37	Insolação na Fachada Sul da Casa 2	186
Quadro 5.38	Sombreamento na Fachada Sul da Casa 2 no Solstício de Verão	187
Quadro 5.39	Sombreamento da Fachada Sul da Casa 2 nos Equinócios	188
Quadro 5.40	Sombreamento da Fachada Sul da Casa 2 no Solstício de Inverno	189
Quadro 5.41	Sombreamento Final da Fachada Sul da Casa 2	190
Quadro 5.42	Avaliação Final do Sombreamento da Casa 2	191
Quadro 5.43	Avaliação Final do Sombreamento das Casa 1 e 2	192

INTRODUÇÃO



DO HIGIENISMO AO CONFORTO TÉRMICO

O conforto ambiental tem uma origem difusa na história e é precedido por etapas que vão desde a Antiguidade e o Período Clássico, prolongando-se até a Era Moderna e final do século XIX. Em meados do século XX houve um maior domínio da climatologia e da fisiologia humana e, conseqüentemente, uma nova técnica de conforto (SEGAWA, 2003).

No Brasil, a atividade arquitetônica é acelerada a partir da década de 1530, quando a colonização ganha impulso com a criação das capitânicas hereditárias. Por causa do clima quente dos trópicos e da distância entre os países europeus, as edificações construídas no Brasil colônia a partir desta época, utilizavam os recursos e materiais locais como a palha (nas cobertas das ocas indígenas), o barro, a madeira e, posteriormente, a pedra e o tijolo de adobe. A partir da década de 1760, as construções já demonstravam a preocupação consciente com a ventilação natural e com a insolação, como ilustram as tradicionais casas de fazenda, compostas por diversas janelas e amplas varandas (COELHO, 1997).

A arquitetura vernacular – arquitetura não necessariamente antiga, mas considerada como ponte entre a história e a arquitetura – é entendida como comum e anônima e se exprime com linguagens que refletem o lugar e o ambiente onde foi formada, valorizando a cultura e respeitando o clima local (BARDA, s/d).

No século XIX, no Brasil, a consciência do ambiente como uma totalidade ganha força sob o signo da salubridade¹. Em meados do século XIX e início do século XX, este signo ganha impulso com a preocupação central na saúde pública, dando início ao chamando “Movimento Higienista” ou “Movimento Sanitarista”. A intenção e objetivo central desses Movimentos era estabelecer normas e hábitos para aprimorar e conservar a saúde coletiva e

¹ A primeira publicação editada no Brasil, em 1878, voltada à questão da ventilação e sua aplicação, baseou-se no ideário salubrista, que considerava a vida civilizada uma luta contra o clima, ou em busca de mais calor ou em busca de mais frio. A partir de então, devido à preocupação com as possíveis epidemias trazidas pela ventilação, a importância dos raios solares se tornou de suma importância para as edificações (SEGAWA, 2003).

individual (GOIS JUNIOR, 2007), disciplinando a correta orientação dos edifícios, aberturas de janelas, tempo mínimo de insolação, dimensionamento de ruas, afastamento mínimo e altura dos prédios² (SEGAWA, 2003). Em 1917, o engenheiro Alexandre de Albuquerque vai além de apenas propor ábacos de insolação e destaca:

As fontes de consulta que possuem os nossos legisladores são as leis criadas e promulgadas em países estrangeiros. Estas leis, porém, nem sempre se adaptam aos usos indígenas e muito menos se coadunam com a nossa latitude e condições climáticas. (...) Para criar preceitos puramente nossos, precisamos, em primeiro lugar, estudar o problema astronômico para a latitude local, examinar o clima, os hábitos do povo, etc. (...) (ALBUQUERQUE, 1917 apud SEGAWA, 2003, p. 42).

Paralelamente no século XX, com o surgimento do Movimento Moderno no Brasil, a pretensão era definir uma nova concepção do espaço por meio de novos avanços tecnológicos de construção como o aço, o vidro, o concreto armado e o elevador. Dessa maneira, propuseram-se novos formatos tecnológicos, abstratos e puros, permitindo uma nova expressividade marcada pelo desejo insaciável pelo novo (MONTANER, 2001).

Entretanto, a forma moderna de construir foi se tornando genuinamente brasileira à medida que os modelos importados foram se adaptando ao ambiente tropical³. Desta forma, a arquitetura moderna foi também fortemente marcada pela simplicidade, pelo uso do concreto armado e a fluidez do espaço em todas as direções, permitindo a integração do espaço interior com o exterior e otimizando a ventilação no espaço interno⁴ (GUIMARAENS, 2006).

Na década de 1920, três pernambucanos se destacaram na busca por uma arquitetura adaptada ao clima: José Mariano Cunha Filho, Alde Sampaio e Aluizio Bezerra Coutinho. O médico José Mariano foi um defensor da tradição luso-brasileira; o engenheiro Alde Sampaio estudou os problemas de insolação e de orientação das casas no clima tropical; e o médico Aluizio Bezerra focou, em sua tese de doutoramento, a preocupação com a higiene na habitação, abrindo leque para várias outras pesquisas da área (GOMES, 2005).

² Nesse período, surgiram os primeiros trabalhos brasileiros, como o artigo “Da Orientação e Insolação das Ruas e Edifícios”, do engenheiro Domingos Cunha em 1908, e o livro “Insolação: Orientação e Largura das Ruas e Altura dos Edifícios”, do engenheiro Alexandre de Albuquerque, em 1916 (SEGAWA, 2003).

³ Esse foi o atributo da tradição lusitana que se diversificou a partir do processo de criação de uma civilização nos trópicos, ou seja, de uma arquitetura moderna brasileira influenciada pela origem européia, mas como uma nova situação nos trópicos, adaptando-se às condições locais e à cultura regional (GUIMARAENS, 2006).

⁴ Em 1926, Le Corbusier preconizou cinco pontos dessa nova arquitetura, contribuindo para a formulação de uma nova linguagem para a arquitetura do século XX e, ao mesmo tempo, adequando o partido arquitetônico das construções ao clima tropical do Brasil: (i) volume elevado em pilotis, que libera o volume do solo; (ii) planta livre com estrutura independente e flexibilidade com o uso dos sistema viga-pilar; (iii) fachada livre da estrutura, pois possui uma estrutura independente; (iv) janelas dispostas na horizontal de acordo com a melhor orientação solar; e (v) os terraços-jardins, que demonstram a integração com a natureza aproveitando o avanço técnico do concreto armado (SEGAWA, 2002).

Entre 1930 e 1960, os arquitetos Lúcio Costa e Luís Nunes se destacam no pensamento da “Escola Carioca”. O primeiro conciliava a renovação do moderno com a cultura tradicional brasileira e defendia a importância de retomar os métodos de construção da arquitetura colonial⁵. E o segundo destacou-se por conciliar os princípios do movimento racionalista europeu e a expressão regional brasileira⁶ (BRUAND, 2008).

No final da década de 1940, três professores arquitetos iniciaram uma era de renovações em Pernambuco, durante o momento de transição da Escola de Belas Artes para a Faculdade de Arquitetura. Mário Russo (professor entre 1949 e 1955) ensinava a projetar a partir da observação do entorno, dos ventos dominantes e da orientação solar; Delfim Amorim (professor entre 1953 e 1972) utilizava os elementos tradicionais da arquitetura colonial em seus ensinamentos, porém tratados dentro da linguagem moderna; e Acácio Gil Borsoi, considerado legítimo herdeiro de Lúcio Costa, (professor entre 1951 e 1974) ensinava a adequar o projeto ao clima tropical, utilizando os materiais regionais (PEREIRA, 2009).

Entre os anos de 1974 e 1979, o arquiteto Armando de Holanda ingressou na carreira de professor na Faculdade de Arquitetura da Universidade do Recife e publicou o Roteiro para Construir no Nordeste brasileiro, o qual apresenta clima quente e úmido.

O ARQUITETO ARMANDO DE HOLANDA

Armando de Holanda nasceu em Canhotinho, interior de Pernambuco, em 15 de dezembro de 1940. Integrou a primeira turma da recém-criada Faculdade de Arquitetura da Universidade do Recife. Recém-formado, iniciou uma pós-graduação na Universidade de Brasília (1964-1965), mas não concluiu os estudos devido aos desdobramentos truculentos do golpe militar. Entretanto, diplomou-se no “Curso de Especialização em Protótipos” no “International Course on Buildings” (1967) no Bowcentrum de Roterdã, na Holanda

⁵ Lúcio Costa também destacou-se no desenvolvimento da sua teoria sobre a arquitetura moderna por meio da elaboração da “Documentação Necessária” na qual argumentava a importância de retomar os métodos de construção da arquitetura brasileira colonial, não apenas para as grandes casas, mas também aplicá-los em pequenas casas e nas mínimas, podendo utilizar os materiais de fácil disponibilização (COSTA, 1938). A utilização de estratégias bioclimáticas pode ser observada em seu projeto do Ministério da Educação e Saúde (1936-1943) na cidade do Rio de Janeiro o qual, mesmo sendo moderno, possui as boas e simples lições da cultura do lugar (MONTANER, 2001).

⁶ Em seus projetos, Luís Nunes incorporava os princípios do movimento racionalista europeu como concreto armado, estruturas aparentes, coberturas planas e superfícies envidraçadas. Contudo, jamais aplicou somente esses princípios, destacando-se a utilização de outras estratégias como os pilotis, proteção contra insolação e captação da ventilação natural. Aperfeiçoou as técnicas artesanais locais, como o emprego, de maneira nova, do cobogó⁶ utilizando-os no estado bruto, como *brises* elementares, constituindo uma espécie de anteparo transparente, assegurando assim uma boa ventilação e proteção contra a insolação (BRUAND, 2008).

(GOMES, 1997). Em entrevista à Geraldo Gomes (2010), em Recife (apêndice A), o professor afirma que Holanda preocupava-se com a pré-fabricação e defendia a arquitetura racional por meio da modulação e utilização dos materiais locais⁷.

Quando voltou ao Brasil, Holanda desenvolveu intensa atividade ligada ao setor público⁸ e, em 1974, iniciou a carreira acadêmica no Departamento de Arquitetura da Universidade Federal de Pernambuco (GOMES, 1997). Na então universidade, uniu sua experiência profissional com a didática e ministrou a disciplina de Projeto Arquitetônico, abordando a consciência de se pensar em uma arquitetura para o Nordeste (GOMES, 1997). Segundo Geraldo Gomes (entrevista em 2010), apesar de Russo, Amorim e Borsoi terem abordado, em sala de aula, as características do clima local para elaboração do projeto, Armando de Holanda foi quem mais se dedicou em projetar e ensinar uma arquitetura adaptada ao clima.

Armando de Holanda foi o arquiteto pernambucano de sua geração que melhor compreendeu os problemas do meio ambiente e da arquitetura do Nordeste. Na defesa dos bens culturais e naturais da região, ele esteve sempre voltado para a sua terra e a sua gente. (...) (GLAUCO CAMPELO apud GOMES, 1997, p. 68).

Em entrevista à professora Verônica Cavalcanti⁹, ex aluna de Armando de Holanda, descreve-o como um professor respeitado por todos os alunos. Abordava, em suas aulas de projeto, estratégias bioclimáticas do Nordeste brasileiro, mesmo após o surgimento, no período Moderno, das construções repletas de vidro, evidenciando, desta forma, a preocupação de Holanda com a adaptação da construção ao clima local.

⁷ (...) o edifício começa a ser produzido em série, em quantidades que o aproximam do nível das necessidades (sobretudo habitacionais) das comunidades. Êsses [sic] processos bastante desenvolvidos, só poderão ser intensivamente usados aqui na medida em que nossas populações conquistem o direito à habitação saudável, criando uma demanda real. (...) Toma-se uma nova consciência do “específico” arquitetônico: criam-se espaços contínuos, abertos, integrais etc. O espaço está liberado (HOLANDA, 1966, p. 29).

⁸ Na década de 1970, a cidade de Recife foi marcada pela grande quantidade de projetos industriais aprovados, como iniciativa do poder público em desenvolver o Nordeste. Neste período, Holanda foi contratado para elaborar os projetos físicos e, em consequência, para desenvolver projetos de outras áreas como várias habitações uni e multifamiliares. Trabalhou como arquiteto da Companhia Hidrelétrica da Boa Esperança, como chefe da divisão de Planejamento da Companhia da Habitação de Pernambuco e como coordenador da equipe técnica que elaborou o plano físico do Parque Histórico dos Guararapes (GOMES, 1997). Segundo Gomes (1997), nos seus projetos de casas urbanas e rurais, destacava-se a herança das antigas casas grandes de engenho com alpendres generosos, *brises*, *cobogós*, modulação e detalhes construtivos nos beirais. Além disso, utilizava com frequência os materiais em sua textura natural como tijolos e concreto armado aparentes.

⁹ Verônica Robalinho Cavalcanti é professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas. Concedeu entrevista para este trabalho, juntamente com o seu esposo e também professor da mesma Faculdade, Geraldo Majela Gaudêncio Faria, nos dias 22 de fevereiro de 2010 e 07 de janeiro de 2011, a qual seguiu de forma desestruturada e apresentou caráter informal.

Diante da insistência de colegas em relação à evidente qualidade do seu conteúdo, segundo Gomes (1997), Armando de Holanda publicou, em 1976, a cartilha “Roteiro para Construir no Nordeste – Arquitetura como Lugar Ameno nos Trópicos Ensolarados”, na qual reuniu as notas de aula e apresentou nove princípios para se construir num ambiente tropical, principalmente com as características do Nordeste brasileiro, capazes de resultar em edificações confortáveis para diversas atividades humanas:

- 1) Criar uma sombra: necessita-se de uma sombra que proteja do sol e das chuvas de vento, ao mesmo tempo que permita uma brisa perene;
- 2) Recuar as paredes: as paredes devem ser sombreadas, protegidas do sol, da chuva e da umidade e estar em contato com a natureza;
- 3) Vazar os muros: as paredes devem ser vazadas para filtrar a luz do sol e permitir a passagem da brisa;
- 4) Proteger as janelas: é preciso estudar o caminho do sol na cidade para projetar proteções de fachadas eficientes e permitir que as esquadrias possam permanecer abertas, havendo a renovação do ar nos ambientes;
- 5) Abrir as portas: necessitam-se de portas externas vazadas que permitam entrada de ar e luz, ao mesmo tempo que garanta a privacidade. Portas protegidas e sombreadas que permaneçam abertas, havendo contato do interior com exterior;
- 6) Continuar os espaços: os espaços devem fluir, ou seja, devem ser contínuos e desafogados e, ainda, soltos do teto separando, apenas, os locais de privacidade;
- 7) Construir com pouco: empregar materiais refrescantes ao tato e à vista e evitar variedade de materiais utilizados na edificação. Desenvolver componentes padronizados que possuam amplas possibilidades combinatórias, reduzindo os custos das construções;
- 8) Conviver com a natureza: as construções devem intervir com equilíbrio na natureza, utilizando o sombreamento vegetal, fazendo com que se prolonguem, evitando vegetação delicada e miúda;
- 9) Construir frondoso: livrar-se do modo de construir dos países desenvolvidos e desenvolver uma tecnologia de construção tropical, capaz de expressar a cultura local, sendo livre e espontânea.

Certo de que, até então, o conjunto de técnicas existentes acerca da arquitetura adaptada ao clima resumia-se a discussões e não havendo, portanto, nenhum conjunto sistematizado de técnicas de como se projetar especificamente para o Nordeste brasileiro, Gomes (1997, p. 68) declara: “Armando foi o primeiro arquiteto brasileiro a formular um manual de convivência da arquitetura com os trópicos e o fez pelo precioso e objetivo livro”.

Segundo Gomes (1997), apesar de algumas conquistas da higiene da habitação e do conforto ambiental terem sido alcançadas no século anterior, como aberturas de janelas para todos os cômodos e varandas periféricas, nenhum predecessor de Holanda escreveu um manual tão simples e objetivo como o Roteiro. A explicação de Holanda quanto à falta de um manual específico para o clima pode ser percebida na introdução do seu trabalho:

“Após a ruptura da tradição luso-brasileira do modo de construir – ocorrida no século passado e que trouxe prejuízos ao edifício enquanto instrumento de amenização dos trópicos, de correção dos seus extremos climáticos – não foi desenvolvido, até hoje, um conjunto de técnicas que permitam projetar e construir tendo em vista tal desempenho da edificação” (HOLANDA, 1976 p. 15).

Armando de Holanda, aos 38 anos de idade, em 1979, faleceu prematuramente. Contudo, menos de duas décadas de atividade intensa e diversificada foi suficiente para Holanda contribuir significativamente para a arquitetura nordestina e brasileira. O arquiteto sempre combinou, com maestria, a sensibilidade do artista com a racionalidade do entusiasta da industrialização, contemplando tanto o espaço construído como o natural e usando a tecnologia para converter a natureza em sua aliada (GOMES, 1997).

O período que Holanda ensinou no Departamento de Arquitetura, a Universidade Federal de Pernambuco foi freqüentado por estudantes de várias cidades do Nordeste, uma vez que, até meados dos anos de 1970, não havia escolas de arquitetura em outras capitais do Nordeste, com exceção de Salvador. Em Maceió, a primeira turma de arquitetura iniciou-se no ano de 1975; desta forma, muitos arquitetos que hoje ensinam e atuam no mercado local estudaram em Recife e, muitos deles, possivelmente foram alunos de Armando de Holanda.

Regina Lins¹⁰ e Verônica Cavalcanti, ex-alunas de Holanda, afirmam que seu mérito dá-se em ter sido o primeiro arquiteto a publicar um manual tão simples. Mas ressaltam que a busca por uma arquitetura adaptada ao clima sempre foi discutida por outros arquitetos e

¹⁰ Regina Dulce Barbosa Lins é professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas. Concedeu entrevista para este trabalho nos dias 04 de setembro de 2010 e 12 de setembro de 2011, a qual seguiu de forma desestruturada e apresentou caráter informal.

professores ao longo do período da Faculdade na década de 1970. Holanda, porém, conseguiu resumir todos os princípios em um único documento prático e completo ao mesmo tempo.

Armando de Holanda foi um dos principais protagonistas desse período que influenciou as gerações de arquitetos nordestinos que hoje atuam na região. Os princípios apresentados na cartilha são até os dias atuais abordados em salas de aula por muitos professores nas Universidades do Nordeste e aplicados por arquitetos em seus projetos¹¹.

JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

Por possuir um clima com temperaturas amenas e com pouca variação ao longo de todo o ano, o conforto térmico na cidade de Maceió pode ser facilmente alcançado por meio da ventilação natural no interior dos ambientes e da promoção do sombreamento, principalmente nas aberturas. Desta forma, ventilar e sombrear são ações apontadas por diversos autores como as principais estratégias passivas adequadas ao clima quente e úmido, podendo substituir a climatização artificial do ar, principalmente em edifícios residenciais.

Como base para instrução e elaboração de projetos arquitetônicos adaptados ao clima, os princípios abordados na Cartilha continuam sendo utilizados por arquitetos e professores do Nordeste. Porém percebe-se, hoje, uma pequena limitação nesta linha de projetar, uma vez que atualmente o campo disciplinar do Conforto Ambiental vem crescendo e desenvolvendo novas estratégias e ferramentas para avaliação do desempenho térmico de edificações.

Armando de Holanda desenvolveu a Cartilha a partir de princípios baseados em estudos, discussões e pesquisas acerca do clima, abordando estratégias adequadas para o clima tropical de forma simples, teórica e conceitual sem, portanto, utilizar experimentos ou simulações para verificação da eficiência e do desempenho dos procedimentos sugeridos.

Todos os princípios apresentados na Cartilha são importantes e necessários para promover conforto térmico aos usuários dos edifícios de clima quente e úmido, porém, atualmente existem outras maneiras e ferramentas de se estimar o desempenho das

¹¹ Armando de Holanda nos deixou o legado de seu livro, um livro de cabeceira, ensinando-nos como devemos construir nesta região. É fantástico como ele conseguiu sintetizar num livro de poucas páginas todo um universo cultural, tecnológico e tipológico da construção peculiar do Nordeste. Ele nos deixou uma grande lição: construir no Nordeste é criar, além de espaços abertos e generosos, a sombra. O livro foi fundamental para os meus primeiros projetos, como o da Rodoviária de Maceió e de muitas residências. Ainda hoje reporto a ele, como uma forma íntegra, uma referência de se construir corretamente em nossa região (...) (MELO, 2005, p. 08).

construções de forma mais segura, como simulação do escoamento do vento no interior e exterior das edificações por meio da mesa d'água ou simulações computacionais em CFD's, verificação do sombreamento de fachadas por meio do equipamento Heliodon ou por maquetes virtuais em programas de computador, previsão do consumo energético da edificação por meio de programas computacionais, entre outros. Além disso, permitem prever deficiências de desempenho e testar novas soluções, de forma a resultar em edifícios mais eficientes em relação à sua finalidade de projeto.

Portanto, os programas de computador e os equipamentos de avaliação desenvolveram-se de forma a estimar, previamente, a eficiência de variados requisitos da edificação como comportamento das temperaturas, consumo energético, aproveitamento da ventilação natural, disponibilidade de luz natural, entre outros. Desta forma, os princípios tratados na Cartilha podem ser melhor avaliados a partir dos novos avanços ocorridos no campo disciplinar do conforto térmico, sem desmerecer, portanto, o documento, mas complementando-o a partir destes novos paradigmas de avaliação do desempenho de edificações. Além disso, algumas normas nacionais (comentadas no apêndice B) vêm surgindo como forma de avaliar, de maneira mais precisa e experimental, o desempenho de edificações.

Portanto, a aplicação das novas ferramentas de avaliação do desempenho térmico nas escolas de arquitetura é de suma importância para que, desta forma, a busca pelo conforto térmico seja sempre uma estratégia primordial em todas as etapas do projeto. Ademais, uma edificação bem projetada e baseada em conceitos de desempenho térmico diminui o consumo energético, sendo, esse último, um assunto bastante discutido nos dias atuais.

A verdadeira necessidade de desenvolver na prática um projeto que tenha um funcionamento benéfico em um discurso ambiental torna o presente trabalho bastante relevante para a área de arquitetura, uma vez que, a função de todo arquiteto é proporcionar satisfação aos usuários, levando-os a sentirem-se termicamente confortáveis em relação à edificação que os envolvem (ASHRAE, 2003).

PROBLEMA DE PESQUISA

A problemática do trabalho baseia-se na investigação científica para esclarecer se as casas projetadas com base nos princípios abordados por Armando de Holanda apresentam desempenho positivo da ventilação natural e do sombreamento. Tendo em vista o contexto da

região em estudo e conhecendo o desenvolvimento de novas ferramentas de avaliação, será que as casas existentes na cidade de Maceió/AL, projetadas com base em princípios bioclimáticos, apresentam adequados desempenhos da ventilação natural e do sombreamento?

Pressupõe-se que as edificações residenciais projetadas com base em princípios bioclimáticos genéricos apresentam algumas deficiências no escoamento da ventilação natural e na promoção do sombreamento, uma vez que apresentam posições por vezes inadequadas das aberturas de entrada e de saída do ar, compartimentação interna e falta de dispositivos de proteção solar eficientes para cada orientação de fachada.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho da ventilação natural e do sombreamento, em duas casas de Maceió, projetadas entre o final dos anos de 1970 e início de 1980 e que tiveram como base do partido arquitetônico os princípios bioclimáticos abordados no Roteiro para Construir no Nordeste, do arquiteto pernambucano Armando de Holanda, por meio de ferramentas de desempenho ambiental.

Objetivos Específicos

1. Conhecer a opinião dos moradores/arquitetos quanto à aplicação dos princípios bioclimáticos e à sensação térmica das casas;
2. Analisar os projetos das casas em relação à tipologia e estratégias bioclimáticas utilizadas, bem como sua relação com os princípios do Roteiro;
3. Verificar a compatibilidade com as estratégias bioclimáticas recomendadas para Maceió.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação estrutura-se em cinco capítulos. O primeiro capítulo aborda o referencial teórico, o segundo abrange a metodologia, o terceiro compreende a análise bioclimática das casas e o quarto e quinto apresentam os resultados das avaliações.

O capítulo 1 apresenta as recomendações climáticas para projeto de edifícios localizados em regiões de clima quente e úmido; conceitos relacionados à ventilação natural e ao sombreamento de fachadas das edificações, a importância de cada estratégia para aplicação

em projetos de edificações de clima quente e úmido e estudos realizados na área. Discutem-se as funções da ventilação natural, os fatores envolvidos que interferem no escoamento, as configurações das aberturas, os modelos de estimativas, as abordagens experimentais e os métodos e técnicas de avaliação e visualização de escoamentos. Discutem-se os conceitos e sombreamento e insolação das fachadas, os ganhos e as perdas de calor nas edificações, o desempenho térmico da envoltória e as características dos dispositivos de sombreamento.

O capítulo 2, relativo à metodologia, descreve o caminho utilizado para avaliar o escoamento da ventilação natural no interior das casas e o sombreamento em cada fachada, detalhando os critérios de avaliação baseado no Método de Análise Simplificado e Qualitativo de Ventilação Natural pela Ação do Vento (MASQ-VENTO), proposto por Toledo (2006), para ventilação natural, e nas pesquisas realizadas, para o sombreamento.

O capítulo 3 descreve as estratégias bioclimáticas verificadas nas casas e aponta as soluções de projeto que facilitam o escoamento da ventilação natural dentro das edificações e que promovem sombreamento e evitam ganhos de calor por meio da radiação solar; bem como destaca as soluções de projetos não adequadas para o clima quente e úmido. Além disso, apresenta os conceitos do partido arquitetônico adotado e a relação dos projetos das casas com os princípios abordados no Roteiro de Armando de Holanda (1976).

O capítulo 4 apresenta o resultado da avaliação do desempenho da ventilação natural por meio do equipamento mesa d'água, para as duas casas avaliadas. A avaliação consistiu na descrição em quadros das estratégias utilizadas que favorecem ou dificultam o escoamento do vento no interior das edificações e na aplicação dos critérios de acordo com o comportamento do escoamento visualizado nos ensaios realizados na mesa d'água.

O capítulo 5 apresenta o resultado da avaliação do desempenho do sombreamento em cada fachada das duas casas avaliadas, por meio do programa de computador *SketchUp* e da carta solar para a latitude de Maceió. A avaliação consistiu na descrição técnica em quadros das estratégias utilizadas para promover sombreamento por meio dos dispositivos de proteção solar utilizados, bem como nas conseqüências positivas e negativas das mesmas; e aplicação dos critérios de acordo com as ocorrências observadas no experimento.

CAPÍTULO 1: DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES



Neste capítulo, apresentam-se os conceitos de ventilação natural e de insolação (e sombreamento) dos edifícios, bem como suas funções, sistemas e processos. Abordam-se os fatores envolvidos no processo pela ação do vento no interior de edificações e no processo de insolação das fachadas e coberturas e de ganhos de calor pelas edificações; revisam-se as estratégias bioclimáticas para o clima quente e úmido, bem como as técnicas e métodos de avaliação da ventilação natural e do sombreamento; e apresentam-se pesquisas sobre ventilação natural e insolação/sombreamento de edifícios.

1.1 ARQUITETURA E CLIMA

Para restabelecer o conforto térmico dos usuários em edifícios naturalmente condicionados de clima quente e úmido, as principais estratégias passivas indicadas são a ventilação natural e o sombreamento (GIVONI, 1998). Segundo Machado, Ribas e Oliveira (1986), para o clima quente e úmido, a solução construtiva mais adequada é a utilização das duas estratégias simultaneamente, criando uma “sombra ventilada”.

Os edifícios devem adotar arranjos simples de organização das habitações para permitir ventilação cruzada, sem grandes compartimentações internas e evitar aglomerados entre as edificações; os ambientes devem ser orientados para os ventos dominante¹; as plantas devem ser abertas para permitir a máxima ventilação no interior do edifício; e os tetos devem ser vazados para saída do ar quente (FROTA; SCHIFFER, 2003; MACHADO; RIBAS; OLIVEIRA, 1986; VIEGAS, 1996).

Em relação aos componentes, esquadrias e aberturas, deve-se preferir combinação de aberturas em paredes adjacentes ou opostas para melhor distribuição do escoamento do ar e

¹ Evitar que os ambientes de serviço e de permanência rápida e geradores de odores, como banheiros e cozinhas, estejam dispostos de forma que a ventilação penetre e se desloque para os ambientes secos de permanência prolongada, como quartos e salas (TOLEDO, 1999).

evitar aberturas em uma mesma parede. As aberturas devem estar dispostas de forma que o fluxo de ar incida sobre os usuários (por meio de peitoris ventilados, por exemplo); as aberturas devem ser grandes e permitir ventilação permanente através de bandeiras vazadas, paredes internas com aberturas, bem como o uso de venezianas e persianas (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005; MASCARÓ, 1991; HERTZ, 1998; HOLANDA, 1976).

Os quartos e salas devem situar-se nas zonas a barlavento e a cozinha, banheiros e área de serviço nas zonas de sotavento (TOLEDO, 1999; GIVONI, 1998). Admite-se, entretanto, que os ambientes molhados situem-se em zonas de entrada de vento contanto que disponham de ventilação independente da habitação e, é desejável que disponham de sistemas de exaustão de vapores e odores (VIEGAS, 1996).

Segundo Corbella e Yannas (2009), para minimizar os ganhos térmicos pela edificação, podem ser adotadas estratégias como sombrear paredes e aberturas, aplicar capa de isolante térmico em superfícies que recebem grande quantidade de radiação solar durante o dia, evitar vidros em fachadas que recebem grande carga de insolação, usar materiais leves nas superfícies evitando acúmulo de calor dentro dos ambientes e usar cores claras para reduzir a absorção de calor, por meio do acréscimo da reflexão.

Ademais, Mahoney (segundo TOLEDO, 2001) resume as recomendações e estratégias de projeto para edificações de regiões de clima quente e úmido em:

- a) Os edifícios devem ser orientados para o eixo Norte-Sul, para reduzir a exposição ao sol;
- b) As aberturas devem ser grandes, de 40 a 80% das paredes e nas orientações dos ventos dominantes, no lado exposto ao vento e deve haver aberturas internas;
- c) As paredes e coberturas devem ser leves;
- d) Deve haver proteção contra chuvas e sua drenagem adequada.

É importante que as edificações localizadas em regiões de clima quente e úmido protejam as superfícies das fachadas com elementos de proteção solar; contudo com cautela para não prejudicar a captação do vento e o escoamento do ar no interior do mesmo.

Desta forma, as edificações devem prevenir os ganhos de calor e evitar a absorção solar, utilizar o mínimo de capacidade térmica dos materiais usados nas edificações e possuir proteção e escoamento rápido das chuvas, tendo o resfriamento passivo como principal meta do projeto arquitetônico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

1.2 CONFORTO TÉRMICO

Define-se conforto térmico como a sensação que o indivíduo possui de continuar no mesmo estado térmico sem a necessidade de receber mais frio ou mais calor por parte do ambiente (FROTA; SCHIFFER, 2003). De acordo com a ASHRAE (2003), o conforto térmico é uma condição mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o envolve e essa sensação depende, segundo Frota e Schiffer (2003), da interação entre as variáveis ambientais – como umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante – e variáveis humanas (metabolismo e vestimenta), além de aspectos humanos subjetivos e individuais como sexo, idade, peso, cultura, entre outros.

A sensação de conforto térmico, em locais de clima quente e úmido, é mais facilmente alcançada através de velocidades do ar mais elevadas, uma vez que o movimento do ar acelera as perdas de calor sensível por convecção e por evaporação do suor, através da pele.

As velocidades do ar aceitáveis variam de acordo com diferentes autores. Segundo Hertz (1998), a velocidade do ar aceitável no interior dos ambientes é de até 0,25m/s para garantir a qualidade do ar, e de até 2,0m/s para proporcionar conforto térmico aos usuários em edifícios naturalmente ventilados. Contudo, os valores máximos, muitas vezes considerados inadequados, relacionam-se às ocorrências práticas como vôo de papéis sobre a mesa, não considerando, portanto, as exigências fisiológicas de conforto.

Velocidades baixas adéquam-se mais à países de climas temperados e frios, nos quais uma pequena taxa é suficiente para renovação do ar interno. Para regiões de clima quente e úmido, a sensação de resfriamento provocado pelo movimento do ar compensa as desvantagens, alcançando valores aceitáveis de velocidade entre 2,0 e 4,0m/s (AYNSLEY, 1999 apud CÂNDIDO, 2006), incrementando o movimento do ar no interior dos ambientes e proporcionando menor sensação térmica aos usuários das edificações.

1.3 VENTILAÇÃO NATURAL

De acordo com Frota e Schiffer (2003), a ventilação natural² dos edifícios é o deslocamento do ar no interior das edificações, através de aberturas das quais algumas

² A ventilação natural dos edifícios pode dar-se por dois processos: 1) pela ação do vento, provocando diferença de pressões nas faces da edificação pela ação dinâmica do vento; e 2) pelas diferenças de temperaturas do ar que promovem diferencial de pressão; além dos dois processos simultâneos (OLGYAY, 2004; COSTA, 2008). O

funcionam como entrada e outras como saída. Segundo Toledo (1999), a ventilação natural consiste na passagem do ar através dos edifícios, entrando por ambientes e saindo por outros e só ocorre quando há aberturas de entrada e de saída com diferença de pressão entre elas.

Segundo a ABNT NBR 15220-1 (2005a), ventilação natural é a passagem de ar pelo interior do edifício por aberturas planejadas (aberturas intencionais), expressa pela Taxa de Ventilação (V_{ar}). E a passagem de ar através de aberturas não planejadas (frestas ou aberturas inesperadas) é denominada de infiltração, expressa pela Taxa de Infiltração (V_i). Esses conceitos apontam para as normas de desempenho internacionais, desenvolvidos para climas temperados e que, por isso, consideram as taxas de renovação do ar ou ventilação como parâmetros de desempenho, obtendo como foco a qualidade do ar e a redução de infiltração do ar exterior, sobretudo na estação mais fria.

A ventilação natural possui três funções importantes: 1) assegurar a qualidade do ar através da renovação do ar³ (diretamente ligada à saúde e segurança dos usuários); 2) proporcionar o conforto térmico dos usuários (diretamente ligado ao bem-estar do usuário e à economia de energia elétrica); e 3) promover o resfriamento estrutural do edifício (para regiões de clima quente), também relacionado à economia de energia e ao bem-estar dos usuários, uma vez que promove o conforto térmico (TOLEDO, 2006).

Quando o vento incide sobre um edifício, a distribuição das zonas de sobrepressão (pressão positiva) e zonas de subpressão (pressão negativa) na superfície externa do mesmo dependem, basicamente, da forma e dimensões do prédio e da direção em que o vento incide (TOLEDO, 1999). Segundo Santamouris e Asimakopoulos (1996, p. 222), quando o vento passa pelo edifício, uma pressão positiva é criada na fachada a barlavento; o vento é desviado e uma pressão negativa é criada ao longo das paredes laterais, devido à alta velocidade do fluxo ao longo delas. O desenho que o movimento do ar cria ao redor das edificações, segundo Olgyay (2004), é determinado pela forma da construção e é independente da velocidade do vento.

processo de ação dos ventos é característica do litoral do Nordeste brasileiro e de outras regiões que possuem os ventos freqüentes com velocidades adequadas, enquanto que o processo de diferença de temperatura não se verifica devido à presença de grandes massas de água e da constância anual da duração dos dias e noites que atuam como moderadores de temperatura. As regiões que possuem grandes amplitudes térmicas diárias (acima de 10 °C) favorecem o processo de diferença de temperatura (TOLEDO, 2006).

³ As taxas de renovação de ar para países de clima temperado situam-se entre 0,5 e 2,0 renovações de ar por hora (VIEGAS, 1996).

1.3.1 Configuração das Aberturas dos Edifícios

As aberturas são elementos que facilitam ou dificultam o insuflamento de fluxos de ar no interior das edificações, além de serem responsáveis pela proteção contra ruídos, chuvas e excessiva radiação solar. Desta forma, em todos os climas, as aberturas são elementos de suma importância para oferecer conforto térmico aos usuários de um ambiente.

Relações entre tamanho, localização e tipo de aberturas de entrada e de saída do ar influenciam na distribuição e velocidade do ar no interior dos ambientes. Se o objetivo for aumentar o fluxo de ar dentro das edificações, um estudo mais detalhado das aberturas deve ser devidamente considerado. Segundo Bittencourt e Cândido (2005), o planejamento das aberturas de entrada é uma das estratégias mais importantes para definir o comportamento e a direção do escoamento do ar no interior dos edifícios, pois é a sua conformação que determina a configuração do escoamento.

A quantidade de ar que penetra em um ambiente através da abertura de entrada depende, basicamente, da área da abertura de entrada, da relação de tamanhos entre a abertura de entrada e a abertura de saída, da velocidade do vento e do ângulo de incidência do vento na abertura de entrada (CHÀVEZ; FREIXANET, 2005).

1.3.2 Localização das Aberturas

De acordo com Viegas (1996), para facilitar o processo pela ação dos ventos, uma edificação habitacional deve situar suas aberturas, preferencialmente, em fachadas diferentes, criando diferenças de pressão e permitindo ventilação cruzada, uma vez que é a localização das aberturas que define os sistemas de ventilação cruzada⁴ ou unilateral⁵, bem como é o percurso do ar desenvolvido no interior do edifício que caracteriza os sistemas de ventilação conjunta⁶ e independente⁷.

⁴ O sistema de ventilação cruzada apresenta aberturas de entrada em zonas de altas pressões (sobrepessões) e as aberturas de saída em zonas de baixas pressões (subpressões) e apresenta maior eficiência quando as aberturas possuem diferenças significativas de altura (GIVONI, 1998).

⁵ O sistema de ventilação unilateral apresenta as aberturas em uma única orientação, podendo as áreas de entrada e de saída estarem situadas em uma mesma janela (TOLEDO, 1999).

⁶ O sistema de ventilação conjunta é aquele que ocorre em conjunto com outros ambientes em virtude do ambiente ventilado não possuir aberturas de entrada e de saída independentes, ou seja, alguns ambientes funcionam como entrada, outros como passagem e outros como saída (VIEGAS, 1996).

⁷ O sistema de ventilação independente é aquele que o escoamento do vento em um ambiente se dá independentemente do restante da edificação, através de aberturas distintas (VIEGAS, 1996).

Segundo Olgyay (2004), Moore (1993) e Chávez e Freixanet (2005), abertura de entrada com baixa altura combinada com abertura de saída próxima ao teto ou na área central da parede oposta, resultará em um fluxo com desvio para cima, apesar da altura da abertura de saída (figura 1.1). O mesmo acontece com a abertura de saída localizada próximo ao piso, ou seja, a altura da abertura de saída do ar não influencia no modelo do fluxo do ar interno.

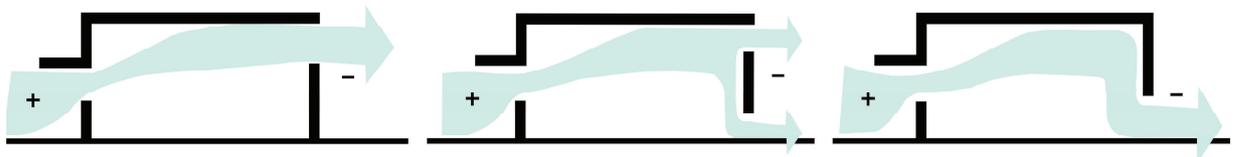


Figura 1.1 – Localização da abertura de saída
Fonte: adaptado de CHÁVEZ; FREIXANET, 2005

De acordo com os mesmos autores (figura 1.2), abertura de entrada na parte superior da parede, direciona a força do fluxo de vento para cima (1). Se uma abertura de entrada similar encontrar-se na área central da parede, o fluxo tenderá para baixo (2). Em uma terceira situação, com a mesma abertura de entrada numa posição ao nível do chão, o fluxo de vento barrará o piso (3). Olgyay (2004) conclui que a abertura de entrada é um dos principais fatores determinantes da distribuição do fluxo de ar no interior de qualquer ambiente.

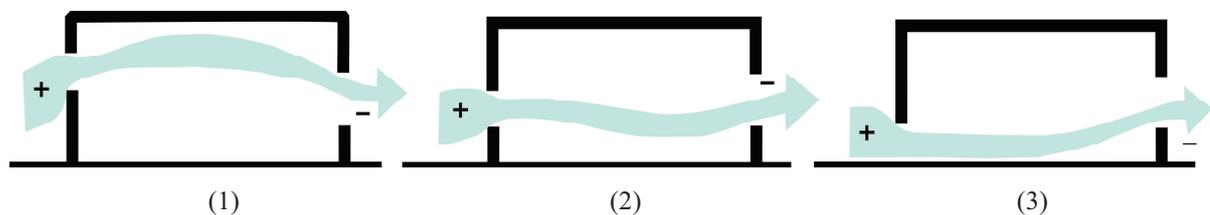


Figura 1.2 – Configuração da abertura de entrada
Fonte: Adaptado de Olgyay 2004

Segundo Chávez e Freixanet (2005), quando a abertura de entrada encontra-se no centro da fachada, a pressão causada em ambos os lados da fachada a barlavento são iguais e, por isso, o vento tende a penetrar na habitação de forma retilínea, produzindo maiores taxas de ventilação quando a incidência do vento é de 90°. Quando a abertura de entrada encontra-se voltada mais para um lado da fachada, as pressões nos lados são diferentes e, assim, a penetração do vento na edificação se dá em um sentido oblíquo. Em geral, uma edificação que possua aberturas em várias fachadas aumentará o potencial do fluxo de vento em seu interior, uma vez que produzirá diferentes valores de pressão em vários pontos da construção (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005).

1.3.3 Tamanho das Aberturas

De maneira geral, para alcançar maiores taxas de ventilação, as aberturas de entrada devem ser menores do que as aberturas localizadas a sotavento (figura 1.3). Quando a abertura a barlavento é maior do que a abertura de saída, o fluxo de ar é reduzido, porém, esta configuração propicia uma distribuição mais uniforme da velocidade do ar dentro do ambiente e a velocidade é aumentada na área de saída do ar (figura 1.4). E, quando as aberturas de entrada e saída possuem a mesma dimensão, a média da velocidade do ar é função da porosidade da construção; quanto maior a porosidade, maior a intensidade e a uniformidade da velocidade do ar (MOORE, 1993; SERRA, 2004; OLGAYAY, 2004).

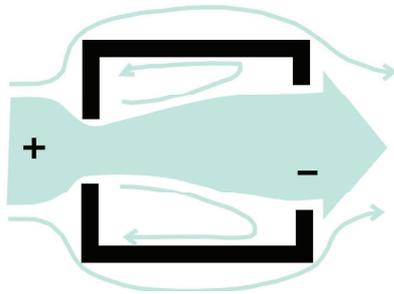


Figura 1.3 – Abertura de entrada menor do que abertura de saída

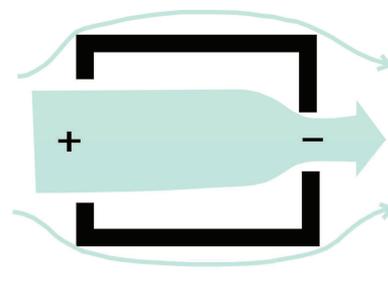


Figura 1.4 – Abertura de entrada maior do que abertura de saída

Fonte: Adaptado de MOORE, 1993

Dependendo do tamanho da abertura de saída, a velocidade do fluxo de ar que adentra o ambiente, na área próxima à abertura de entrada, pode ser maior do que a velocidade do vento no ambiente exterior (MOORE, 1993). Segundo Sobin (apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005), para uma mesma área de abertura, entradas de ar horizontais apresentam maior rendimento do vento para todos os ângulos de incidência e produz uma ampla circulação do ar no ambiente interno.

1.3.4 Tipo e Configuração das Aberturas e Esquadrias

Diferentes tipos de esquadrias das aberturas também podem influenciar a distribuição do ar no ambiente interno e promover diferentes opções de controle da direção e nível do fluxo de ar. Segundo Givoni (1998), janelas do tipo basculante, determinadas pela sua altura, influenciam no nível vertical do vento, mas não no seu padrão e direção; contudo, limita a taxa de ventilação uma vez que a área aberta será menor do que a metade total da esquadria.

Assim como as esquadrias basculantes, as janelas de correr horizontalmente promovem abertura inferior à dois terços da área da abertura; contudo, são mais influentes no padrão dos ventos porque as variações na direção do vento no plano horizontal são muito maiores do que no plano vertical. Janelas horizontais pivotantes permitem o controle do fluxo de ar no sentido vertical, para baixo ou para cima dentro do ambiente (GIVONI, 1998). Janelas tipo max-ar e de correr retêm uma porcentagem da ventilação, prejudicando a entrada de ar; enquanto que janelas de abrir e pivotante, quando totalmente abertas, permitem a entrada de 100% do ar que incide na abertura.

Chávez e Freixanet (2005) demonstram que uma porta de abrir, localizada próxima à extremidade da fachada, influencia no escoamento do vento quando esta se encontra aberta para fora, neutralizando a pressão na fachada e desviando o fluxo de ar para a pressão restante. O mesmo não ocorreria com uma porta de correr, por exemplo, demonstrando, desta forma, a importância que tem o tipo de abertura das esquadrias.

Venezianas móveis são exemplos muito interessantes e funcionais para favorecer o movimento do ar no interior da edificação, uma vez que permitem a regulagem da entrada de fluxo de vento, além de terem controle da privacidade, chuvas e raios solares. A ventilação pode ser captada, ainda, por altas aberturas denominadas lanternins, nas quais a velocidade do ar é aumentada e a pressão diminui na área externa da abertura, provocando uma sucção do ar interior, retirando o ar quente introduzido no ambiente (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005).

1.3.5 Presença de Componentes Arquitetônicos

Os elementos verticais (como prolongamento de paredes, protetores solares e elementos estruturais) podem produzir efeitos positivos na incidência da ventilação no ambiente interior dependendo da sua posição e tamanho. Isso ocorre em função do aumento da diferença de pressão criada por esses elementos; porém, se forem posicionados de forma inadequada podem obstruir os ventos predominantes (LOBO; BITTENCOURT, 2003). Desta forma, a introdução de elementos vazados nos painéis verticais pode proporcionar um efeito mais moderado no fluxo de vento, comparado ao material opaco, reduzindo a diferença de pressão causada por esses elementos. Segundo Moore (1993), com elementos verticais posicionados perpendicularmente à abertura, a direção do escoamento sofre modificação no ambiente com uma pequena redução da velocidade, apenas (figura 1.5).

Os elementos horizontais (como varandas e amplos beirais) exercem papel benéfico em edificações térreas, pois direcionam o fluxo de vento que desviaria por cima da construção para o interior do ambiente, aumentando a ventilação no espaço interno. Quanto maior a inclinação da cobertura, maior a profundidade da esteira e, conseqüentemente, há aumento da pressão negativa resultando em um aumento do fluxo de vento no interior da edificação. Marquises localizadas logo acima das aberturas podem desviar o fluxo de vento para cima; contudo, se houver uma separação entre ambos, o percurso original do vento é restabelecido (figura 1.6). Ademais, uma marquise localizada no ponto mais alto da fachada, melhora o efeito da ventilação, uma vez que capta as correntes de ar que escapariam por cima da edificação (GIVONI, 1998; OLGAYAY, 2004; MOORE, 1993).

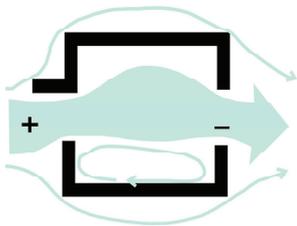


Figura 1.5 – Pl. Bx. – Elementos verticais perpendiculares à fachada

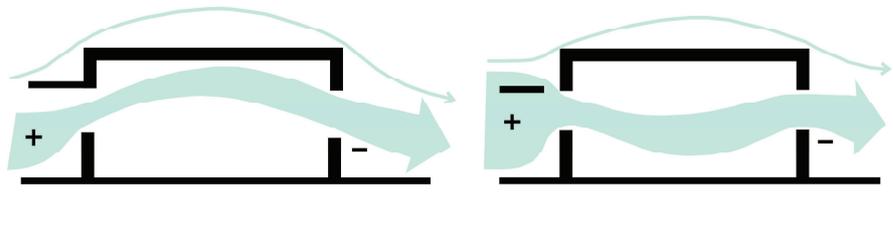


Figura 1.6 – Cortes – Marquises acima das aberturas

Fonte: Adaptado de Moore, 1993

Um fluxo de ar no interior de um ambiente sem divisões internas assegura a rapidez do movimento do ar e, qualquer obstrução adicionada no caminho, que cause mudança brusca em seu curso, reduzirá a sua velocidade. Essas modificações podem ser ocasionadas por mobiliário, equipamentos ou divisórias (OLGYAY, 2004). De acordo com Moore (1993), divisórias internas colocadas fora do caminho principal do vento, tem pouca influência no fluxo de ar (figura 1.7). Contudo, divisórias que bloqueiam o caminho do escoamento modificam sua direção e criam áreas estagnadas dentro e fora do ambiente (figura 1.8).

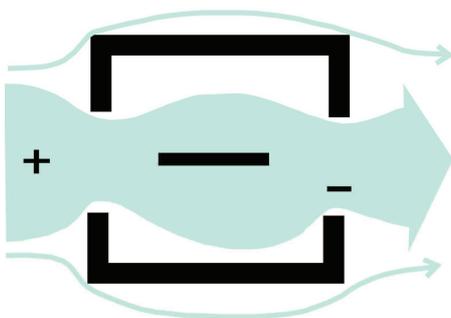


Figura 1.7 – Divisórias internas fora do caminho do vento

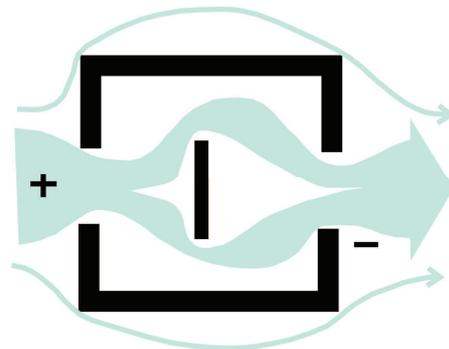


Figura 1.8 – Divisórias internas que bloqueiam o vento

Fonte: MOORE, 1993

Segundo Bittencourt e Cândido (2005), ambientes localizados a sotavento podem apresentar baixas taxas de ventilação, mesmo situando-se próximos a ambientes a barlavento. Desta forma, a ventilação pode ser otimizada utilizando elementos vazados nas divisões internas existentes; contudo, essa configuração poderá reduzir a privacidade dos ambientes e facilitar a propagação do ruído. Um bom exemplo é o cobogó, o qual divide os ambientes, ao mesmo tempo em que permite a passagem do ar para os ambientes posteriores.

Segundo Santamouris (2002), as características do edifício devem permitir a entrada do ar e a sua homogeneidade na distribuição do fluxo de ar no seu interior. Deste modo, as divisões internas contribuem de forma diferenciada no escoamento do vento. As divisões internas paralelas à incidência do fluxo de ar facilitam o escoamento do vento no interior da edificação.

A vegetação também pode interferir no escoamento do ar das edificações. Segundo Priolo (2002), uma árvore com troncos altos e copa grande diminui a velocidade do vento próximo à copa e acelera a velocidade próximo ao chão. Santamouris e Asimakopoulos (1996) afirmam que as árvores e arbustos criam um espaço de ar estagnado em torno da vegetação, resultando em diminuição da velocidade do ar em cerca de cinco vezes a altura da vegetação na fachada a barlavento e em cerca de 25 vezes a altura da vegetação na fachada a sotavento.

Segundo Chávez e Freixanet (2005), a vegetação pode criar zonas de alta ou baixa pressão. Dessa forma, pode obstruir e desviar o vento ou canalizá-lo e induzi-lo para dentro da edificação. Contudo, através de um conjunto de vegetação, podem-se criar áreas que aumentem a velocidade do vento, por meio da formação de funis, podendo aumentar a sua velocidade em até 25%. Além disso, a vegetação melhora a qualidade do ar, reduz substâncias prejudiciais, cria sombras e resfria o ar (PRIOLO, 2002).

Sendo o sombreamento uma das estratégias bioclimáticas mais importantes para promover conforto térmico em climas quentes e úmidos, a inclusão de dispositivos de proteção solar verticais e horizontais, bem como o uso de vegetação, deve ser cuidadosamente estudados pelos projetistas de forma a não desviar a incidência do vento nas edificações.

1.3.6 Abordagens Experimentais em Ventilação Natural

Os experimentos de ventilação natural em edifícios podem ser elaborados por duas abordagens distintas e complementares: a quantitativa e a qualitativa. A quantitativa tem o

objetivo de mensurar as vazões de ar, enquanto a abordagem qualitativa tem o objetivo de visualizar o escoamento do ar, analisando e descrevendo seus efeitos.

A abordagem quantitativa é utilizada para mensuração de velocidades e direções do vento no exterior e interior dos edifícios bem como das pressões estáticas e dinâmicas, através de medições *in loco* ou por modelos em escala natural ou reduzida. Geralmente as medições *in loco* e em modelos de escala natural, pela ação do vento, exigem muito tempo de trabalho por dependerem da ocorrência dos ventos, sendo mais fácil se obter a mensuração da ventilação natural pelo processo de diferenças de temperatura (TOLEDO, 2006).

Os experimentos quantitativos em túneis de vento aerodinâmicos são bastante utilizados para medição de velocidade dos ventos e de pressão (estática e dinâmica) e permitem resultados bastante satisfatórios; porém implicam instalações adequadas com custo elevados e disponíveis apenas em grandes laboratórios de pesquisa (TOLEDO, 2006).

O procedimento qualitativo inclui os sistemas de visualização de escoamentos em câmara de fumaça, túneis de vento e equipamentos hidráulicos com modelos em escala reduzida. As câmaras de fumaça são equipamentos que permitem a passagem de fumaça por uma câmara de visualização fechada, onde se dispõe o modelo e só permitem visualização bidimensional no exterior e no interior dos edifícios (OLGYAY, 2004).

Dentre os modelos atuais de estimativa e dimensionamento das aberturas⁸, os Modelos de Dinâmica de Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics – CFD*)⁹ apresentam, cada vez mais, uma vasta utilização no ambiente construído, principalmente em estudos sobre ventilação natural urbana e de edifícios direcionados mais para experimentos qualitativos. Geralmente apresentam os resultados das simulações por meio de desenhos ou por animações de computador, representando o comportamento do escoamento em uma seção previamente definida (plano horizontal ou vertical) (TOLEDO, 2006).

Os túneis de vento permitem visualização tridimensional por meio de modelos com escala reduzida e são mais eficientes quando utilizam partículas sólidas para visualização, como a areia (SILVA, 1999). Os equipamentos hidráulicos, como a mesa d'água permitem a

⁸ Além dos CFDs, há os modelos Empíricos (utilizam modelos simplificados em escala reduzida para obter resultados em experimentos de túnel de vento) e os modelos de Rede (Utilizam a abordagem analógica de resistências elétricas, considerando o edifício como uma rede de nós e passagens de ar) TOLEDO, 2006.

⁹ Os CFDs mais utilizados em pesquisas de ventilação natural são o PHOENICS, o FLUENT, o FLOVENT e o CFX (TOLEDO, 2006).

visualização do escoamento pela adição direta de indicador na água (método do traçador¹⁰) e só permitem a visualização bidimensional, com maquetes de seção horizontal ou vertical (TOLEDO; PEREIRA, 2003).

1.3.7 Pesquisas em Ventilação Natural de Edifícios

Diversos tipos de ferramentas e variadas abordagens são encontradas nas pesquisas sobre o desempenho da ventilação natural pela ação dos ventos em edifícios residenciais. Três dos quatro trabalhos descritos a seguir utilizam ferramentas para avaliação do escoamento dos ventos no interior da construção, considerando todas as aberturas de entrada e de saída, bem como as divisões internas e todos os ambientes da residência em conjunto para a avaliação (Toledo, 2006; Castro, Nogueira e Bittencourt, 2010; e Torres et al, 2007). O último trabalho apresentado a seguir demonstra a importância de considerar o resfriamento da edificação através da ventilação natural para o estudo do desempenho térmico (Martins et al, 2009).

1.3.7.1 Desempenho da ventilação natural em apartamentos em Maceió

Em sua tese, Toledo (2006), avaliou a ventilação natural pela ação dos ventos na cidade de Maceió (Alagoas), utilizando maquetes vazadas para simulação no equipamento mesa d'água. Avaliou quatro edifícios de tipologias similares, possuindo, cada um, quatro apartamentos por andar. Realizaram-se 48 ensaios no total, compreendendo incidências do vento nos sentidos Nordeste, Leste, Sul e Sudeste. Produziram-se maquetes para simulação em dois tipos: externa (compacta, sem divisões com apenas o perímetro externo, na escala 1/200); e interna (vazadas, com divisões, nas escalas 1/100 e 1/50).

Na pesquisa, o autor desenvolveu um método de análise qualitativo e simplificado (MASQ-VENTO); e uma metodologia de avaliação (MAM-VN). O MASQ-VENTO é um método simplificado, pois considera apenas o escoamento bidimensional e o regime de escoamento externo laminar e permanente; e qualitativo por não estimar nem medir valores para as vazões ou velocidades do ar. É subdividido em sistema fixo e sistema dinâmico. O primeiro compreende as características geométricas dos edifícios e de seus componentes e o

¹⁰ Os métodos de visualização podem ser classificados em: **do traçador** que utiliza algum tipo de indicador no líquido (geralmente utiliza-se detergente para a mesa d'água); **do tufo**, o qual utiliza tufo de fitas ou de fios; e **óptico** que utiliza propriedades ópticas do fluido e/ou do indicador (TOLEDO, 2006).

segundo compreende o comportamento dinâmico do escoamento no exterior e interior do edifício sobre a ação dos ventos.

O sistema fixo caracteriza a localização das aberturas internas e externas em diagonais, centralizadas e laterais para a localização das mesmas em paredes adjacentes e opostas. No sistema fixo, criou diagramas (Diagramas de Níveis de Percurso NP e Diagramas de Séries e Paralelos SP) para demonstrar por quantos ambientes o escoamento percorre desde a sua entrada até a sua saída.

A Metodologia de Avaliação Multicritério de Ventilação Natural (MAN-VN) considera três níveis de avaliação: 1) Padrão de escoamento do ar recomendado para o uso residencial (subdividido em abrangência do escoamento, níveis de percurso, localização de banheiros e localização de cozinhas); 2) Potencial sazonal dos ventos (composto pelos ventos de maior frequência de cada estação e soma residual dos demais); e 3) Desejabilidade sazonal de ventilação natural (divide-se em quatro estações: primavera, verão, outono e inverno).

Classificam-se o resultado final em sete níveis de impacto para avaliação: 1 ótimo, 2 muito bom, 3 bom, 4 razoável (nível neutro), 5 ruim, 6 muito ruim e 7 péssimo. E ponderaram-se as subcategorias de avaliação que compõem a abrangência do escoamento em: setor social 40%, por ser a área de maior permanência diurna; setor íntimo 40%, por ser a área de maior permanência individual diurna e noturna; e setor de serviço 20%, dividido em 10% cozinha, 5% área de serviço, 2,5% dependência de empregada e 2,5% banheiro.

A pesquisa concluiu que houve comportamentos diferenciados da ventilação natural entre os apartamentos com orientações diferentes e verificou-se que a geometria dos edifícios influenciou no escoamento dos ventos. Em média, as orientações N/L e L/S apresentaram os melhores desempenhos, seguidas da orientação S/O, enquanto que a orientação O/N apresentou o pior desempenho. Contudo, verificou-se que os apartamentos localizados em orientações favoráveis nem sempre apresentaram os melhores desempenhos, ocorrendo que apartamentos com orientação menos favorável apresentaram desempenhos acima do esperado. Desta forma, este trabalho demonstra a importância de se pesquisar edificações ventiladas naturalmente para avaliação do comportamento do ar no interior da mesma.

1.3.7.2 Desempenho da ventilação natural em uma residência na cidade de Maceió

Castro, Nogueira e Bittencourt (2010), analisaram o desempenho da ventilação natural no interior de uma residência localizada na cidade de Maceió. Produziram-se duas

maquetes vazadas na escala 1/75 (seções horizontais), uma do pavimento térreo e outra do pavimento superior. Realizaram-se ensaios no equipamento mesa d'água, nas orientações Sudeste, Leste e Nordeste, para cada pavimento.

Primeiramente elaborou-se um ensaio em cada pavimento, para cada orientação dos ventos, a fim de verificar o comportamento do vento no interior da residência. Elaborou-se o segundo ensaio considerando as mesmas direções dos ventos, de forma a propor novas estratégias de projeto para melhorar a fluidez dos ventos nos ambientes menos favorecidos.

Verificou-se que muitos ambientes são favorecidos pela ventilação natural em, pelo menos uma orientação; alguns ambientes, menos favorecidos em relação à orientação dos ventos, são otimizados através da ventilação advinda de outros ambientes; diferentes ambientes demonstraram precário desempenho da ventilação natural e, por isso, propuseram-se modificações no projeto arquitetônico a fim de melhorá-los. Destaca-se, portanto, a importância de um estudo mais fundamentado da ventilação natural, levando em consideração todas as divisões internas bem como todos os ambientes existentes na edificação, compreendendo-os em conjunto e não apenas como ambientes isolados.

A pesquisa permitiu concluir, ademais, que mesmo dispondo os ambientes para as orientações mais adequadas, algumas estratégias de projeto podem não funcionar corretamente quando não há uma preocupação com a disposição e a tipologia das aberturas de entrada e de saída de ar.

1.3.7.3 Avaliação computacional da ventilação natural em ambientes internos

Torres et al (2007) estudaram as condições de ventilação natural no interior de três conjuntos habitacionais verticais destinadas à população de baixa renda a partir da análise da disposição dos arranjos construtivos. Para cada edifício, selecionou-se um apartamento no térreo e outro no último pavimento. Realizaram-se simulações no programa computacional de dinâmica de fluidos (CFD), PHOENICS 3.6, considerando apenas a ventilação na direção Sudeste.

Construíram-se os modelos tridimensionais referentes a cada arranjo construtivo. Elaboraram-se simulações em duas situações para cada apartamento: o primeiro ensaio demonstrou o comportamento dos ventos no exterior, identificando as zonas de alta e baixa pressão; e o segundo apresentou o escoamento dos fluxos de ar no interior dos apartamentos analisando a influência da orientação da edificação e do posicionamento das aberturas.

A pesquisa demonstrou que há influência do arranjo construtivo no aproveitamento da ventilação natural nos ambientes internos. Comprova, também, que a localização inadequada das aberturas, a ineficiente orientação das edificações e a pouca porosidade das construções são os principais fatores que afetam as condições térmicas e que reduzem o escoamento do ar nos ambientes internos.

1.3.7.4 Automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações

Martins et al (2009) avaliaram o desempenho térmico de um protótipo construído no Campus da UFPel na cidade de Pelotas, uma habitação unifamiliar de padrão popular, com 48,50m² e projetado com princípios bioclimáticos. Utilizaram duas situações para simulação: a primeira considera a edificação totalmente fechada; e a segunda avalia a construção com gerenciamento das aberturas para ventilação, dos dispositivos de sombreamento e do acionamento de aberturas para ventilação do ático.

Elaboraram-se simulações no programa computacional *Energy Plus 3.0* utilizando a interface do programa *Design Builder 1.8*. Nos modelos utilizaram-se os mesmos materiais, volumetria e orientação solar do protótipo real, mas desconsiderando as fontes de calor internas como usuários e equipamentos. O mês escolhido para as simulações foi fevereiro, por ser o mês com máxima temperatura absoluta, para avaliação no verão. Adotaram-se três configurações para as aberturas: (1) aberturas fechadas com ático fechado, (2) aberturas fechadas com ático aberto e (3) janelas abertas controladas.

A conclusão da pesquisa demonstrou que no caso 3, com as janelas abertas, manteve as temperaturas mais baixas do que nos demais casos, uma vez que possibilita o resfriamento da edificação através da ventilação. O caso 1 obteve conforto em 46,3% das horas; no caso 2 o conforto foi de 49,2% e no caso 3 o percentual foi de 62,4%, resultando em um aumento de 16% das horas com conforto. Desta forma, a pesquisa demonstrou o equívoco de considerar uma edificação estática e fechada para avaliação do desempenho térmico, sem considerar o resfriamento da edificação, no verão, através da ventilação natural no interior dos ambientes.

1.4 INSOLAÇÃO E SOMBREAMENTO

Ao incidir sobre a superfície da Terra, sob diversos ângulos, o Sol determina os mais variados climas. As estações do ano são definidas pelo movimento de translação da Terra e

diferenciadas pela trajetória elíptica. A inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao Equador ($23^{\circ}27'$) diferencia o inverno do verão e determina os equinócios, para o hemisfério Sul, de primavera (em setembro) e de outono (em março) e os solstícios de verão (em dezembro) e inverno (em junho) (LAMBERTS et al, 2007).

A latitude do lugar, a proximidade de massas de água, bem como as características do entorno e as formações de ilha de calor contribuem para caracterizar o clima local. Quanto maior a latitude do lugar, ou seja, quanto mais afastado o local da linha do Equador, mais longo é o trajeto da radiação¹¹ (mais inclinada é a incidência) e, conseqüentemente, menos radiação alcança a superfície terrestre (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Além disso, a interferência do homem no meio natural, alterando cores, materiais e formas também pode provocar alterações no clima local.

Segundo Lamberts et al (2007) e Olgyay (2004), um dos maiores e mais importantes agentes para o ganho térmico das edificações é a radiação solar¹². Ao atingir a superfície da Terra, a radiação provoca diferentes ângulos de incidências que variam em relação à latitude do lugar, à orientação solar, à exposição das faces dos edifícios e ao dia e hora. A forma da edificação tem grande influência no desempenho térmico, uma vez que a orientação das faces expostas, bem como a distribuição e localização das janelas podem determinar a quantidade de radiação que adentra o ambiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Segundo Corbella e Yannas (2009), durante o verão nos trópicos, em locais de baixas latitudes, as paredes orientadas a Leste e Oeste recebem mais energia solar do que as voltadas para o Norte e o Sul. Entretanto, é importante proteger a fachada da orientação Sul, visto que no verão quente, o Sol encontra-se voltado para essa orientação. Desta forma, Corbella e Yannas (2009) e Olgyay (2004) defendem que a construção deve posicionar-se no sentido Norte-Sul, segundo uma planta estreita e alongada, para que as paredes voltadas para as orientações Leste e Oeste possuam área de menor tamanho¹³. Contudo, para definir o

¹¹ A atmosfera funciona como um filtro solar, permitindo que a energia do Sol atinja a Terra tanto através da radiação direta (raios solares), quanto da radiação difusa (do céu). Ademais, a atmosfera também difunde, refrata e absorve parte dessas radiações (FROTA, 2004; BITTENCOURT, 2004). Desta forma, o ar é aquecido por convecção através das superfícies aquecidas pela incidência solar, uma vez que o ar é transparente a todos os comprimentos de ondas eletromagnéticas (LAMBERTS et al, 2007).

¹² A transferência de calor por radiação, na escala dos edifícios, pode ser dividida em cinco principais partes, sendo três de onda curta e duas de onda longa: radiação solar **difusa** (onda curta), radiação solar **direta** (onda curta), radiação solar **refletida** pelo solo e pelo entorno (onda curta), radiação **térmica emitida** pelo edifício (onda longa) e radiação **térmica emitida** pelas superfícies aquecidas e pelo céu (onda longa) (LAMBERTS et al, 2007; OLGAYAY, 2004).

¹³ Melhorar o posicionamento do edifício pode-se reduzir a energia solar recebida em até 20% e, se na edificação existirem dispositivos de proteção solar específicas para cada fachada em relação à orientação, pode-se reduzir a

posicionamento do edifício em regiões de clima quente e úmido, devem-se considerar, também, as direções do vento (importante estratégia bioclimática para tais regiões) e as temperaturas do ar ao longo do dia.

Através de experimentos em gráficos de temperatura e radiação solar, Rivero (1985) estudou o comportamento da radiação solar nas coberturas e fachadas de diferentes orientações e destacou: 1) comprovação da grande quantidade de radiação solar que o plano horizontal recebe, ultrapassando largamente os valores de qualquer plano vertical; 2) mesmo recebendo quantidade de energia similar, o efeito térmico nas fachadas com orientação Oeste é maior do que na orientação Leste, uma vez que, no período da tarde, a temperatura do ar é mais elevada em virtude do acúmulo do calor durante a manhã.

Segundo Silva (1979), Mascaró (1991), Moore (1993), Givoni (1998) e Brown e Dekay (2004), as taxas de perda ou ganho térmico de edificações dependem de uma série de fatores, principalmente da diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior, das características da envoltória e da orientação das superfícies (quadro 1.1).

AUTOR	FATORES
Silva (1979)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Composição e espessura do material; 2) Diferença de temperatura entre os meios interior e exterior; 3) Velocidade do ar que circula entre os dois meios; 4) Intervalo de tempo considerado.
Mascaró (1991)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Diferença de temperatura entre o ambiente interior e exterior vinculado à cor e o tipo de material das superfícies que envolvem o edifício; 2) Características de isolantes térmicos da envoltória; 3) Orientação, localização, altura e forma do edifício; 4) Características do entorno natural e construído; 5) Ação dos ventos nas fachadas e superfícies interiores; 6) Forma, tamanho e proteção das aberturas; 7) Localização estratégica dos equipamentos de climatização artificial.
Moore (1993)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Propriedades de condução do material; 2) Diferença de temperatura entre os dois meios; 3) Área de exposição e da duração que a superfície é exposta à radiação solar.
Givoni (1998)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Orientação e localização das superfícies transparentes; 2) Tamanho e tipo das aberturas; 3) Massa térmica disponível para armazenamento; 4) Coeficiente da perda de calor do edifício completo; 4) Distribuição dos ambientes e opções de dispositivos de controle solar.
Brown e Dekay (2004)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Radiação disponível; 2) Diferença de temperatura entre o meio interior e o exterior; 3) Resistência ao fluxo térmico oferecida pelas superfícies da envoltória da edificação e da área e orientação dessas superfícies.

Quadro 1.1 – Fatores que determinam as taxas de perda ou ganho térmico da Edificação

incidência da energia solar à terça parte (CORBELLA; YANNAS, 2009). Segundo Mascaró (1991), um edifício mal-orientado pode receber um aumento de carga térmica em quase 150% e, ademais, no verão, a superfície interna de uma parede sem resistência térmica, pode estar de 4 a 8 °C mais quente do que se apresentasse uma resistência adequada. Além disso, a carga térmica recebida pelo edifício aumenta à medida que a forma se torna mais compacta (MASCARÓ, 1991).

Para minimizar os ganhos de calor em regiões de clima quente, com amplitude térmica diária menor que 5 °C, algumas estratégias podem ser adotadas: minimizar a energia solar absorvida pelas paredes e ultrapassada pelas aberturas; aplicar isolantes térmicos¹⁴ nas superfícies mais castigadas pela radiação solar, como na parede ou na cobertura; e utilização de materiais leves nas demais superfícies (CORBELLA; YANNAS, 2009). Rivero (1985) afirma que para redução de ganhos de calor, é necessário, também, projetar a edificação de acordo com a orientação, aplicar cores apropriadas, propor adequado tratamento do solo circundante e fazer uso de dispositivos de proteção exteriores.

Desta forma, para regiões de clima quente e úmido, onde a diferença de temperatura entre os meios interior e exterior é pequena e o tipo de construção tradicional é adequadamente leve, as estratégias para redução definem-se, principalmente, em orientar as aberturas e os ambientes de maior permanência para as orientações que recebem menos radiação solar, nos horários de temperaturas mais elevadas, e utilizar o máximo de dispositivos de proteção solar para maximizar a área de sombreamento das paredes e aberturas. Outras alternativas adequadas são a utilização de cores claras para a envoltória e de isolantes térmicos nas coberturas ou nas fachadas mais afetadas pela radiação solar nas mais altas temperaturas do dia, como a Oeste e Sudoeste.

1.4.1 Envoltória da Edificação: Materiais Opacos e Transparentes

Para adaptar-se às variações climáticas, o homem cria alterações que vão desde à escolha da vestimenta até o modo de vida e às características das construções. Na edificação, as trocas de energia (calor ou luz) entre os meios exterior e interior acontecem através do fechamento da edificação, os quais podem ser opacos (capazes apenas de conduzir calor solar para dentro do ambiente) ou transparentes (capazes de transmitir radiação solar para dentro do ambiente) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Através dos materiais transparentes, o ganho de calor no ambiente interno é instantâneo, enquanto que através dos materiais opacos, há um tempo para que o calor adentre

¹⁴ A finalidade do isolamento térmico, segundo Costa (2008), é manter a temperatura da parede em níveis adequados e evitar as indesejáveis trocas térmicas, tanto no calor quanto no frio. Segundo Silva (1979), um corpo isolante deve ser extremamente leve, pois o elemento principal da insolação em edificações é o ar contido nesse material; quanto menor for o peso de um material, mais isolante ele será, pois o pouco peso supõe um volume maior de ar encerrado. Ademais, o isolante térmico deve ser aplicado na parte interna da superfície para evitar que este absorva água.

à edificação, o qual depende das características do material (tipo e espessura)¹⁵ (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Em climas quentes, o Sol representa uma importante fonte de calor para as edificações, as quais são submetidas a mais ou menos estímulos térmicos, dependendo das características da envoltória¹⁶.

1.4.2 Desempenho Térmico de Elementos Opacos: Paredes e Coberturas

Os fechamentos opacos das edificações, como paredes e coberturas, constituem, em geral, a maior parte da envolvente do espaço interior que recebe mais radiação solar durante todo o dia, principalmente os planos horizontais e inclinados (cobertas).

As coberturas das edificações, livres de obstruções, estão completamente expostas ao céu e, enquanto o Sol estiver acima da linha do horizonte do lugar, recebem radiação solar durante todo o dia. Já as superfícies verticais (paredes e aberturas), livres de obstruções, estão expostas à metade da abóbada celeste e recebem radiação solar apenas em uma parcela do dia ou do ano, de acordo com sua orientação e latitude (FROTA, 2004).

Quando o piso da edificação está em contato com o solo, não há grandes trocas térmicas através deste, pois a temperatura do solo varia pouco. Já as paredes externas e as coberturas recebem grande quantidade de energia térmica, podendo a temperatura das superfícies alcançar 50 °C, em regiões de clima quente, durante um único dia, dependendo da cor, do material e da orientação (AMORIM; BRAGA, 2009).

De acordo com Rivero (1985), a diminuição da absorção da superfície devido à utilização de cores claras e refletivas é, talvez, o recurso mais econômico, porém exige um constante cuidado de manutenção. A cor branca é a cor que mais reflete, podendo chegar a 95% da radiação solar no espectro visível, enquanto que a cor preta é a que mais absorve, cerca de 90%, provocando um significativo aquecimento (FROTA, 2004).

Quando a radiação solar incide na parede de uma edificação, esta tem a temperatura aumentada até chegar ao máximo em sua face exterior e, continuamente, vai reduzindo até o

¹⁵ Rivero (1985) destaca que o espaço interior está formado não apenas de fechamentos exteriores, como paredes, coberturas e aberturas, mas também de divisões internas, como piso e mobiliário, os quais intervêm no problema térmico.

¹⁶ Os tipos de materiais, as cores e a espessura da envoltória da edificação como cobertas, paredes e aberturas possuem características que são determinantes na qualidade do conforto térmico no interior da construção. Outras características também contribuem para essa determinação como capacidade de absorvência, reflexão e transmissão de calor dos materiais empregados, as quais podem ser verificadas na parte 2 da norma da ABNT, Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005b).

por-do-sol¹⁷. O calor acumulado no material é conduzido ao interior da construção até que a temperatura da parede torne-se igual à temperatura interior (SILVA, 1979). Segundo Silva (1979, p. 64), “a quantidade de calor que atravessa um elemento da parede é proporcional ao seu coeficiente de condutibilidade e inversamente proporcional à sua espessura¹⁸”.

Segundo Frota (2004), de acordo com as características térmicas do material, o Sol aquece, com radiação infravermelha de onda curta, uma superfície ao incidir sobre ela. Quando o material é opaco, uma parcela da radiação é refletida (cujo valor depende da refletividade ρ do material) e, ou volta para a atmosfera ou reincide em outras superfícies com menor intensidade; e a outra parcela da radiação é absorvida (cujo valor depende da absorvidade α do material). Com o aquecimento do material, ocorrerão trocas de calor entre as superfícies internas e externas do mesmo, por meio da condução¹⁹; conseqüentemente, com a transmissão do calor dentro da parede, a temperatura aumentará na superfície interna do material em relação à temperatura do ar e trocará calor com o ambiente interno através da convecção e da radiação²⁰ (figura 1.9) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Segundo Lamberts et al (2007), a energia solar refletida pelo material não sofre modificação em suas propriedades enquanto que a energia absorvida é transformada em calor ou energia térmica. De acordo com Corbella e Yannas (2009), a quantidade de energia térmica que se transformará em calor no ambiente dependerá da temperatura absoluta da superfície que está emitindo e de sua emissividade²¹.

¹⁷ A quantidade de calor trocada na unidade de tempo é chamada de fluxo térmico, o qual pode ser permanente (quando o calor que penetra no corpo é igual ao calor que abandona o mesmo) ou transitório (que varia ao longo do tempo, pois o valor entrante no corpo é diferente do fluxo térmico nascente na superfície interna ao edifício) (COSTA, 2008). A inércia térmica é outra característica importante dos materiais opacos de fechamento. Ao receber calor e conduzi-lo ao ambiente de menor temperatura, o material retém uma parte do calor em seu interior, o qual é decorrência da sua massa térmica e propriedades. Quanto maior a inércia térmica do material, maior é o calor retido (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). Ou seja, segundo Corbella e Yannas (2009), inércia térmica é a capacidade que os corpos têm de permanecer no estado em que se encontram. A quantidade de fluxo de calor pode ser calculada por uma fórmula contida na NBR 15220 parte 2 (ABNT, 2005b).

¹⁸ É através da espessura do material que se pode calcular o valor da resistência térmica (R) do material, ou seja, a propriedade do material em resistir à passagem do calor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

¹⁹ A intensidade do fluxo de calor pelo material dependerá da sua condutividade térmica (λ), ou seja, da sua capacidade de transmitir maior ou menor quantidade de calor em unidade de tempo, a qual depende da densidade do material (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

²⁰ As perdas de calor por radiação dependem da emissividade superficial do material (ϵ) e o aumento da temperatura do material depende da resistência superficial externa do material (R_{SE}); as perdas por convecção dependem da resistência superficial interna do fechamento (R_{SI}). Ademais, o inverso da resistência total (R_{SE} e R_{SI}) é denominado de transmitância térmica (U) do material, através da qual se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

²¹ Emissividade é a propriedade física dos materiais que determina a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo.

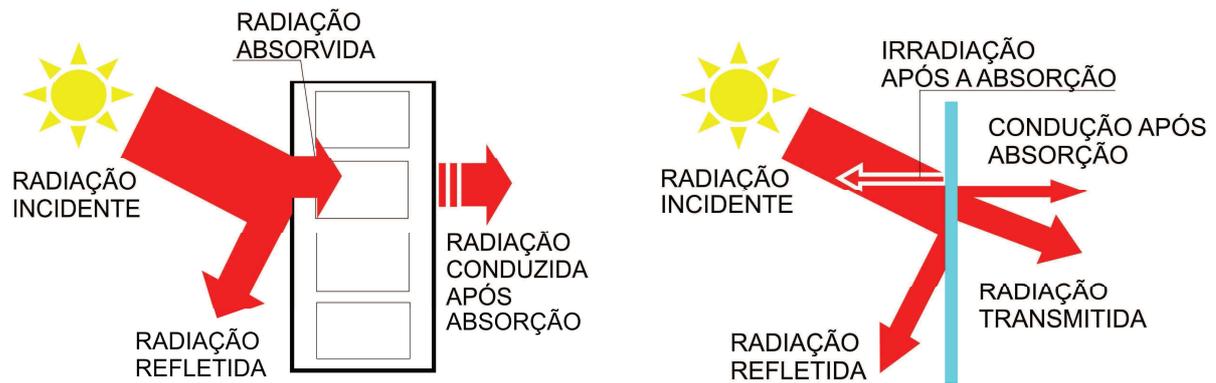


Figura 1.9 – Radiação solar em superfícies opacas e transparentes, respectivamente
 Fonte: Adaptado de LAMBERTS et al, 2007

As coberturas localizadas em áreas de baixas latitudes recebem cerca de 2/3 da radiação solar que incide em toda construção e por isso devem ser isolantes e refletoras com o uso de colchão de ar entre esta e o forro, para ventilação. Os telhados de palha, muito comum em construções nativas, oferecem bom isolamento contra radiação e são permeáveis ao ar quente interno. As telhas de barro, tipo capa-e-canal, contêm dupla camada e são permeáveis ao ar quente, formando um colchão de ar entre as telhas que favorece a renovação do ar (HOLANDA, 1976).

Em dias quentes, a superfície horizontal recebe, aproximadamente, o dobro de energia solar em relação a uma superfície vertical (OLGYAY, 2004). Em climas quentes e úmidos é importante que a cobertura absorva a menor quantidade de radiação solar possível, contenha a superfície do telhado altamente refletiva e irradie pouco calor para dentro da edificação. Durante a noite, o telhado deve permitir a emissão da radiação de ondas longas, tornando possível o resfriamento do edifício (SILVA, 1979).

Segundo Costa (2008), em climas quentes, o ganho de calor através da cobertura pode ser reduzido através das estratégias: 1) utilização de forro, 2) uso de telhas claras²², 3) aplicação de isolantes térmicos²³ e 4) utilização de materiais de grande inércia térmica. Por meio de cálculos específicos, demonstrou que com o uso de ventilação adequada no nível da cobertura, a temperatura acima do forro poderá ser bastante reduzida e o calor pode ser reduzido em 90% (com o uso de forro bem ventilado) com relação a uma casa sem forro.

²² O uso de telhas de cores claras reduz a temperatura na superfície e, conseqüentemente, reduz a penetração de calor na mesma proporção, porém, para a solução do problema da insolação em coberturas, essa estratégia é insuficiente quando adotada isoladamente (COSTA, 2008).

²³ Os isolantes térmicos aplicados nas coberturas têm um efeito equivalente ao forro ventilado, mas com menos eficiência e maior custo (COSTA, 2008).

Em regiões de clima quente e úmido, o sombreamento e a troca térmica através da ventilação são estratégias bioclimáticas de grande importância. Por exemplo, para um local sombreado e ventilado, a temperatura do ar é de 25 a 30 °C; a temperatura de uma cobertura de barro comum para a mesma localidade é de 65 a 70 °C e, em uma outra cobertura, de fibrocimento, essa temperatura alcança de 90 a 95 °C para o mesmo local (SILVA, 1979).

Desta forma, em locais de clima quente, as coberturas devem ser bem projetadas, utilizando os recursos disponíveis para que o calor absorvido por esta superfície seja o mínimo possível transmitido para dentro da edificação.

1.4.3 Desempenho Térmico de Aberturas

O Sol, ao penetrar através das aberturas, provoca iluminação e aquecimento dentro do edifício, podendo causar aumento da temperatura e ofuscamento, como também aquecimento de eletrônicos e de móveis, além do desbotamento de objetos.

Segundo Amorim e Braga (2009), é a orientação das superfícies transparentes que determina o horário e a época em que o ambiente interno ficará exposto à radiação solar; e o tamanho da abertura determina a quantidade de trocas térmicas. Em climas quentes, para reduzir a incidência solar na construção e prevenir ganhos de calor, é necessário proteger as aberturas por meio de beirais ou quebras-sóis ou, ainda, modificar as características das aberturas ou utilizar dispositivos de proteção interna como cortinas.

O tipo de aberturas estudado aqui refere-se a aberturas com vidros, ou seja, fechamentos transparentes. Os vidros são materiais transparentes que permitem iluminação natural no espaço interior e conexão visual entre os meios interior e exterior; porém, geram problemas térmicos relacionados aos ganhos de calor da edificação. Dessa forma, é nesses elementos que acontecem as principais trocas térmicas em uma edificação (RIVERO, 1985).

A quantidade de radiação que entrará pela abertura é determinada pela orientação, pelo tipo de vidro e pelo tamanho da abertura. Quanto maior a abertura, maior a quantidade de calor que pode entrar ou sair; contudo, em climas quentes e úmidos, deve-se considerar a entrada do fluxo de ar necessário para o conforto térmico.

Quando a energia radiante incide sobre uma superfície transparente, uma parcela é refletida, outra absorvida e uma terceira é transmitida para o ambiente interno, dependendo

dos valores de refletividade (ρ), absorvidade (α) e transmissividade (τ) do material²⁴, respectivamente. A parte refletida pelo vidro tenderá a ser maior, quanto maior for o ângulo de incidência solar, enquanto que as parcelas absorvidas e transmitidas diminuem²⁵ (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997; RIVERO, 1985).

A parcela de energia que penetra no ambiente através do vidro transforma-se em calor e encontra dificuldades para sair provocando o efeito estufa (ou invernadouro); para amenizar, desenvolveram-se outros tipos de vidros melhores capacitados para essa função (como os absorventes, os reflexivos e o marrom escuro) (LAMBERTS et al, 2007; RIVERO, 1985).

1.4.4 Dispositivos de Sombreamento para as Edificações

Os dispositivos de sombreamento têm a função de proteger as edificações dos raios solares, principalmente em regiões de climas quentes, de modo a evitar ganhos de calor e sobreaquecimento. Representando importantes recursos no controle de aquecimento solar, os dispositivos conseqüentemente reduzem o uso de sistemas de condicionadores de ar, conservando energia. Os sistemas de proteção solar externos funcionam como um anteparo entre a radiação solar e a edificação, visto que as maiores trocas térmicas acontecem antes de atingir a edificação e, conseqüentemente, proporcionam maiores reduções do calor.

O projeto dos dispositivos de sombreamento deve estar diretamente ligado e baseado na latitude do lugar, no clima da região e na orientação das fachadas, pois não há soluções genéricas²⁶. Para escolher qual o melhor tipo de protetor a utilizar, deve-se determinar as horas e os dias do ano que se deseja proteger, pois o dispositivo será eficiente quando impedir a entrada dos raios solares no período desejado (OLGYAY, 2004). Outros aspectos devem ser considerados na escolha do tipo de protetor, como plasticidade, privacidade, ventilação, luminosidade, eficiência, durabilidade, custos, entre outros.

²⁴ Através dos fechamentos transparentes podem ocorrer três trocas térmicas: convecção, condução e transmissão. As duas primeiras acontecem da mesma forma que nos elementos opacos, contudo, podem ser controladas abrindo ou fechando as janelas. A troca por transmissão é a mais significativa no ganho térmico, pois o material transparente permite a passagem da radiação solar diretamente para o interior do ambiente, o qual depende da transmissividade do vidro (τ) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

²⁵ Se um raio de onda eletromagnética de $1,6\mu\text{m}$ incidir sobre um vidro simples, cerca de 80% da energia é transmitida e o restante 20% é absorvido e refletido (LAMBERTS et al, 2007).

²⁶ Para se projetar uma eficiente proteção solar, pode-se utilizar a Carta Solar ou o equipamento Heliodon e, para verificar o sombreamento e calcular o tamanho dos protetores, utiliza-se a Máscara de Sombra. Atualmente, há diversos programas de computador que determinam esses elementos, de acordo com a latitude de cada região.

Para Rivero (1985), os dispositivos de proteção devem ser utilizados não apenas para proteção de elementos transparentes, mas também, para proteção de superfícies opacas, quando as condições climáticas da região exigirem. Outro fator importante, para regiões de clima quente, é o dispositivo ser de cor clara, para evitar sobreaquecimento e permitir reflexão de uma parcela da radiação incidente; contudo, deve-se evitar grandes ofuscamentos no entorno.

Bittencourt (2004) classifica os dispositivos em: **1) protetores verticais fixos** (perpendicularmente ao plano horizontal) apresentam melhor eficiência nas fachadas Norte, Sul, Sudeste, Nordeste e Sudoeste; **2) protetores horizontais fixos** (paralelamente à fachada) são mais eficientes nas horas do dia em que o Sol está mais alto; **3) protetores mistos** (combinação de protetor vertical e horizontal) mais indicados para as fachadas Norte e Sul; e **4) protetores móveis**, apresentam-se como os mais eficientes uma vez que regulam em função da variação da incidência dos raios solares, ao longo do ano e até ao longo do dia.

Frota (2004) classifica os dispositivos de sombreamento como: **1) proteção solar externa**, que pode ser fixa ou móvel; **2) proteção solar entre dois vidros**, mais utilizada para evitar deposição de poeira nas persianas e diminuir ruídos; e **3) proteção solar interna**, referente às cortinas e persianas instaladas dentro da edificação, apresentando-se menos eficiente²⁷.

Nas latitudes tropicais, como o Sol está, na maior parte do dia, tão alto no céu, os protetores horizontais desempenham uma função bastante eficaz. Seu dimensionamento depende da orientação da fachada e devem aumentar à medida que aumenta a altura dos elementos de proteção e à medida que aumenta o período em que se deseja sombrear (BROWN; DEKAY, 2004).

1.4.4.1 *Quebra-sol, Brise-soleil e Marqueses*

Os quebras-sóis (ou *brises soleil*, em francês) podem ser móveis ou fixos. Os primeiros podem ser mecânicos, elétricos ou eletrônicos, comandados em função da incidência do Sol (FROTA, 2004). Apesar de serem bastante eficientes, os *brises* móveis estão sujeitos à degradação de seus elementos e podem ser de difícil manutenção, pois sujam mais facilmente.

²⁷ Segundo Olgyay (2004), quando o dispositivo de proteção utilizado é do tipo exterior, a eficiência da proteção da energia solar é incrementada em cerca de 35%.

A tipologia de *brises* combinados (horizontal e vertical) proporciona melhor sombreamento do que os demais protegendo com mais eficiência as superfícies envidraçadas e aumentando a resistência térmica do sistema e o atraso térmico. Contudo, esse dispositivo reduz a disponibilidade de luz natural no ambiente interno e interfere na visibilidade para o exterior. A tipologia horizontal apresenta melhores resultados para as fachadas Oeste enquanto que os *brises* verticais desempenham os piores resultados de sombreamento, mas facilitam a circulação do ar (GUTIERREZ; LABAKI, 2005).

A marquise é um tipo de quebra-sol geralmente constituído de uma laje em concreto armado, a qual protege a edificação da radiação solar direta e das chuvas. Contudo, podem apresentar-se como barreiras aos ventos, transferir calor à construção através da condução, e ficar com a face superior muito suja com o tempo (FROTA, 2004). Desta forma, o projeto da marquise precisa ser cuidadoso e deve-se realizar manutenção periódica.

1.4.4.2 Varandas e Sacadas

As varandas são elementos característicos da arquitetura colonial, funcionando como proteção da radiação solar e das chuvas, além de ser um espaço utilizável; contudo, seu uso pode escurecer os compartimentos internos (FROTA, 2004).

As sacadas, utilizadas em edifícios verticais, possuem a mesma função das varandas, ou seja, protegem a edificação da incidência solar. Além disso, a sacada do pavimento imediatamente superior funciona como proteção solar para o pavimento inferior. Contudo, atualmente as sacadas apresentam mais um símbolo de status do que a intenção de proteger.

Essas áreas sombreadas e abertas desempenham a função de coadores de luz e de filtros, suavizando-a antes de atingir os ambientes internos. Além disso, promovem contato com a natureza e entre os espaços interiores e exteriores (HOLANDA, 1976).

1.4.4.3 Beirais

Os beirais cumprem uma função semelhante à de um quebra-sol horizontal e são bastante eficientes em regiões de clima quente e úmido, promovendo sombreamento nas janelas e paredes. A sua dimensão pode ser calculada por meio da altura solar, em qualquer época do ano e em qualquer horário, para uma determinada latitude. A largura dos beirais determinará o tamanho da sombra projetada na parede da fachada que contém as janelas.

Os beirais devem ser longos, de forma que as paredes permaneçam recuadas resultando sombras e tornado-as protegidas do Sol e do calor. Além disso, os amplos beirais protegem a edificação das chuvas de vento do clima quente e úmido (HOLANDA, 1976).

1.4.4.4 Vegetação

O uso da vegetação para sombreamento reduz o ganho térmico da edificação de três formas: 1) diminuindo a radiação nas superfícies opacas; 2) reduzindo a carga solar transmitida através das vidraças; e 3) baixando a temperatura do ar perto das superfícies por evapotranspiração. Em locais muito arborizados, a vegetação absorve cerca de 60 a 90% da luz solar incidente e a maior parte desta é perdida pela planta por convecção e radiação e consumida por evapotranspiração (para elaboração da fotossíntese), reduzindo a temperatura da superfície (BROWN; DEKAY, 2004; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Segundo Olgyay (2004), tem-se observado que a temperatura abaixo de uma árvore é quase 3 °C menor do que em uma área não sombreada. Porém, a vegetação, apesar de resfriar o local e proporcionar sombreamento, pode afetar a ventilação em função de sua forma e dimensão, se plantadas de forma agrupada.

1.4.4.5 Dispositivos de proteção internos

As cortinas e persianas utilizadas dentro da edificação, apesar de não serem tão eficientes quanto os protetores externos, controlam a luz e o calor solar, tendo como vantagem a fácil regulagem de abertura total, parcial ou nula (FROTA, 2004).

Segundo Bittencourt (2004), apesar de impedirem que os raios solares atinjam os locais de permanência dos usuários dentro da edificação, os protetores internos permitem a incidência solar nas fachadas e aberturas, transmitindo o calor para dentro do ambiente e reduzindo os benefícios de proteção solar. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (1997), os protetores internos não evitam o efeito estufa, pois o calor solar que adentra o ambiente se transforma em onda longa, permanecendo no interior da edificação.

1.4.4.6 Outros dispositivos

Possuindo as mesmas funções das marquises e funcionando como protetores horizontais, os **toldos**, geralmente confeccionados com lona e suportados por estruturas

metálicas, podem ser móveis (regulagem manual ou eletrônica) ou fixos. Proporcionam sombreamento, protegem de chuvas e são utilizados em variados tipos de edificações (comerciais, serviços ou residenciais) (FROTA, 2004; BITTENCOURT, 2004).

Os **cobogós**, mais utilizados para manter a ventilação constante, também proporcionam sombreamento através de seus elementos verticais, horizontais e oblíquos. Podem ser classificados como micro-quebra-sóis (FROTA, 2004). Segundo Bittencourt (2004), os cobogós são protetores mistos, os quais protegem os ambientes da radiação solar, filtram o excesso de luz natural e permitem a ventilação.

As **pérgulas**, formadas por uma série de vigas, protegem um compartimento da radiação direta do Sol, permitindo ventilação e entrada dosada de luz natural. Além disso, podem funcionar como suporte para vegetação trepadeira e proteger vegetações que necessitam de média quantidade de luz (FROTA, 2004). Segundo Bittencourt (2004), podem ser usados como eficientes protetores, proporcionando sombreamento e permitindo a ventilação.

As **venezianas** podem ser utilizadas como protetores horizontais, sendo fixas ou móveis, permitindo controle da iluminação, sem penetração direta dos raios solares e permitindo a ventilação (BITTENCOURT, 2004). Podem reduzir o ganho térmico através da janela em cerca de 80% (MASCARÓ, 1991).

1.4.5 Pesquisas em Sombreamento e Insolação de Edifícios

Alguns estudos e pesquisas realizados na área de sombreamento de edificações demonstram diferentes métodos e instrumentos de avaliação, como Toledo 2003a; Corbella e Castanheira, 2001; Tamura e Krüger, 2009; e Souza e Pereira, 1995.

1.4.5.1 Contribuição da orientação e do sombreamento na composição de cargas e consumo

Toledo (2003a) demonstrou, através de simulação computacional, que o efeito da orientação é bastante significativo na composição da carga térmica do edifício e que o sombreamento sempre promove a redução das cargas térmicas proveniente das aberturas. Realizaram-se simulações para um escritório de Maceió utilizando o programa 'Visual DOE'.

Simularam-se quatro casos com duas alternativas de sombreamento para as aberturas: **caso 1**, maiores fachadas orientadas para Norte e Sul; **caso 2**, maiores fachadas

orientadas para Leste e Oeste; **caso 3**, maiores fachadas orientadas para Nordeste e Sudoeste; **caso 4**, maiores fachadas orientadas para Sudeste e Noroeste; **alternativa 1**, janelas com *brises* horizontais e verticais de 50cm e portas com marquises de 1,50m; **alternativa 2**, janelas com *brises* horizontais e verticais de 1m e portas com marquises de 3m.

Para o efeito da orientação do edifício, constatou-se que o caso 1 apresentou menor pico de carga térmica e a menor contribuição de carga das aberturas, seguida pelo caso 4. Os casos 2 e 3, nesta ordem, apresentam os maiores picos de carga térmica e maiores contribuições de cargas das aberturas. Em relação ao consumo de energia, o caso 1 apresenta o menor consumo seguido dos casos 3 e 4 e o maior consumo deve-se ao caso 2.

Para o efeito do sombreamento das aberturas, em relação às cargas térmicas, constatou-se que as alternativas 1 reduziram os picos de carga, nos quatro casos e as alternativas 2 também reduziram os picos de carga mas em menor proporção do que nas alternativas 1. Em relação ao consumo de energia, as duas alternativas reduziram o consumo total.

1.4.5.2 *Quantidade de radiação solar em fachadas*

Corbella e Castanheira (2001) realizaram estudos de insolação em fachadas (Norte, Sul, Leste e Oeste) nos períodos de inverno e verão, para latitudes compreendidas entre 10 °S e 35 °S utilizando o programa de computador 'Radiação'. Constataram que, para essas latitudes, os maiores valores de radiação solar ocorrem nas fachadas Leste e Oeste; e a fachada Sul também apresentou valores consideráveis. Entretanto, as diferenças entre os valores de radiação solar incidente nas fachadas Sul e Norte crescem à medida que as latitudes se aproximam do Norte.

Nas latitudes situadas entre 10 °S e 10 °N, observou-se que todas as fachadas precisam de proteção solar similares, com diferentes elementos para cada fachada: horizontais nas fachadas Norte e Sul e verticais nas fachadas Leste e Oeste. Destaca-se a importância de proteger a fachada Sul no Hemisfério Sul, pois no verão recebe mais radiação direta que a fachada Norte. É importante salientar que esse estudo avalia apenas a radiação solar, não levando em consideração o resfriamento da edificação através da ventilação natural (CORBELLA; CASTANHEIRA, 2001).

1.4.5.3 Obtenção de acesso solar em unidades habitacionais unifamiliares

Tamura e Krüger (2009) avaliaram a captação de radiação em residências localizadas em Curitiba, de forma a priorizar os ganhos de insolação e de iluminação natural em dias de inverno, evitando ganhos excessivos de umidade e sombreamento. As avaliações realizaram-se por meio de simulações nos programas *SketchUp 7.0* e *AutoCAD 2007* e através de maquete física no equipamento Heliodon.

Para as simulações nos três equipamentos, projetou-se a ocupação de dois lotes adjacentes (um com recuo nas laterais e o outro sem recuos laterais) e elaboraram-se cortes verticais no protótipo, nos horários de 9h, 11h, 13h, 15h e 17h no solstício de inverno para verificação do sombreamento. Adotaram-se três tamanhos de janela com as relações de 25%, 50% e 75% da área total do vão.

Constatou-se, nas três simulações, que com a utilização de recuos laterais e com o aumento do tamanho das janelas a incidência da radiação solar dentro dos ambientes para aquecimento nos períodos de inverno é acrescida, sugerindo a eficácia da utilização do conceito de envelope solar como instrumento de trabalho. Confirmou, também, resultados visuais confiáveis dos programas *SketchUp* e *AutoCAD* na análise do comportamento solar.

1.4.5.4 Metodologia para Análise da Obstrução Solar e Abóbada Celeste

Souza e Pereira (1995) apresentaram uma metodologia para avaliar a desejabilidade ou indesejabilidade da incidência solar em fachadas da cidade de Florianópolis. A proposta dividiu-se em três etapas: 1) obtenção de informações climáticas e dias típicos mensais (temperatura do ar e radiação solar); 2) ponderação dos dias típicos mensais traduzidos em ‘fatores de ponderação’; e 3) produção das radiações ponderadas, as quais são inseridas no método gráfico (carta solar).

As temperaturas de cada hora ao longo do ano e a temperatura ideal (ou temperatura neutra) são adquiridas por meio de diferentes equações. Avaliou-se a sensação fisiológica térmica segundo a diferença entre a temperatura neutra e a temperatura do ambiente, a qual é traduzida em ‘fatores de ponderação’ (F.P.). Os dados adquiridos aplicam-se em uma equação específica: se o valor final resultar em sinal negativo, as radiações solares são indesejadas (indesejabilidade); e se o resultado final obtiver valor positivo, as radiações solares são desejáveis (desejabilidade). Os resultados são lançados no diagrama solar, na hora

correspondente. A metodologia pode ser utilizada para dados de outras cidades, servindo de balizamento para adequado planejamento do partido arquitetônico das edificações.

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais estratégias bioclimáticas para promover conforto térmico em regiões de clima quente e úmido, de baixa latitude, definem-se em captar ventilação natural pela ação do vento e promover o sombreamento nas superfícies dos edifícios, simultaneamente. Desta forma, o desempenho térmico de edificações para esse tipo de clima está diretamente ligado ao desempenho eficiente da ventilação natural dentro do edifício e do sombreamento nas fachadas.

O resultado satisfatório do escoamento da ventilação natural dentro dos edifícios pode ser mais eficiente se a edificação for orientada para os ventos dominantes; se a disposição dos ambientes for aberta de forma a promover ventilação cruzada; e se as aberturas forem dispostas em fachadas diferentes.

Para avaliação da ventilação natural, pode-se utilizar o método quantitativo, mensurando as vazões de ar, ou o qualitativo, descrevendo os efeitos do escoamento, ou, ainda, utilizar ambos de forma complementar. O método MASQ-VENTO, elaborado por Toledo (2006), demonstra-se eficaz para avaliação da ventilação natural proposta neste trabalho.

Em regiões de clima quente e úmido, a disposição dos ambientes de longa permanência para orientações receptoras de radiação solar durante as temperaturas mais amenas ao longo do dia e do ano, bem como a promoção do sombreamento de paredes e de aberturas por meio de dispositivos de proteção solar são as principais estratégias para redução de ganhos térmicos pela edificação. Outras recomendações tornam-se também importantes para minimizar os ganhos térmicos, como utilizar cores claras nos fechamentos opacos reduzindo a absorção de calor, e aplicar isolantes térmicos nas paredes e coberturas (ou uso de colchão de ar para as coberturas), dificultando a condução de calor para dentro dos ambientes.

Para avaliação do sombreamento de fachadas, o programa de computador *SketchUp* demonstrou ser confiável por meio da geração de sombras; e a metodologia de Souza e Pereira (1995) apresenta-se como importante ferramenta para confirmação da indesejabilidade da radiação solar na maior parte dos períodos do dia e do ano, para regiões de baixas latitudes.

CAPÍTULO 2: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS



Neste capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos utilizados para realização da pesquisa, como: definição do local e dos objetos de estudo; pesquisa de campo abordando levantamento arquitetônico e fotográfico; e pesquisa experimental, envolvendo a ventilação natural e o sombreamento em equipamento e programa de computador específico; bem como apresentam-se os critérios utilizados para avaliação de cada estratégia.

2.1 INTRODUÇÃO

A metodologia desenvolvida nesse trabalho constitui em análises e avaliações do desempenho da ventilação natural e do sombreamento em duas casas localizadas na cidade de Maceió, as quais tiveram como referência do partido arquitetônico os princípios bioclimáticos abordados na Cartilha de Armando de Holanda, “Roteiro para Construir no Nordeste”. A escolha da cidade de Maceió, a qual possui tal clima, deu-se pelo interesse de se trabalhar com pesquisa aplicada para a cidade, da qual ainda se possui literatura escassa.

Baseado em Givoni (1992) e Machado, Ribas e Oliveira (1986) – os quais afirmam que para proporcionar conforto térmico aos usuários de edificações localizadas em regiões de clima quente e úmido, as principais estratégias passivas são promover a ventilação natural e sombrear os espaços e, ainda, o mais adequado é a utilização das duas estratégias simultaneamente, criando uma “sombra ventilada” – despertou-se o interesse de se avaliar o desempenho destas duas estratégias nas edificações residenciais com tipologias arquitetônicas semelhantes, mas que apresentam determinados aspectos distintos, descritos mais adiante.

2.2 ETAPAS DO TRABALHO

O trabalho dividiu-se em duas etapas: pesquisa de campo e pesquisa experimental (figura 2.1). A **pesquisa de campo** consistiu em levantamentos arquitetônicos e fotográficos

das casas avaliadas. A **pesquisa experimental** consistiu em ensaios de ventilação natural e simulação do sombreamento e insolação das fachadas¹.

Para verificação do comportamento da **ventilação natural**, utilizou-se o método analógico de visualização do escoamento do ar, mediante ensaios com modelos em escala reduzida no equipamento mesa d'água para quatro direções de ventos². Adotou-se o método do traçador e a técnica de injeção direta do indicador (detergente) no equipamento, uma vez que essa opção facilita o manuseio e a visualização instantânea dos efeitos do escoamento do ar e obtém uma adequada reprodução desses efeitos (TOLEDO; PEREIRA, 2005).

Para simulação da **insolação**, executou-se a visualização do **sombreamento** nas quatro fachadas das casas, mediante execução de maquetes eletrônicas no programa de computador *SketchUp*, para os Solstícios de Verão e de Inverno e para os Equinócios de Outono e Primavera³.

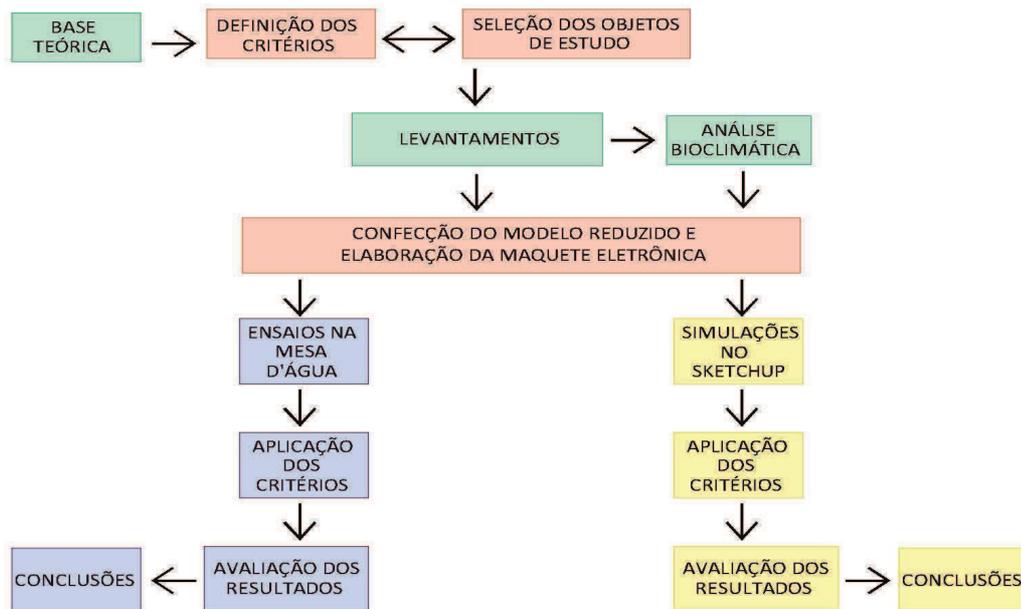


Figura 2.1 – Esquema do Procedimento Metodológico

¹ Descartaram-se medições in loco, visto que este tipo de pesquisa demanda muito tempo de execução e, além disso, o trabalho é de caráter qualitativo e não quantitativo, uma vez que Maceió possui um clima relativamente estável durante quase todo o ano e com amplitudes térmicas diárias e anuais baixas.

² Apesar de a capacidade da modelagem tridimensional, da mensuração de velocidades e da verificação dos campos de pressão, descartou-se a utilização de Modelos Computacionais de Dinâmica de Fluidos (CFDs) para a visualização da ventilação natural, em virtude das dificuldades operacionais ainda encontradas em sua utilização. Além disso, devido à grande quantidade de aberturas e de ambientes dos objetos de estudo selecionados e a necessidade de grande capacidade de memória dos computadores, o tempo de trabalho seria altamente estendido, inviabilizando seu uso para esta pesquisa.

³ Descartou-se a utilização de programas computacionais de simulação de temperaturas por esses considerarem apenas a quantidade de ar para renovação do ar interno, a qual, para edifícios naturalmente ventilados, necessita-se de quantidades de ar maiores para promover conforto térmico aos usuários.

2.3 INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO DA PESQUISA EXPERIMENTAL

A pesquisa experimental dividiu-se em duas partes distintas e, ao mesmo tempo, complementares para avaliação do desempenho térmico das casas, a qual relaciona-se ao aproveitamento da ventilação natural no interior dos ambientes e ao sombreamento do envelope das edificações.

Para estruturar a avaliação da ventilação natural, elaboraram-se critérios de avaliação baseados no Método de Análise Simplificado e Qualitativo de Ventilação Natural pela Ação do Vento (MASQ-VENTO), desenvolvido por Toledo (2006)⁴.

Para estruturar a avaliação do sombreamento, desenvolveram-se critérios de avaliação baseados em Rivero (1985), Corbella e Castanheira (2001), Olgyay (2004) e Lamberts et al (2007), os quais afirmam que, em baixas latitudes (entre 10° S e 10° N), todas as fachadas necessitam de significativo tratamento na proteção solar, principalmente a fachada Oeste (assim como a Sudoeste e a Noroeste), uma vez que incidências solares nessas orientações acarretarão temperaturas mais elevadas nos edifícios em virtude do acúmulo de calor durante o dia. Cada fachada, contudo, demandará um sombreamento distinto, o qual ocorre de acordo com os diferentes tipos de dispositivos de proteção solar.

2.4 LOCAL E OBJETOS DE ESTUDO

Selecionaram-se dois edifícios residenciais unifamiliares que tiveram como referência de projeto os princípios bioclimáticos abordados na Cartilha de Armando de Holanda (1976), com o objetivo de promover ventilação natural e sombreamento, visando proporcionar conforto térmico aos usuários.

Cada casa selecionada foi projetada por dois arquitetos professores da Universidade Federal de Alagoas, formados na década de 1970 na Universidade Federal de Pernambuco⁵ e atuantes na região a partir desse período. Ambas as casas construíram-se na cidade de Maceió, Alagoas, entre o final dos anos de 1970 e início dos anos de 1980, datas posteriores à publicação da Cartilha.

⁴ O método MASQ-VENTO é simplificado e qualitativo, pois só considera o escoamento do vento bidimensional, e qualitativo por não mensurar valores de velocidades ou vazões. É subdividido em sistema fixo (características da geometria do edifício e de seus componentes) e sistema dinâmico (escoamento do vento no exterior e interior dos edifícios).

⁵ Apenas o professor arquiteto Geraldo Majela, segundo autor do projeto da Casa 2, não formou-se na Universidade Federal de Pernambuco. Porém, atua na região desde a década de 1970 e tem vasto conhecimento no conteúdo da Cartilha de Armando de Holanda.

As duas edificações residenciais situam-se no litoral Norte da cidade, em diferentes bairros de proximidade com o mar (Garça Torta e Cruz das Almas). Ambas projetadas para os próprios arquitetos morarem, apresentam organização espacial setorizada por funções (social, íntimo e serviço) e possuem pavimento térreo e pequeno mezanino.

A **Casa 1**, projetada pelos arquitetos e professores Regina Dulce e Leonardo Bittencourt entre 1979 e 1980 e até recentemente ocupada por Regina, utiliza apenas um lote na encosta do bairro de Garça Torta, não possui recuos laterais e apresenta orientação oblíqua ao Norte verdadeiro, desenvolvendo fachadas Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste.

A **Casa 2**, projetada (entre 1982 e 1983) e ocupada atualmente pelos arquitetos e professores Geraldo Majela e Verônica Robalinho, utiliza dois lotes no bairro de Cruz das Almas, possui recuos laterais e frontal e apresenta orientação ortogonal ao Norte verdadeiro, desenvolvendo fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste.

As duas casas apresentam diversos princípios bioclimáticos contidos na Cartilha de Armando de Holanda (1976), portanto cada uma demonstra de forma particular, de que maneira as estratégias se fazem presentes, apresentando-as ora de forma mais intensa, ora de uma forma mais tímida.

2.4.1 Caracterização Climática de Maceió

O Brasil, representado por um amplo território localizado quase totalmente na zona intertropical da Terra e composto por grande continentalidade, possui um zoneamento compreendido por oito diferentes zonas bioclimáticas, as quais podem ser consideradas relativamente homogêneas. Na região Nordeste, mais especificamente na cidade de Maceió no estado de Alagoas, o clima que se caracteriza litoraneamente é o quente e úmido, situando-se na zona bioclimática de número 8 (ABNT, 2005).

Maceió é um município litorâneo, banhado pelo oceano Atlântico, pela lagoa Mundaú e limitada por diversos outros municípios do Estado, compreendendo cerca de 1,76% do território alagoano, ocupando uma extensão de 511km² (IBGE, 2009).

A cidade de Maceió possui declinação magnética entre o Norte verdadeiro e o Norte magnético de aproximadamente 23°. O centro situa-se a 9°40' Sul de latitude e a 35°42' oeste de longitude, podendo ter o clima caracterizado como oceânico e chuvoso (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 2004; TOLEDO, 2001).

Este clima apresenta, basicamente, duas estações bem definidas, possuindo pequena variação de temperatura média entre elas, em torno de 4 °C. O verão é caracterizado por temperaturas mais altas e pouca pluviosidade, havendo apenas precipitações passageiras quando do aumento da umidade e da temperatura; o inverno é caracterizado por temperaturas mais amenas e alta pluviosidade. Durante todo o ano, o dia geralmente é quente e úmido e as noites apresentam temperaturas mais amenas e umidades elevadas, sendo a temperatura do ar quase sempre menor que a temperatura da pele (BARBIRATO, 1998).

Segundo Toledo (2001), aplicando a caracterização climática de Romero (1988), o clima de Maceió pode ser caracterizado como quente (acima de 20 °C), úmido (entre 75 e 90%) e chuvoso (entre 1.000 e 2.000mm). A média anual de temperatura do ar é de 25,4 °C, alcançando a maior temperatura média em fevereiro (26,7 °C) e a menor em julho (23,7 °C).

Na cidade de Maceió, segundo Passos e Barbirato (2009), os meses de setembro a abril apresentam temperaturas médias mensais mais elevadas (os meses de fevereiro e março apresentam os maiores valores) enquanto os meses de maio a agosto, médias mensais de temperatura mais baixas (figura 2.2). O verão apresenta temperaturas mais elevadas ao longo de todos os meses (dezembro, janeiro, fevereiro e março); o outono apresenta as maiores temperaturas nos meses de março e abril; a primavera apresenta maiores temperaturas nos meses de setembro, outubro e novembro; e os demais meses (maio, junho, julho e agosto) apresentam as temperaturas mais amenas ao longo do ano.

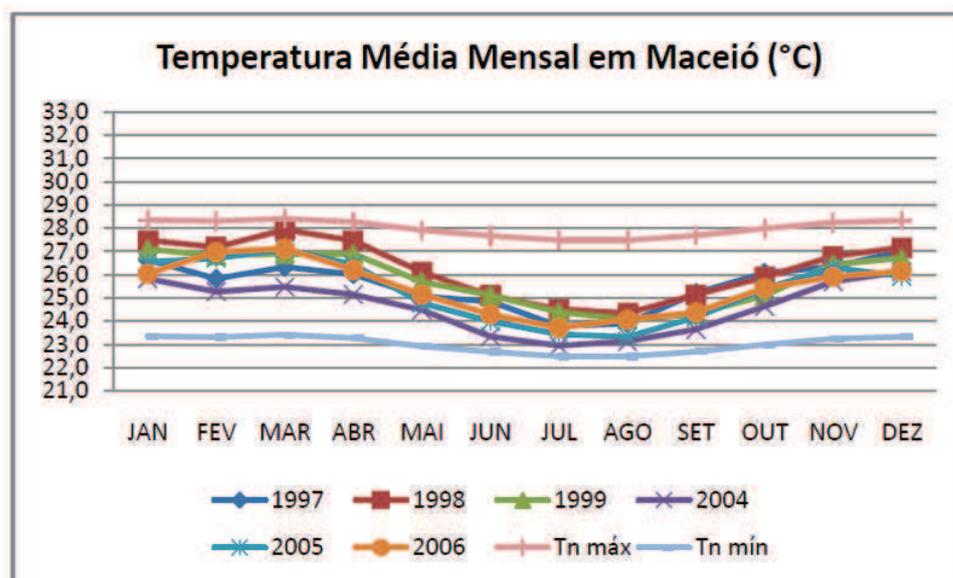


Figura 2.2 – Temperatura Média Mensal em Maceió ao longo do ano
Fonte: PASSOS; BARBIRATO, 2009

Em relação às temperaturas médias diárias, as autoras afirmam que o aumento da temperatura ocorre a partir das 7 horas e o resfriamento ocorre a partir das 15 horas alcançando a temperatura média máxima por volta das 15 horas e a média mínima às 6 horas (figura 2.3).

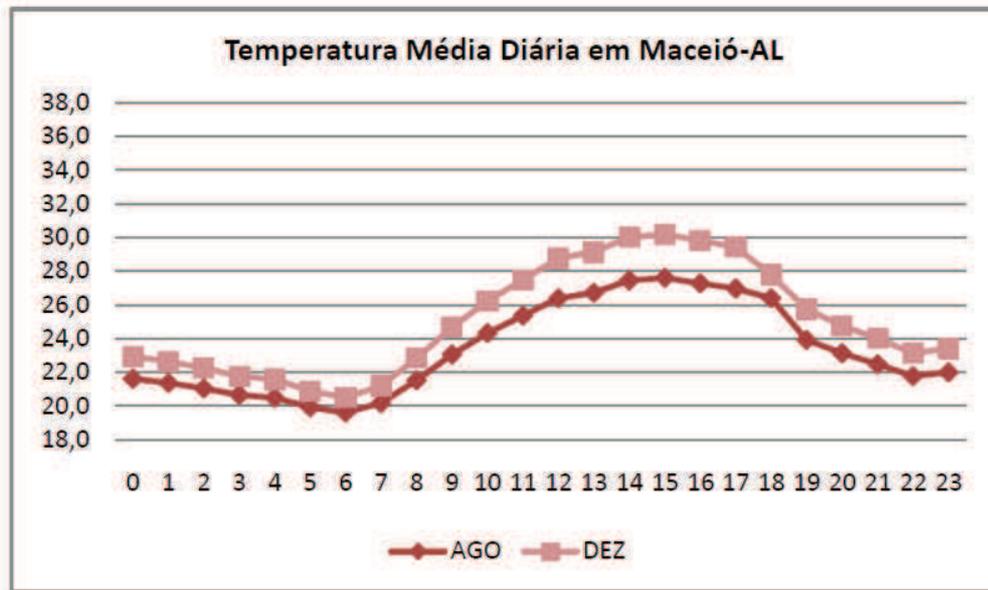


Figura 2.3 – Temperatura Média Diária em Maceió nos meses de Agosto e Dezembro
Fonte: PASSOS; BARBIRATO, 2009

Ademais, em relação a valores percentuais e de acordo com a Carta Bioclimática, Lamberts, Dutra e Pereira (1997) definem para Maceió conforto em 7,8% das horas do ano; e desconforto térmico em 82,1% das horas do ano, sendo, esse último, subdividido 76,1% de calor (meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro) e apenas 6% de frio (meses de junho, julho e agosto).

Desta forma, para proporcionar conforto térmico em Maceió, Goulart, Lamberts e Firmino (1998) recomendam ventilação natural em 75% das horas do ano, resfriamento evaporativo em 14,3%, massa térmica para resfriamento em 14,9%, ar condicionado em 0,4%, massa térmica para aquecimento (aquecimento solar) em 5,4% e aquecimento artificial em 0,5% (figura 2.4). Essas recomendações podem parecer impróprias para o clima da cidade, mas é justificável pelo fato que os dados foram coletados no Aeroporto, em uma altura de 155m e são referentes ao período de 1961 a 1970, com a ausência dos atuais efeitos provocados pela urbanização e desmatamento. Além disso, o programa de computador utilizado para elaboração da Carta Bioclimática, *Analysis Bio*, é relativamente inconsistente em relação à consideração e medição da umidade do ar (TOLEDO, 2006).

Quanto à umidade relativa do ar, Maceió apresenta maiores valores entre os meses de maio a agosto e valores mais baixos entre novembro e março, alcançando maior valor médio em julho (83,1%) e o menor em novembro (72,7%) (PASSOS, 2009).

De acordo com as características do clima quente e úmido, as estratégias de projeto definem-se, principalmente em aumentar o grau do movimento do ar, mais especificamente através da ventilação cruzada, resolvendo cerca de 75% das horas do ano. O sombreamento também é uma ótima estratégia para o clima, uma vez que este é recomendado para temperaturas acima de 20 °C (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997). O quadro 2.1 apresenta os principais elementos a serem controlados no clima.

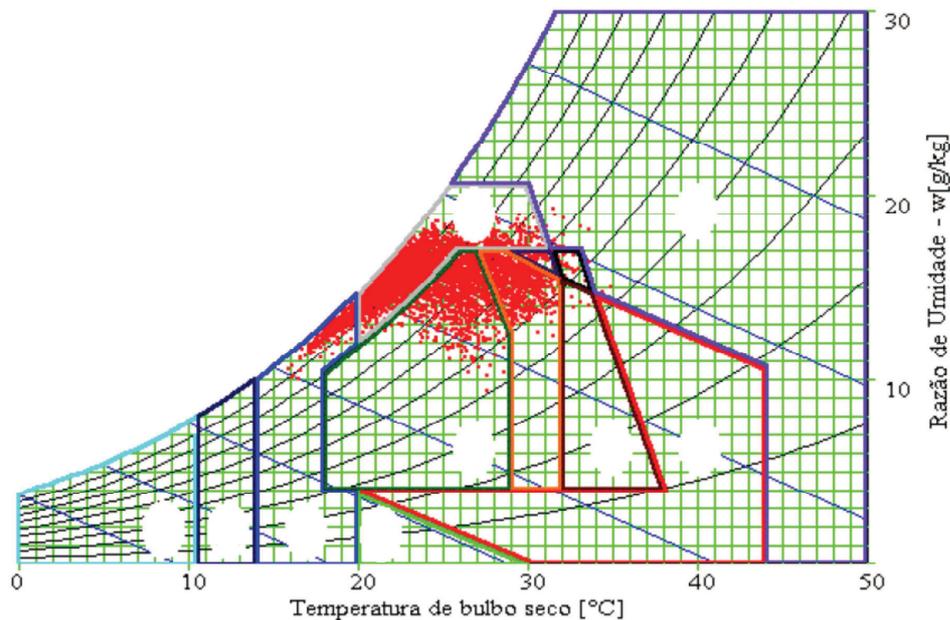


Figura 2.4 – Carta Bioclimática gerada no programa de computador *Analysis Bio*
 Fonte: GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998

ELEMENTOS A CONTROLAR	ESTAÇÕES QUENTES E ÚMIDAS
Temperatura	Reduzir a produção de calor e procurar a perda de calor
Ventos	Incrementar o movimento do ar
Umidade	Evitar a absorção de umidade e diminuir a pressão de vapor. Promover a evaporação
Radiação	Reduzir a absorção da radiação
Chuvas	Máxima proteção nos espaços

Quadro 2.1 – Elementos do Clima a serem Controlados
 Fonte: Adaptado de ROMERO, 1988

As direções predominantes do vento na cidade de Maceió são as seguintes: primeiro a Sudeste e, em seguida a Leste, durante todo o ano; a Nordeste no verão e a Sul no inverno. O regime dos ventos é regular e as velocidades ocorrem dentro dos limites desejáveis para seu

aproveitamento, com valores médios em torno de 2,8 m/s, podendo chegar a 10 m/s no verão (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998). Contudo, as velocidades médias dos ventos noturnos (SO, O e N) são sensivelmente menores que as dos ventos diurnos (SE, L, NE e S) (figuras de 2.5 a 2.7).

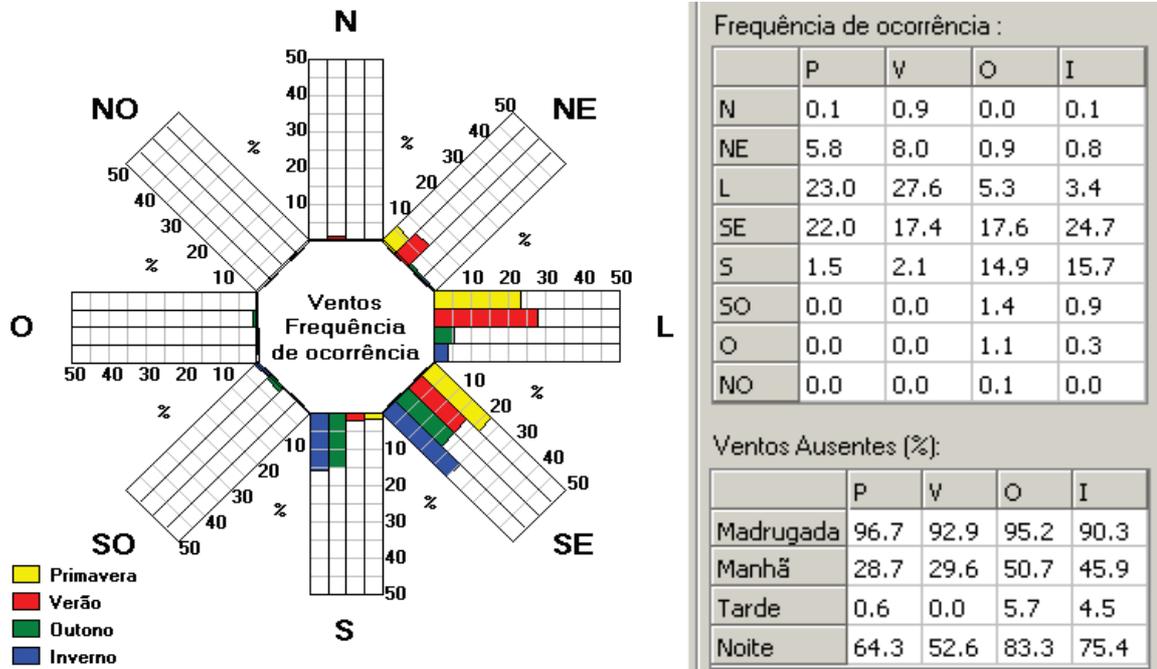


Figura 2.5 – Frequência de Ocorrência e Direção do Vento
 Fonte: SOL - AR, 2005

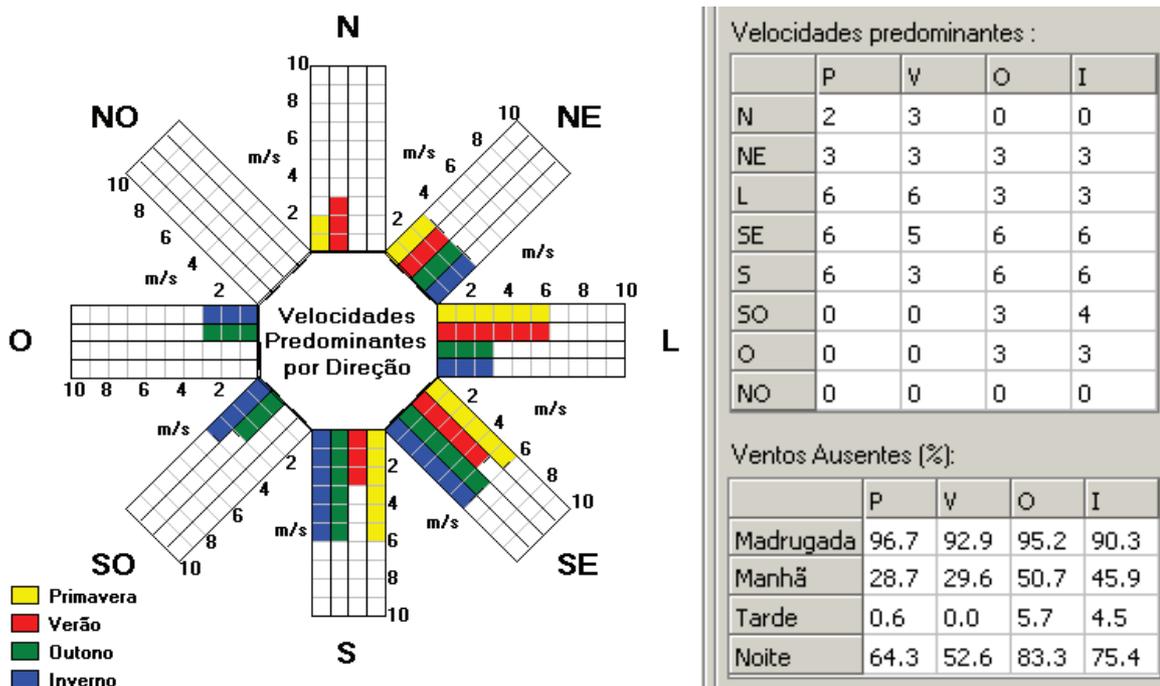


Figura 2.6 – Velocidade e Direção do Vento
 Fonte: SOL - AR, 2005

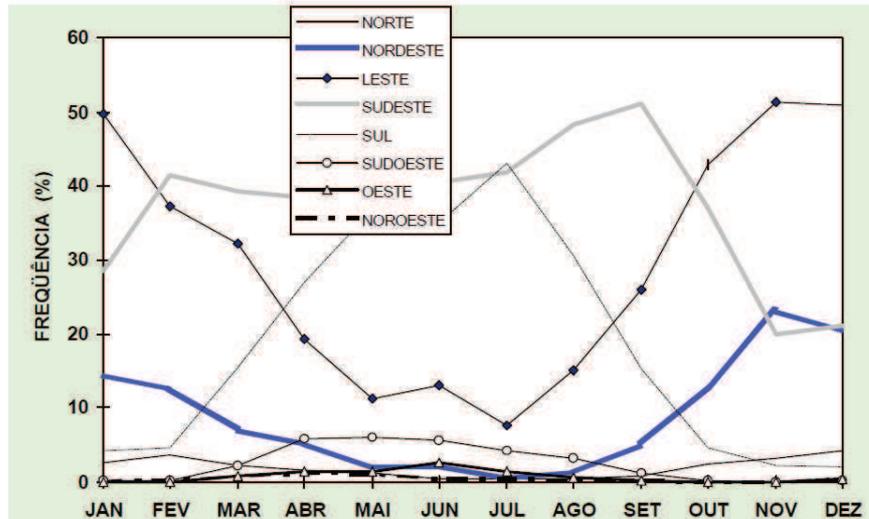


Figura 2.7 – Frequência Mensal de Direção do Vento em Maceió/AL
 Fonte: GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998

Em relação à desejabilidade de incidência da radiação solar nas edificações localizadas em Maceió e considerando a metodologia proposta por Aroztegui (apud Souza e Pereira, 1995) por meio das temperaturas médias ao longo do dia e neutras (conforto) ao longo do ano, a cidade apresenta maiores períodos de indesejabilidade da radiação solar em relação aos períodos de desejabilidade.

Entre os períodos de temperaturas mais elevadas (verão e equinócios) e de temperaturas mais baixas (inverno), Maceió apresenta desejabilidade da insolação (valores positivos) apenas no início da manhã, alcançando às 9h no inverno (junho) e às 8h no verão (dezembro); e indesejabilidade da radiação solar (valores negativos) nos demais períodos, durante todo o ano; no equinócio (março) há indesejabilidade da radiação solar a partir das 8h da manhã (figura 2.8). Considerando o calor acumulado durante as primeiras horas dos dias de inverno e de verão e o tempo de resfriamento da edificação, a insolação nos edifícios às 8h (e às 9h, no inverno) apresenta-se imprópria para Maceió, uma vez que o aumento da temperatura na cidade, segundo Passos (2009), inicia-se às 7h perdurando até às 15h, quando alcança as maiores temperaturas.

Ademais, os resultados positivos (desejabilidade) alcançados possuem valores consideravelmente menores do que os valores negativos mais altos; além disso, alguns casos de desejabilidade (9h no inverno, 8h no verão e 7h no equinócio), obtiveram valores próximos à neutralidade (zero). Da mesma forma, os períodos de indesejabilidade (negativos) não apresentam valores muito altos, uma vez que Maceió possui pequena amplitude térmica diária e ao longo do ano.

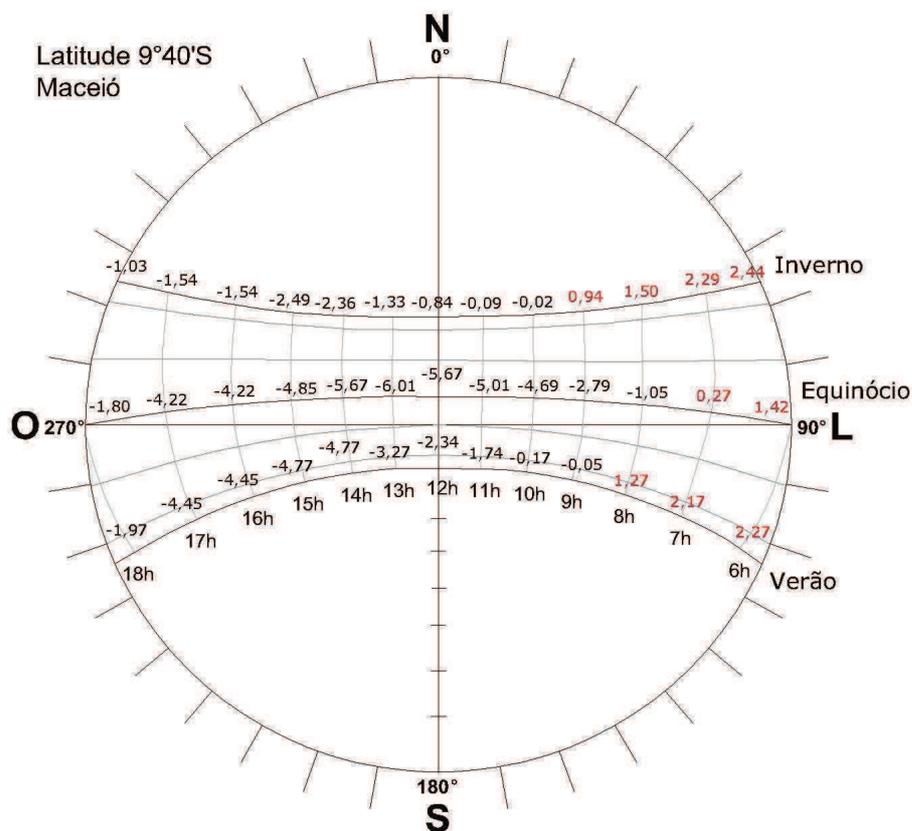


Figura 2.8 – Carta Solar de Maceió com valores de desejabilidade (valores positivos) e indesejabilidade (valores negativos) da insolação

Percebe-se, portanto, que o sombreamento consiste na estratégia de conforto térmico para quase todo o período de insolação na região, bem como a ventilação natural que proporciona resfriamento e renovação do ar dentro das edificações, além de minimizar o calor das superfícies por meio da convecção. Por possuir temperaturas do ar amenas durante quase todo o dia e pouca amplitude térmica ao longo do ano, o sombreamento passa a ser a principal estratégia para minimizar ganhos térmicos no clima quente e úmido por meio da radiação solar. Entretanto, a radiação solar é importante elemento para redução da alta umidade do ar.

2.5 PESQUISA DE CAMPO E EXPERIMENTAL

A pesquisa de campo consistiu em visitas e levantamentos arquitetônicos das casas selecionadas com a utilização de trenas manual e eletrônica, além de entrevistas/conversas, de caráter informal e desestruturadas, com os arquitetos dos projetos. Para tais levantamentos houve auxílio de arquivos e documentos de plantas baixas adquiridas com o Programa de Educação Tutorial (PET) em Arquitetura da UFAL e de arquivos pessoais dos arquitetos para suprimento e conferência de medidas.

O levantamento fotográfico realizou-se por meio de máquina digital, de forma que as imagens coletadas destacassem as características das residências, bem como pudessem apresentar uma melhor compreensão das estratégias bioclimáticas existentes.

A pesquisa experimental consistiu em ensaios por meio de maquetes em escala reduzida para a ventilação natural; e por meio de maquetes eletrônicas para o sombreamento. Além disso, realizou-se uma avaliação bioclimática das casas, por meio de descrição técnica para identificação dos princípios e estratégias de projeto utilizadas.

2.5.1 Análise Bioclimática

Elaborou-se a análise bioclimática por meio de descrição das características projetuais de cada casa, tendo como base o levantamento arquitetônico, as visitas às casas e conversas com os arquitetos/moradores. Descreveram-se estratégias existentes que favorecem a captação da ventilação natural e a promoção do sombreamento, os princípios da Cartilha adotados para elaboração do projeto arquitetônico das edificações, bem como os pontos negativos verificados.

Adotaram-se as seguintes intensidades para caracterização dos princípios da Cartilha verificados nas casas: Forte (quando aparecem em grande parcela da edificação); Moderada (quando verificados em algumas partes da edificação); Fraca (quando observadas em pequenas parcelas da edificação); e Inexistente (quando não verificados na edificação).

2.5.2 Avaliação da Ventilação Natural

A pesquisa experimental da ventilação natural consistiu em ensaios na mesa d'água e, posteriormente, avaliação dos resultados por meio dos procedimentos explicados a seguir.

2.5.2.1 O Equipamento Mesa d'Água e os Ensaios de Visualização

O equipamento utilizado para visualização do escoamento dos ventos na casa foi a mesa d'água do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LabConf) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), a qual permite a visualização da distribuição do fluxo do ar no interior dos ambientes (figura 2.9).



Figura 2.9 – Mesa d'Água no LabConf da UFAL

Inseriram-se as maquetes das edificações individualmente sobre uma mesa e realizaram-se ensaios com funcionamento em ciclo fechado. O escoamento do vento é simulado por meio de água com espuma, a qual escoou, em velocidade uniforme, do reservatório montante (de onde a água provém) para o reservatório jusante (para onde a água escoou) (TOLEDO, 2006).

Confeccionaram-se maquetes vazadas na escala 1/50, em secções horizontais, para os pavimentos térreo e mezanino separadamente; e em secções verticais, para observação do escoamento do ar nos ambientes dos edifícios com mais de um pavimento.

Construíram-se paredes e divisões com alturas de 3cm, equivalentes a 1,50 m na escala 1/50. Para a secção horizontal, representaram-se todas as aberturas (portas, janelas, guarda-corpos, passagens e elementos vazados) abertas até à base da maquete, para permitir a passagem do escoamento por essas aberturas.

Adotou-se os sentidos Leste, Sul, Sudeste e Nordeste por serem as direcções do vento anuais mais frequentes em Maceió, para verificação do percurso do escoamento nos ambientes internos da casa e para identificação das aberturas de entrada e de saída.

Dispõe-se a maquete com as respectivas faces paralelas (0°) ao reservatório montante para experimentos dos ventos Leste e Sul, quando a orientação da edificação é ortogonal ao Norte; e para os ventos Sudeste e Nordeste, quando a orientação é oblíqua ao Norte. A disposição da maquete ocorreu obliquamente (45°) para experimentos dos ventos Sudeste e Nordeste, quando a orientação da edificação é ortogonal ao Norte; e para os ventos Leste e Sul, quando a orientação é oblíqua ao Norte.

Outras incidências do vento podem alcançar as edificações avaliadas – como os baixos ventos noturnos da região (Noroeste e Oeste); porém não se avaliou estas incidências, uma vez que não são dominantes da região e escoam nos ambientes apenas durante o período da noite. Desta forma, a avaliação é de caráter diurno, levando-se em consideração as incidências dominantes do vento.

Para registro fotográfico e de filmagem dos ensaios, utilizou-se uma câmera digital CASIO *Exilim*, posicionada acima da mesa. As imagens fotográficas, auxiliadas pelos filmes dos ensaios, converteram-se em desenhos de escoamento para melhor apresentação no trabalho, com o auxílio das ferramentas *CAD* e *Corel Draw*, utilizando diferentes cores para cada direção do vento. A direção do escoamento na cor azul representa o vento Leste; a cor vermelha, o vento Sudeste; a cor roxa, o vento Nordeste; e a cor verde, o vento Sul. As maquetes pintadas na cor verde representam o pavimento térreo; e as de cor azul, os pavimentos mezaninos.

Com o objetivo de simplificar a análise conjunta dos dados, consideram-se os edifícios isolados, sem barreiras externas e com as aberturas totalmente desimpedidas. Dessa forma, não se considerou o entorno natural e construído da edificação para avaliação do percurso do escoamento dos ventos nos ambientes internos da casa e para identificação das aberturas de entrada e de saída, os quais podem alterar a direção e a velocidade dos ventos, nem o tipo de esquadria, que podem reduzir as áreas de aberturas. Essa simplificação deve-se ao fato de que a consideração destes dois fatores necessitaria de uma modelagem tridimensional, a qual é uma limitação do equipamento mesa d'água.

2.5.2.2 Critérios Utilizados para Avaliação

A avaliação da ventilação natural baseou-se no Sistema Dinâmico do Método de Análise Simplificado e Qualitativo de Ventilação Natural pela Ação do Vento (MASQ-VENTO) desenvolvido por Toledo (2006), considerando apenas o escoamento do ar bidimensional e sem medir valores de velocidades de ar e vazões.

Desenvolveram-se, também, diferentes critérios de avaliação para efeito desta dissertação, baseados em conceitos dos autores citados no referencial teórico, para melhor adequação da avaliação aos objetos de estudo, uma vez que o MASQ-VENTO é direcionado a edifícios de apartamentos, nos quais algumas unidades recebem ventilação provinda de outra

unidade. Nas casas avaliadas, as direções do vento penetram na edificação em primeiro nível⁶ podendo haver apenas ambientes ventilados a sotavento. Além disso, as casas avaliadas possuem mezanino, um diferencial em relação aos edifícios de apartamentos avaliados por Toledo (2006), necessitando de adaptação para avaliação da ventilação natural entre os dois pavimentos, em um sentido de cima para baixo.

Descartou-se a Metodologia de Avaliação Multicritério (MAM-VN) elaborada por Toledo (2006), uma vez que compreende uma avaliação mais complexa utilizando três níveis de avaliação⁷, e, por isso, tornando-se mais extensa para o desenvolvimento deste trabalho, o qual avaliará, também, o desempenho do sombreamento. Contudo, utilizou-se essa metodologia apenas para balizamento dos critérios propostos.

Para avaliação da ventilação natural, adotaram-se quatro dados: **Dado 1** – Percorso do escoamento; **Dado 2** – Abrangência do escoamento; **Dado 3** – Qualidade do Escoamento nos Ambientes; **Dado 4** – Velocidade aparente do ar. Em todos os dados avaliados ponderaram-se valores de Desempenho e de peso (tabelas 2.1 e 2.2).

Tabela 2.1 – Desempenhos dos Dados

Níveis	Característica	Níveis	Característica
1	Péssimo	6	Moderado
2	Insatisfatório	7	Agradável
3	Muito Baixo	8	Bom
4	Baixo	9	Muito Bom
5	Razoável	10	Ótimo

Tabela 2.2 – Pesos dos Dados

Níveis	Característica
1	Pouco Relevante
2	Relevante
3	Importante
4	Muito Importante

Os níveis apresentados no Desempenho dos Dados representam as características do comportamento do escoamento verificados nos ensaios realizados no equipamento mesa d'água. Os níveis apresentados no Peso dos Dados determinam a importância de cada Dado (de 1 a 4) avaliado para o desempenho positivo da ventilação natural.

⁶ Quando o vento que adentra a edificação não provém completamente de outra edificação.

⁷ Primeiro nível: padrão de escoamento do ar recomendado para o uso residencial, subdividido em abrangência do escoamento, níveis de percurso, localização de banheiros e localização de cozinhas. Segundo nível: potencial sazonal dos ventos composto pelos ventos de maior frequência e pela soma residual dos demais. Terceiro nível: deseabilidade de ventilação natural, subdividida em quatro categorias correspondendo às quatro estações do ano (TOLEDO, 2006).

Para classificação dos pesos de cada dado, determinou-se uma ordem de importância baseada no referencial teórico (tabela 2.3). O **dado 1** (Percurso do Escoamento) classificou-se com peso 2 (relevante) por interferir mais na qualidade do ar do que na promoção do conforto térmico; o **dado 2** (Abrangência do Escoamento) classificou-se com peso 4 (muito importante) por a ventilação natural ser uma das principais estratégias para promover conforto térmico dentro das edificações localizadas em regiões de clima quente e úmido; o **dado 3** (Qualidade do Escoamento nos Ambientes) classificou-se com peso 3 (importante) por a renovação do ar ser de suma importância para manter a qualidade do ar interno; e o **dado 4** (Velocidade Aparente do Ar) classificou-se com peso 1 (pouco relevante) porque a pesquisa elaborada é de caráter qualitativo, focando mais no alcance do escoamento do que nos valores de velocidade do ar, uma vez que altas velocidades podem ser incômodas dependendo da atividade que se exerça dentro do ambiente.

Tabela 2.3 – Pesos dos Dados de Avaliação

Dado	Peso
1 – Percurso do Escoamento	2
2 – Abrangência do Escoamento	4
3 – Qualidade do Escoamento	3
4 – Velocidade Aparente do ar	1

Para avaliação do desempenho de cada casa, para cada orientação do vento (DV), utilizou-se a equação 2.1, ponderada pelos respectivos pesos e dividido pela soma dos mesmos.

$$DV = \frac{(D_{d1} \times 2) + (D_{d2} \times 4) + (D_{d3} \times 3) + (D_{d4} \times 1)}{10}$$

sendo: [Eq. 2.1]

DV: Desempenho de cada orientação do Vento;

D_{d1}: pontuação do Desempenho do Dado 1;

D_{d2}: pontuação do Desempenho do Dado 2;

D_{d3}: pontuação do Desempenho do Dado 3;

D_{d4}: pontuação do Desempenho do Dado 4;

O divisor 10 é a soma de todos os pesos.

Para avaliar o Desempenho Final da Ventilação Natural (DF-VN) para cada casa, aplicaram-se pesos para cada incidência do vento (tabela 2.4). A direção Sudeste recebeu peso 4 (muito importante) por ser a direção de maior frequência de ocorrência durante todo o ano na cidade de Maceió; a direção Leste recebeu peso 3 (importante) por ser a segunda direção predominante durante todo o ano; a direção Nordeste recebeu peso 2 (relevante) por ser mais freqüente apenas no verão (período de temperaturas mais elevadas); e a direção Sul recebeu

peso 1 (pouco relevante) por ser mais freqüente apenas no inverno (período de temperaturas mais amenas).

Tabela 2.4 – Pesos das Direções dos Ventos

Direção do Vento	Peso	Direção do Vento	Peso
Sudeste	4	Nordeste	2
Leste	3	Sul	1

Para avaliação final, utilizou-se a equação 2.2, aplicando as direções do vento ponderadas pelos respectivos pesos e dividido pela soma dos mesmos (figura 2.10). Para caracterização e classificação de cada casa em relação ao desempenho final da ventilação natural, verificou-se o resultado na tabela 2.12.

$$DF-VN = \frac{(SE_v \times 4) + (L_v \times 3) + (NE_v \times 2) + (S_v \times 1)}{10} \text{ sendo:} \quad [Eq. 2.2]$$

DF-VN: Desempenho Final da Ventilação Natural de cada casa;

NE_v: pontuação do vento Nordeste na equação 2.1;

SE_v: pontuação do vento Sudeste na equação 2.1;

S_v: pontuação do vento Sul na equação 2.1;

L_v: pontuação do vento Leste na equação 2.1;

O divisor 10 é a soma de todos os pesos.

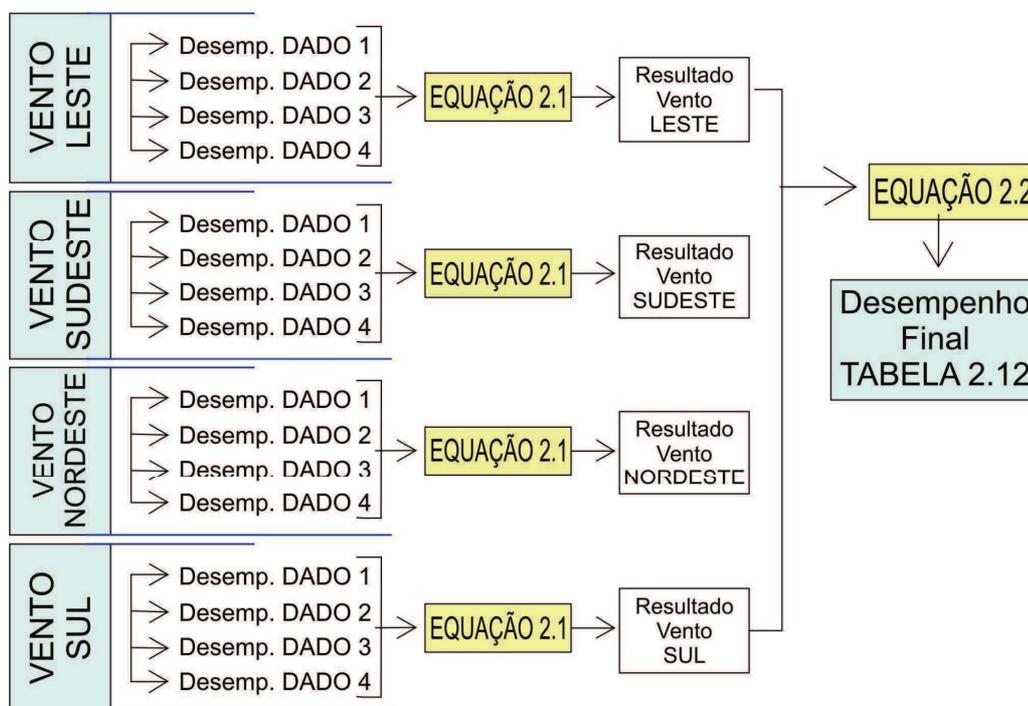


Figura 2.10 – Diagrama Esquemático da Avaliação Geral da Ventilação Natural para cada Casa

Inseriu-se a síntese dos resultados em um quadro para constatação do resultado final de cada casa em relação ao desempenho da ventilação natural (quadro 2.2).

DESEMPENHO FINAL DAS AVALIAÇÕES:		
Negativos: 0,1 a 1 Péssimo / 1,1 a 2 Insatisfatório / 2,1 a 3 Muito Baixo / 3,1 a 4 Baixo		
Neutros: 4,1 a 5 Razoável / 5,1 a 6 Moderado		
Positivos: 6,1 a 7 Adequado / 7,1 a 8 Bom / 8,1 a 9 Muito Bom / 9,1 a 10 Ideal		
VENTO	PESO / APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO	DESEMPENHO
1. Vento Sudeste	4	Resultado Vento Sudeste
2. Vento Leste	3	Resultado Vento Leste
3. Vento Nordeste	2	Resultado Vento Nordeste
4. Vento Sul	1	Resultado Vento Sul
Toda a Casa	$DFVN = (SEv \times 4) + (Lv \times 3) + (NEv \times 2) + (Sv \times 1) / 10$	Resultado Final

Quadro 2.2 – Síntese do Desempenho Final da Ventilação Natural

2.5.2.3 Dado 1: Percurso do Escoamento

Para avaliação desse Dado, elaborou-se um diagrama e descrição do escoamento do ar no interior das casas; e verificou-se a passagem do ar (desde a entrada até a saída) dentro das edificações baseado em conceitos.

Adaptou-se o Diagrama de Níveis de Percurso (NP) de Toledo (2006), para facilitar o registro e a análise do escoamento no interior das casas que possuem mezanino. O Diagrama de Níveis de Percurso (NP) representa graficamente a posição relativa em planta baixa, dos ambientes por onde o escoamento entra, passa e sai. Os ambientes são representados pela letra A (A1, A2 ... An); as aberturas de entrada do vento pela letra E (E1, E2 ... En); as aberturas de saída do ar pela letra S (S1, S2 ... Sn); e os níveis de percurso pela letra N (N1, N2 ... Nn). Todos os ambientes que servem de entrada situam-se no primeiro nível (N1) e os que servem de saída podem situar-se em qualquer um dos níveis (figura 2.11).

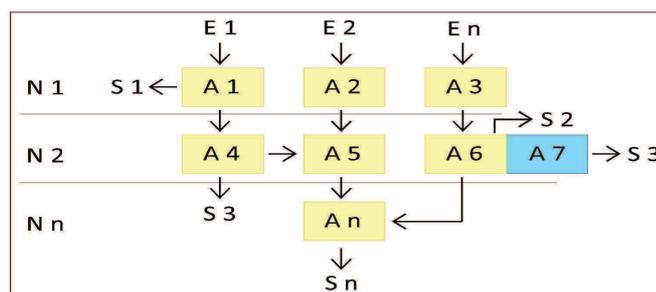


Figura 2.11 – Diagrama de Níveis de Percurso (NP)

A cor amarela representa os ambientes localizados no pavimento térreo e a cor azul os ambientes localizados no pavimento superior. Elaborou-se um diagrama para cada incidência do vento, para cada casa avaliada.

Em relação à melhor localização dos ambientes dos setores íntimos, sociais e de serviços, desenvolveu-se a avaliação da passagem do ar no interior das casas, baseada em

conceitos de autores coletados no referencial teórico para regiões de clima quente e úmido. Utilizam-se os mesmos níveis de desempenhos e pesos apresentados anteriormente. Para complemento da avaliação do Dado 1, elaborou-se os critérios da tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Avaliação do Percurso do Escoamento

PADRÃO ANALISADO: Quartos e salas devem situar-se nas zonas a barlavento e a cozinha, banheiros e área de serviço nas zonas de sotavento evitando escoamento proveniente das áreas de serviços para as áreas sociais e íntimas (GIVONI, 1998; TOLEDO, 1999).			
COMPORTAMENTO VERIFICADO	DESEMPENHO	PESO	
Não há escoamento do ar por nenhum ambiente.	0	2	
Entrada por apenas um ou dois ambientes e saídas pelos mesmos ambientes.	1		
Entrada apenas por ambientes de serviços e saída apenas por ambientes íntimos e/ou sociais.	2		
Entrada do vento apenas por ambientes de serviços e saída por poucos ambientes, podendo ser de setores diferentes.	3		
Entrada apenas por ambientes de serviços e saída por vários ambientes, podendo ser de setores diferentes, alcançando até 25% dos ambientes.	4		
Entrada por ambientes íntimos, sociais e serviços e saída por outros ambientes, podendo ser de setores diferentes, alcançando até 25% dos ambientes.	5		
Entrada por ambientes íntimos, sociais e serviços e saídas apenas por ambientes de serviços, alcançando até 50% dos ambientes.	6		
Entrada por ambientes íntimos, sociais e/ou de serviços e saídas por ambientes de setores diferentes; e ambientes ou setores com escoamento independentes alcançando até de 50% dos ambientes.	7		
Entrada por ambientes íntimos e/ou sociais e saída por outros ambientes, podendo ser de setores diferentes; e ambientes com escoamentos independentes; pelo menos em 75% dos ambientes.	8		
Entrada por ambientes íntimos e/ou sociais e saídas apenas por ambientes íntimos e/ou sociais e os ambientes de serviços desenvolvem escoamento independentes alcançando, pelo menos, 75% dos ambientes.	9		
Entradas independentes em todos os ambientes (100%) e saídas independentes, mas havendo circulação de ar interna entre os ambientes.	10		

2.5.2.4 Dado 2: Abrangência do Escoamento

Para a verificação da abrangência do escoamento do ar no interior das edificações utilizou-se a escala da tabela 2.6 (adaptado de Toledo, 2006).

Tabela 2.6 – Avaliação da Abrangência do Escoamento

CLASSIFICAÇÃO	COMPORTAMENTO VERIFICADO	DESEMPENHO	PESO
Inexistente	Não há escoamento do ar	0	4
Muito Restrita	Até 10% da área do piso	1	
	Mais de 10% à 20% da área do piso	2	
Restrita	Mais de 20% à 30% da área do piso	3	
	Mais de 30% à 40% da área do piso	4	
Média	Mais de 40% à 50% da área do piso	5	
	Mais de 50% à 60% da área do piso	6	
Ampla	Mais de 60% à 70% da área do piso	7	
	Mais de 70% à 80% da área do piso	8	
Muito Ampla	Mais de 80% à 90% da área do piso	9	
	Mais de 90% à 100% da área do piso	10	

Coletou-se esse Dado para cada ambiente da casa, nas quatro incidências do vento consideradas. Após ensaios na mesa d'água e registradas fotografias e filmes, elaborou-se imagens do escoamento nos programas *Auto Cad 2D* e *Corel Draw*, para mensurar a abrangência do ar. Para mensurar a abrangência do escoamento em toda a casa elaborou-se o somatório das áreas de abrangência do escoamento em relação à área total da casa.

2.5.2.5 Dado 3: *Qualidade do Escoamento do ar nos Ambientes*

Sendo a ventilação natural uma das estratégias bioclimáticas mais importantes para gerar renovação do ar e para promover o conforto térmico em regiões de clima quente e úmido, desenvolveu-se o terceiro Dado que avalia a quantidade de ambientes qualitativamente ventilados, conforme tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Avaliação da Quantidade de Ambientes com boa Qualidade do ar

PADRÃO ANALISADO: De acordo com as características do clima quente e úmido, as estratégias de projeto definem-se, principalmente em aumentar o grau do movimento do ar, resolvendo cerca de 75% das horas do ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

CLASSIFICAÇÃO (Ambientes Qualificados)	COMPORTAMENTO VERIFICADO (com boa qualidade do ar)	DESEMP.	PESO
Nenhum	0% dos ambientes com boa qualidade do ar	0	3
Quase Nenhum	Até 10% dos ambientes	1	
	Mais de 10% a 20% dos ambientes	2	
Poucos	Mais de 20% a 30% dos ambientes	3	
	Mais de 30% a 40% dos ambientes	4	
Alguns	Mais de 40% a 50% dos ambientes	5	
	Mais de 50% a 60% dos ambientes	6	
Muitos	Mais de 60% a 70% dos ambientes	7	
	Mais de 70% a 80% dos ambientes	8	
Quase Todos	Mais de 80% a 90% dos ambientes	9	
	Mais de 90% a 100% dos ambientes	10	

Coletou-se esse dado para cada casa nas quatro incidências do vento e levaram-se em conta os seguintes critérios para apuração dos ambientes com boa qualidade do ar:

- Os ambientes apresentem o mínimo de 10% de abrangência do ar;
- Ambientes de setores íntimos e sociais e ambientes de longa permanência apenas consideraram-se com boa qualidade do ar se classificados no nível 1 do percurso do escoamento;
- Consideraram-se as cozinhas com boa qualidade do ar se classificadas até o nível 2 pois, sendo do setor de serviço, é um ambiente de longa permanência;

- d) Qualificaram-se os ambientes do setor de serviços, banheiros e ambientes de rápida permanência se classificados até o nível 3 do percurso do escoamento, pois necessitam de ventilação para retirar umidade e eliminar possíveis odores.

2.5.2.6 Dado 4: Velocidade Aparente do Escoamento

Apesar deste trabalho não mensurar velocidades e vazões, observou-se as velocidades de incidência do escoamento nos ambientes a partir dos ensaios na mesa d'água e avaliou-se conforme tabela 2.8 (adaptado de Toledo, 2006).

Tabela 2.8 – Avaliação da Velocidade do Escoamento

CLASSIFICAÇÃO	COMPORTAMENTO VERIFICADO (em relação à velocidade externa)	DESEMPENHO	PESO
Inexistente	Não há escoamento, não há velocidade	0	1
Muito Lenta	Redução muito significativa	1 - média de 0,1 a 1	
	Redução significativa	2 - média de 1,1 a 2	
Lenta	Redução	3 - média de 2,1 a 3	
	Pouca Redução	4 - média de 3,1 a 4	
Normal	Semelhante	5 - média de 4,1 a 5	
	Igual	6 - média de 5,1 a 6	
Acelerada	Pouco Aumento	7 - média de 6,1 a 7	
	Aumento	8 - média de 7,1 a 8	
Muito Acelerada	Aumento significativo	9 - média de 8,1 a 9	
	Aumento muito significativo	10 - média de 9,1 a 10	

Avaliou-se este dado para cada ambiente da casa nas quatro incidências do vento consideradas. Classificaram-se as velocidades do ar segundo a observação visual com referência à velocidade do escoamento na face exterior (a barlavento).

Determinou-se a velocidade de toda a casa a partir de uma média aritmética entre os desempenhos de velocidade dos ambientes; o ambiente que não apresentou escoamento do vento, considerou-se a medida 0 (zero) e computado para efeito da média aritmética.

2.5.3 Avaliação da Insolação e Sombreamento

A pesquisa experimental da insolação consistiu em simulações no programa de computador *SketchUp* para verificação das sombras nas fachadas das casas, uma vez que o sombreamento é a estratégia mais importante para minimizar ganhos de calor (por meio da radiação solar) em edificações localizadas em regiões de clima quente e úmido. A avaliação dos resultados obteve como base os critérios determinados a seguir.

2.5.3.1 Carta Solar e Programa de Computador SketchUp

Para verificação do período de sombreamento de cada fachada, de acordo com as épocas do ano, utilizou-se o programa de computador *SketchUp 7.1*, bem como a Carta Solar específica para a latitude de Maceió, servindo como auxílio da avaliação do desempenho do sombreamento.

A Carta Solar é um diagrama (ou gráfico solar) que representa a projeção em um plano do percurso do Sol na abóbada Celeste durante os diferentes períodos do dia e do ano (BITTENCOURT, 2004). Por meio de sua aplicação em plantas baixas, orientada de acordo com o Norte verdadeiro, é possível verificar os períodos ao longo do ano em que cada face da edificação recebe radiação solar. Considera, entretanto, o edifício livre de qualquer obstrução do céu, da edificação e do entorno (FROTA, 2004).

O *SketchUp* é um programa computacional de modelagem tridimensional por superfícies desenvolvido pela empresa *@Last Software*, posteriormente adquirida pelo *Google* (PINHEIRO; CELANI, 2008). É um programa bastante intuitivo e de excelentes funções para criação de modelos tridimensionais, executando as ferramentas de forma mais rápida e exigindo menos etapas para realização das mesmas (figura 2.12). Atualmente é bastante usado para realização de simulações do movimento aparente do Sol, por meio da visualização de sombras.

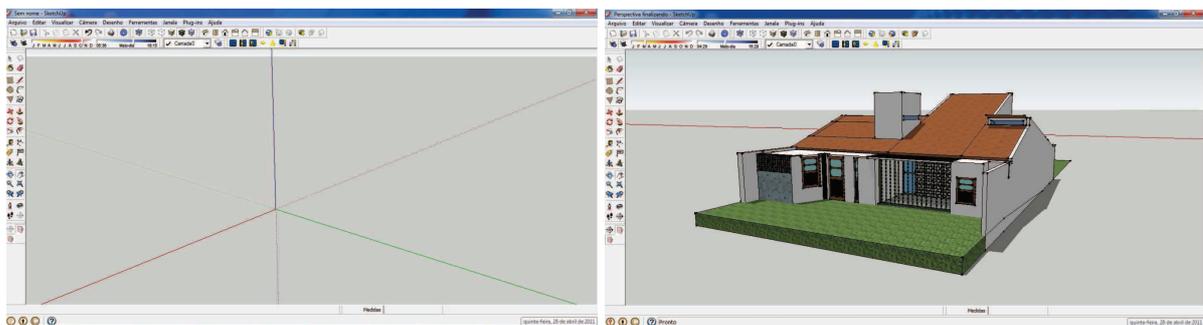


Figura 2.12 – Programa *SketchUp 7.1*

O *SketchUp* ganhou uma posição de destaque dentre os programas de modelagem 3D por oferecer uma interface interativa e rápida e com variados recursos de visualização, como inserir e regular textura, inserir vegetação, gerar animação de percurso e inserir e configurar luz natural. Contudo, o programa não calcula quantitativo de materiais, não suporta renderizações de alta qualidade e não possui recursos para executar cálculos, de forma

fisicamente fundamentada, de temperatura dos fenômenos luminosos naturais (RAMIREZ; SILVA; LIMA, 2009).

No entanto, apresenta uma ferramenta através da qual é possível visualizar o sombreamento que a incidência da radiação solar gera nos volumes esboçados, inserindo dados da região em estudo (latitude e longitude) e indicando o Norte verdadeiro do projeto que está sendo executado. Simula, desta forma, desde o amanhecer até o pôr-do-sol para qualquer latitude da Terra. Em uma interface bastante simples, pode-se modificar facilmente o dia e a hora do ano gerando o sombreamento para qualquer período. Para avaliações qualitativas de sombreamento e insolação em fachadas, o programa *SketchUp* é um programa simples e de fácil execução e acesso (disponibilizado gratuitamente na internet), mas confiável na geração de sombreamento nos volumes pelas informações necessárias inseridas no programa.

Para execução das maquetes eletrônicas das casas, importaram-se os projetos arquitetônicos do programa de computador *AutoCAD 2D* para o programa *SketchUp* através de um *plug-in* existente entre os dois programas. Registraram-se as imagens por meio de uma opção em que converte a cena das maquetes em imagens do tipo *JPEG* para melhor apresentação e avaliação do trabalho. Para cômputo das áreas de cada fachada sombreada, utilizou-se o programa *AutoCAD 2D* através da ferramenta específica e escalonando o desenho para as corretas dimensões. Computou-se a área total da fachada e, separadamente, a área total sombreada; a partir das duas áreas encontradas, gerou-se a porcentagem de área da fachada sombreada (figura 2.13). Não considerou-se a cobertura na apuração das áreas, uma vez que, em baixas latitudes, recebe radiação solar durante praticamente todo o dia.

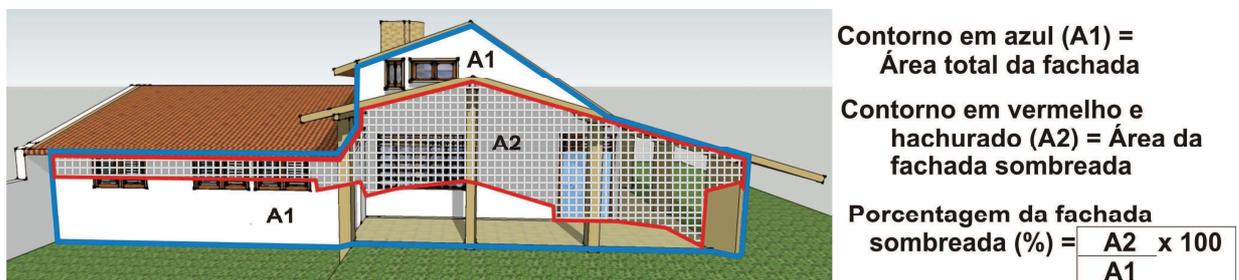


Figura 2.13 – Cômputo da porcentagem da fachada sombreada – exemplo

2.5.3.2 Critérios Utilizados

Sendo o sombreamento a principal estratégia bioclimática para prevenir ganhos de calor através da insolação em regiões de clima quente e úmido, desenvolveram-se critérios

baseados neste conceito para avaliação da insolação e do sombreamento nas fachadas das casas. Avaliou-se apenas um dado referente ao desempenho do sombreamento das fachadas, porém avaliado em três épocas do ano (Solstício de Verão, Solstício de Inverno e Equinócio) e para cinco horários durante o dia (08h, 10h, 12h, 14h e 16h).

Para cada período de sombreamento ponderou-se um valor de desempenho e para cada fachada ponderou-se um valor de peso. Os níveis dos Desempenhos (representados pela qualidade do dado verificado) e dos Pesos (representados pela importância de cada orientação) caracterizaram-se de acordo com as tabelas 2.1 e 2.12 apresentadas na avaliação da ventilação.

Adotaram-se os dias 22 de dezembro para avaliação do Solstício de Verão, o dia 22 de junho para avaliação do Solstício de Inverno e o dia 22 de março (ou 22 de setembro) para avaliação dos Equinócios. A escolha dos solstícios de Verão e de Inverno deu-se por estes serem os dias em que o Sol encontra-se direcionado ao máximo para o Sul e para o Norte, respectivamente, podendo, desta forma, representar a máxima eficiência dos dispositivos de sombreamento nas fachadas Sul e Norte. O equinócio de Primavera ou de Outono selecionou-se em virtude deste representar o dia intermediário médio entre a transição do Solstício de Verão e do Solstício de Inverno. Além disso, o verão e os equinócios apresentam as temperaturas do ar mais elevadas ao longo do ano, enquanto o inverno apresenta as menores temperaturas.

Determinaram-se as horas em função da posição do Sol: posição horizontal durante a manhã (às 8h, quando a temperatura do ar começa a aumentar consideravelmente); posição horizontal durante a tarde (às 16h, próximo ao período do pôr do sol); posição mais vertical (às 12h, horário de maior incidência na cobertura); e posições e horários intermediários na manhã e na tarde (10h e 14h).

2.5.3.3 Dado 1: Sombreamento das fachadas

Para avaliação da exposição das fachadas, utilizou-se a classificação da tabela 2.9. Esse Dado coletou-se para as quatro fachadas de cada casa, nos horários determinados anteriormente para o Solstício de Verão, o Solstício de Inverno e os Equinócios de Outono e Primavera.

Tabela 2.9 – Exposição das Fachadas

CLASSIFICAÇÃO	COMPORTAMENTO VERIFICADO	DESEMP.	PESOS
Inexistente	Nenhuma parcela da fachada é protegida.	0	De acordo com cada horário e cada período do ano avaliados
Totalmente Exposta	Até 10% da fachada é protegida.	1	
Muito Exposta	Mais de 10% a 20% da fachada é protegida.	2	
Exposta	Mais de 20% a 30% da fachada é protegida.	3	
Parcialmente Exposta	Mais de 30% a 40% da fachada é protegida.	4	
Pouco Protegida	Mais de 40% a 50% da fachada é protegida.	5	
Parcialmente Protegida	Mais de 50% a 60% da fachada é protegida.	6	
Mais protegida que Exposta	Mais de 60% a 70% da fachada é protegida.	7	
Protegida	Mais de 70% a 80% da fachada é protegida.	8	
Muito Protegida	Mais de 80% a 90% da fachada é protegida.	9	
Totalmente Protegida	Mais de 90% a 100% da fachada é protegida.	10	

Para cada época do ano e para cada horário do dia aplicou-se um peso de acordo com as características de cada período avaliado. O Solstício de Verão recebeu peso 3 por apresentar todos os meses do período com temperaturas mais elevadas e, por isso necessita de maior proteção solar; o Solstício de Inverno recebeu peso 1 por apresentar as temperaturas mais amenas durante todo o ano; e o Equinócio recebeu peso 2 por ser o intermediário entre os períodos de Verão e de Inverno, mas com temperaturas mais elevadas, principalmente nos meses de março e abril (os dias de maio e junho apresentam temperaturas mais amenas).

O horário de 8 horas recebeu peso 1 por apresentar a menor temperatura dentre os horários de avaliação e por a insolação ser desejada nos períodos do ano com temperaturas mais amenas; 14 horas e 16 horas receberam peso 4 por apresentarem as temperaturas mais elevadas ao longo dos dias do ano; 10 horas e 12 horas receberam pesos 2 e 3, respectivamente, por apresentarem temperaturas mais elevadas, em relação às 8h, e menores, em relação às 14h e 16h (tabela 2.10).

Tabela 2.10 – Pesos dos períodos do ano e dos horários ao longo do dia

Período do Ano	Peso	Horário do Dia	Peso	Horário do Dia	Peso
Solstício de Verão	3	8h	1	14h	4
Equinócios	2	10h	2	16h	4
Solstício de Inverno	1	12h	3		

Para a avaliação e determinação do Desempenho do Sombreamento de cada uma das quatro Fachadas (DS) das casas, em relação à cada horário determinado e à cada época do ano, aplicou-se a equação 2.3, multiplicando o desempenho de cada período avaliado pelos respectivos pesos dos horários do dia e dos períodos do ano; somados os resultados e dividido pela soma de todos os pesos.

$$DS = \frac{[(Eq_8 \times 1) + (Eq_{10} \times 2) + (Eq_{12} \times 3) + (Eq_4 \times 4) + (Eq_{16} \times 4)] \times 2 + [(Si_8 \times 1) + (Si_{10} \times 2) + (Si_{12} \times 3) + (Si_{14} \times 4) + (Si_{16} \times 4)] \times 1 + [(Sv_8 \times 1) + (Sv_{10} \times 2) + (Sv_{12} \times 3) + (Sv_{14} \times 4) + (Sv_{16} \times 4)] \times 3}{84}$$

sendo: [Eq. 2.3]

DS: Desempenho do Sombreamento de cada Fachada;

Sv₈₋₁₆: Desempenho do Solstício de Verão para cada horário determinado (8h, 10h, 12h, 14h e 16h);

Eq₈₋₁₆: Desempenho do Equinócio para cada horário determinado (8h, 10h, 12h, 14h e 16h);

Si₈₋₁₆: Desempenho do Solstício de Verão para cada horário determinado (8h, 10h, 12h, 14h e 16h);

Para avaliação do Desempenho Final da Insolação e do Sombreamento (DF-IS) de cada uma das casas avaliadas, durante todo o ano, determinaram-se pesos para cada fachada da casa, os quais classificaram-se de acordo com a importância de sombrear cada orientação para a baixa latitude de Maceió (9°39''Sul). A fachada Oeste recebe grande incidência solar no período da tarde durante todo o ano e a fachada Sudoeste, nas tardes de verão, período de maior calor, e por isso necessitam de melhor proteção da insolação (peso 4); a fachada Sul recebe maior radiação solar durante o verão e a fachada Noroeste, nas tardes de inverno (peso 3); a fachada Sudeste recebe maior radiação solar nas manhãs de verão e a fachada Norte, durante os dias de inverno (peso 2); e as fachadas Leste e Nordeste recebem radiação solar apenas durante a manhã, período de calor mais ameno e, ademais, nessas orientações há incidência da ventilação natural (peso 1) (tabela 2.11).

Tabela 2.11 – Pesos das Fachadas

Fachada	Peso	Fachada	Peso	Fachada	Peso	Fachada	Peso
Leste	1	Sul	3	Nordeste	1	Noroeste	3
Norte	2	Oeste	4	Sudeste	2	Sudoeste	4

Determina-se a avaliação final da insolação e sombreamento, utilizando a equação 2.4 e caracteriza-se o desempenho, de cada casa, segundo a tabela 2.12 (figura 2.14).

$$DF-IS = \frac{(FC_1 \times Pf_1) + (FC_2 \times Pf_2) + (FC_3 \times Pf_3) + (FC_4 \times Pf_4)}{10}$$

sendo: [Eq. 2.4]

DIS: Desempenho final da Insolação e Sombreamento de cada casa;

FC₃: pontuação da fachada 3 obtida na equação 2.3;

FC₁: pontuação da fachada 1 obtida na equação 2.3;

Pf₃: pontuação do Peso da fachada 3;

Pf₁: pontuação do Peso da fachada 1;

FC₄: pontuação da fachada 4 obtida na equação 2.3;

FC₂: pontuação da fachada 2 obtida na equação 2.3;

Pf₄: pontuação do Peso da fachada 4;

Pf₂: pontuação do Peso da fachada 2;

O divisor 10 é a soma de todos os pesos.

Tabela 2.12 – Valores de Desempenho Final das Avaliações

RESULTADOS NEGATIVOS		RESULTADOS NEUTROS		RESULTADOS POSITIVOS	
Pontuação Média	Avaliação Final	Pontuação Média	Avaliação Final	Pontuação Média	Avaliação Final
0,1 a 1	Péssimo	4,1 a 5	Razoável	6,1 a 7	Adequado
1,1 a 2	Insatisfatório	5,1 a 6	Moderado	7,1 a 8	Bom
2,1 a 3	Muito Baixo			8,1 a 9	Muito Bom
3,1 a 4	Baixo			9,1 a 10	Ideal

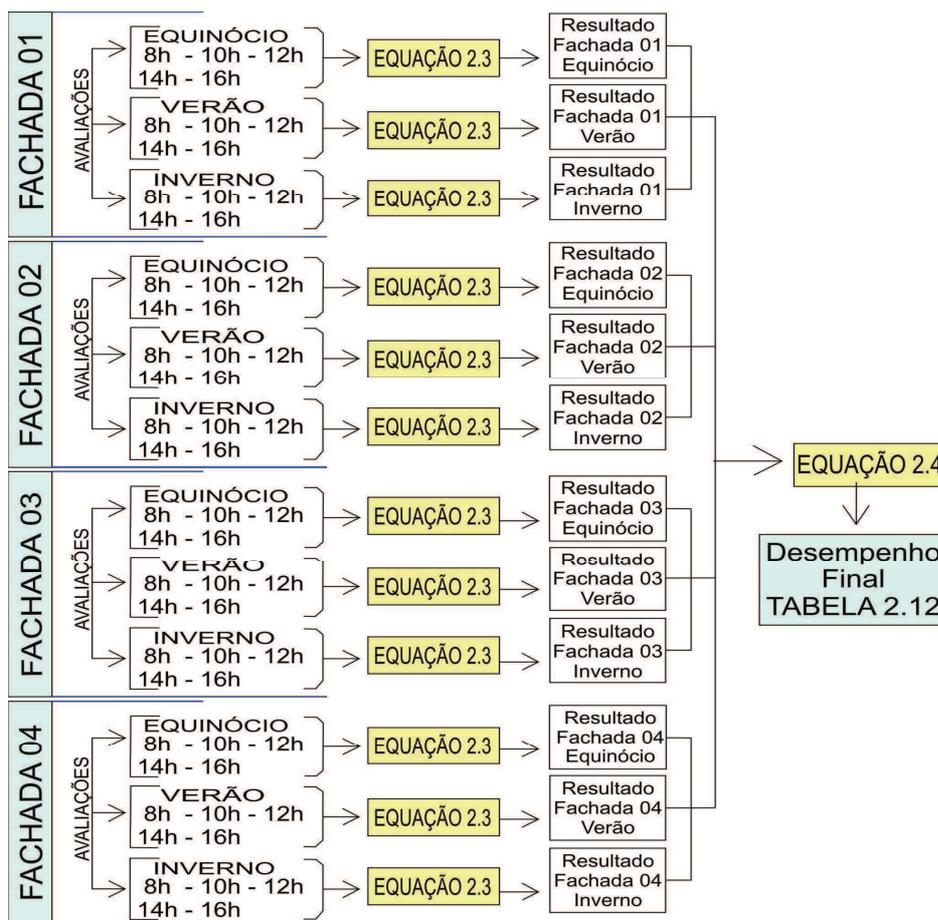


Figura 2.14 – Diagrama Esquemático da Avaliação da Insolação e Sombreamento para cada Casa

Inseriu-se a síntese dos resultados em um quadro para constatação do resultado final de cada casa em relação ao desempenho do sombreamento (quadro 2.3).

FACHADA	PESO / APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO	DESEMPENHO
1. Leste ou Nordeste	4	Resultado Fachada 1
2. Norte ou Sudeste	3	Resultado Fachada 2
3. Sul ou Noroeste	2	Resultado Fachada 3
4. Oeste ou Sudoeste	1	Resultado Fachada 4
Toda a Casa	$DF-IS = (Fc1 \times 4) + (Fc2 \times 3) + (Fc3 \times 2) + (Fc4 \times 1) / 10$	Resultado Final

Quadro 2.3 – Síntese do Desempenho Final do Sombreamento

CAPÍTULO 3: ANÁLISE BIOCLIMÁTICA



Neste capítulo, apresentam-se descrições das estratégias de projeto utilizadas no partido arquitetônico das duas casas, relativo à captação da ventilação natural e à promoção do sombreamento das fachadas. Analisam-se quais os princípios, contidos na Cartilha de Armando de Holanda (1976), adotaram-se nos respectivos projetos arquitetônicos.

3.1 CASA 1

A casa 1, projetada pelos arquitetos e professores da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) Regina Dulce e Leonardo Bittencourt entre 1979 e 1980, compreende uma área de, aproximadamente, 160m². Situa-se no bairro da Garça Torta, em um terreno em aclive que mede 11,70m x 56,70m.

Situado às margens da rodovia AL 101 Norte, o terreno é circundado por casas e terrenos nas laterais e na frente (no lado oposto da rodovia) (figura 3.1). O lote é composto por longos jardins frontais e de fundos, que, por possuir aclive acentuado, a face posterior do terreno limita-se apenas com grandes vegetações (figura 3.2).



Figura 3.1 – Entorno da Casa 1 e fachada, respectivamente



Figura 3.2 – Localização da casa 1 no terreno

O programa inicial da casa contemplou 3 quartos, 1 banheiro social, sala de estar e jantar, varanda de frente, quarto e banheiro de serviço, cozinha, área de serviço, coradouro e um estar íntimo no mezanino (leitura), compreendendo 124m² de área construída. A cobertura utilizou telha canal, em duas águas, com inclinação de cerca de 30% e laje plana impermeabilizada no volume da caixa d'água (figura 3.3).

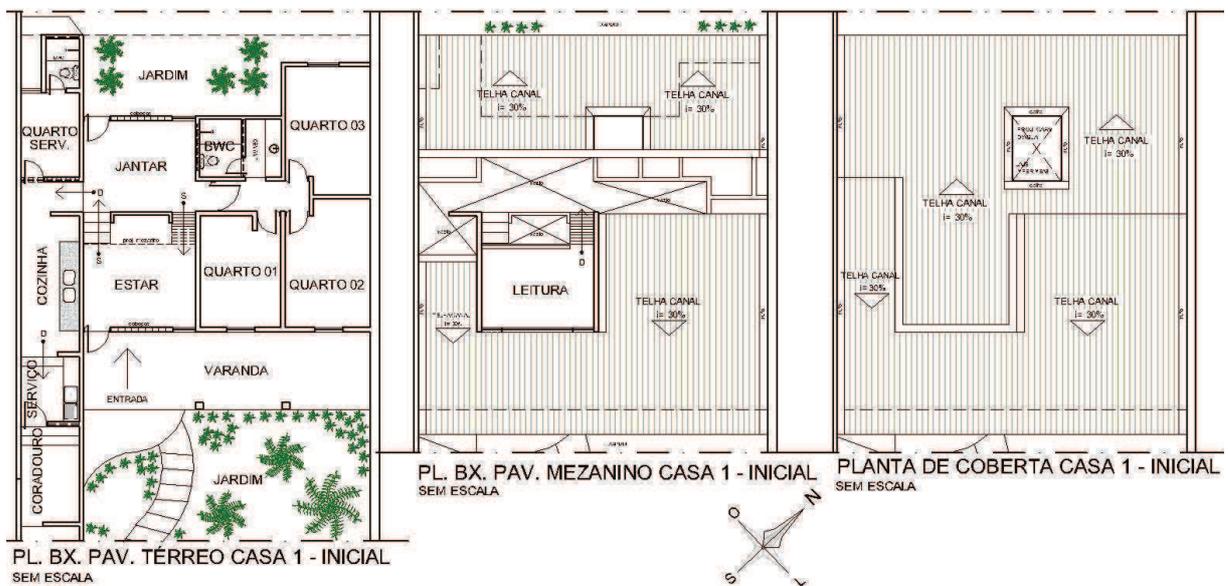


Figura 3.3 – Plantas Baixas Iniciais da Casa 1

Fonte: Cedido pela proprietária

Segundo a proprietária e arquiteta, Regina Dulce Lins¹, o partido arquitetônico baseou-se em construir uma casa utilizando materiais resistentes, porém de baixo custo, que se tornasse uma casa fácil de vender, uma vez que pretendiam morar na edificação por cerca de dois anos, apenas. Contudo, Regina Dulce morou na casa durante 30 anos e 3 meses (de

¹ Entrevista concedida para este trabalho nos dias 04 de setembro de 2010 e 12 de setembro de 2011, a qual seguiu de forma desestruturada e apresentou caráter informal.

junho de 1980 à setembro de 2010)². A escolha por encostar a casa aos muros laterais do lote deu-se por obter maior segurança; contudo, houve preocupação em setorizar os espaços de acordo com as características climáticas do local.

Para atender às necessidades dos moradores ao longo do tempo, a casa passou por uma pequena ampliação e duas reformas. A ampliação ocorreu com a construção de uma câmara escura para laboratório de fotografia (e, por isso, não há janelas) logo no início da morada (figura 3.4).

Na primeira reforma, entre os anos de 1994 e 1995, o quarto 03 foi ampliado e criado uma área para roupeiro (o qual acima deste possui uma espécie de sótão) (figura 3.4).

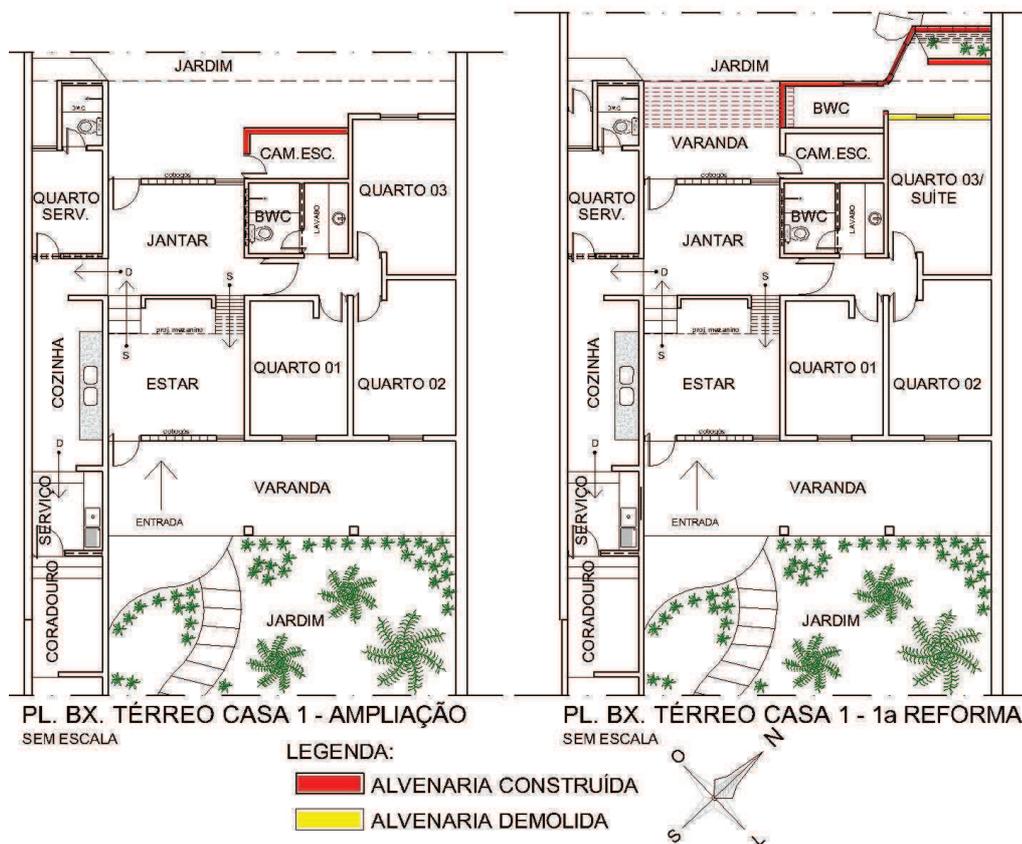


Figura 3.4 – Plantas Baixas: Ampliação e primeira reforma da Casa 1

Construiu-se um banheiro íntimo para o mesmo quarto transformando-o em suíte. A ampliação do quarto e a construção do banheiro íntimo resultaram na criação de uma varanda de fundos, posteriormente fechada com grades por motivo de segurança. Desta forma, em virtude da cobertura existente já alcançar baixa altura na fachada posterior, a solução de

² Dos 30 anos vividos na casa desde a sua construção, Regina Dulce passou 5 anos estudando fora do Brasil. Nesse período, a casa ficou alugada à outra família.

cobertura para a reforma foi laje plana impermeabilizada e uso de pérgulas na varanda de fundos e em pequena parcela do banheiro da suíte. A forma irregular da suíte deu-se em virtude do desvio necessário elaborado em relação à uma escada de acesso aos fundos do terreno e ao muro de arrimo existentes.

Em 2003, a casa passou pela segunda reforma (figura 3.5). Ampliou-se a cozinha, ocupando o espaço da área de serviço, a qual foi transferida para o coradouro criando uma pequena escada entre os ambientes (área descoberta) e ampliando-o. Criou-se uma integração entre a cozinha e a varanda de frente por meio do emprego de uma janela entre os dois ambientes. A área de serviço localizou-se, então, em um espaço separado e de altura mais baixa do que o restante da casa. Relocou-se o banheiro de serviço para a nova área de serviço e ampliou-se o quarto de serviço, o qual transformou-se em depósito. Com o passar dos anos, a câmara escura também se tornou um depósito. O mezanino não sofreu nenhuma reforma.

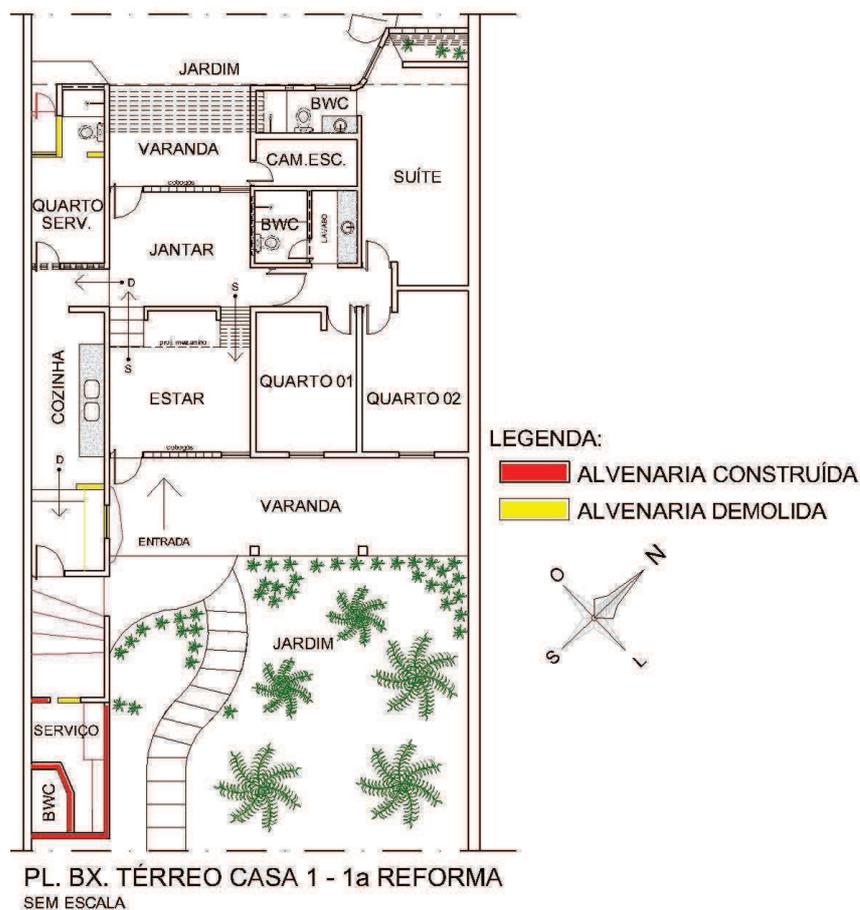


Figura 3.5 – Planta Baixa: segunda reforma da Casa 1

Atualmente, a edificação possui um pavimento térreo compreendido por sala de estar, sala de jantar, cozinha, 2 quartos, 1 suíte, banheiro social, 2 depósitos, varanda de frente

e de fundos e área de serviço em um espaço anexo; e um pavimento mezanino que compreende uma sala de leitura (figura 3.6).

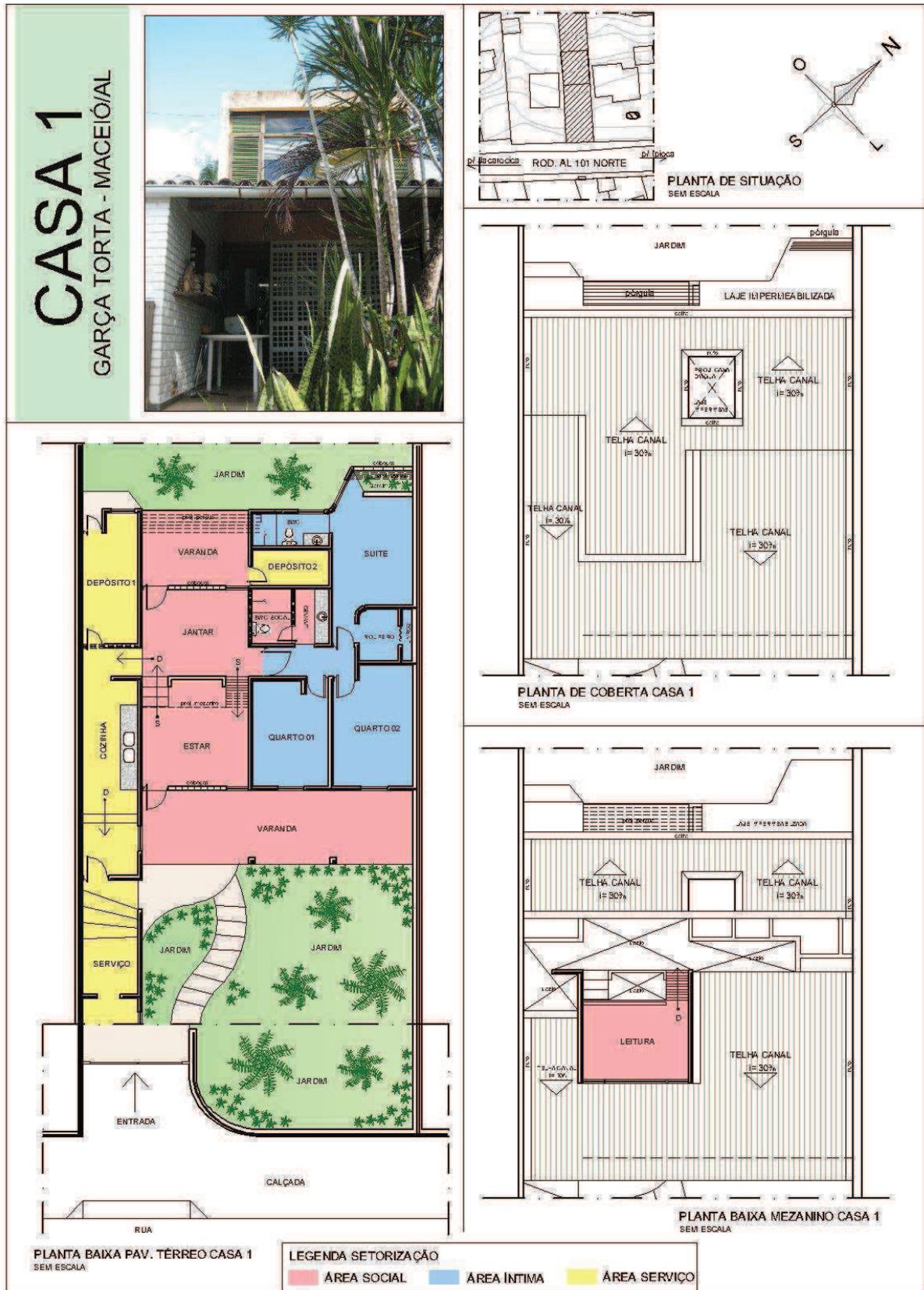


Figura 3.6 – Casa 1: Arquitetos Leonardo e Regina

3.1.1 Estratégias Bioclimáticas da Casa 1

A casa 1 possui duas fachadas livres, com recuos, e duas fachadas alinhadas aos muros laterais do terreno, com ausência de recuos laterais. A casa apresenta variadas estratégias bioclimáticas para o clima quente e úmido, como o uso de venezianas, cobogós, longos beirais e bandeiras vazadas, utilizadas de forma a promover conforto térmico de maneira passiva aos usuários da edificação (figuras 3.7, 3.8 e 3.9). Contudo, pode-se perceber, também, o emprego de soluções menos adequadas para o clima local, explicadas mais adiante.

Os cobogós nas fachadas Noroeste e Sudeste podem permitir constante ventilação, bem como os portões em grades vazadas localizados na frente e nos fundos da casa. As venezianas móveis de madeira nas janelas externas e as pérgulas na suíte e na varanda de fundos permitem controle da ventilação natural e do sombreamento nos ambientes (figura 3.7); contudo, janelas fixas e portas de vidro utilizadas nas fachadas podem promover indesejável aquecimento interno dos ambientes, através da insolação.

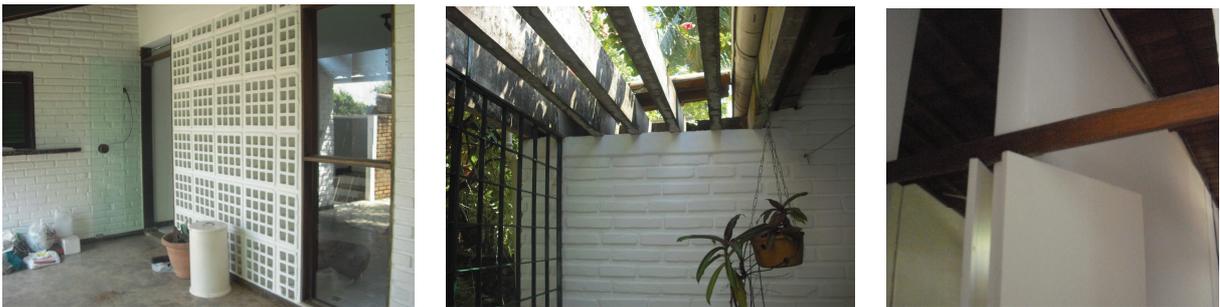


Figura 3.7 – Estratégias bioclimáticas na Casa 1: cobogós, pérgulas e portas sem fechamento superior

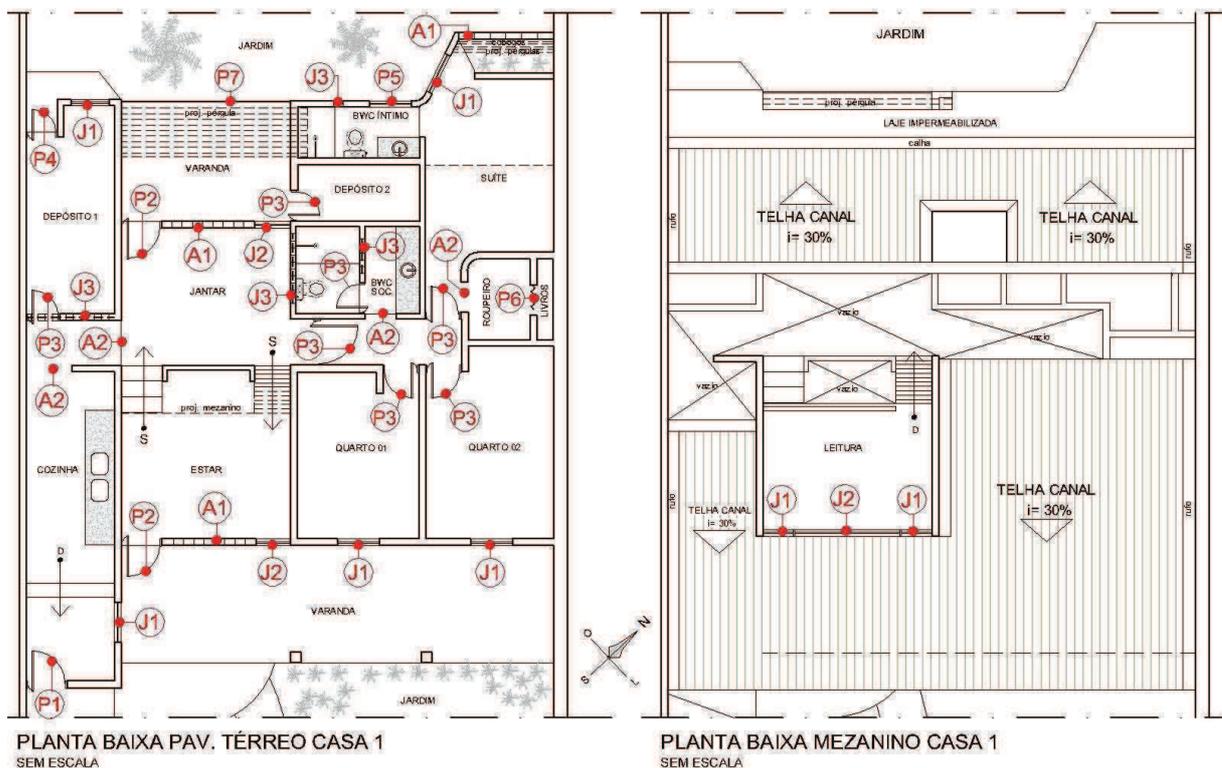
O ambiente interno apresenta fluidez, facilitando o escoamento do ar, através da continuidade entre varandas, presença de cobogós e pela ausência de paredes entre as salas. As bandeiras vazadas (ou com esquadria tipo boca de lobo) e portas sem fechamento superior existentes nos ambientes internos permitem a fluidez do ar, mesmo mantendo-as fechadas e sem uso de ar condicionado nos ambientes.

Apenas no depósito 02 (antigo laboratório de fotografia) não há janelas, sendo a porta de entrada sua única abertura, não permitindo a passagem do ar nesse ambiente. O banheiro social possui janelas em venezianas fixas de vidro localizadas apenas acima da altura da cobertura da casa. Há, também, uma abertura, acima da porta, entre as duas partes do banheiro social. A janela da suíte e do depósito 01 (antigo quarto de serviço) localiza-se orientada para a fachada Noroeste da casa, não estando, portanto, direcionada para os ventos

dominantes da região. Contudo, segundo Regina Dulce, a existência de uma grande árvore próxima à suíte e a existência de um jardim interno fechado por cobogós e pérgulas, promove agradável sombreamento no ambiente.



Figura 3.8 – Estratégias bioclimáticas e elementos adotados na Casa 1



Legenda – P1: Porta pivotante em grade; P2: Porta pivotante em vidro; P3: Porta pivotante em madeira; P4: Porta pivotante em madeira com veneziana móvel; P5: Porta de abrir em madeira com veneziana móvel; P6: Porta em PVC sanfonada; P7: Porta de correr em grade; J1: Janela baixa max-ar em madeira com veneziana móvel; J2: Janela baixa fixa em vidro; J3: Janela alta em vidro com veneziana fixa; A1: cobogó; A2: passagem sem esquadria

Figura 3.9 – Portas, Janelas e Aberturas da Casa 1

Verificam-se muitos elementos de proteção solar na Casa 1. As varandas, de frente e de fundos, permitem proteção da insolação aos ambientes mais internos, além de integrar o interior com o exterior (figura 3.10). Da mesma forma, os amplos beirais protegem as paredes e as esquadrias da incidência do Sol; contudo, na coberta do mezanino não há beiral, permitindo maior transmissão e condução do calor ao ambiente interno, sendo o efeito ampliado pela grande esquadria de vidro fixo nessa face. Segundo a arquiteta Regina Dulce, a opção do mezanino sem beiral deu-se em virtude da composição da fachada; e o vidro fixo foi uma solução diferente da esquadria projetada anteriormente. O uso de cobogós, venezianas e pérgulas também permitem proteção contra insolação intensa, minimizando ganhos de calor.

A fachada Noroeste não possui proteção solar através de beiral, possuindo fechamento apenas em laje plana impermeabilizada (decorrente da primeira reforma), contribuindo, desta forma, para maior absorção do calor solar através da cobertura. A fachada Sudeste é bem protegida; contudo, as fachadas Sudoeste, a qual recebe carga solar principalmente durante o verão, e a fachada Nordeste, a qual recebe carga solar durante todas

as manhãs, alinham-se ao muro de divisa de lotes e, por isso, não possuem elementos de proteção solar, contribuindo para o aumento do calor conduzido aos ambientes internos. Contudo, ambas as fachadas possuem paredes de maior espessura permitindo que o calor conduzido aos ambientes internos seja mais lento e minimizado.



Figura 3.10 – Soluções de projeto na Casa 1: varanda e venezianas, vegetação e laje impermeabilizada

A abundante vegetação do jardim permite resfriamento do ar que atinge a casa, porém, sua grande dimensão composta por árvores e grandes arbustos pode desviar os ventos incidentes. A cobertura em telha canal de cor clara pode evitar maior absorção do calor e facilitar o resfriamento da estrutura da coberta, assim como as pérgulas, que promovem sombreamento ao mesmo tempo em que permitem a passagem da ventilação natural. As paredes de pequena espessura construídas em tijolo aparente (sem revestimento) do tipo frisado (com pequena profundidade entre as peças) e cheio (a massa é nivelada na superfície) evitam acúmulo de calor dentro dos ambientes, por compreender um material construtivo de característica leve. Ademais, o predomínio da cor branca em todas as fachadas evita parte da absorção do calor, permitindo que a maior quantidade da carga solar seja refletida.

A forma da edificação é levemente retangular no sentido Nordeste-Sudoeste, com áreas irregulares (sacada da cozinha na fachada Sudeste e da suíte na fachada Noroeste) facilitando a incidência de radiação solar Leste e Oeste de forma inclinada nas maiores fachadas.

Mesmo não direcionada para os ventos dominantes, Regina Dulce Lins afirma que a suíte desenvolve escoamento eficiente da ventilação natural em virtude da ausência de vergas nas portas dos demais quartos, os quais direcionam o ar para a suíte. Além disso, durante a noite, há a incidência dos ventos noturnos próximos à orientação Oeste. Da mesma forma, o banheiro social recebe adequado escoamento do ar, sem apresentar problema relacionado à umidade do ambiente. Toda a casa, segundo a proprietária, apresenta escoamento positivo da

ventilação natural, com exceção dos dias de verão que, no mezanino, acarreta elevado aquecimento na sala de leitura durante as manhãs, o qual é amenizado com o escoamento da ventilação natural.

3.1.2 Princípios da Cartilha de Armando de Holanda na Casa 1

Regina Dulce Lins, proprietária e projetista da casa (juntamente com Leonardo Bittencourt), afirma que, apesar de ter sido aluna de Holanda por volta do ano de 1977, apenas conheceu a sua Cartilha após a construção da casa. Contudo, outros arquitetos e professores da UFPE discutiam a arquitetura adaptada ao clima nas aulas de arquitetura e o conjunto de estratégias bioclimáticas já existia na escola de arquitetura; Armando de Holanda sistematizou e publicou um documento reunindo todas essas recomendações para o Nordeste brasileiro. Desta forma, no projeto arquitetônico da Casa 1, percebe-se a aplicação de todos os princípios contidos na Cartilha, ora com forte intensidade, ora com intensidade moderada (quadro 3.1).

PRINCÍPIO DA CARTILHA	INTENSIDADE	CARACTERÍSTICAS VERIFICADAS
1. Criar uma Sombra	Forte	Apesar de apresentar o mezanino sem proteção solar e fachadas sem beirais, promove sombreamento por meio de longos beirais em grande parcela da edificação; uso de varandas (frente e fundos); uso de cobogós e pérgulas nas fachadas; e abundante sombreamento através da vegetação, criando agradáveis áreas externas.
2. Recuar as Paredes	Moderada	
3. Vazar os Muros	Moderada	Não apresenta muros de divisas dos lotes vazados, mas há o uso de cobogós e grades vazadas nas fachadas, além do uso de pérgulas, os quais contribuem para a penetração da brisa. Ademais, a casa posicionada em altura mais elevada do que o nível da calçada, em decorrência do aclave acentuado do terreno, a ventilação alcança mais facilmente a casa.
4. Proteger as Janelas	Moderada	Apresenta o uso de beirais e de venezianas móveis nas janelas, mas há janelas desprotegidas no mezanino.
5. Abrir as Portas	Forte	Possui estratégias que promovem o escoamento do ar dentro da edificação como o uso de portas sem vergas e grades vazadas.
6. Continuar os Espaços	Moderada	Apresenta fluidez no espaço interno entre varanda de frente, estar, jantar e varanda de fundos, porém proporciona maior compartimentação interna na área íntima (quartos, suíte e banheiros) e depósito.
7. Construir com Pouco	Forte	Apresenta uso de materiais refrescantes e de aplicação locais (telha cerâmica, cimento queimado, cobogós, pérgulas, entre outros) racionalizando e padronizando a construção, além do emprego de generosas vegetações no jardim frontal e no quintal de fundos. As varandas de frente e de fundos permitem contato com a natureza, representada pelos jardins no meio exterior.
8. Conviver com a Natureza	Forte	
9. Construir Frondoso	Moderada	Apresenta relações com a arquitetura tropical adaptando a edificação ao clima local e expressando sua cultura, mas apresenta outros elementos não adequados como o uso de vidros e a ausência de beirais.

Quadro 3.1 – Princípios da Cartilha Verificados na Casa 1

3.2 CASA 2

A casa 2, projetada pelos arquitetos e professores da Universidade Federal de Alagoas, Geraldo Majela e Verônica Robalinho e construída entre os anos de 1982 e 1983, situa-se no bairro Cruz das Almas, em dois terrenos planos, sendo um de esquina. Desde a sua construção, os autores dos projetos são os moradores da edificação.

Situada numa rua transversal à avenida da praia de Cruz das Almas, o conjunto dos terrenos limita-se com duas casas em uma lateral e nos fundos e com uma segunda rua na outra lateral. O entorno é constituído por casas e edifícios de comércio e serviço (figura 3.11). O primeiro lote da casa compõe-se de um amplo jardim e o segundo lote compreende a edificação e seus recuos (figura 3.12).



Figura 3.11: Entorno da Casa

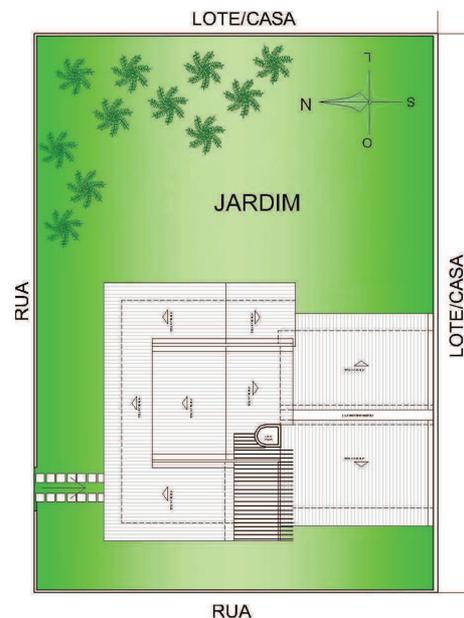


Figura 3.12: Localização da Casa 2 no terreno

Construiu-se a casa com pavimento térreo e mezanino, compreendendo 214m² de área construída. O térreo é composto por varanda, sala de estar, sala de jantar, 2 quartos, 1 suíte, banheiro social, câmara escura para revelação de fotos, garagem, cozinha, área de serviço e quarto e banheiro de empregada (figura 3.13). O mezanino compreende uma sala de leitura. A cobertura utiliza telha canal, em quatro águas, com inclinações de 30% e de 60% e laje plana impermeabilizada no volume da caixa d'água.

Ao longo dos anos, a casa não recebeu nenhuma reforma; contudo, pequenas modificações nas funções dos ambientes foram necessárias para atender às necessidades dos

moradores. O quarto de serviço transformou-se em uma sala de estudos com uso de computador; e a câmara escura, antes projetada para revelações de imagens, transformou-se em um pequeno depósito.

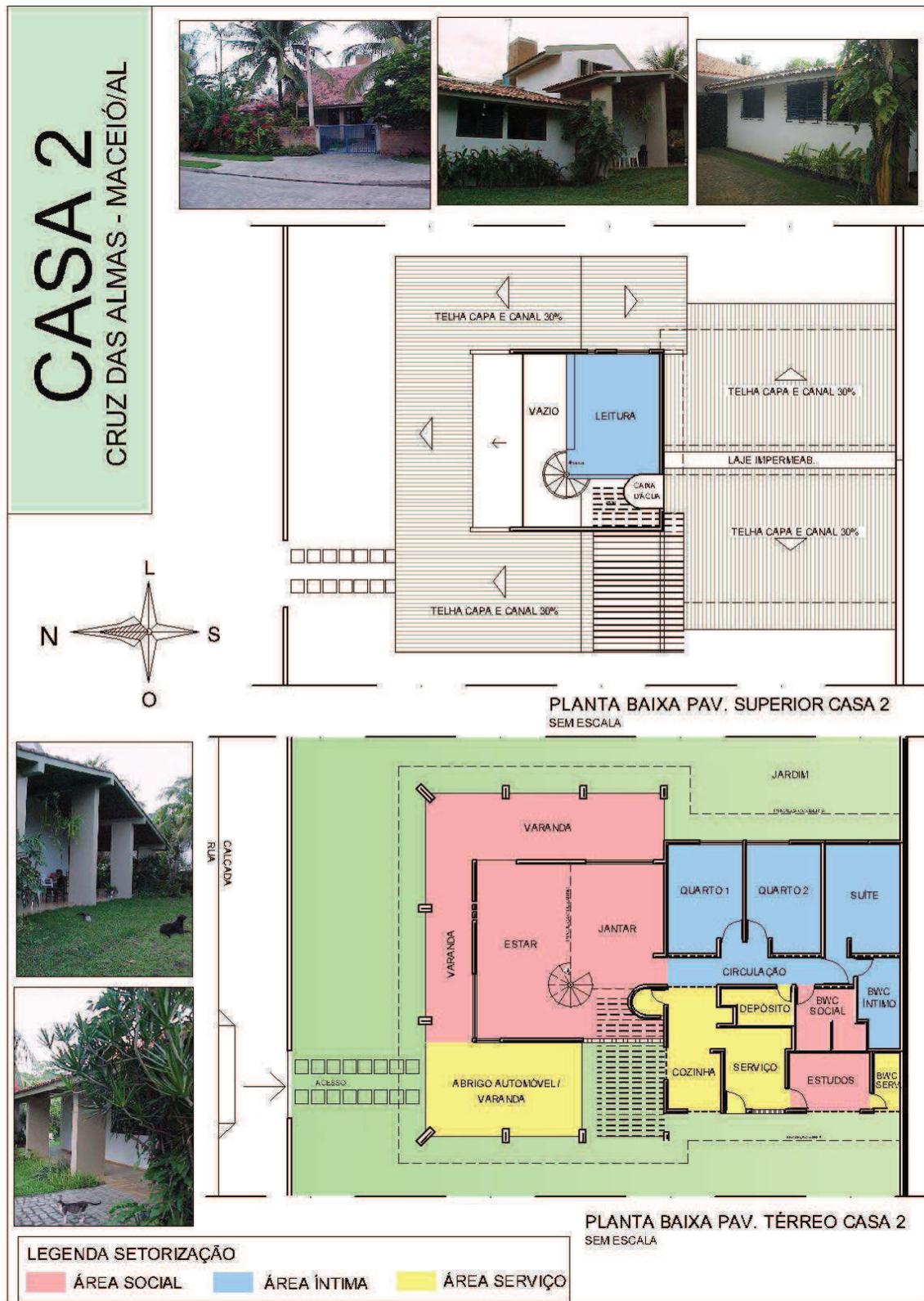


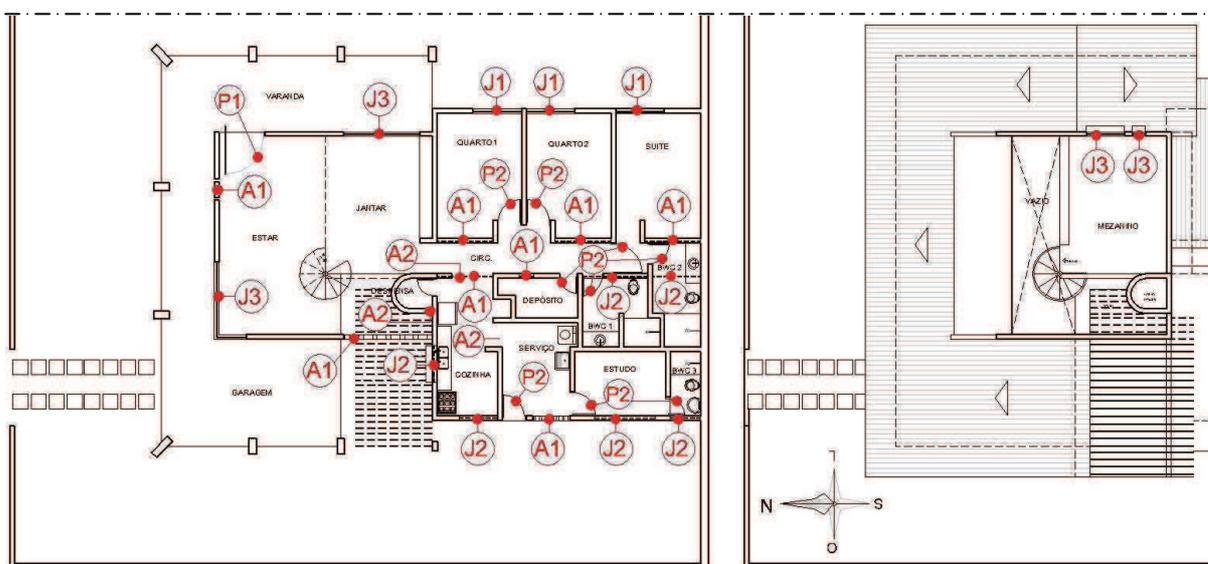
Figura 3.13 – Casa 2: Arquitetos Verônica e Geraldo

Em entrevista, os arquitetos e moradores, Geraldo Majela e Verônica Cavalcanti³, afirmam que o partido arquitetônico baseou-se em construir uma casa na qual não houvesse o uso de ar condicionado, priorizando a setorização dos ambientes, o sombreamento das fachadas e as aberturas com direcionamento para os ventos dominantes e para a saída do ar quente. A concepção do partido arquitetônico baseou-se no conhecimento empírico dos autores em relação às estratégias bioclimáticas mais adequadas para a região.

Atualmente, apenas no quarto de estudos (antigo quarto de serviços) há uso de ar condicionado por este localizar-se na orientação Oeste, recebendo radiação solar em todas as tardes do ano, e em decorrência da alta maresia no local, uma vez que o ambiente contempla o uso de computador. A ventilação mecânica (ventilador), segundo os moradores, é usada apenas nos dias e noites quentes de verão, quando a ventilação natural não é suficiente para promover conforto térmico, como também nos dias de calmaria.

3.2.1 Estratégias Bioclimáticas da Casa 2

A preocupação com a arquitetura adaptada ao clima pode ser percebida na Casa 2, por meio do uso de cobogós, varandas, amplos beirais, pérgulas, entre outras estratégias descritas a seguir (figuras 3.14 e 3.15).



PLANTA BAIXA PAV. TÉRREO s/esc. PLANTA BAIXA MEZANINO s/esc.
Legenda – P1: Porta pivotante em vidro; P2: Porta pivotante em madeira; J1: Janela baixa de abrir em madeira com veneziana móvel; J2: Janela alta pivotante em madeira e vidro; J3: Janela baixa pivotante em madeira e vidro; A1: cobogó; A2: passagem sem esquadria

Figura 3.14 – Portas, Janelas e Aberturas da Casa 2

³ Entrevista concedida para este trabalho nos dias 22 de fevereiro de 2010 e 07 de janeiro de 2011, a qual seguiu de forma desestruturada e apresentou caráter informal.



Figura 3.15 – Estratégias bioclimáticas e elementos adotados na Casa 2

A Casa 2 possui três fachadas livres, com recuos, e uma fachada alinhada ao muro lateral do terreno, com ausência de recuo (fachada Sul). A casa localiza-se mais direcionada

para um dos lotes, resultando em um recuo de mais de 15m na fachada Leste, o qual proporciona melhor captação do vento desta direção pelas aberturas da casa (figura 3.16). O recuo reduzido na fachada Oeste permite melhor aproveitamento do jardim (área sem obstrução de edificações) na orientação Leste.



Figura 3.16: Jardim e casa 2, respectivamente



Figura 3.17: Aberturas voltadas para a laje

Os dois quartos e a suíte, localizados na orientação Leste, apresentam janelas externas baixas para captação da ventilação e possuem cobogós nas paredes opostas às paredes das janelas, em uma altura maior que a das portas, voltados para uma cobertura em laje plana, para saída do ar mais quente (figura 3.17). O mesmo acontece na cozinha que, possuindo janela externa, apresenta cobogós na parede oposta para saída do ar mais quente. O depósito, assim como o banheiro social e o banheiro íntimo possuem aberturas direcionadas apenas para a laje plana, em elevada altura.

Há uso de cobogós nas fachadas Oeste e Norte, os quais podem permitir constante ventilação. O possível calor gerado na orientação Oeste da sala é minimizado pelo uso de cobogós, de jardim interno e de pérgulas na cobertura, facilitando a penetração do vento e reduzindo a temperatura do ar (figura 3.18). O uso de venezianas móveis nas janelas de madeira dos quartos e da suíte permitem controle da ventilação natural e do sombreamento. Contudo, janelas e portas de vidro utilizadas nas fachadas, mesmo proporcionando iluminação natural aos ambientes, podem promover o aquecimento interno através da insolação (figura 3.19).

O ambiente interno apresenta fluidez apenas entre varandas, estar e jantar através do uso de cobogós e de janelas baixas, bem como da ausência de divisórias entre as salas. Segundo Geraldo Majela e Verônica Cavalcanti, os demais ambientes, locados de forma mais compacta, possuem aberturas externas em baixa altura (para entrada do ar mais fresco) e

outras em elevada altura (na altura da coberta, para saída do ar mais quente), como os quartos, a suíte e a cozinha; banheiros e câmara escura possuem aberturas altas, acima da laje de cobertura.

O uso de bandeiras vazadas em algumas portas e janelas permite a fluidez do ar nos ambientes internos, mesmo mantendo as esquadrias fechadas. Ademais, os muros da casa são de baixa altura e permitem passagem da ventilação através de elementos vazados instalados alternadamente.



Figura 3.18: Mezanino e jardim interno



Figura 3.19: Varanda e Esquadrias

Verificam-se muitos elementos de proteção solar Casa 2. As varandas nas fachadas Oeste, Norte e Leste, além de integrar o interior com o exterior, permitem proteção da insolação aos ambientes mais internos.

Os amplos beirais ao longo de toda a casa permitem maior sombreamento, contudo no mezanino há apenas uma proteção nas janelas facilitando a insolação nas paredes e conseqüentemente condução do calor ao ambiente interno. A escolha por proteger apenas as janelas do mezanino, segundo Geraldo Majela e Verônica Cavalcanti, deu-se visando a composição da fachada. A fachada Sul não possui nenhum tipo de dispositivo de proteção solar permitindo aumento do calor conduzido aos ambientes internos.

O amplo jardim na lateral da casa (segundo lote), o qual compreende algumas árvores e arbustos, pode permitir resfriamento do ar que a atinge. A cobertura em telha canal pode facilitar o resfriamento da estrutura da coberta, assim como as pérgulas (existentes no jardim externo e no jardim interno da sala) que permitem a passagem da ventilação natural, ao mesmo tempo em que promove o sombreamento. Por compreender um material construtivo de característica leve e com baixa condutividade térmica, os tijolos cerâmicos (revestidos com

argamassa) das paredes da casa com pequena largura, evitam o acúmulo de calor dentro dos ambientes. O predomínio da cor branca nas fachadas (há apenas alguns detalhes na cor musgo) permite que a maior carga solar seja refletida e evita maior absorção do calor.

A forma da edificação é retangular no sentido Leste-Oeste com áreas irregulares (sacadas na varanda), facilitando a incidência da radiação solar nas orientações Leste (durante a manhã) e Oeste (durante a tarde) nas maiores fachadas da casa.

Os moradores afirmam que a casa apresenta agradável escoamento da ventilação natural no seu interior e que o sombreamento é satisfatório; porém, o uso de coberta com duas águas na varanda, resultando em cumeeira de elevada altura, permite grande incidência solar no ambiente durante todas as manhãs. Ademais, segundo Geraldo Majela e Verônica Cavalcanti, as janelas do mezanino poderiam ser maiores para melhor captação do vento.

3.2.2 Princípios da Cartilha de Armando de Holanda na Casa 2

Mesmo que a Cartilha tenha sido publicada antes da concepção do projeto arquitetônico da casa e de ter sido aluna de Armando de Holanda, Verônica Cavalcanti afirma que conheceu o documento apenas após a construção da casa e que a busca por uma arquitetura adaptada ao clima já era um conhecimento difundido na década de 1970 na escola de arquitetura de Pernambuco e discutido por vários outros professores e arquitetos da época.

Contudo, Geraldo Majela conheceu a Cartilha em Alagoas, antes de projetar a casa, uma vez que sua formação acadêmica ocorreu no estado do Paraná, o qual apresenta estratégias bioclimáticas diferenciadas do Nordeste brasileiro. Desta forma, o projeto arquitetônico da casa coincide com os princípios contidos na Cartilha com, no mínimo, intensidade moderada (quadro 3.2).

PRINCÍPIO/ CARTILHA	INTENSIDADE	CARACTERÍSTICAS VERIFICADAS
1. Criar uma Sombra	Forte	Apesar de apresentar mezanino sem beiral, a Casa 2 promove sombreamento por meio de longos beirais em todo o térreo da edificação e proteção das janelas do mezanino, além do uso de grandes varandas, cobogós e pérgulas, os quais contribuem para a penetração da brisa. Ademais, cria agradáveis áreas externas por meio do sombreamento por vegetação.
2. Recuar as Paredes	Forte	
3. Vazar os Muros	Forte	Apresenta muros em baixa altura e elementos vazados alternados ao longo de todo o muro, além do uso de cobogós nas fachadas principais.
4. Proteger as Janelas	Forte	Todas as janelas são protegidas da insolação e há uso de venezianas móveis nas janelas dos quartos e da suíte.
5. Abrir as Portas	Moderada	Em todas as portas e apenas nas janelas da sala há uso de

		bandeiras vazadas. Há presença de janelas secundárias localizadas acima da altura das portas para saída do ar quente. Contudo, as portas de entrada da casa não são vazadas para admitir ar e luz.
6. Continuar os Espaços	Moderada	Apresenta fluidez entre varandas, estar e jantar, apresentando maior compartimentação interna no restante da casa.
7. Construir com Pouco	Forte	A vegetação existente no longo jardim da casa e o uso de varanda permite integração entre o interior e o exterior. Há aplicação de materiais refrescantes e de uso locais (como telha cerâmica, cobogós, pérgulas, entre outros) racionalizando e padronizando a construção.
8. Conviver com a Natureza	Forte	
9. Construir Frondoso	Moderada	A edificação é adaptada ao clima local e expressa sua cultura, mas apresenta elementos não adequados à arquitetura tropical como o uso de vidros em algumas aberturas das fachadas e a ausência de beiral para proteção de paredes no mezanino.

Quadro 3.2 – Princípios da Cartilha Verificados na Casa 2

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As duas casas analisadas apresentam estratégias bioclimáticas adequadas ao clima da região, apesar de apresentarem algumas soluções de projeto menos compatíveis com o clima quente e úmido. Verificam-se os nove princípios da Cartilha de Armando de Holanda nos partidos arquitetônicos das duas casas nos níveis de moderado à forte. Desta forma, afirma-se a influência dos princípios bioclimáticos na concepção dos partidos arquitetônicos.

Apesar de constituírem projetos distintos e de concepção final diferenciada (a casa 1 passou por reformas para adequar às necessidades dos moradores e a casa 2 recebeu apenas mudanças de funções em dois ambientes), as duas casas possuem outras semelhanças: foram construídas para os próprios arquitetos morarem, possuem pavimento térreo e mezanino, há compartimentação interna em uma parcela do projeto arquitetônico, utilizam soluções arquitetônicas para priorizar a captação do vento e promover o sombreamento, apresentam pequenas soluções não adequadas ao clima, localizam-se em bairros próximos ao mar e foram construídas entre o final de 1970 e início de 1980.

Tornam-se, desta forma, duas edificações bastante interessantes para avaliação do desempenho da ventilação natural e do sombreamento das fachadas, uma vez que consideraram o clima para determinação do partido arquitetônico, empregando diversas estratégias bioclimáticas adequadas, mas possuindo orientações diferenciadas em relação ao Norte verdadeiro e às características dos terrenos (plano e em aclave); resulta, portanto, em comportamentos diferenciados da incidência da ventilação natural nos ambientes e do sombreamento nas fachadas.