

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

DANIELA DE ARAUJO TORRES



**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES POPULARES
EM ALAGOAS: ALTERNATIVAS PARA ADEQUAÇÃO
CLIMÁTICA**

Maceió
2015

DANIELA DE ARAUJO TORRES

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES POPULARES EM ALAGOAS:
ALTERNATIVAS PARA ADEQUAÇÃO CLIMÁTICA**

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

Orientadora: Prof^ª. Dra Juliana Oliveira Batista

Co-orientador: Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

Maceió
2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

T693d Torres, Daniela de Araújo.
Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: alternativas para adequação climática / Daniela de Araújo Torres. – 2015.
144 f. : il.

Orientadora: Juliana Oliveira Batista.

Coorientador: Leonardo Salazar Bittencourt.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015.

Bibliografia: f. 136-142.

Anexos: f. 143-144.

1. Arquitetura e clima. 2. Desempenho térmico – Habitação. 3. Habitação popular – Alagoas. 4. Estratégias bioclimáticas – Arquitetura. I. Título.

CDU: 728(813.5)

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

DANIELA DE ARAUJO TORRES

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES POPULARES EM ALAGOAS:
ALTERNATIVAS PARA ADEQUAÇÃO CLIMÁTICA**


Dissertação de mestrado apresentada a 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 19/03/2015


BANCA EXAMINADORA



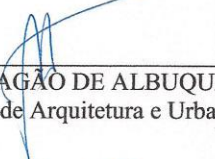
Prof. Dra. JULIANA OLIVEIRA BATISTA (orientadora)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL




Prof. Dr. LEONARDO SALAZAR BITTENCOURT (co-orientador)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



Prof. Dra. GIANNA MELO BARBIRATO (examinadora interna)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



Prof. Dr. AUGUSTO ARAÇÃO DE ALBUQUERQUE (examinador interno)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



Prof. Dra. SOLANGE VIRGINIA GALARCA GOULART (examinadora externa)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFRN

Dedico esta dissertação a minha Mãe, que me apoiou do começo
ao fim. Seu amor é o que dá sentido, a cada conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar meu caminho e meus pensamentos possibilitando a realização deste trabalho. Aos meus pais, Antônio Mário e Isabel, pelo amor e educação que me servem de alicerces para a vida e por estarem sempre ao meu lado, em todos os momentos. A minha irmã Isabela, pela compreensão e o apoio durante toda esta longa caminhada. Aos familiares e amigos, em especial minha prima arquiteta Renata Torres, agradeço pela ajuda e incentivo durante a execução do trabalho. Agradeço imensamente a minha orientadora, Prof^a. Juliana Batista, pela amizade, paciência, por ser sempre solícita e por todo o conhecimento repassado. Agradeço ao meu co-orientador, Prof. Leonardo Bittencourt, por suas valiosas contribuições no trabalho e a todos os amigos do GECA e do DEHA, por dividir o conhecimento, angustias e momentos de alegria, durante todo esse período. Agradeço por fim à FAPEAL pela bolsa de estudos concedida e a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste projeto.

“A verdadeira viagem de descobrimento não
consiste em procurar novas paisagens, mas em ter
novos olhos” (Marcel Proust).

RESUMO

O desempenho térmico é um importante fator a ser estudado para que condições de habitabilidade sejam alcançadas no ambiente construído, pois interfere diretamente na qualidade de vida dos indivíduos. A população de baixa renda, que não possui condições financeiras para adquirir e usufruir de sistemas artificiais de condicionamento de ar, depende de um projeto adaptado ao clima, com estratégias de condicionamento térmico passivas. As unidades habitacionais populares construídas no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) do governo federal seguem um padrão construtivo com pouca diferenciação arquitetônica, apesar da diversidade de locais no qual é implantado, resultando em ambientes termicamente inadequados. Deste modo são propostos novos modelos adaptados ao Modelo Base, padrão PMCMV, utilizando estratégias passivas de condicionamento térmico, como ventilação natural, massa térmica e resfriamento evaporativo, a fim de obter resultados quantitativos do comportamento da edificação nas diferentes realidades climáticas do estado de Alagoas, considerando as cidades: Maceió (leste), Palmeira dos Índios (agreste) e Pão de Açúcar (sertão), variando do clima quente e úmido ao semiárido. Através de estudos qualitativos e utilizando o método de simulação computacional, com o emprego do software Energyplus v. 8.1 é avaliado o desempenho térmico dos modelos adaptados, com as estratégias recomendadas para cada região. O critério de avaliação adotado foi o número de graus-horas de desconforto por calor, em função do limite de conforto pré-estabelecido para a temperatura operativa verificada no interior dos ambientes. É realizada então, uma análise comparativa, identificando qual o modelo mais apropriado para cada cidade estudada, sob o ponto de vista do desempenho térmico. Os resultados mostraram que a adoção de estratégias híbridas proporcionou um melhor desempenho para os modelos. O modelo adaptado 3E, o qual inclui a estratégia de ventilação natural, massa térmica e resfriamento evaporativo obteve os melhores resultados, com uma redução em mais de 50% do somatório do graus-hora de desconforto por calor, em relação ao Modelo Base, padrão MCMV, nas três cidades. O modelo adaptado V_MT (ventilação e massa térmica) obteve a menor redução, com menos de 15% no somatório de graus-hora, nas cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, onde foi simulado.

Palavras-chaves: Desempenho térmico. Habitação popular. Estratégias Bioclimáticas.

ABSTRACT

The thermal performance is an important factor to be studied regarding habitability conditions in the built environment, as it directly affects the individuals life quality. The low-income population, which can't afford artificial air conditioning systems depends on project adapted to the weather maintenance costs require with efficient thermal conditioning passive strategies. The popular housing units built under the Minha Casa Minha Vida (PMCMV) federal government programme follow a similar constructive and architectural pattern, despite the diversity of sites in which the buildings are located, resulting in unsuitable thermal environments inside buildings. Thus, new models are proposed adapting the Model Base, PMCMV standard, using passive strategies, such as natural ventilation, thermal mass and evaporative cooling in order to obtain quantitative results of the thermal performance of a housing unity in different climates of the state of Alagoas, considering the cities: Maceio (east), Palmeira dos Índios (western) and Pão de Açúcar (backlands), ranging from warm and humid to hot and dry climate. Through qualitative studies and using computer simulation method with the Energyplus software. 8.1 it assessed the thermal performance of models, design in accordance with the recommended strategies for each region. It assessed as evaluation criterion the number of degree-hours of discomfort based on a pre-set operative comfort temperature inside of the house rooms. A comparative analysis is then carried out, identifying the best models for each city studied from the point of view of thermal performance. Results showed that the adoption of hybrid strategy yielded a better performance. The adapted model 3E, which includes natural ventilation strategy, thermal mass and evaporative cooling achieved the best results, with a reduction of more than 50% of the total degree-hour discomfort regarding the Base Model, MCMV pattern, in the three cities. The adapted model V_MT (ventilation and thermal mass) had the smallest reduction, less than 15%, in Palmeira dos Índios and Pão de Açúcar, where it was simulated.

Keywords: *Thermal performance. Low-cost housing. Computer simulation.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB)	16
Figura 1.1 - Simulação dos efeitos da temperatura de conforto nas diferentes atividades, com diferentes vestimentas.....	23
Figura 1.2 - Simulação dos efeitos da temperatura de conforto nas diferentes atividades, sob diferentes velocidades do vento.....	23
Figura 1.3 - Carta Bioclimática para habitantes de regiões de clima quente, em trabalho leve, vestindo 1 “clo”.....	26
Figura 1.4 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	29
Figura 1.5 - Localização das estações de superfície e dos pontos com dados medidos por satélite.....	30
Figura 1.6 - Campos de pressão	33
Figura 1.7 - Projeções verticais que interferem no fluxo de ar.....	34
Figura 1.8 - Elementos vazados da Universidade Federal de Alagoas.....	34
Figura 1.9 - Aproveitamento da ventilação natural pela adaptação de caixas d’água.....	35
Figura 1.10 – Telhado verde.....	38
Figura 1.11 - Funcionamento e principais componentes de sistemas de Resfriamento Evaporativo, tipo painel.....	38
Figura 1.12 - Instalação em descarga direta no ambiente.....	39
Figura 1.13 - Fachada com brises e cobogós	40
Figura 1.14 – Brises.....	41
Figura 1.15 – Simulação no Túnel de vento.....	42
Figura 1.16 - Equipamento mesa d’água utilizado para simulação da ventilação natural.....	43
Figura 1.17 - Ensaio na mesa d’água, com modelo reduzido.....	43
Figura 1.18 - Esquema do modelo de rede <i>AirflowNetwork</i>	47
Figura 2.1 - Bairro Stella Mares e ao fundo o Bairro da Ponta Verde.....	50
Figura 2.2 – Elementos de proteção solar e contra a chuva. Varandas e brises	51
Figura 2.3 – Conjunto Novo Jardim, no Estaquio Gomes.....	51
Figura 2.4 – Localização da cidade de Maceió.....	52
Figura 2.5 - Gráfico das Médias mensais de temperaturas em Maceió.....	53
Figura 2.6 - Gráfico do percentual de Umidade Relativa do ar, em Maceió.....	53
Figura 2.7 - Direção em graus dos ventos, na cidade de Maceió, com base no arquivo TRY.....	54
Figura 2.8 - Carta bioclimática de Maceió, gerada pelo software Analysis Bio 2.2, com dados do arquivo climático TRY.....	55
Figura 2.9 – Gráfico da velocidade do vento, em Maceió.....	57
Figura 2.10 - Elementos de proteção solar e permeabilidade aos ventos em habitações na cidade de Palmeira dos Índios-AL.....	58
Figura 2.11–Conjunto Habitacional, Palmeira dos Índios	58
Figura 2.12 - Padrão das habitações financiadas pela COHAB, Palmeira dos Índios.....	59
Figura 2.13 - Conjunto habitacional Antonio Ribeiro, Palmeira dos índios.....	59
Figura 2.14 - Localização da cidade de Palmeira dos Índios.....	60
Figura 2.15 - Gráfico das médias mensais de temperaturas, em Palmeira dos Índios.....	60
Figura 2.16 – Gráfico da umidade relativa do ar, em Palmeira dos Índios.....	61
Figura 2.17 - Direção em graus, dos ventos na cidade de Palmeira dos Índios, com base no arquivo TRY.....	62
Figura 2.18 - Carta bioclimática de Palmeira dos Índios, gerada pelo software Analysis Bio 2.2, com dados do arquivo climático TRY.....	63

Figura 2.19 – Vista aérea da cidade, Pão de Açúcar.....	64
Figura 2.20- Rio São Francisco, que margeia a cidade Pão de Açúcar.....	65
Figura 2.21 – Modelos de casas mais sofisticados , em Pão de Açúcar.....	65
Figura 2.22 - Variedade de tipologias de arquitetura habitacional encontrados em Pão de Açúcar-AL.....	66
Figura 2.23 - Casas com características coloniais na cidade de Pão de Açúcar- AL.....	66
Figura 2.24 – Elementos de proteção solar e da chuva, Pão de Açúcar.....	67
Figura 2.25 - Conjunto Cohab Nova, em Pão de Açúcar.....	67
Figura 2.26 – Localização da cidade de Pão de Açúcar.....	68
Figura 2.27 - Gráfico de temperatura externa, em Pão de Açúcar.....	68
Figura 2.28 – Gráfico da umidade relativa do ar, em Pão de Açúcar.....	69
Figura 2.29 - Direção em graus dos ventos, na cidade de Pão de Açúcar.....	70
Figura 2.30 - Velocidade do ar, em Pão de Açúcar.....	70
Figura 2.31 - Carta bioclimática de Pão de Açúcar, gerada pelo software Analysis Bio 2.2, com dados do arquivo climático TRY.....	71
Figura 3.1 – Orientação do modelo, em relação aos ventos predominantes.....	75
Figura 3.2 – Corte esquemático, com os dados considerados para proteção solar das janelas.....	76
Figura 3.3 – Planta baixa do Modelo Base.....	77
Figura 3.4 – Planta de cobertura, Modelo Base.....	78
Figura 3.5 – Perspectiva externa, Modelo Base.....	78
Figura 3.6 – Estrutura da Parede, do Modelo Base.....	79
Figura 3.7 - Planta baixa, do Modelo VENT.....	81
Figura 3.8 – Corte A/A', Modelo VENT.....	82
Figura 3.9 – Perspectiva, Modelo VENT.....	82
Figura 3.10 - Corte esquemático da janela com venezianas.....	83
Figura 3.11 - Janela de giro com folhas de venezianas móveis.....	83
Figura 3.12 – Planta Baixa, Modelo V_MT.....	85
Figura 3.13 – Perspectiva do Modelo V_MT, destacando-se as paredes com maior massa térmica.....	85
Figura 3.14 - Parede dupla de tijolos cerâmicos seis furos.....	86
Figura 3.15 - Perspectiva Modelo V_RE.....	88
Figura 3.16 – Diferentes tipos de telhados verdes, da Ecotelhado.....	89
Figura 3.17 – Estrutura do sistema alveolar simples.....	89
Figura 3.18 - Sistema alveolar de telhado verde.....	89
Figura 3.19 - Perspectiva do Modelo 3E, com destaque para as paredes que receberam massa térmica.....	90
Figura 3.20 - Croqui do Modelo Base.....	91
Figura 3.21 - Padrão de ocupação nos dias de semana.....	92
Figura 3.22 - Padrão de ocupação nos finais de semana.....	92
Figura 3.23 - Padrão de uso da iluminação, nos dias de semana.....	94
Figura 3.24 - Padrão de uso da iluminação, nos finais de semana.....	95
Figura 4.1 – Ensaio na mesa d'água do Modelo Base e Planta baixa com destaque nas áreas de estagnação do ar.....	100
Figura 4.2 – Máscara de sombra, janela da sala.....	101
Figura 4.3 – Máscara de sombra das janelas, do quarto de casal e quarto de solteiro.....	101
Figura 4.4 - Corte esquemático, do efeito do sombreamento do beiral e das venezianas.....	102
Figura 4.5 – Somatório anual de graus-hora (°Ch) de resfriamento (GHR), Modelo Base...	104
Figura 4.6 –Percentual de horas de desconforto por calor, em Pão de Açúcar.....	105
Figura 4.7 –Somatório de GHR, em Pão de Açúcar.....	105

Figura 4.8 - Variação de Umidade Relativa do ar, em Pão de Açúcar.....	106
Figura 4.9 – Percentual de horas de desconforto por calor, em Palmeira dos Índios.....	107
Figura 4.10 - Somatório de GHR, em Palmeiras dos Índios.....	107
Figura 4.11 - Médias mensais de temperatura externa em Palmeira dos índios.....	108
Figura 4.12 – Percentual de horas de desconforto por calor, em Maceió.....	109
Figura 4.13 - Somatório de GHR de resfriamento, em Maceió.....	109
Figura 4.14 - Carta psicométrica de Maceió, mês de Março.....	110
Figura 4.15 - Máximo GHR obtidos em cada mês.....	111
Figura 4.16 - Organograma dos modelos simulados em cada cidade.....	112
Figura 4.17 - Percentuais de desconforto por calor, Modelo Base e Modelo 3E, em Pão de Açúcar.....	113
Figura 4.18 - Somatórios de GHR, Modelo Base e Modelo 3E, em Pão de Açúcar.....	114
Figura 4.19 – GHR máximo mensal, Modelo Base e Modelo 3E, em Pão de Açúcar.....	114
Figura 4.20 - Percentual de horas de desconforto por calor, dos modelos: 3E, Base e V_MT, em Pão de Açúcar.....	116
Figura 4.21 – Somatórios mensais de GHR, modelos 3E, Base e V_MT em Pão de Açúcar.....	116
Figura 4.22 – Somatórios mensais de GHR, modelos, Base e V_RE e 3E, em Pão de Açúcar.....	118
Figura 4.23 – Somatório de GHR: Modelo Base x Modelo 3E, Palmeira dos Índios.....	119
Figura 4.24 – Somatório de GHR do Modelo Base, V_MT e 3E.....	120
Figura 4.25 - Somatórios de GHR, Modelos 3E e V_RE, em Palmeira dos índios.....	122
Figura 4.26 – Comparativo do Somatório de GHR anual dos modelos adaptados, em relação ao modelo base, Palmeira dos Índios.....	122
Figura 4.27 - Percentuais de horas de desconforto por calor, Modelo VENT e Modelo Base, em Maceió.....	124
Figura 4.28 – Nomograma de temperatura efetiva, destacando-se os dados relativos à simulação do Modelo VENT em Maceió.....	126
Figura 4.29 – Reduções estimadas da temperatura efetiva sob diferentes velocidades do vento, Caso 1 e Caso 2.....	127
Figura 4.30 – Dados de redução da temperatura efetiva em relação a velocidade do vento. Caso 3 e 4.....	127
Figura 4.31 - Somatório anual de GHR nos modelos Base, 3E e VENT, simulados em Maceió.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Estratégias recomendadas para a cidade de Maceió.....	55
Tabela 2.2 - Estratégias recomendadas por estação, para a cidade de Maceió.....	56
Tabela 2.3 - Estratégias recomendadas para a cidade de Palmeira dos Índios.....	63
Tabela 2.4 - Estratégias recomendadas por estação, para a cidade de Palmeira dos Índios.....	64
Tabela 2.5 - Estratégias recomendadas para a cidade de Pão de Açúcar.....	71
Tabela 2.6 - Estratégias recomendadas por estação, para a cidade de Palmeira dos Índios.....	72
Tabela 2.7 - Síntese das estratégias recomendadas para as três cidades.....	72
Tabela 2.8 - Síntese das variáveis climáticas, das cidades estudadas.....	73
Tabela 3.1 - Padrão construtivo, Modelo Base.....	78
Tabela 3.2 - Modelos adaptados, considerando as cidades em estudo.....	80
Tabela 3.3 - Soluções adotadas para o Modelo VENT.....	80
Tabela 3.4 - Padrão construtivo, Modelo VENT.....	83
Tabela 3.5 - Padrão de uso anual da ventilação, no Modelo VENT (Maceió).....	84
Tabela 3.6 - Alterações do modelo V_MT, em relação ao Modelo Base.....	85
Tabela 3.7 - Padrão construtivo Modelo V_MT.....	86
Tabela 3.8 - Padrão de uso anual da ventilação Modelo V_MT, Palmeira e Pão de Açúcar.....	87
Tabela 3.9 - Alterações do Modelo V_RE, em relação ao Modelo Base.....	88
Tabela 3.10 - Alterações do Modelo 3E, em relação ao Modelo Base.....	90
Tabela 3.11 - Taxas metabólicas para cada atividade.....	93
Tabela 3.12 - Coeficientes adotados na modelagem da ventilação natural	93
Tabela 3.13 - Dados para definição dos limites de temperaturas de conforto, por frio e por calor.....	96
Tabela 4.1 - Percentual de horas de desconforto das cidades, Modelo Base.....	103
Tabela 4.2 - GHR máximos obtidos em cada cidade.....	111
Tabela 4.3 - Dados do GHR dos modelos Base e 3E, para Pão de Açúcar.....	113
Tabela 4.4 - Dados do GHR anual do modelo Base, V_MT e 3E, para Pão de Açúcar.....	115
Tabela 4.5 - Dados anuais de GHR de todos os modelos adaptados, para cidade de Pão de Açúcar.....	117
Tabela 4.6 - Dados do GHR anual do modelo Base e 3E, em Palmeira dos Índios.....	119
Tabela 4.7 - Dados anuais de GHR: Modelo Base, V_MT e 3E.....	120
Tabela 4.8 - GHR anual dos modelos Base, V_RE e 3E, em Palmeira dos Índios.....	121
Tabela 4.9 - Síntese dos dados de GHR, dos modelos simulados para Palmeira dos Índios.....	123
Tabela 4.10 - Dados de GHR Modelo Base e VENT, Maceió.....	124
Tabela 4.11 - Umidades relativas do ar (UR) correspondentes às temperaturas de bulbo seco (TBS) verificadas nas simulações do Modelo VENT.	125
Tabela 4.12 – Dados de TBS, TBU e Umidade Relativa referentes à sala de estar, Modelo VENT.....	125
Tabela 4.13 Resultados anuais obtidos para o Modelo Base e modelos adaptados em Maceió.....	128
Tabela 4.14 - Redução nos somatórios anuais de GHR obtidos pelos modelos adaptados em relação ao Modelo Base.....	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BLAST	Building Loads Analysis and System Thermodynamics
CFD	Computer Fluid Dynamics
CP	Coefficiente de Pressão
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído
GHR	Graus-Hora de Resfriamento
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, de Santa Catarina.
VENT	Modelo Ventilação Natural
V_MT	Modelo Ventilação + Massa Térmica
V_RE	Modelo Ventilação + Resfriamento Evaporativo
3E	Modelo Ventilação natural + Massa térmica + Resfriamento Evaporativo
PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
RTQ-C	Regulamentos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais
RTQ-R	Regulamentos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SMCCU	Superintendência Municipal de Controle e Convívio Urbano de Maceió
TRY	Test Reference Year
ZBB	Zoneamento Bioclimático Brasileiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
Objetivos	19
Estrutura do Trabalho.....	20
1 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
1.1 Conforto Térmico no Interior das Edificações.....	21
1.2 Diretrizes para o Projeto Bioclimático.....	27
1.3 Estratégias de Resfriamento Passivo.....	31
1.3.1 Ventilação Natural.....	32
1.3.2 Massa Térmica.....	36
1.3.3 Resfriamento Evaporativo.....	37
1.3.4 Sombreamento.....	40
1.4 Metodologias de Análise de Desempenho Termoenergético.....	42
1.4.1 Simulação computacional.....	44
1.4.1.1 Modelos de dinâmica dos fluidos computacionais.....	45
1.4.1.2 Modelos de rede.....	46
1.5 Síntese do Referencial Teórico.....	48
2 CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES EM ESTUDO.....	50
2.1 Maceió.....	50
2.1.1. Clima.....	52
2.1.2 Diretrizes Bioclimáticas.....	55
2.2 Palmeira dos Índios.....	57
2.2.1 Clima.....	60
2.2.2 Diretrizes Bioclimáticas.....	62
2.3 Pão de Açúcar.....	64
2.3.1 Clima.....	68
2.3.2 Diretrizes Bioclimáticas.....	71
2.4 Síntese da Caracterização Bioclimática.....	72
3 METODOLOGIA	74
3.1 Caracterização do Modelo Base	75
3.2 Estudo qualitativo do Modelo Base	77
3.3 Caracterização dos Modelos Adaptados	79
3.3.1 Modelo Ventilação Natural (Modelo VENT)	80
3.3.2 Modelo Ventilação + Massa Térmica (Modelo V_MT)	85
3.3.3 Ventilação + Resfriamento Evaporativo (Modelo V_RE)	88
3.3.4 Modelo Ventilação natural + Massa térmica + Resfriamento Evaporativo (Modelo 3E)	90
3.4 Parâmetros Adotados nas Simulações Computacionais.....	91
3.4.1 Padrão de Ocupação.....	92
3.4.2 Padrão de uso da iluminação e equipamentos.....	93
3.4.3 Modelagem da ventilação natural.....	94
3.4.4 Temperatura do Solo.....	95
3.5 Estudo Quantitativo: Parâmetros de Avaliação do Desempenho Térmico dos Modelos	96
4 RESULTADOS.....	99
4.1 Estudo qualitativo.....	99

4.2 Estudo quantitativo.....	102
4.2.1 Modelo Base - Resultados anuais.....	103
4.2.1.1 Pão de Açúcar.....	104
4.2.1.2 Palmeira dos Índios.....	106
4.2.1.3 Maceió.....	108
4.2.2 Modelos Adaptados.....	112
4.2.2.1 Pão de Açúcar.....	112
4.2.2.2 Palmeira dos Índios.....	118
4.2.2.3 Maceió.....	123
4.3 Síntese dos Resultados.....	129
5 CONCLUSÃO	131
5.1 Limitações do trabalho	133
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	134
REFERÊNCIAS.....	136
Anexo.....	143

INTRODUÇÃO

A relação entre o clima e o ser humano pode ser estudada através da bioclimatologia. A arquitetura bioclimática, por sua vez, considera a interação das características climáticas locais com a edificação e a influência que essa relação exerce no ambiente interno, podendo causar conforto ou desconforto para o usuário.

Um projeto arquitetônico adaptado ao clima é capaz de proporcionar boas condições de conforto térmico, acústico e luminoso, aumentando a eficiência energética da edificação, uma vez que utiliza sistemas passivos como alternativa aos artificiais, como aparelhos de ar condicionado.

Vale ressaltar que a arquitetura cria microclimas nos ambientes internos, podendo minimizar os efeitos dos fenômenos naturais desfavoráveis, enquanto tira proveito dos aspectos favoráveis. A envoltória do edifício constitui-se pelas superfícies que separam o ambiente interno do externo, ou seja, o conjunto de elementos como paredes, janelas, lajes e coberturas que delimitam os ambientes construídos. Desse modo, a envoltória de um edifício está associada diretamente à capacidade que o mesmo possui de aumentar ou reduzir a influência dos fatores ambientais externos, como consequência da ação da chuva, do sol, da poeira, dos ventos, de ruídos, entre outros, nos ambientes internos.

Para a análise do comportamento térmico da edificação leva-se em consideração a transferência de calor através da envoltória, assim como as trocas de calor proporcionadas pela ventilação e a carga térmica gerada pela ocupação de pessoas e pelo uso de equipamentos. Já o termo desempenho térmico é usado para avaliar o comportamento térmico frente às características climáticas da região e às necessidades térmicas dos usuários, em função de requisitos pré-estabelecidos.

Assim, a eficácia das estratégias bioclimáticas em uma edificação pode ser analisada sob condições diferenciadas de uso, ocupação e contexto climático. Por meio de medições *in loco* ou simulação computacional é possível traçar critérios e indicadores para avaliação do desempenho térmico, como o somatório de graus-hora de resfriamento ou aquecimento do edifício, a partir de limites de temperatura, definidos de acordo com as exigências de conforto térmico dos ocupantes (BATISTA, 2011). Com isso é possível analisar a eficácia das decisões arquitetônicas, inclusive o custo-

benefício de sistemas passivos, com relação ao consumo de energia de sistemas artificiais.

Outro fator importante na análise do desempenho térmico da edificação é o conhecimento das propriedades termofísicas dos materiais utilizados. A especificação criteriosa dos materiais, o cuidado com a orientação quanto à insolação das fachadas e o aproveitamento da ventilação natural em climas quentes e úmidos são estratégias a serem pensadas para atingir boas condições de climatização em um edifício. Para prover conforto térmico ao usuário cabe analisar também as sensações psico-fisiológicas do homem em relação ao espaço construído, tendo em vista o tipo de vestimenta e a tarefa realizada no ambiente, para que ele possa desempenhar plenamente suas atividades.

O uso de equipamentos de climatização consiste em outro modo de alcançar o conforto térmico, podendo garantir condições internas controladas e satisfatórias de temperatura, umidade e movimento do ar. Entretanto, deve-se levar em conta o maior consumo de energia resultante do uso destes equipamentos e o seu custo, tanto no investimento inicial, quanto na manutenção da edificação.

Tendo em vista o conforto ambiental é possível estabelecer alguns parâmetros gerais, com o objetivo de aperfeiçoar a qualidade das construções. Desta forma, normas são criadas no intuito de uniformizar os critérios de avaliação e análise do desempenho da edificação, além de incentivar a busca por inovações tecnológicas que proporcionem eficiência técnica e econômica, aprimorando a qualidade dos ambientes construídos (PEREIRA; CUNHA NETO, 1988).

A NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) é de caráter orientativo e prescritivo. Subdividida em 5 partes, contém a definição de símbolos e unidades, métodos de cálculos de propriedades térmicas, diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social e o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), o qual divide o território brasileiro em oito zonas, relativamente homogêneas quanto ao clima.

O ZBB foi produzido por uma equipe de pesquisadores, inicialmente baseado apenas nas normais climatológicas, de pouco mais de 300 municípios. Segundo Roriz (2012), como se dispunha da medição de poucos dados meteorológicos do território nacional, muitas zonas foram definidas a partir de interpolação com os dados de regiões próximas, o que agregou elevados níveis de incerteza ao mapa. Dessa forma, desde que

a NBR 15.220 entrou em vigor, trabalhos científicos da área questionam a divisão das zonas bioclimáticas, tendo em vista o extenso território brasileiro e sua grande diversidade climática, a exemplo de Passos (2009) e Martins, Bittencourt e Krause (2012).

Passos (2009) verificou que as estratégias recomendadas pela NBR 15.220 para as cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, não condiziam com as recomendações feitas em seu trabalho, como por exemplo, o tamanho da área das aberturas e a desumidificação do ar, principalmente para a cidade de Pão de Açúcar, onde a autora aponta que essa estratégia é desnecessária, no verão.

Martins, Bittencourt e Krause (2012) fazem uma reflexão sobre o semiárido nordestino, a fim de contribuir para o aperfeiçoamento do ZBB. Os autores constataram que a cidade de Pão de Açúcar, no estado de Alagoas, classificada segundo a norma na zona bioclimática 8, possui características climáticas que mais se assemelham com a cidade de Petrolina, no estado de Pernambuco, a qual está classificada na zona 7. Sendo assim, para a cidade de Pão de Açúcar, os autores sugerem ainda a existência de uma zona de transição, entre a zona 7 e 8, que reflita suas reais características, de acordo também com estratégias e diretrizes projetuais sazonais.

Nesse sentido, pesquisadores vêm desenvolvendo estudos mais aprofundados na área, a fim de contribuir para uma revisão do ZBB e uma melhor definição de estratégias, seguindo as reais características climáticas das regiões. O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, de Santa Catarina (LABEEE)¹ disponibiliza para consulta estudos que dão continuidade às discussões ocorridas no âmbito da ENCAC (Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído), desde janeiro de 2012 até o presente, sobre a necessidade de aperfeiçoamento do zoneamento bioclimático do Brasil.

O zoneamento proposto na NBR 15.220 é bastante aplicado em outros regulamentos e normas, para avaliação do desempenho térmico de edificações.

Destacam-se os Regulamentos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais (RTQ-C) e Residenciais (RTQ-R) do Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), os quais utilizam como referência o ZBB para avaliar quesitos como: condicionamento de ar, envoltória e

¹ Endereço eletrônico do laboratório de eficiência energética em edificações: <http://www.labee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>

iluminação, para edifícios comerciais; e sistema de aquecimento de água, sistemas instalados nas áreas comuns e envoltória, para edifícios residenciais. O método aplicado nos regulamentos técnicos de qualidade resulta na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para o edifício, o qual pode variar da etiqueta A, mais eficiente, à etiqueta E, menos eficiente.

O RTQ-C e o RTQ-R foram publicados, respectivamente, em 2009 e 2010. Até a presente data são de caráter voluntário para edifícios residenciais, comerciais e de serviço, entretanto devem se tornar compulsórios nos próximos anos. Em junho de 2014 o selo Procel, correspondente à ENCE com melhor nível de eficiência energética, passou a ser obrigatório para edifícios públicos federais, através da publicação no Diário Oficial da União, da normativa IN02/2014, que obriga edificações novas ou em processo de reformas a serem etiquetadas.

A NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013), também referencia o ZBB. Porém, diferente da NBR 15.220, estabelece os requisitos de qualidade da maioria dos sistemas construtivos, instituindo nível de desempenho mínimo ao longo de uma vida útil para os principais elementos: estrutura, vedações, instalações elétricas e hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura, de toda e qualquer edificação habitacional.

Vigente desde julho de 2013, a norma define parâmetros técnicos para quesitos como acústica, transmitância térmica, durabilidade e manutenção, estes últimos conceitos que, antes da norma, não eram definidos nem passíveis de serem medidos (CBIC, 2013).

O desenvolvimento e aperfeiçoamento da avaliação do comportamento térmico de edificações constituem um grande avanço para o setor da construção civil. Com base em estudos capazes de prever o desempenho proposto da edificação, considerando também as inovações tecnológicas, é possível obter uma melhoria na construção brasileira, na qualidade das habitações. Apesar da discussão sobre qualidade e desempenho ser antiga, somente agora começa a ser posta em prática, em maior escala, com a NBR 15.575. Até então, o mercado da construção civil cresceu sem uma referência de valor normativo, para determinar o desempenho mínimo de qualidade para as edificações.

Em 2010, a Caixa Econômica Federal lançou o guia Caixa de Sustentabilidade Ambiental, para obtenção do Selo Casa Azul CAIXA. Primeiro sistema de classificação da sustentabilidade, foi desenvolvido para a realidade da construção habitacional brasileira, visando soluções adequadas à realidade local. Os critérios de avaliação são vinculados a temas como: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais (CAIXA, 2010).

A despeito das normas e regulamentos citados, são construídas atualmente milhares de habitações populares sem levar em consideração a devida adequação climática. Atualmente, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) do governo federal, em parceria com estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos é o grande fomentador do mercado de habitação no país. Na primeira fase do programa, foram construídas 1 milhão de moradias e pretende-se construir 2 milhões até 2014 (CAIXA, 2013). A Caixa Econômica Federal, financiadora do PMCMV, estabelece alguns padrões construtivos básicos, através de uma cartilha com especificações técnicas, físicas e funcionais para a construção. Entretanto, são implantadas no país habitações populares onde é perceptível a pouca ou nenhuma diferença construtiva e arquitetônica entre os empreendimentos. Não considerando as características climáticas das diversas regiões do Brasil, muitas construções apresentam má qualidade térmica, com ambientes desconfortáveis.

Tendo como modelo base uma residência unifamiliar, do Programa Minha Casa Minha Vida do governo federal (PMCMV), representativo de uma configuração de uso comum em todo Brasil, este trabalho busca aprofundar o conhecimento acerca de soluções construtivas que visem um melhor desempenho térmico das habitações, através da adequação climática das construções e da busca pelo conforto térmico de seus usuários. Assim, são propostas melhorias no modelo de habitação popular recorrente, incluindo as estratégias passivas recomendadas para cada região, para então quantificar seu desempenho, por meio de simulações computacionais e estudos qualitativos. A partir desta quantificação espera-se contribuir com arquitetos e profissionais da área, servindo como diretriz na construção de habitações adaptadas a realidade climática das localidades estudadas.

OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de uso de estratégias bioclimáticas, em modelos de habitações populares nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, localizadas no estado de Alagoas.

Objetivos Específicos

- Estudar os condicionantes climáticos para o projeto de habitações nas cidades: Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar;
- Analisar o desempenho térmico de uma configuração recorrente de habitação popular nas três cidades;
- Propor alternativas projetuais para a incorporação de estratégias bioclimáticas recomendáveis para as cidades em estudo;
- Obter indicadores de desempenho térmico de modelos adaptados para as cidades em estudo, a partir do emprego de estratégias bioclimáticas.

ESTRUTURA DO TRABALHO

Após a introdução, onde é apresentada a importância do estudo da arquitetura bioclimática, assim como as normas brasileiras de referência, a problemática relacionada ao tema abordado e os objetivos da pesquisa, o trabalho foi estruturado em cinco capítulos.

No capítulo 1, apresenta-se a fundamentação teórica sobre o tema, onde são discutidos trabalhos já realizados na área e conceitos importantes, que fundamentam a pesquisa.

No segundo capítulo é feito um estudo caracterizando a arquitetura local, o clima e as estratégias aplicáveis a cada cidade analisada, com base nos arquivos climáticos das mesmas. Assim justificam-se as estratégias a serem empregadas nos modelos de habitação, que serão analisados e apresentados no capítulo seguinte.

No capítulo 3 são definidos os modelos arquitetônicos a serem analisados, onde são detalhados os procedimentos metodológicos utilizados para avaliação do desempenho térmico das edificações residenciais e do potencial de uso de estratégias passivas de condicionamento, nas cidades estudadas.

Apresenta-se no capítulo 4 o conjunto de resultados encontrados e sua discussão. O capítulo 5 apresenta as considerações finais, confrontando-se os resultados alcançados com o objetivo da pesquisa, além de apontar as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta os aspectos que fundamentaram o desenvolvimento do trabalho, tanto no processo de escolha dos parâmetros de desempenho térmico, quanto na escolha das estratégias bioclimáticas a serem estudadas e dos métodos de análise utilizados. Aborda conceitos relacionados ao conforto térmico e ao comportamento do indivíduo frente às características da edificação, as normas e a classificação climática pertinentes ao tema desempenho das edificações, estratégias de resfriamento passivas e os métodos de simulação mais utilizados para avaliação de desempenho termo energético.

1.1 Conforto Térmico no Interior das Edificações

O conceito de conforto pode ser entendido como um “estado de espírito”, que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente. A sensação de bem estar está ligada a características subjetivas, que refletem de fatores físicos e fisiológicos de cada pessoa, que por sua vez é proveniente da interação do indivíduo com o meio ambiente em que se insere. (SZOKOLAY, 2004).

Neste sentido, o edifício exerce grande importância na obtenção do conforto térmico de seus usuários, pois é responsável pelo grau de vulnerabilidade proporcionado a seus ocupantes para com o clima externo. Assim, a sensação de conforto e desconforto dependerá da qualidade construtiva do edifício, ou da capacidade de implantação de sistemas artificiais, seja para resfriamento ou aquecimento (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

De acordo com a atividade desenvolvida pelo indivíduo, o organismo libera certa quantidade de calor. Através de mecanismos de trocas térmicas entre o homem e o ambiente, o calor pode ser dissipado. Estas trocas podem ocorrer de diferentes formas e simultaneamente: convecção, radiação, evaporação e condução.

A convecção acontece quando a transferência de calor se realiza por meio do movimento do ar, como a ventilação, que pode dissipar o calor na superfície da pele. Já a radiação é a transferência de calor através de ondas eletromagnéticas que percorre um

espaço vazio, não havendo, portanto, necessidade de um meio material para a transferência de massa térmica. Quando a radiação solar direta ou a radiação emitida pelos objetos atinge uma superfície, transforma-se parte em calor, podendo causar desconforto em climas quentes. Por isso, recomenda-se o sombreamento para algumas regiões onde o ganho de calor por radiação é alto (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

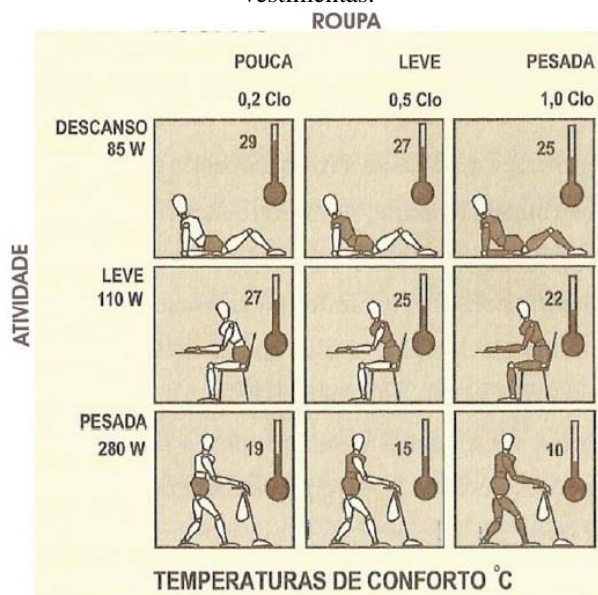
Outra forma de troca térmica acontece por condução, através do contato direto do corpo com o objeto, onde o corpo de maior temperatura conduz calor para a superfície de menor temperatura. Já a evaporação ocorre por meio do suor, de modo que a umidade e velocidade do ar são fatores determinantes na sensação térmica do indivíduo neste caso (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

Para Szokolay (2004), o fator mais influente em todos estes processos de trocas térmicas é a temperatura do ar, pois determina a dissipação convectiva do calor. Entretanto, a velocidade do ar é outro fator importante. Quando mais elevada, acelera as trocas de calor por convecção na superfície da pele, bem como influencia na evaporação do suor, produzindo um efeito de resfriamento fisiológico.

Segundo Givoni (1992), uma velocidade do ar de 2 m/s, diante uma faixa de temperatura de 30°C à 32°C é considerada ideal, não havendo a percepção de vento excessivo.

Vale ressaltar que características humanas como idade, sexo, taxa metabólica do indivíduo e a atividade desenvolvida no ambiente também influenciam o conforto térmico. A vestimenta é outro fator importante. Medida em *Clo* (unidade de medida da resistência térmica da roupa), interfere nas trocas térmicas entre o corpo e o ambiente. Corbella e Yannas (2003) discutem os efeitos combinados produzidos pelas variáveis: vestimenta, atividade e velocidade do vento (Figura 1.1 e 1.2).

Figura 1.1 - Simulação dos efeitos da temperatura de conforto nas diferentes atividades, com diferentes vestimentas.



Fonte: Corbella e Yannas (2003), p.33.

Figura 1.2 - Simulação dos efeitos da temperatura de conforto nas diferentes atividades, sob diferentes velocidades do vento.



Fonte: Corbella e Yannas (2003), p.34

Na simulação do efeito da atividade com a velocidade do vento (Figura 1.2), manteve-se fixa a umidade relativa de 60% e uma roupa leve de 0,2 *Clo*. Observa-se que, diante uma atividade pesada, a ventilação (1 m/s) pode proporcionar ao indivíduo a aceitação de uma temperatura até 5°C superior àquela vivenciada sob condição de calmaria. O vento neste caso pode amenizar a sensação de desconforto através do efeito convectivo, onde a ventilação dissipa o calor produzido pelo corpo, possibilitando ao indivíduo suportar temperaturas mais altas.

A combinação de velocidade do ar, temperatura, umidade e radiação pode produzir condições agradáveis ou não, sendo determinantes para definir uma zona de conforto. Esta zona, definida com base em índices de conforto, serve como parâmetro na análise das estratégias a serem aplicadas no projeto de edificações.

Frota e Schiffer (2001) destacam o agrupamento dos índices de conforto em biofísicos, fisiológicos e subjetivos. Através destes índices são estabelecidas zonas de conforto térmico. Delimitadas graficamente, por meio de nomogramas¹, cartas psicométricas e diagramas, prescrevem parâmetros físicos para determinar o intervalo de condições climáticas dentro do qual a maioria das pessoas não sente desconforto térmico, seja por calor ou por frio.

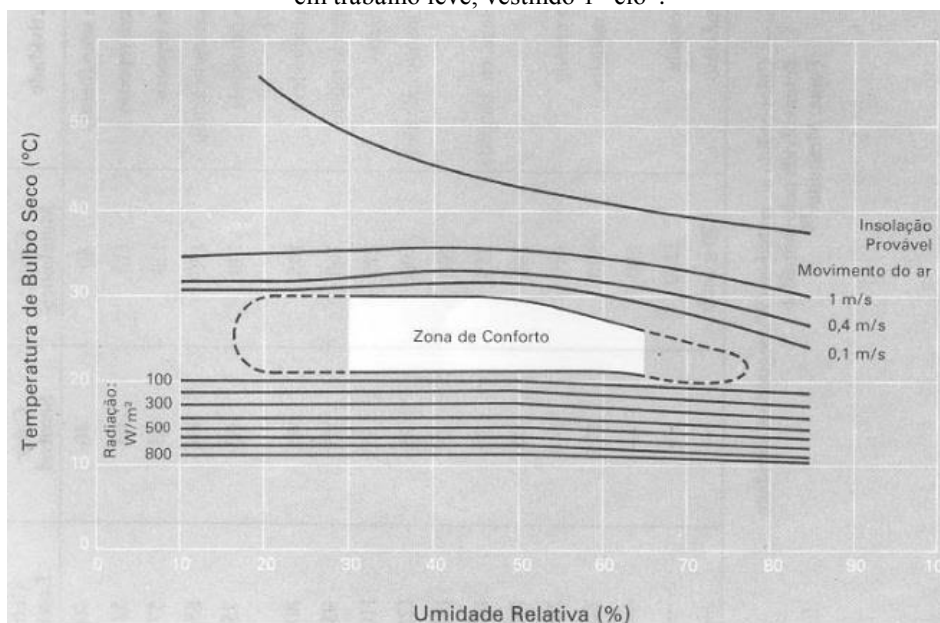
Houghten e Yaglou, em 1923, propuseram o primeiro índice de conforto, com base na temperatura efetiva, que é calculada em função da temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. Frota e Schiffer (2001) classificam esse índice como subjetivo, onde essas correlações são apresentadas em forma de nomogramas. Em 1932, Vernon e Warner propõem uma correção para o índice de temperatura efetiva, utilizando a temperatura do termômetro de globo no lugar da temperatura de bulbo seco, alegando que a temperatura radiante, sendo superior ou inferior a temperatura do ar seco, altera a sensação de conforto (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O índice de conforto equatorial, também conhecido como índice de Singapura de Webb, é voltado para habitantes de climas tropicais, como o quente e úmido. Desenvolvido a partir de observações feitas em Singapura, com base em dados obtidos com a aplicação da psicologia experimental e análise de testes aplicados em indivíduos completamente aclimatados na região, deu origem a um nomograma, que se assemelha com o nomograma de temperatura efetiva. Todavia, incorpora dados referentes ao P4SR (Previsão da Produção de Suor em 4 horas), o qual consiste em um índice fisiológico desenvolvido por McArdle, do *Royal Naval Research Stablishment* (FROTA; SCHIFFER, 2001). Este índice considera uma temperatura na faixa de 25,5°C, como confortável, para regiões tropicais.

¹ Nomogramas são gráficos que servem para representar no plano, equações com várias variáveis, de tal forma que o cálculo das suas soluções se reduz a uma simples leitura efetuada nesse gráfico. Como exemplo tem-se o nomograma de temperatura efetiva de *Houghten e Yaglou* (1923). Fonte: <http://cmup.fc.up.pt/cmup/nomografia/node2.html>

Em 1963, os irmãos Olgyay utilizaram pela primeira vez o termo arquitetura bioclimática, criando a carta bioclimática no intuito de relacionar o clima com o projeto arquitetônico. A carta é uma representação gráfica que mostra a conexão entre clima e o conforto humano, sendo considerada um índice biofísico, pois se baseia nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente. O gráfico apresenta como ordenada a temperatura de bulbo seco e como abscissa, a umidade relativa do ar, criando uma zona de conforto central, de acordo com situações preestabelecidas, de vestimenta e o tipo de trabalho realizado no ambiente (Figura 1.3). Caso, as condições de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa do ar não estejam localizadas no centro da carta, na zona de conforto, haverá necessidade de tomar medidas corretivas para o projeto (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Figura 1.3 - Carta Bioclimática para habitantes de regiões de clima quente, em trabalho leve, vestindo 1 “clo”.



Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

Como pode ser visto na figura 1.3, para regiões quentes, quando a temperatura de bulbo seco e umidade relativa estiverem acima da zona de conforto, a carta propõe recorrer ao efeito do movimento do ar. Quando a temperatura de bulbo seco for inferior a 20°C, as linhas do gráfico representam a quantidade de radiação necessária para atingir a zona de conforto.

A carta bioclimática é bastante utilizada até os dias de hoje, tendo recebido aperfeiçoamentos de vários pesquisadores, que criaram novas versões. Givoni (1992)

destaca o fato das diretrizes da carta bioclimática de Olgyay (1963) serem aplicáveis apenas às condições externas, e portanto orientações baseadas apenas nestas condições podem não ser muito apropriadas, em locais onde a temperatura interna e externa apresentarem grandes variações.

A temperatura interna de edifícios não condicionados e com grande massa térmica, em regiões quentes e áridas, costuma ser muito diferente das condições de temperatura externa, com variações de até 7 a 8K. Nesse caso, a ventilação diurna pode ocasionar maior desconforto aos ocupantes, uma vez que levará para o ambiente interno o calor do ambiente externo. À noite costuma acontecer o inverso, pois a temperatura externa é menor do que a interna, favorecendo o emprego da ventilação (GIVONI, 1992).

Com base nessa discussão, Givoni desenvolveu uma nova demarcação das condições climáticas, a fim de resolver os problemas levantados no gráfico de Olgyay, com base em pesquisas de campo realizadas nos EUA, Europa e Israel. Os limites da zona de conforto e as diferentes estratégias sugeridas baseiam-se em temperaturas internas esperadas de edifícios que não possuem condicionamento artificial (verificadas a partir de estimativas ou de experimentos de campo), projetados de modo adequado ao clima local.

Givoni (1992) considera ainda que em países em desenvolvimento, com clima quente, onde as pessoas tem o costume de vestir roupas leves e estão submetidas em maior parte a edifícios não condicionados artificialmente, estas são capazes de tolerar temperaturas mais elevadas, próximas aos 29°C. Já em países desenvolvidos, as faixas de temperaturas de conforto sugeridas como aceitáveis, em condições sem vento, variam entre 18°C a 25°C no inverno e 20°C a 27°C no verão.

Destaca-se que a ASHRAE Standard 55 (2010) considera o princípio adaptativo de Givoni (1992), com base na tolerância ao calor ou ao frio de acordo com o clima local, a partir da temperatura média externa. Através do efeito combinado da temperatura do ar, da radiação e do movimento do ar, esta norma apresenta limites de aceitabilidade para a temperatura operativa de ambientes naturalmente ventilados.

Este efeito pode ser representado por meio da temperatura operativa, que é expressa matematicamente através da Equação 1 (ASHRAE, 2010):

$$TOP = A \cdot Ta + (1 - A) \cdot Tr \quad (1)$$

Onde, TOP = temperatura operativa (°C);
 A = fração radiante (adimensional);
 Ta = temperatura do ar (°C);
 Tr = temperatura radiante média (°C)

A fração radiante “A” é um parâmetro que representa a relação entre as trocas térmicas por radiação e por convecção, variando em função da velocidade do ar, conforme indicado pela ASHRAE Standard 55 (2010):

A=0,5 para $V_{ar} < 0,2$ m/s;
 A=0,6 para $0,2 \leq V_{ar} < 0,6$ m/s;
 A=0,7 para $0,6 \leq V_{ar} < 1,0$ m/s,

onde: Var= Velocidade do ar no ambiente (m/s).

De modo simplificado, a temperatura operativa pode ser calculada pela média aritmética entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média (ASHRAE, 2010).

1.2 Diretrizes para o Projeto Bioclimático

Percebe-se que as exigências de conforto no interior das edificações variam de região para região, não só pela diferença climática, mas por fatores físicos, subjetivos e culturais entre os indivíduos. No entanto, é primordial que o arquiteto conheça bem o clima e a influência destes fatores para poder traçar as diretrizes de projeto e definir as estratégias bioclimáticas.

Assim, o primeiro passo para construir tendo como objetivo uma arquitetura bioclimática é examinar o clima da região, relacionando-o com as necessidades humanas, tirando partido dos pontos favoráveis e solucionando aqueles desfavoráveis.

Existem muitos métodos de classificação climática, voltados para diversos fins, dentre agricultura, biologia, geologia e arquitetura. Para a arquitetura é interessante conhecer os dados climáticos referentes à temperatura, umidade, precipitação, ventos e demais características já mencionadas.

No Brasil, o estudo de Edmon Nimer se destaca pelo objetivo de sistematizar o clima diversificado do país, de acordo com a temperatura média e a quantidade de meses secos. O estudo foi publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e consiste em duas classificações climáticas, a classificação por zonas: Equatorial, Temperado, Tropical Brasil Centro, Tropical Nordeste Oriental e Tropical Zona Equatorial; e outra classificação, que subdivide os climas em quentes, sub-quentes, mesotérmico brando e mesotérmico mediano, de acordo com a temperatura de bulbo úmido e bulbo seco (NIMER, 1989).

Para efeito deste trabalho serão abordadas regiões de climas tropicais, localizadas entre os trópicos de câncer e capricórnio. Dentro dessa faixa equatorial, o clima varia de quente e seco a quente e úmido. O Brasil, por possuir sua maior extensão territorial entre os trópicos, é considerado como um país tropical. Nimer (1989) classifica o clima do país como predominantemente úmido, entretanto possui algumas regiões de clima semiárido, com longos períodos de seca.

O clima semiárido, também denominado "quente-seco" é caracterizado por baixo nível de umidade, grande radiação direta e grandes oscilações de temperatura do ar. Durante o dia a temperatura pode extrapolar o limite superior de conforto, enquanto à noite pode apresentar temperaturas bem abaixo do limite inferior.

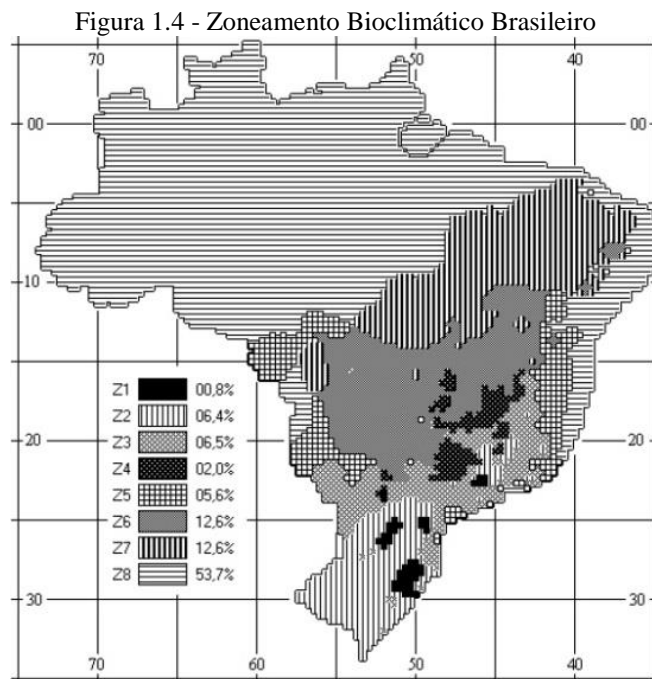
Ao contrário de regiões de clima quente e seco, em regiões de clima quente e úmido as oscilações de temperatura do ar são pequenas e os níveis de umidade são altos. O que difere as estações é a ocorrência de mais ou menos chuva e ventanias. A temperatura da pele geralmente é maior do que a temperatura do ar. Nestas regiões há uma intensa luminosidade e radiação difusa (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

Tentando sistematizar estes comportamentos climáticos nas diferentes regiões do país, relacionando-os com o comportamento térmico e energético de edificações, a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB). Este divide o território em 8 zonas climáticas diferentes, de acordo com os dados das normais climatológicas divulgadas pelo INMET para 330 cidades, estimando por interpolação o clima das demais.

Com base na Carta Bioclimática de Givoni adaptaram-se os limites das zonas de conforto para as cidades brasileiras. Conforme a adaptação, foram apresentadas recomendações de estratégias passivas para habitações de interesse social para as

regiões do mapa, agrupando em uma mesma zona os pontos correspondentes às estratégias semelhantes (RORIZ, 1999).

Esta metodologia de classificação das zonas bioclimáticas resultou em grandes áreas homogêneas quanto ao clima. Observa-se na Figura 1.4, que a zona 8, de clima quente e úmido, ocupa 53,7% do país, incluindo desde a região da Amazônia até boa parte do litoral brasileiro. Já a zona 1, região mais fria ao sul, representa apenas 0,8%.



Fonte: NBR 15220-3 (2005).

Porém, a classificação não condiz com a diversidade climática do Brasil (RORIZ, 2012). A ausência de estações de monitoramento em muitos municípios brasileiros dificultou o detalhamento do clima de várias cidades. Nestes casos, os dados climáticos foram estimados a partir da interpolação de dados disponíveis para outras cidades. Deste modo, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de suprir lacunas nas informações climáticas, de grande importância para orientar o projeto das edificações. Segundo Martins, Bittencourt e Krause (2012), o uso de médias mensais dos dados climáticos como parâmetro pode produzir distorções em regiões que apresentem amplitudes anuais e sazonais relevantes, como é o caso do semiárido brasileiro.

Uma nova proposta de zoneamento bioclimático está sendo estudada, a fim de traduzir mais fielmente as características climáticas das regiões brasileiras. Roriz (2012) apresenta uma revisão do zoneamento, elaborada com base em dados de 1.281 pontos monitorados por satélite a cada grau de latitude e longitude, estimando a temperatura nos pontos restantes por interpolação de dados e aplicação de equações de regressão. Além destes, dados de 1.265 lugares do território nacional foram compilados de outras pesquisas. No caso das regiões que não dispuseram dos dados compilados, foram adotadas as médias mensais de temperatura máxima e temperatura mínima medidas pela NASA, por meio de satélite, em um período de 22 anos, entre os anos de 1983 e 2006 (Figura 1.5) (RORIZ, 2012).

Figura 1.5 - Localização das estações de superfície e dos pontos com dados medidos por satélite



Fonte: Roriz, 2012.

Os parâmetros adotados para classificação dos climas apresentam indicadores do comportamento climático de cada ponto do território. São eles: temperatura média anual, amplitude média anual e desvios em relação a média dessas variáveis, resultando em 24 zonas bioclimáticas.

Esta proposta de zoneamento, ainda suscita muitas discussões. Roriz (2012) ressalta que, infelizmente, muitos dos dados climáticos registrados no Brasil não são totalmente confiáveis, trazendo muitas lacunas que dificultam o estudo e classificação das zonas. O autor aponta ainda que até mesmo as Normais Climatológicas do período de 1961 a 1990, revistas pelo INMET, levantam dúvidas sobre sua plena confiabilidade. Considerando essa realidade, torna-se uma tarefa complexa para os pesquisadores da

área definir uma classificação climática referente às estratégias de projeto, tendo em vista que pequenas alterações nos limites levantados podem provocar grandes diferenças na distribuição das zonas bioclimáticas.

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), as cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, analisadas neste trabalho, pertencem a zona bioclimática 8, que requer como estratégia a ventilação cruzada permanente. A norma orienta grandes aberturas sombreadas, com paredes e coberturas leves e refletoras.

No entanto, o estudo de Passos (2009) questiona essa classificação. Ao analisar estratégias para as cidades de Maceió, Palmeira dos índios e Pão de Açúcar, com base em dados meteorológicos de um período de aproximadamente dez anos, obtidos junto ao INMET, a autora constatou que há diferenças climáticas entre as cidades, apesar de todas estarem na zona bioclimática 8. De acordo com os resultados obtidos, as principais estratégias recomendadas para as cidades foram: sombreamento, ventilação e proteção contra as chuvas para Maceió; sombreamento, ventilação, proteção contra as chuvas e massa térmica para resfriamento em ambientes de uso diurno para Palmeira dos Índios; e sombreamento, ventilação, massa térmica para resfriamento em ambientes de uso diurno e resfriamento evaporativo para Pão de Açúcar.

1.3 Estratégias de Resfriamento Passivo

Para efeito deste trabalho serão abordadas estratégias para climas semi árido e quente e úmido, visando o conforto térmico dos habitantes com uma menor utilização de recursos artificiais de climatização.

Givoni (1992) destaca quatro estratégias de resfriamento para os climas em questão: ventilação diurna; massa térmica elevada, com ou sem ventilação noturna; resfriamento evaporativo direto; resfriamento evaporativo indireto e sombreamento. O autor também estabelece limites para aplicação dessas estratégias, baseados no comportamento climático do local onde a edificação será construída, conforme será apresentado a seguir.

1.3.1 Ventilação Natural

A estratégia de ventilação destaca-se pela sua importante função, diante de três situações. A primeira refere-se às questões de saúde, visando à qualidade do ar em ambientes internos. Para manter níveis de salubridade do ambiente, esta estratégia é usada para remover as impurezas que possam existir no ar. A segunda importante finalidade é referente ao resfriamento do edifício, onde possui a função de retirada da carga térmica absorvida pela construção, em decorrência da exposição à radiação solar e aos ganhos térmicos produzidos no interior da edificação. O resfriamento fisiológico refere-se ao efeito de refrescamento causado pela velocidade do ar. Este é o terceiro objetivo da estratégia (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

A ventilação acelera as trocas térmicas por convecção, além de provocar o efeito de resfriamento pela evaporação do suor da pele. Sendo assim, esta estratégia é uma das principais adotadas em climas quentes e deve ser trabalhada tendo em vista estas três condições: renovação do ar; resfriamento da edificação e resfriamento fisiológico.

Uma vez aproveitada durante o dia, por meio das aberturas adequadamente dispostas, permite uma velocidade mais elevada do ar no ambiente interno, influenciando na sensação térmica dos habitantes. Entretanto, quando a temperatura externa é maior do que a interna, deve-se evitar a ventilação diurna, pois nesse caso proporcionará o aquecimento e não o arrefecimento no interior.

A ventilação noturna é outra maneira de se aproveitar esta estratégia, considerando a situação onde a diferença de temperatura interna e externa é grande. À noite, quando a temperatura interna é maior do que a externa, a ventilação é bem vinda para o resfriamento no interior do edifício. No dia seguinte, a massa construtiva arrefecida reduz a taxa de aumento da temperatura interna, em vista do efeito de amortecimento térmico provocado. Essa estratégia é denominada, segundo Givoni (1992) como resfriamento convectivo noturno.

Do ponto de vista do projeto do edifício, o emprego da ventilação, seja diurna ou noturna, exige diferentes detalhamentos. Portanto, recomenda-se que a ventilação diurna seja aplicável apenas quando o conforto interior possa ser experimentado sob a temperatura externa (valor máximo entre 28°C e 32°C), conforme também a velocidade

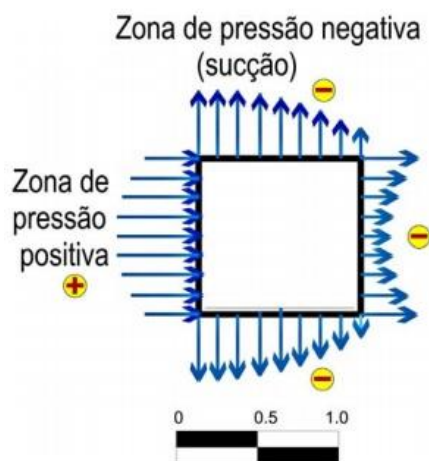
do ar interna, sendo considerado aceitável um valor de aproximadamente 2m/s, correspondente a uma brisa leve (GIVONI, 1994).

Já o resfriamento convectivo noturno é bastante recomendado em regiões áridas e regiões desérticas, quando a temperatura máxima é inferior a 36°C. Em regiões onde a temperatura excede os 36°C a ventilação noturna, sozinha, não consegue manter a temperatura interna diurna sob condições aceitáveis. Para obter eficácia, o edifício deve apresentar grande massa térmica e que possuir sombreamento considerável.

A estratégia de ventilação também deve estar associada às demais características do edifício. O fluxo de ar no ambiente interno é influenciado pelas áreas de abertura na envoltória, assim como seus mecanismos de controle e a orientação em relação à direção dos ventos. O entorno é outro fator a ser considerado, pois a vegetação, muros laterais e cercas, ruas estreitas e arranjos densos interferem no efeito da ventilação (SZOKOLAY, 2004).

O escoamento do ar é induzido ainda pela geometria do edifício, ao criar zonas de pressão positivas, à barlavento, e zonas de pressão negativas, à sotavento. As aberturas voltadas à barlavento sofrem a ação direta dos ventos, que tendem a forçar a sua entrada na edificação (pressão positiva), enquanto as aberturas à sotavento sofrem o efeito de sucção (pressão negativa) (Figura 1.6). A diferença entre as duas pressões pode gerar o efeito de movimento do ar. Aberturas em três fachadas diferentes otimizam a ventilação cruzada, pois produzem significantes gradientes de pressão em vários pontos (BITTENCOURT;CANDIDO, 2006).

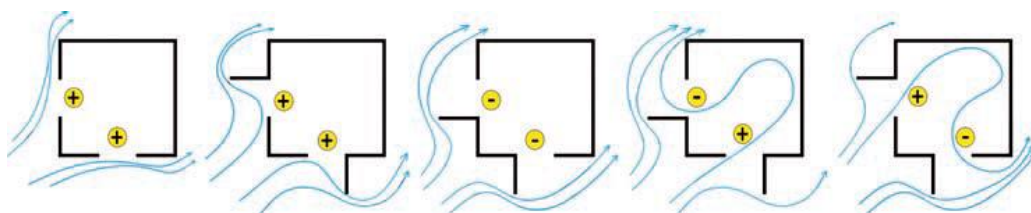
Figura 1.6 - Campos de pressão.



Fonte: Givoni (1976 apud Bittencourt e Cândido, 2010).

As diferenças de pressão podem ser criadas também por elementos posicionados de forma estratégica junto às aberturas (Figura 1.7), pois além de mudarem a configuração do fluxo interno, produzem uma ventilação mais acentuada (BITTENCOURT; CANDIDO, 2006). Áreas de entrada de ar maiores que áreas de saída proporcionam uma distribuição mais uniforme da velocidade do ar no interior dos ambientes, porém reduzem o seu fluxo (GIVONI, 1976; ERNEST, 1992).

Figura 1.7 - Projeções verticais que interferem no fluxo de ar



Fonte: Fleury (1990 apud Bittencourt e Cândido, 2010).

É comum, em regiões do nordeste brasileiro, o uso de elementos vazados como solução para o aumento das taxas de ventilação. As pérgulas e os cobogós são exemplos bastante utilizados em regiões tropicais, pois possibilitam uma maior permeabilidade ao edifício e com isso uma permanente circulação do vento, ao mesmo tempo em que protegem dos raios solares diretos (Figura 1.8). Outra característica destes componentes arquitetônicos é a integração de espaços interiores e exteriores. No entanto deve-se levar em conta a necessidade de proteção contra a penetração da chuva (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

Figura 1.8 - Elementos vazados da Universidade Federal de Alagoas

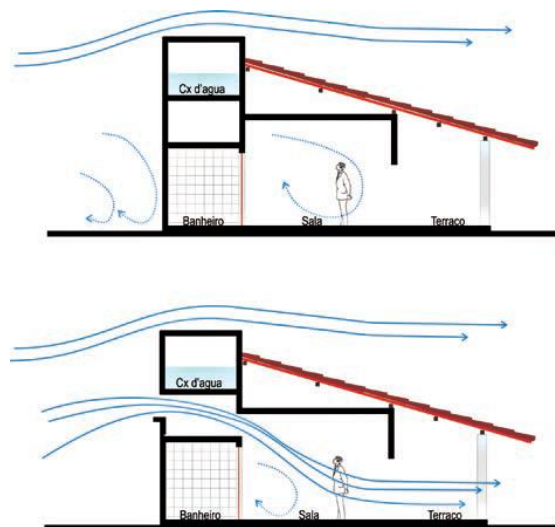


Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Os captadores de vento constituem outro elemento arquitetônico, situados acima do nível da cobertura das edificações, capaz de produzir maiores índices de ventilação no ambiente interno. Muito utilizado em climas semiáridos, no Oriente Médio o captador de vento é conhecido como uma torre vertical, com aberturas na parte superior e inferior. Direcionados para os ventos dominantes da região, tem a função de captá-lo, redirecionando-o para os ambientes internos. Devido a maior altura em que fica localizado, a densidade de obstruções ao vento é menor e, conseqüentemente, a velocidade do ar é maior, possibilitando assim um melhor aproveitamento da ventilação.

Torres de caixa d'água também podem ser aproveitadas como captadores de vento em habitações populares. Lôbo e Bittencourt (2003) destacam que no nordeste brasileiro as construções possuem caixas d'água elevadas para obtenção de uma boa pressão da água nas torneiras, podendo-se adaptá-las para servir como captadores ou exaustores de vento (Figura 1.9).

Figura 1.9 - Aproveitamento da ventilação natural pela adaptação de caixas d'água.



Fonte: Lôbo e Bittencourt (2001 apud Bittencourt e Cândido, 2010).

Os autores demonstraram através de simulação computacional que a velocidade do vento interna pode apresentar um incremento de 100% no interior de ambientes de edificações que utilizam esta estratégia.

O *shed* é outra solução útil para ventilação, que pode ser trabalhada na cobertura, proporcionando também luz natural. Utilizando-se a diferença de altura das águas do telhado para inserção de aberturas, as mesmas podem funcionar como captadores de

ventos quando voltadas para o vento predominante, ou como extratores de ventos, quando localizadas à sotavento, ajudando na circulação e renovação do ar.

Testes realizados em túnel de vento por Gandemer et al. (1992) definiram que para um real potencial dos *sheds*, estes devem ser maiores que 20% da área da seção transversal do edifício, no sentido perpendicular à direção do vento. Os estudos apontaram que quando os *sheds* funcionam como exaustores de ar, considerando ambientes com ventilação cruzada, a velocidade do ar pode aumentar em torno de 40% e quando forem utilizados como entrada de ar, a velocidade aumenta em torno de 15%.

1.3.2 Massa térmica

A transferência de calor por condução depende da capacidade de isolamento do envelope do edifício. A massa térmica construtiva tem papel importante neste processo, pois afeta o tempo de entrada de calor no interior do ambiente, produzindo condições térmicas internas mais estáveis (SZOKOLAY,2004).

Segundo Givoni (1992), a temperatura interna de edifícios não condicionados, especialmente em edifícios de grande massa térmica, em regiões quentes e áridas, pode apresentar diferenças significativamente maiores em relação à temperatura externa. O autor estabelece que a massa térmica seja aplicada quando a temperatura externa máxima durante o dia não ultrapasse os 36°C, e a temperatura máxima noturna não ultrapasse os 20°C. Segundo o autor, a temperatura média interna quando chega a noite é cerca de 1°C a 2°C acima da média ao ar livre, devido ao resultado do amortecimento da massa térmica e da geração de calor proveniente dos usuários e equipamentos internos.

Paredes espessas e de material construtivo de elevada capacidade térmica produzem um atraso térmico, capaz de fazer com que o calor armazenado durante o dia no envelope só ultrapasse, chegando no ambiente interno, à noite. Considerando também as perdas que ocorrem neste processo de condução, esta estratégia funciona como um amortecimento da carga térmica proveniente dos ganhos por radiação, durante o dia. Vale ressaltar que, mesmo com alta massa térmica, os edifícios construídos nas regiões tropicais de clima quente e seco e quente e úmido não dispensam o sombreamento, otimizando assim, o desempenho desta estratégia.

Oliveira (2013), em seu trabalho avalia o desempenho térmico da envoltória de uma habitação de interesse social, em cidades de climas distintos no estado da Paraíba, a partir das recomendações sugeridas pela norma 15.220 (ABNT, 2005), para fechamentos opacos e transparentes. Através de simulações computacionais, a autora observou que, as recomendações sugeridas pela norma em relação ao valor de transmitância térmica, não são adequadas para edificações de interesse social em João Pessoa e Patos.

Considerando que a norma 15.220 (ABNT, 2005) sugere o uso de paredes leves refletoras para a zona 8 das cidades estudadas, indicando transmitância térmica com $U \leq 3,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e atraso térmico $\phi \leq 4,3 \text{ hs}$, a autora observou a partir de simulações, que a parede de concreto maciço, com $U = 5,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, apresentou uma redução de 12% em média do número de horas de desconforto, em relação a parede dupla de tijolos, $U = 0,98 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, concluindo que o uso da parede com maior transmitância térmica, nestas cidades resultou nos melhores desempenhos de horas de conforto.

Entretanto, segundo Goulart (2004), a inércia térmica em edifícios não pode ser considerada como uma estratégia isolada. Em sua pesquisa, a autora analisa a influência da inércia térmica para arrefecimento, no clima quente e úmido do sul do Brasil. Verifica-se que a ventilação noturna é a medida mais importante, que deve ser levada em consideração quando se utiliza a inércia térmica nas paredes, para a remoção da carga térmica acumulada durante o dia. No entanto, quando aplicada também na cobertura produz efeito mais significativo na melhoria do desempenho térmico, da edificação. Outro fator que deve ser observado é a área de abertura envidraçada. Grandes áreas translúcidas induzem a um maior ganho de calor pela radiação solar, interferindo no efeito da massa térmica aplicada nas paredes. Deste modo, a autora destaca a importancia do sombreamento nas aberturas, como mais uma estratégia a ser considerada, para obtenção de melhores resultados.

1.3.3 Resfriamento Evaporativo

O resfriamento evaporativo é uma técnica muito útil, especialmente em regiões semiáridas, pois diminui a temperatura do ar a partir da evaporação da água, podendo ocorrer de forma direta ou indireta.

Givoni (1994) denomina resfriamento indireto quando há o resfriamento de algum elemento da edificação, como por exemplo, telhados verdes ou coberturas que possuam uma lâmina d'água, a qual resfria o teto e diminui a transmissão de calor por condução da cobertura para o espaço abaixo. De acordo com o autor, a cobertura é o elemento que mais sofre com as amplitudes térmicas na envoltória da edificação, tendo em vista a grande exposição à radiação solar, ação das chuvas e perdas de calor durante a noite.

O telhado verde (Figura 1.10) atua também como estratégia de inércia térmica, devido a massa térmica da camada de terra, além de contribuir para o estabelecimento de microclimas, uma vez que o processo de fotossíntese das plantas umidifica o ar, provocando o resfriamento evaporativo, diminuindo a temperatura e aumentando a umidade em dias quentes (ROMERO, 2000).

Figura 1.10 – Telhado verde



Fonte: <http://ecotelhado.com/portfolio/ecotelhado/sistema-modular-alveolar-grelhado>, acesso em, 2014.

Já o resfriamento direto acontece quando o ar resfriado por evaporação é introduzido diretamente no ambiente interno, por meios passivos ou sistemas mecânicos.

De acordo com Massiero (2006), o sistema mecânico do tipo painel resfriador consiste em um processo onde o ar passa por um painel poroso umedecido e é lançado para o interior do edifício, como demonstra a Figura 1.11. O painel pode ser de qualquer material que não contamine o ar ou a água, como por exemplo material fibroso, de tecido e argila expandida.

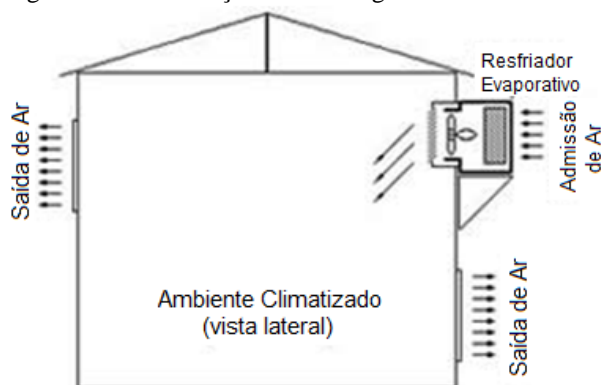
Figura 1.11 - Funcionamento e principais componentes de sistemas de Resfriamento Evaporativo, tipo painel.



Fonte: <http://www.ecobrisa.com.br/funcionamento.html>, acesso em, 2014.

O sistema mecânico de resfriamento evaporativo pode ser empregado na edificação de várias formas. Como exemplo, pode-se citar a instalação do equipamento no teto utilizando um forro falso, ou por duto de insuflamento, alojado em uma casa de máquinas, ou em conjunto com ar condicionado, com operação controlada por sensores de temperatura e umidade. Entretanto, a instalação com descarga direta no ambiente é a opção mais utilizada, por ser a de menor custo (Figura 1.12). Camargo (2009) aponta que há uma redução de 25% a 40% nos custos de operação com o emprego de sistemas com arranjos diretos, quando comparado com os custos de refrigeração mecânica isolada, para produzir o mesmo efeito de resfriamento.

Figura 1.12 - Instalação em descarga direta no ambiente



Fonte: <http://www.catermo.com.br/instalacoes/>, acesso em, 2014.

Segundo Givoni (1994), o resfriamento direto pode ser obtido ainda por meios passivos, tais como a torre de resfriamento desenvolvida e testada por Cunningham e Thompson, em um edifício localizado em Tucson, no estado do Arizona, nos Estados Unidos. O autor relata que, enquanto a temperatura externa máxima de bulbo seco

registrada foi de 40,6°C e a de bulbo úmido 26,6°C, a temperatura de saída de ar da torre de resfriamento foi de 23,9 °C, com velocidade do vento de 0,75m/s.

Givoni (1992) propõe como critério para aplicabilidade de estratégias de resfriamento evaporativo em países em desenvolvimento de clima quente e seco limites de até 24°C para a temperatura de bulbo úmido e 44°C para a temperatura de bulbo seco.

1.3.4 Sombreamento

O Brasil, por ser um país tropical, tem o clima caracterizado pela grande insolação, alta umidade relativa do ar e predominância de clima quente. Sendo assim, o sombreamento é uma estratégia que deve ser adotada em todas as edificações, capaz de reduzir significativamente o ganho de calor para os ambientes internos, evitando a incidência direta dos raios solares. Como exemplo de elementos aplicados a esta estratégia, pode-se citar cobogós, brises, beirais, marquises, dentre outros protetores solares (Figura 1.13).

Figura 1.13 - Fachada com brises e cobogós

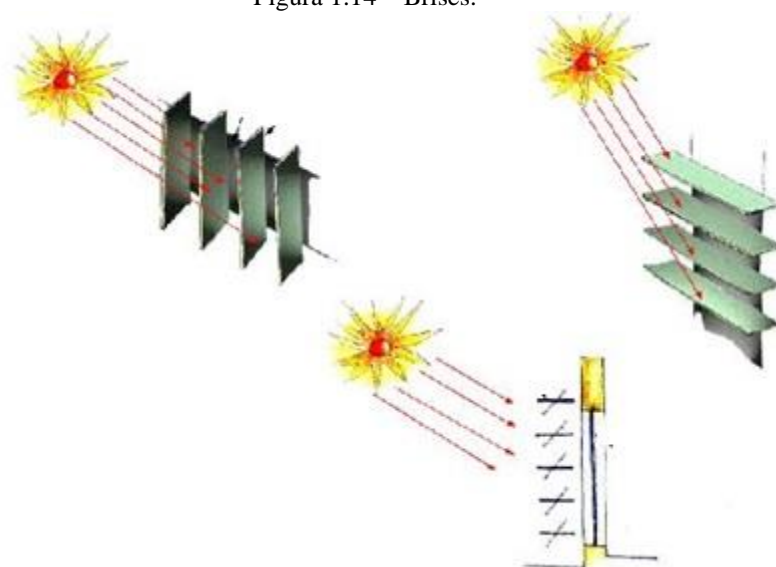


Fonte: <http://metropolerevista.com.br/casa-e-decoracao/cobogo-na-decoracao/15596>, acesso em, 2014.

A influência da radiação solar sobre as edificações é um fator que interfere na arquitetura brasileira. Os elementos que sacam das fachadas, além de proteger contra a radiação, interferem na plasticidade do edifício, podendo transformar sua expressão arquitetônica.

O brise-soleil é um dispositivo de proteção solar bastante conhecido, denominado também como quebra-sol. É constituído por lâminas, geralmente paralelas, externas à edificação, podendo ser verticais ou horizontais, fixas ou móveis (Figura 1.14) (GUTIERREZ; LABAKI, 2005). Dispositivos de sombreamento ajustáveis podem proporcionar flexibilidade em situações climáticas variáveis, conforme o movimento do sol e estações, de verão e inverno. A vegetação também pode ser utilizada como estratégia para sombreamento.

Figura 1.14 – Brises.



Fonte: Claro, 2005.

Segundo Givoni (1992), o sombreamento externo nas aberturas torna possível reduzir mais de 90% do ganho de calor, quando a janela está fechada. Quando o dispositivo for pintado com cor escura, como o preto, maior será seu coeficiente de absorção, por isto é recomendável que o dispositivo esteja posicionado com um afastamento da superfície do edifício, evitando a transferência de calor por condução e dissipando a energia armazenada, com o auxílio da ventilação natural.

Rivero (1985) relata que cores claras com um alto índice de reflexão seriam mais indicadas para dispositivos de proteção solar, pois evitariam absorver altas taxas de calor, em função do aumento da parcela refletida. Entretanto podem causar problemas de ofuscamento no usuário, dependendo do posicionamento do brise.

O percentual de sombra desejável para uma janela depende, além das características do dispositivo, tais como a cor e o material, do tamanho e sua disposição

quanto à orientação solar. Estas características são bastante particulares de cada situação e juntas determinam o desempenho da estratégia de sombreamento.

Em climas quentes e úmidos, Koenigsberger *et al* (1974) recomendam como melhor orientação dispor o eixo mais longitudinal da edificação na direção Leste-Oeste, para evitar os ganhos térmicos nas maiores fachadas. Mas nem sempre esta disposição coincide com o melhor aproveitamento dos ventos na região. O uso de varandas neste clima é muito comum, pois proporciona sombreamento e proteção contra as chuvas.

1.4 Metodologias de Análise de Desempenho Termoenergético

Em vista das recomendações de estratégias e dos índices de conforto já comentados, é importante para o arquiteto avaliar o desempenho do edifício, a fim de solucionar possíveis problemas de conforto térmico e verificar se a estratégia empregada é realmente eficiente. Existem vários métodos de avaliação, qualitativos e quantitativos.

Para climas quentes e úmidos, sabe-se que as trocas de calor por ventilação desempenham um importante papel em relação ao desempenho térmico do edifício e ao resfriamento fisiológico do indivíduo. Por isso é importante analisar como acontece a distribuição do vento no interior da edificação. Nesse sentido, como ferramenta para análise qualitativa e quantitativa da ventilação, pode-se citar o túnel do vento, um dispositivo onde através de modelos reduzidos introduzidos no seu interior é possível observar a distribuição do fluxo de ar nos ambientes (Figura 1.15).

Figura 1.15 – Simulação no Túnel de vento.



Fonte: Vanin, 2011.

Outro dispositivo bastante utilizado para este tipo de análise é a mesa d'água (figura 1.16). Esta ferramenta utiliza o escoamento da água, acrescida de um indicador de contraste (espuma), que flui ao longo de um canal plano e homogêneo (mesa) para representar o escoamento do vento e sua alteração em função da presença de obstáculos e edificações. Ao entrar em contato com os obstáculos colocados sobre a mesa, no caso modelos reduzidos dos edifícios, permite a visualização dos desvios do fluxo, bem como da formação de vórtices e esteiras. O efeito visual da água se assemelha aos verificados em ensaios aerodinâmicos (BLES Mann, 1990).

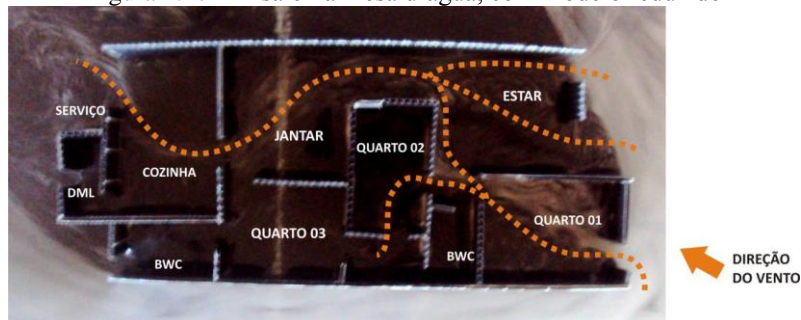
Figura 1.16 - Equipamento mesa d'água utilizado para simulação da ventilação natural.



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Este método apresenta algumas limitações, tais como a visualização do fenômeno apenas em duas dimensões e impossibilidade de mensurar grandezas fluidodinâmicas locais, como pressão e velocidade, e em decorrência, as taxas de vazão. Por outro lado, a mesa d'água apresenta-se como ferramenta bastante prática e útil, pois utiliza maquetes, instrumento já comumente utilizado pelos arquitetos e permite a visualização continuada do escoamento da água, que por analogia representa o vento, possibilitando o registro fotográfico e filmagem do experimento (figura 1.17) (TOLEDO; PEREIRA, 2003). Desse modo é possível fazer uma melhor escolha da localização das aberturas e analisar a influência de outros elementos da edificação, como varandas, brises e marquises no fluxo de ar interno.

Figura 1.17 - Ensaio na mesa d'água, com modelo reduzido



Fonte: Arquivo pessoal, 2013

1.4.1 Simulação Computacional

Por meio de simulações computacionais é possível reproduzir virtualmente projetos que ainda se encontram em fase de concepção, ou mesmo edifícios já construídos, com o intuito de avaliar o seu comportamento termoenergético, detectando problemas no seu desempenho e possíveis soluções. Desse modo, os arquitetos podem prever a viabilidade de estratégias empregadas no projeto, diminuindo a possibilidade de erros na hora de construir ou reformar.

A maioria dos programas de simulação de desempenho termoenergético é de origem estrangeira, dentre eles: THEDES, NBSLD, COMFIE, DOE 2.1E, BLAST, ESP-r, TRNSYS e EnergyPlus (DOE, 2015). No Brasil foram desenvolvidos apenas quatro: DOMUS, ACTERM, COBRA e ARQUITROP (SORGATO, 2009).

Os programas de simulação computacional de desempenho térmico e energético podem auxiliar os arquitetos na concepção do projeto e na escolha das estratégias projetuais mais eficazes. Porém, esta prática não é muito comum em escritórios de arquitetura devido à complexidade dos programas e por requererem um conhecimento multidisciplinar do usuário para lidar com os dados de entrada da simulação. Sendo assim, o uso desta ferramenta é mais voltado para a área acadêmica (WESTPHAL; LAMBERTS, 2005). No entanto, ressalta-se que é importante conhecer as vantagens e limitações da ferramenta computacional antes de usá-la.

Os programas de simulação computacional são baseados em três modelos para determinação da taxa de ventilação e infiltração para as edificações. São eles os modelos zonais, os modelos de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) e os modelos de rede. Nos modelos zonais considera-se o ar das zonas homogêneo e

misturado, assim como nos modelos de CFD. A diferença entre os dois modelos refere-se ao volume de ar, que no modelo CFD é dividido em um número maior de pequenos volumes. Já no modelo de rede, os ambientes são representados por um nó de pressão, em cada abertura, onde são interligados formando assim uma rede de campos de pressão no interior do edifício (SORGATO, 2009).

1.4.1.1 Modelos de dinâmica dos fluidos computacionais

Além da modelagem física utilizada na mesa d'água e túnel de vento, os modelos CFD são capazes de proporcionar a visualização do fluxo de ar para a análise do desenho arquitetônico e sua influência na ventilação (BITTENCOURT; CANDIDO, 2006).

As simulações computacionais baseadas nas equações fundamentais da mecânica dos fluidos, conhecidos como modelos CFD (*Computer Fluid Dynamics*), consideram a conservação de massa, momento e energia, sob condições estáticas, pré-definidas pelo usuário, gerando previsões quantitativas de fluxos de ar, velocidade, pressão e temperatura.

Os modelos CFD permitem computar as trocas térmicas entre o fluxo de ar e seus arredores, considerando a distribuição do ar no interior e no exterior dos ambientes, onde é possível observar o escoamento e distribuição das forças do ar sobre a envoltória da edificação. A modelagem CFD ainda é capaz, dentro de certos limites, de simular problemas envolvendo turbulência (SORGATO, 2009).

Esta ferramenta é bastante útil na análise do desempenho de estratégias, como a utilização de torres de vento e *sheds*, por exemplo, constituindo uma importante forma de avaliação qualitativa do fluxo de ar.

Trindade, Pedrini e Duarte (2010), através do programa CFD Phoenics, avaliaram o desempenho térmico de um edifício pré-fabricado, do tipo galpão, na cidade de Natal. A pesquisa destaca alguns pontos relevantes quanto ao programa utilizado. Os autores apontam que foram necessárias simplificações para operacionalizar as abordagens, em relação às grandes dimensões dos modelos dos galpões estudados, o que comprometeu a confiabilidade dos resultados. A necessidade de fornecer variáveis e

parâmetros de entrada, como fatores de relaxação, modelo de turbulência, esquemas de diferenciação, entre outros, também dificultou o domínio da ferramenta para o usuário com formação em arquitetura.

Outro fator importante a ser ressaltado é em relação aos dados das variáveis ambientais externas, existentes no arquivo climático. Os programas de CFD consideram para o período simulado um instante no tempo e não uma simulação para o ano todo. Desse modo, tem-se como constante o número de renovações de ar, ao longo das horas, não considerando suas variações ao longo do ano (TRINDADE; PEDRINI; DUARTE, 2010).

Para Trindade, Pedrini e Duarte (2010) uma das maiores potencialidades dos programas de simulação CFD é o bom resultado qualitativo da ferramenta, onde é possível visualizar e avaliar a distribuição da ventilação no interior da edificação. Outra vantagem do CFD destacada por Bittencourt (1993) é viabilidade, em simulações de objetos de pequenas dimensões, de se fazer a captura de detalhes do fluxo do ar, quando comparada com a ferramenta de túnel de vento, onde esta captura não é possível.

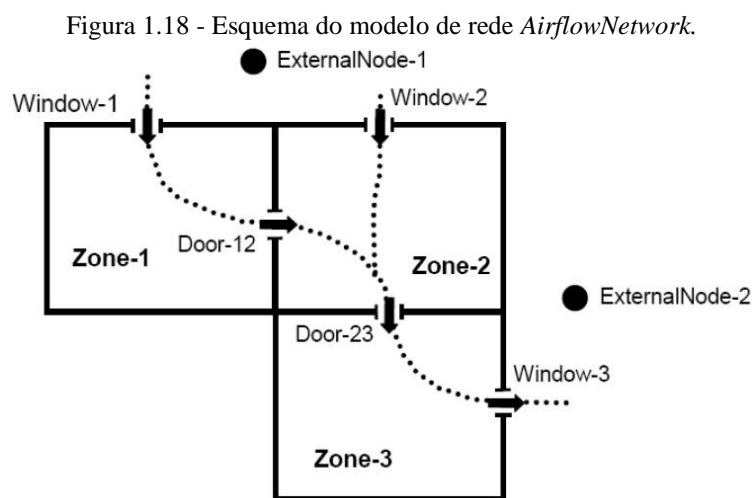
1.4.1.2 Modelos de rede

Dentre os programas que empregam modelos de rede, destaca-se o *software* EnergyPlus, o qual calcula a carga térmica da edificação considerando as perdas ou ganhos de calor relacionadas à ventilação.

O programa EnergyPlus foi criado pelo departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). O programa é resultado da junção dos programas DOE-2 e BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*), onde buscou subsídios para ferramentas que analisassem o desempenho térmico e energético, incluindo os sistemas de iluminação, ventilação, aquecimento e resfriamento do edifício (DOE, 2008).

Após atualizações, que integraram outros programas, como o AIRNET, o FSEC 3.0 e o COMIS com o DOE-2, a versão 3.1 do EnergyPlus adotou o cálculo do programa AIRNET, criando um novo módulo, chamado de *AirflowNetwork*, o qual simula sistemas de distribuição do ar e calcula as cargas térmicas, em relação a ventilação (MELO et al, 2008).

A intensidade do fluxo de ar, geralmente fornecido pelo número de renovações por hora do volume de ar no interior dos ambientes, é estimada através do modelo de rede. Este método é caracterizado por zonas, as quais representam os ambientes, conectados por nós que interligam um ambiente a outro (Figura 1.18). Apenas as pressões do vento nos nós externos são conhecidas. No entanto é possível calcular a pressão nos nós internos através de suas interligações, com equações de balanço da massa em cada nó (SORGATO, 2009).



Fonte: EnergyPlus (2009).

Com os valores de pressão em cada abertura é possível calcular os fluxos de ar no interior da edificação. O próprio programa EnergyPlus pode calcular valores de coeficiente de pressão, porém Melo et al (2008) destacam que quando comparados com resultados calculados por outros programas, como o GP Generator, os valores resultantes do EnergyPlus são consideravelmente maiores. Por outro lado, quando comparado com o coeficiente calculado segundo a norma estrangeira ASHRAE, nota-se que, dependendo da orientação do vento e da fachada analisada, estes valores podem se aproximar dos valores encontrados pelo programa EnergyPlus.

Sorgato (2009) optou pelo modelo de rede para desenvolver o estudo da influência das áreas de superfície expostas ao exterior e do tamanho dos ambientes no desempenho térmico das edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente. Utilizando o software EnergyPlus, o autor defende que o programa permite a simulação integrada da ventilação com a simulação térmica da edificação, realizando assim uma simulação dinâmica, a partir da geometria e das condições climáticas locais, inserindo o

arquivo climático TRY, o que não é possível nos modelos de CFD. O autor avaliou o desempenho térmico da envoltória de quatro tipologias residenciais, considerando diferentes propriedades térmicas de paredes e coberturas. A partir dos cálculos resultantes dos graus-horas de desconforto², verificou que a cobertura foi um dos principais componentes construtivos determinantes para os ganhos e perdas de calor e que, através da ventilação ocorreram as maiores perdas de calor em todos os modelos simulados.

O modelo de rede não calcula a velocidade interna do ar na zona, mas uma forma de aproximação da velocidade do ar seria calculá-la através dos fluxos de ar nas aberturas dos ambientes. Entretanto, Sorgato (2009) destaca que esta é apenas uma forma de aproximação da velocidade, considerando este valor não confiável e por isso, uma limitação dos modelos de rede.

A definição das características e padrões de uso, como a escolha do tipo de controle da ventilação natural de cada abertura, o tipo de obstrução no entorno da edificação, o padrão de uso das aberturas, além das propriedades térmicas dos materiais são dados de grande importância na simulação, principalmente quando se trata de edificações residenciais, pois como ressalta Xavier (2008), estes fatores exercem grande influência sobre as trocas de calor no edifício.

Levando-se em consideração todos esses fatores e as estratégias bioclimáticas empregadas, que visam garantir o conforto térmico dos usuários e o uso racional de energia, pode-se avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética da edificação.

1.5 Síntese do Referencial Teórico

O referencial teórico buscou apresentar os fatores que interferem no conforto térmico e que precisam ser considerados na análise do desempenho térmico da edificação. Conceitos relativos às trocas térmicas foram abordados para a melhor compreensão do comportamento do homem em relação ao ambiente construído. A partir da apresentação dos índices de conforto existentes na literatura é discutida sua relação

² O número de graus-hora de desconforto representa a quantidade de graus, por hora, nos quais a temperatura analisada excede os limites da faixa de conforto. Assim, obtêm-se os graus-hora de resfriamento quando a temperatura excede o limite máximo de conforto e os graus-hora de aquecimento quando a temperatura está abaixo do limite mínimo de conforto proposto. (SORGATO, 2009).

com as variáveis climáticas, tais como temperatura e umidade, assim como as diretrizes e estratégias para o projeto bioclimático.

Também foi realizada uma breve revisão sobre os métodos mais utilizados de análise de desempenho térmico de edificações. A partir de todo este embasamento é possível definir o método a ser utilizado, assim como as estratégias aplicadas neste trabalho, levando em consideração todos os fatores influentes no processo de busca por uma arquitetura bioclimática.

Assim, tendo em vista as limitações de cada ferramenta indicada para a análise termoenergética, justifica-se o emprego de diferentes metodologias de avaliação, a fim de obter uma análise mais completa sobre a influência das variáveis que interferem no desempenho térmico das edificações, com destaque à ação dos ventos, que exerce papel fundamental em climas quentes.

Destaca-se ainda que cada estratégia bioclimática possui limites para aplicação, sejam relacionados às temperaturas, umidades, velocidades do vento, entre outras variáveis. Entretanto o clima varia ao longo do ano, principalmente em regiões semiáridas, o que faz variar o potencial de aplicação destas estratégias. Por isso, justifica-se a utilização de estratégias híbridas, ou seja, a aplicação de mais de uma estratégia à edificação, para que dessa forma possam responder às variações climáticas sazonais, produzindo um efeito capaz de proporcionar um melhor desempenho térmico.

2 CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES EM ESTUDO

Neste capítulo serão apresentadas as características arquitetônicas, climáticas e diretrizes projetuais para a melhor compreensão das cidades do Estado de Alagoas, onde os modelos serão simulados: Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.

As características climáticas tem como base o arquivo climático de cada cidade, do tipo TRY (*Test Reference Year*) feito a partir de dados horários registrados de 411 estações climatológicas no INMET, entre os anos de 2000 e 2010 (LABEEE, 2014). Deste período analisado, eliminam-se os anos que apresentaram dados de temperaturas médias mensais extremas, até permanecer apenas um ano, designado como Ano Climático de Referência. Após a caracterização do clima serão discutidas diretrizes projetuais definidas com base na carta bioclimática de Givoni (1992) e estudos de Passos (2009), sobre as cidades analisadas.

2.1. Maceió

A cidade de Maceió é o município mais populoso do Estado de Alagoas. A capital situa-se no litoral do estado apresentando, dentre as três cidades estudadas, a maior diversidade arquitetônica, como sobrados, casas de porta e janela, meia morada, assim como, uma arquitetura mais contemporânea de casas e edifícios multifamiliares, que refletem os dias de hoje. A região da orla marítima apresenta uma maior verticalização, onde ocorre a substituição de edificações unifamiliares por edificações multifamiliares (Figura 2.1) (PASSOS, 2009).

Figura 2.1 – Bairro Stella Mares e ao fundo o Bairro da Ponta Verde.



Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1007139>. Acesso em, 2015.

Em relação as estratégias de adequação ao clima local, percebe-se a utilização de elementos de proteção solar, como beirais, brises e varandas, que servem também para a proteção contra as chuvas (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Elementos de proteção solar e ontra a chuva. Varandas e brises.



Fonte: Arquivo pessoal, 2015.

Devido ao rápido crescimento da cidade, o Governo Federal têm investido na construção de habitações de interesse social através de programas como Minha Casa Minha Vida, financiados pela caixa econômica federal, para compensar o déficit habitacional no Estado (CAIXA, 2011). Observa-se na Figura 2.3, o exemplo do conjunto habitacional Novo Jardim, situado na região do Estaquio Gomes. Em perspectiva aérea, percebe-se a grandiosidade do projeto, que envolve a construção de milhares de habitações, para a população de baixa renda, na cidade. Estes conjuntos geralmente são implantados em áreas mais periféricas da cidade, que possuem grandes terrenos, e ainda não possuem um grande adensamento populacional.

Figura 2.3 – Conjunto Novo Jardim, no Estaquio Gomes.



Fonte: <http://www.engenharq.com.br/noticias/fotos-internas-e-externas-do-modulo-i-do-res-novo-jardim/>, acesso em 2015.

As casas deste conjunto não representam habitações geminadas, possuindo um recuo lateral, que facilita a ventilação entre as unidades. Entretanto, também é comum de se ver casas geminadas, em outros empreendimentos do PMCMV. A cobertura é dividida em duas águas com estrutura de madeira e telha cerâmica.

2.1.1 Clima

A cidade de Maceió, localizada no leste do estado de Alagoas, na latitude $9,67^{\circ}$ ao Sul do equador e longitude $35,74^{\circ}$ oeste apresenta clima quente e úmido e pequenas variações de temperaturas diárias (Figura 2.4).

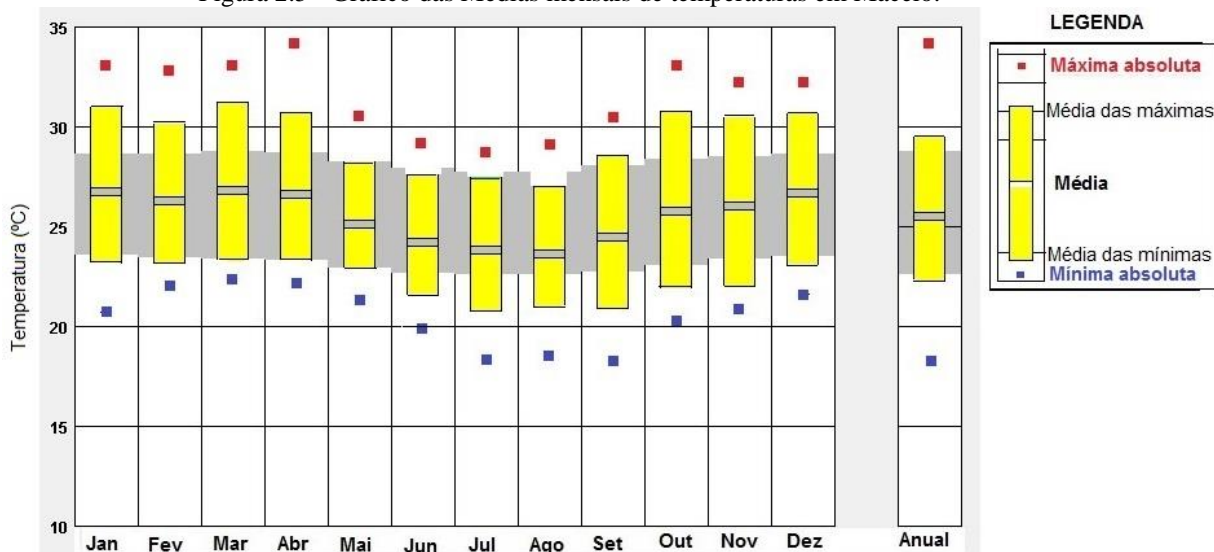
Figura 2.4 – Localização da cidade de Maceió.



Fonte: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=270430&search=maceio>, acesso em 2015.

As médias mensais variam de 23°C a 26°C , sendo os meses de julho e agosto os que apresentam a menor média (Figura 2.5). A amplitude térmica máxima sazonal é de $3,8^{\circ}\text{C}$.

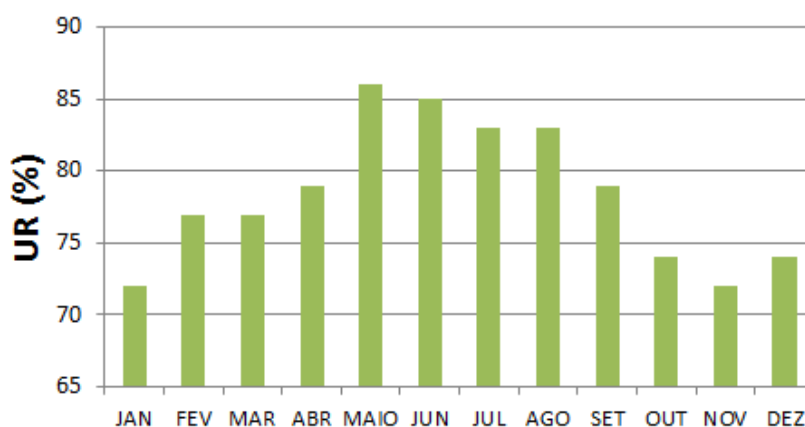
Figura 2.5 - Gráfico das Médias mensais de temperaturas em Maceió.



Fonte: Software Climate Consultant, adaptado por autora, 2015.

As taxas de umidade relativa do ar na cidade são elevadas, por ser uma cidade litorânea e estar sob a influência de grandes massas d'água, variando de 72% em janeiro e novembro, a 86% em maio. Percebe-se que há pouca oscilação nos índices de umidade relativa de ar, o que contribui para que a temperatura durante o ano, não oscile muito (Figura 2.6).

Figura 2.6 - Gráfico do percentual de Umidade Relativa do ar, em Maceió.



Fonte: Produzido por Autora, 2014.

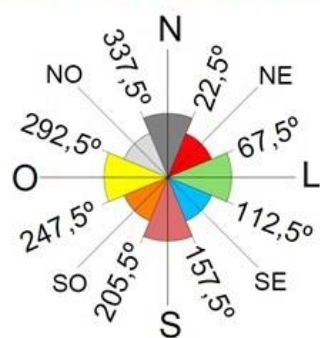
O período com maior intensidade pluviométrica são os meses entre abril e junho, com o maior valor médio mensal de precipitação de 312,5 mm em junho, enquanto nos meses de menor intensidade, de outubro a janeiro, a cidade registra no mês de

novembro, o menor valor mensal médio de precipitação: 14,9 mm (INMET,2008, *apud* PASSOS, 2009).

De acordo com os dados do arquivo TRY analisado, verifica-se que o vento predominante na cidade é o vento leste, inclusive nos meses de setembro a abril, como se pode visualizar a predominância no período das 7h às 24h. No inverno se destaca o vento sudeste no período das 7h às 19h (Figura 2.7).

Tabela 2.7 - Direção em graus dos ventos, na cidade de Maceió, com base no arquivo TRY.

HORA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0:01- 1:00	118	195	160	183	235	240	208	191	184	155	126	139
1:01- 2:00	126	224	236	209	253	227	237	212	218	179	182	170
2:01- 3:00	160	216	257	217	247	225	242	226	226	179	164	185
3:01- 4:00	180	201	232	253	263	238	241	240	231	184	155	221
4:01- 5:00	212	245	234	231	263	240	251	208	215	167	186	189
5:01- 6:00	196	225	287	273	235	234	255	224	241	175	128	209
6:01- 7:00	135	179	242	228	236	245	225	206	152	83	66	87
7:01- 8:00	76	113	85	150	227	202	191	140	97	47	78	71
8:01- 9:00	76	113	70	108	183	164	157	136	89	55	76	77
9:01-10:00	85	94	80	99	170	139	133	131	95	68	79	87
10:01-11:00	94	91	91	106	160	128	124	139	94	72	83	92
11:01-12:00	101	113	98	113	133	132	125	119	97	77	92	98
12:01-13:00	102	114	100	109	130	140	128	117	99	86	91	101
13:01-14:00	101	100	98	120	134	133	131	115	101	85	89	100
14:01-15:00	99	100	96	107	141	127	128	116	99	83	89	98
15:01-16:00	96	102	93	119	156	130	124	114	96	81	84	103
16:01-17:00	91	98	91	110	159	133	121	122	96	77	82	97
17:01-18:00	89	96	85	111	173	129	130	136	94	72	80	90
18:01-19:00	82	103	80	104	180	153	156	144	90	65	76	88
19:01-20:00	76	98	72	123	170	175	160	175	77	57	68	81
20:01-21:00	83	95	65	136	192	178	193	168	86	59	68	79
21:01-22:00	65	121	74	144	204	209	197	179	93	63	46	84
22:01-23:00	76	108	106	190	203	217	199	197	142	66	94	77
23:01-24:00	103	178	123	204	236	227	233	224	187	122	103	83



LEGENDA:

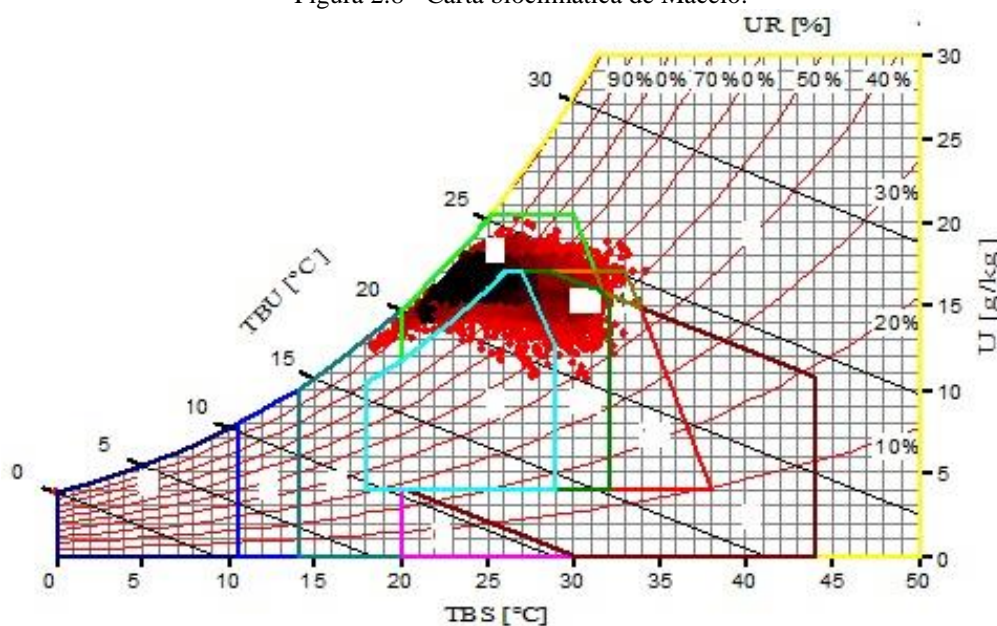
	NORDESTE	22,5° a 67,5°
	LESTE	67,5° a 112,5°
	SUDESTE	112,5° a 157,5°
	SUL	157,5° a 205,5°
	SUDOESTE	205,5° a 247,5°
	OESTE	247,5° a 292,5°

Fonte: Produzido por Autora, 2014.

2.1.2 Diretrizes Bioclimáticas

Tendo em vista os dados climáticos da cidade de Maceió, foi gerada a carta bioclimática de Givoni (1992) para a cidade, onde verifica-se que apenas 19,7% das horas encontram-se em conforto térmico, enquanto 80,3% das horas do ano em desconforto, sendo a maior parte por calor: 79,9%, enquanto 0,3% por frio (Figura 2.8).

Figura 2.8 - Carta bioclimática de Maceió.



Fonte: software Analysis Bio 2.2, com dados do arquivo climático TRY da cidade.

Desse modo, para as horas de desconforto, as estratégias recomendadas foram: 78,7% para ventilação, 18,5% em inércia térmica, 16,5% em resfriamento evaporativo e 0,52% em ar condicionado (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Estratégias recomendadas para a cidade de Maceió.

Estratégia	Porcentagem recomendada no ano
Ventilação	78,7%
Inércia térmica	18,5%
Resfriamento Evaporativo	16,5%

Analisando o percentual de recomendações por períodos do ano, nota-se que a ventilação se sobressaiu de todas as outras estratégias, em todas as estações com valores elevados, principalmente no período do outono (Tabela 2.2).

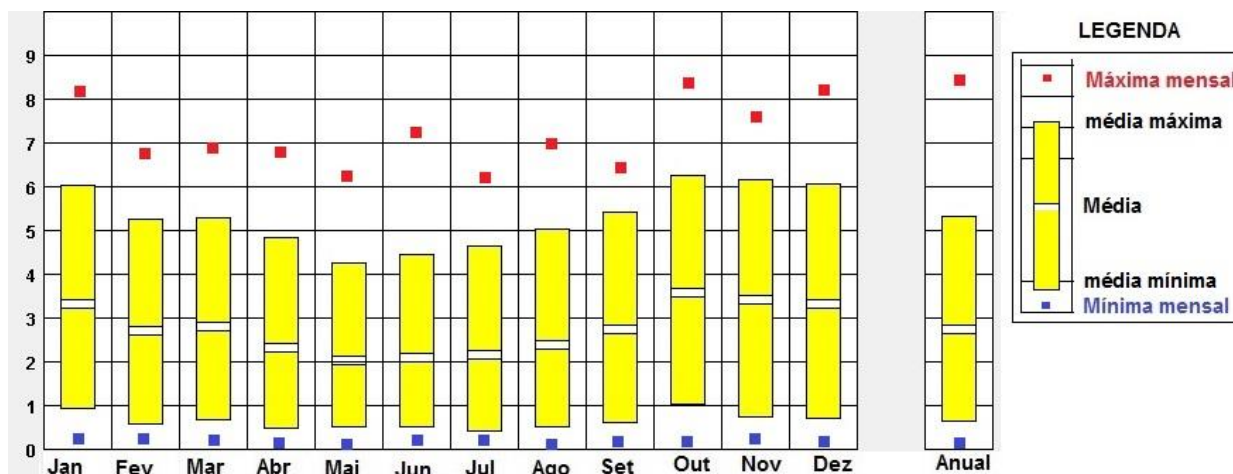
Tabela 2.2 - Estratégias recomendadas por estação, para a cidade de Maceió.

	Ventilação	Inércia Térmica	Resf. Evap
Inverno	68%	4,39%	4,33%
Outono	90%	9,50%	7,11%
Verão	83,3%	29,8%	25,7%
Primavera	72,1%	30,7%	29,5%

Destaca-se que as médias mensais de temperatura externa da cidade encontram-se menores do que 32° graus, limite este, recomendado para o aproveitamento da ventilação (GIVONI, 1992). O limite adotado considera que a ventilação diurna seja utilizada apenas quando o conforto interno possa ser experimentado na temperatura externa, com a velocidade do ar no interior aceitável. Para isto foram realizados estudos que admitem o uso da ventilação em países em desenvolvimento, onde foi recomendado a utilização da ventilação, quando a temperatura externa não ultrapassar 32°C, sob uma velocidade do ar de 2m/s, para condições de conforto (GIVONI, 1992).

Porém, estudos de Passos (2009) apontam que é possível utilizar a ventilação natural, inclusive quando a temperatura externa exceder os 32°C, pois leva-se em consideração os altos valores de umidade relativa, podendo alcançar 86% durante o ano, na cidade. Neste caso, a sensação de conforto é amenizada através da evaporação do suor da pele. Verifica-se ainda que a velocidade média do ar na cidade é de 2,9m/s, podendo chegar em determinadas horas a mais de 8 m/s, em situações com pouca ou nenhuma obstrução (Figura 2.9). Por isso propõe-se o a utilização de aberturas que permitam o controle da entrada da ventilação, como por exemplo esquadrias pivotantes e venezianas móveis.

Figura 2.9 – Gráfico da velocidade do vento, em Maceió.



Fonte: Software Climate Consultant, adaptado por autora, 2015.

De acordo com Passos (2009) é possível fazer o uso de estratégias híbridas, como solução para responder as variações sazonais, através do emprego de componentes híbridos para envoltórias e estratégias combinadas, como a massa térmica e ventilação noturna.

Entretanto, como a temperatura noturna de Maceió apresenta-se frequentemente acima de 20°C, estas condições não proporcionariam uma retirada eficiente, por meio da ventilação, da carga térmica armazenada durante o dia pela massa térmica aplicada. Para que esta estratégia híbrida funcione de forma eficiente é considerado o limite de até 20°C, como ideal para a remoção do calor gerado pela adoção de materiais com elevada resistência e capacidade térmica. Estes materiais amortecem a carga termica gerada durante o dia, transmitindo-a para o interior durante a noite (GIVONI, 1992). Em vista disto e do maior potencial de utilização da ventilação diurna, a autora não recomenda o uso da massa térmica em Maceió.

2.2 Palmeira dos Índios

A cidade de Palmeira dos Índios apresenta uma tipologia arquitetônica de casa em fita, onde se depara com um agrupamento de residências, com várias características modernas, como platibandas planas, inclinadas, grandes esquadrias, varandas, revestimentos de azulejos, pedra e cerâmica (Figura 2.10) (SILVA, 1991). Nota-se ainda a utilização de pequenos brises e combogós de formatos variados, de concreto e

porcelana, integrando os ambientes e proporcionando uma maior ventilação. Estes elementos traduzem em estratégias passivas de condicionamento, que se pode observar na cidade.

Figura 2.10 - Elementos de proteção solar e permeabilidade aos ventos em habitações na cidade de Palmeira dos Índios-AL.



Fonte: Passos, 2009.

Porém, no setor de habitação popular, é possível encontrar em casas mais antigas, algumas características que se assemelham com o estilo moderno: a implantação no lote, utilização de cobertas de meias águas e funcionalidade dos ambientes internos. As esquadrias eram maiores do que as de hoje, sendo de madeiras, com venezianas e vidro, favorecendo a ventilação e iluminação (Figura 2.11) (SILVA, 1991).

Figura 2.11 – Conjunto Habitacional, Palmeira dos Índios.



Fonte: Silva, 1991.

Modelos de casa popular, que foram financiados com recursos da Companhia de Habitação popular, a COHAB, também são observados na cidade. Estas casas, construídas com a mesma tipologia sofreram diversas modificações formais, ao longo do tempo, hoje assumindo novas composições (Figura 2.12) (MARROQUIM, 2007).

Figura 2.12 - Padrão das habitações financiadas pela COHAB, Palmeira dos Índios.



Fonte: Passos, 2009.

Hoje em dia as casas populares são construídas com duas águas e esquadrias de vidro de correr, que permitem uma abertura de apenas 50% do vão da janela (Figura 2.13).

Figura 2.13 - Conjunto habitacional Antonio Ribeiro, Palmeira dos Índios.



Fonte: <http://www.palmeiradosindios.al.gov.br/Noticia/433/Palmeira-dos-Indios-sera-contemplada-com-mais-300-Unidades-habitacionais>, acesso em 2014.

2.2.1 Clima

O município de Palmeira dos Índios fica localizado no agreste de Alagoas, com as coordenadas geográficas 9.41° latitude sul, 36.63° de longitude oeste (Figura 2.14).

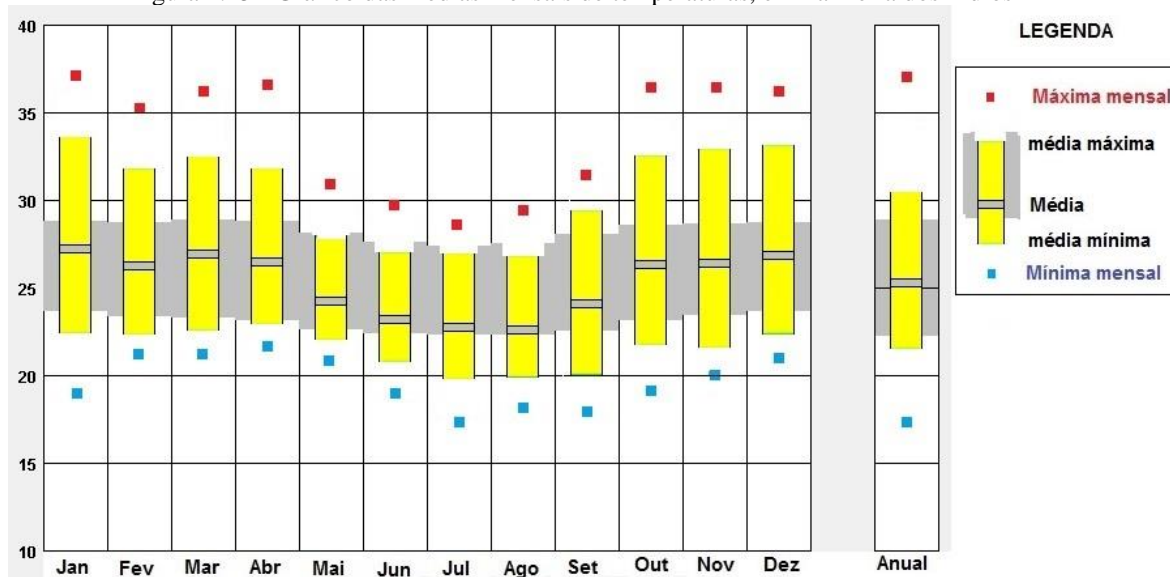
Figura 2.21 - Localização da cidade de Palmeira dos Índios.



Fonte: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=270430&search=|maceio>, acesso em 2015.

Apresenta um clima quente sub-úmido seco, segundo IBGE (2005), com as médias mensais variando de 22°C nos meses de julho e agosto, à 27°C no mês de janeiro (Figura 2.15). No entanto a máxima mensal pode chegar aos 37°C em janeiro e outubro e a mínima aos 17°C em julho.

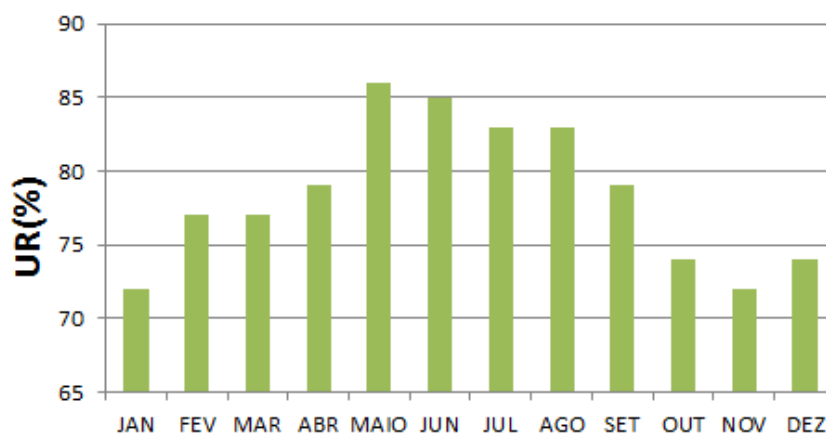
Figura 2.15 - Gráfico das médias mensais de temperaturas, em Palmeira dos Índios.



Fonte: Software Climate Consultant, adaptado por autora, 2015.

O mês que apresenta uma menor precipitação de chuvas é novembro, com o valor de 7,2 mm. Enquanto os meses que apresentam uma maior precipitação são os meses de abril a junho, com a máxima média mensal em junho: 150 mm (INMET, 2008, *apud* PASSOS 2009). As taxas de umidade relativas mais elevadas registram-se nos meses de maio, junho e julho e agosto, variando de 80% a 86% como se pode verificar na Figura 2.16.

Figura 2.16 – Gráfico da umidade relativa do ar, em Palmeira dos Índios.

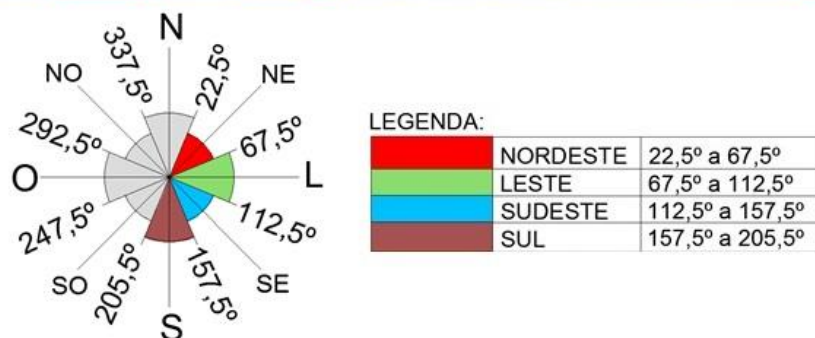


Fonte: Produzido por Autora, 2014.

Os ventos predominantes da cidade provêm do quadrante leste em todas as épocas do ano, entretanto no inverno se sobressai também o vento sudeste (Figura 2.17).

Figura 2.17 - Direção em graus, dos ventos na cidade de Palmeira dos Índios, com base no arquivo TRY.

HORA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0:01- 1:00	67	67	70	92	124	123	103	107	72	67	63	68
1:01- 2:00	85	78	81	107	163	148	131	91	79	68	64	75
2:01- 3:00	85	89	86	113	162	119	124	98	100	57	76	78
3:01- 4:00	79	99	95	116	151	156	115	85	87	76	82	84
4:01- 5:00	91	122	86	130	138	146	115	91	97	81	83	80
5:01- 6:00	96	113	102	91	200	139	136	70	88	61	84	80
6:01- 7:00	70	99	86	105	155	106	104	92	85	53	74	75
7:01- 8:00	85	86	98	97	158	135	115	95	81	53	70	69
8:01- 9:00	75	96	73	111	143	125	121	110	76	61	82	90
9:01-10:00	88	99	90	103	149	119	113	114	84	68	87	103
10:01-11:00	105	100	94	104	151	123	123	110	84	72	89	93
11:01-12:00	105	107	91	107	151	123	119	123	88	89	96	98
12:01-13:00	104	109	105	124	148	125	123	121	102	86	95	107
13:01-14:00	123	111	104	144	155	128	120	127	95	83	102	101
14:01-15:00	123	113	101	135	148	131	124	118	97	89	95	109
15:01-16:00	112	111	97	113	122	123	117	115	100	101	98	106
16:01-17:00	105	109	95	93	114	134	112	117	102	105	97	111
17:01-18:00	98	103	88	89	135	92	83	93	90	95	91	102
18:01-19:00	88	87	86	87	118	93	87	84	73	79	84	90
19:01-20:00	76	85	74	80	119	94	69	79	82	70	74	78
20:01-21:00	72	72	64	65	110	98	70	84	70	66	74	72
21:01-22:00	70	72	61	73	111	103	73	88	68	63	68	68
22:01-23:00	63	75	61	80	116	98	100	79	70	62	64	68
23:01-24:00	67	68	65	79	135	111	106	82	68	68	67	66

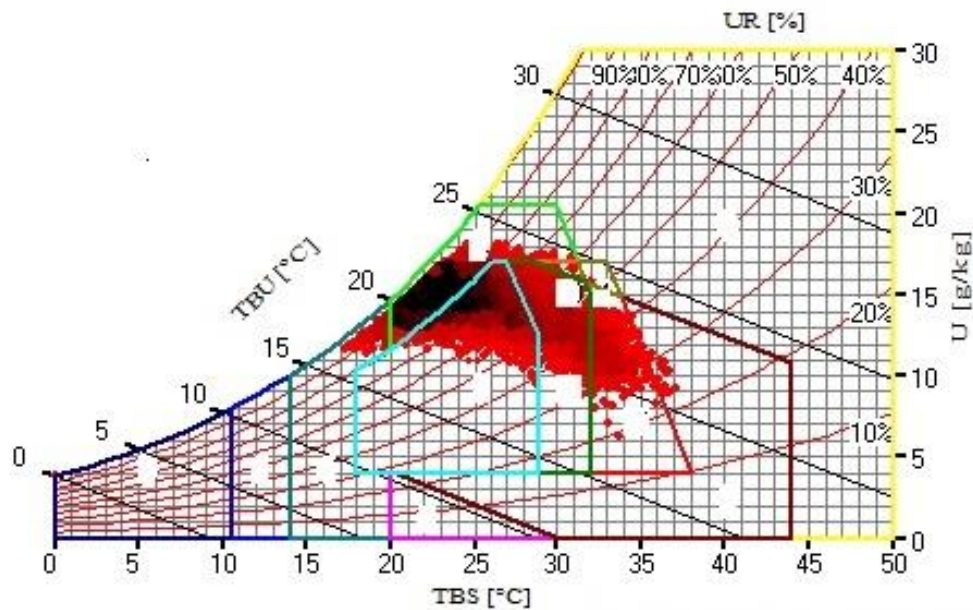


Fonte: Produzido por Autora, 2014.

2.2.2 Diretrizes Bioclimáticas

A carta bioclimática de Palmeira dos Índios demonstra que apenas 33.8% das horas do ano encontram-se em conforto, enquanto 66.2% encontram-se em desconforto (Figura 2.18). A maior parte do desconforto provém do calor, representando 64.3% das horas de desconforto.

Figura 2.18 - Carta bioclimática de Palmeira dos Índios.



Fonte: software Analysis Bio 2.2, com dados do arquivo climático TRY da cidade.

Segundo a carta, as horas de desconforto podem ser amenizadas em sua maior parte, através da ventilação em 57% das horas no ano, como se pode perceber na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Estratégias recomendadas para a cidade de Palmeira dos Índios.

Estratégia	Porcentagem Recomendada no ano
Ventilação	57.2%
Inércia térmica	21.1%
Resfriamento Evaporativo	21.3%

O melhor aproveitamento da ventilação se faz no período de inverno, quando as temperaturas se encontram mais baixas. Já as estratégias de inércia térmica e resfriamento evaporativo são mais recomendadas nos meses de verão. Na primavera, as recomendações apresentam percentuais similares. Entretanto em todas as épocas do ano, a ventilação se sobressai das demais estratégias recomendadas (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Estratégias recomendadas por estação, para a cidade de Palmeira dos Índios.

	Ventilação	Inércia Térmica	Resf. Evap
Inverno	62.3%	3.22%	3.22%
Outono	73.7%	18.6%	18.6%
Verão	51.2%	31.8%	32.3%
Primavera	41.3%	31.1%	31.5%

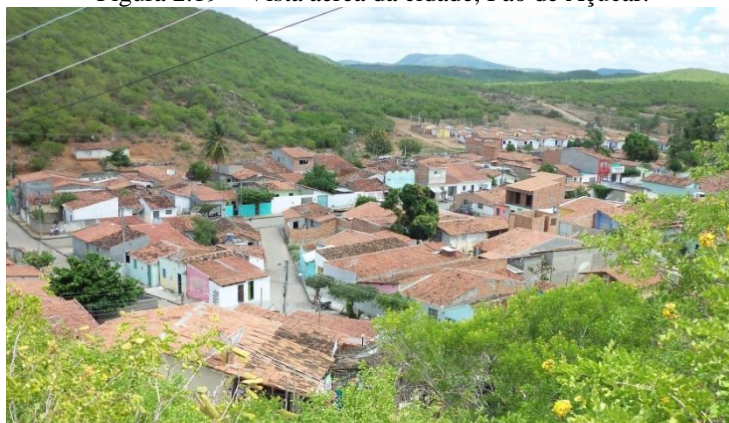
Estudos realizados por Passos (2009) destacam que, em mais de 60% das horas analisadas do ano a temperatura excede os 32°C e por isso a ventilação é recomendada preferencialmente no período noturno.

Para o aproveitamento da inércia térmica, a autora recomenda o uso apenas em ambientes de uso diurno, pois as temperaturas noturnas costumam ser ainda maiores do que 20°C, o que não representa condições ideais para a remoção da carga térmica armazenada no interior, por meio da ventilação. Deste modo, aplicando em ambientes que não estejam sendo utilizados durante a noite, evita-se que possa ocorrer desconforto, pela menor eficiência da estratégia, em vista das temperaturas noturnas mais elevadas.

2.3 Pão de Açúcar

A cidade de Pão de Açúcar apresenta uma horizontalidade bastante definida, com algumas edificações geralmente, de um a dois pavimentos (Figura 2.19). A cidade fica localizada as margens do Rio São Francisco, o qual abastece de água a cidade, através da adutora (Figura 2.20).

Figura 2.19 – Vista aérea da cidade, Pão de Açúcar.



Fonte: Arquivo Pessoal, fevereiro de 2015.

Figura 2.20 - Rio São Francisco, que margeia a cidade Pão de Açúcar.



Fonte: Arquivo Pessoal, fevereiro de 2015.

As habitações possuem modelos variados. Os modelos mais sofisticados possuem recuos laterais e frontais, jardins e varanda, que favorecem ao microclima interno, a partir de áreas sombreadas (Figura 2.21).

Figura 2.21 – Modelos de casas mais sofisticadas , em Pão de Açúcar.



Fonte: Arquivo Pessoal, fevereiro de 2015.

Nota-se que as casas utilizam-se de elementos vazados no fechamento frontal, como grades, cobogós, ou muros baixos, que permitem a passagem da ventilação (Figura 2.22).

Figura 2.22 - Variedade de tipologias de arquitetura habitacional encontrados em Pão de Açúcar-AL.



Fonte: Arquivo Pessoal, fevereiro de 2015.

No centro da cidade, as casas são de modelos mais antigos, uniformes, construídas sob os limites dos lotes, quando ainda não existiam exigências quanto a limites de recuos e números de aberturas. Estas exigências são correntes do século XVIII (REIS FILHO, 2004, *apud* PASSOS, 2009). As paredes costumam ser de tijolos cerâmicos ou taipa, sendo as paredes internas construídas a meia altura, para que a ventilação ocorra por cima dos ambientes, os quais possuem um pé direito alto. A cobertura é de telha de barro, sem forro, com a presença de platibandas nas fachadas. Os lotes se caracterizam por serem profundos e com pequenas testadas (Figura 2.12) (SILVA, 1991).

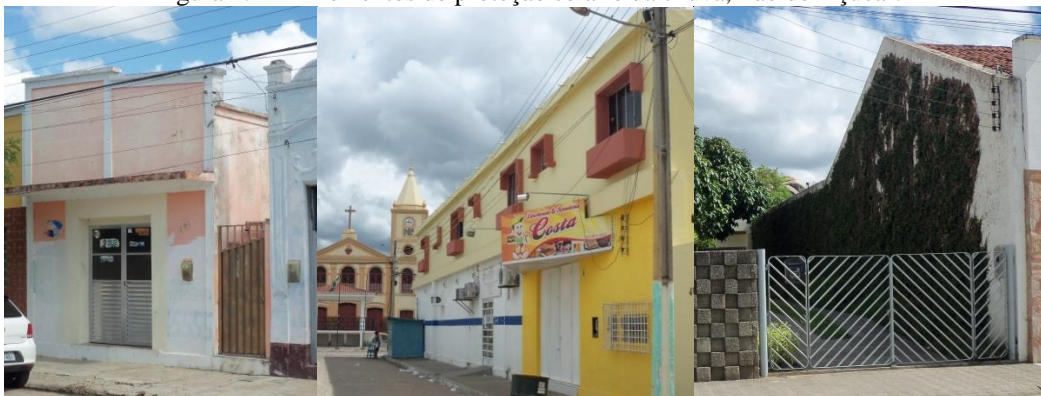
Figura 2.23 - Casas com características coloniais na cidade de Pão de Açúcar- AL



Fonte: Arquivo Pessoal, fevereiro de 2015.

Passos (2009) destaca ainda que, como as casas seguem o alinhamento do lote, estas eram construídas sem uma preocupação com a orientação, em função do aproveitamento dos ventos e da proteção contra radiação solar. Entretanto nota-se ainda a presença de marquises, como elemento de proteção solar e de chuva. Outro fato observado foi a presença de vegetação em paredes, que contribui tanto para o resfriamento evaporativo, como para inércia térmica (Figura 2.24).

Figura 2.24 – Elementos de proteção solar e da chuva, Pão de Açúcar.



Fonte: Arquivo Pessoal, fevereiro de 2015.

No setor de habitação popular são construídos hoje, modelos semelhantes aos já mostrados das outras cidades. Casas com coberta dividida em duas águas, com características simples, sem varandas. A Figura 2.25, mostra o conjunto Cohab Novo, que contém 183 casas, do tipo porta e janela, com telhado aparente.

Figura 2.25 - Conjunto Cohab Nova, em Pão de Açúcar.



Fonte: Arquivo Pessoal, fevereiro de 2015.

2.3.1 Clima

Localizado na mesorregião de Alagoas, a 9.75°S ao sul, e 37.44°W a oeste, o município de Pão de Açúcar está situado à margem do Rio São Francisco, apresentando um clima caracterizado como semiárido (Figura 2.26).

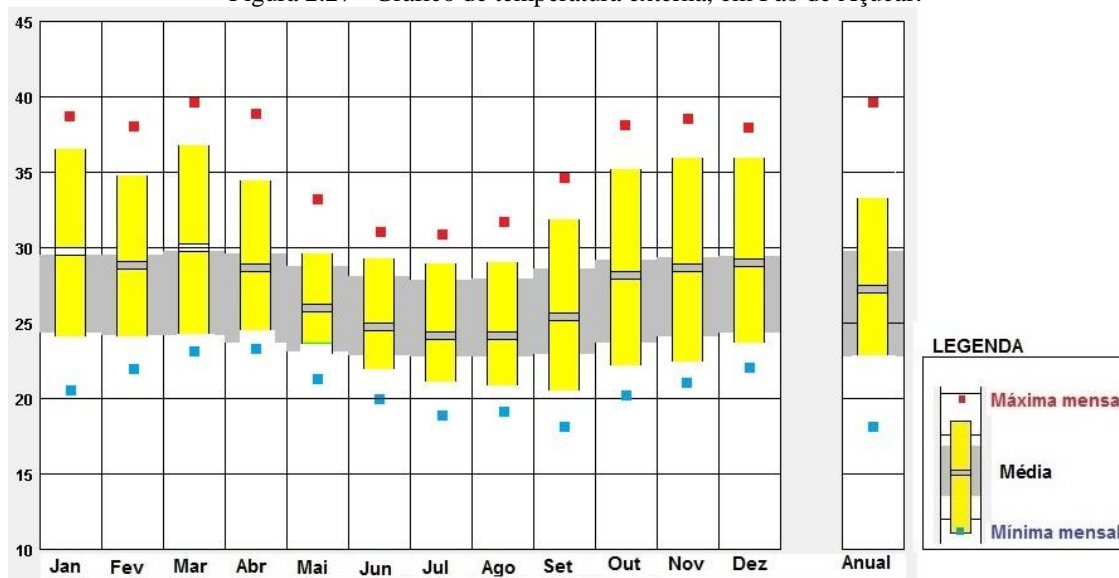
Figura 2.26 – Localização da cidade de Pão de Açúcar.



Fonte: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=270430&search=|macaio>, acesso em 2015.

As médias mensais de temperaturas variam de 24°C nos meses de junho, julho e agosto à 29°C nos meses de dezembro, janeiro e março, com a temperatura máxima podendo alcançar a 39°C no mês de março, como pode ser visto na Figura 2.27.

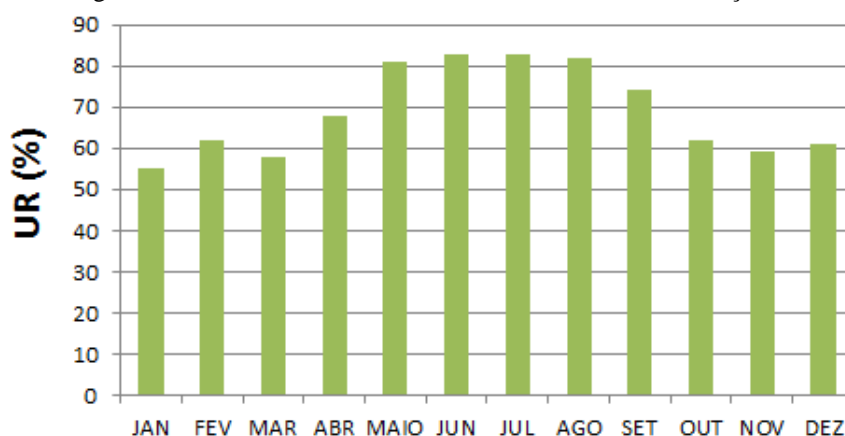
Figura 2.27 - Gráfico de temperatura externa, em Pão de Açúcar.



Fonte: Software Climate Consultant, adaptado por autora, 2015.

Em regiões semiáridas a oscilação de temperatura ao longo do dia é significativa, com elevadas temperaturas durante o período diurno, associada a baixas taxas de umidade relativa do ar. A cidade de Pão de Açúcar apresenta uma maior variação sazonal, em relação às outras cidades, com um período notadamente quente e seco, durante o verão, e um período quente e úmido, no inverno, com temperaturas mais amenas e umidades relativas mais elevadas. Como se pode verificar na Figura 2.28, as taxas de umidade relativa do ar variam de 55% em janeiro a 83% em junho e julho, no período de inverno.

Figura 2.28 – Gráfico da umidade relativa do ar, em Pão de Açúcar.



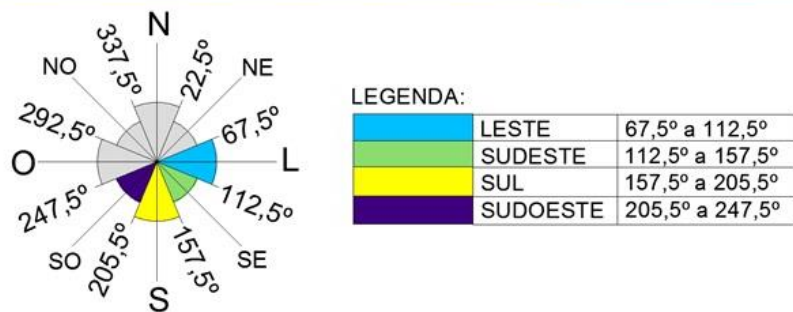
Fonte: Produzido por Autora, 2014.

Apesar de o município estar localizado no sertão do estado e apresentar uma deficiência hídrica, a cidade está situada a margens do rio São Francisco. Este fato contribui para a umidificação do ar. A maior concentração de chuvas na cidade está entre os meses de abril e julho apresentando a média mensal máxima de precipitação, no mês de maio: 100 mm, e a menor precipitação no mês de novembro: 13 mm (INMET, 2008, apud PASSOS 2009).

Os ventos predominantes provêm do quadrante sudeste, em todos os meses do ano, com velocidade média acima de 2m/s no período de verão (Figura 2.29 e 2.30).

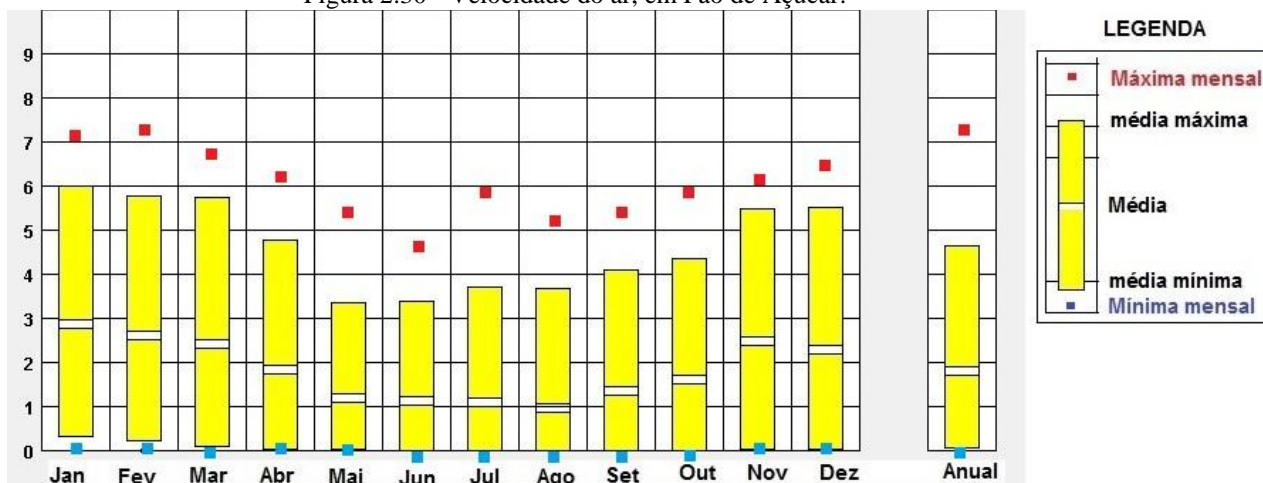
Figura 2.29 - Direção em graus dos ventos, na cidade de Pão de Açúcar.

HORA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0:01- 1:00	115	114	100	126	137	133	135	119	117	105	108	107
1:01- 2:00	108	133	105	150	137	217	172	142	87	84	98	116
2:01- 3:00	100	152	116	108	142	211	154	182	131	94	87	118
3:01- 4:00	94	95	122	141	160	205	193	160	167	83	75	91
4:01- 5:00	111	115	85	111	179	201	184	131	148	109	88	101
5:01- 6:00	121	103	122	152	145	201	212	175	132	118	95	118
6:01- 7:00	145	148	157	177	146	176	196	189	160	157	143	145
7:01- 8:00	126	137	156	156	133	150	167	159	161	150	128	133
8:01- 9:00	157	131	146	161	137	120	139	128	134	135	123	134
9:01-10:00	146	132	152	162	135	132	137	129	131	140	128	134
10:01-11:00	147	140	149	160	149	129	128	125	135	145	135	144
11:01-12:00	139	137	138	151	123	121	129	130	134	151	130	134
12:01-13:00	133	129	143	141	138	131	130	135	130	133	127	140
13:01-14:00	128	129	137	146	145	121	129	139	132	137	129	140
14:01-15:00	136	133	131	137	146	125	130	124	129	136	129	136
15:01-16:00	132	124	125	132	140	129	125	125	125	135	125	115
16:01-17:00	123	123	120	111	132	119	127	123	121	131	123	122
17:01-18:00	120	122	118	119	115	122	126	121	124	125	122	118
18:01-19:00	121	119	116	121	134	123	111	121	126	122	118	127
19:01-20:00	113	116	116	112	137	105	113	123	120	119	113	118
20:01-21:00	116	123	113	121	141	96	114	101	111	118	114	119
21:01-22:00	115	123	114	122	111	101	139	116	109	117	114	110
22:01-23:00	113	121	113	123	119	80	120	129	99	113	112	111
23:01-24:00	114	124	117	127	153	131	132	124	104	112	110	113



Fonte: Produzido por Autora, 2014.

Figura 2.30 - Velocidade do ar, em Pão de Açúcar.

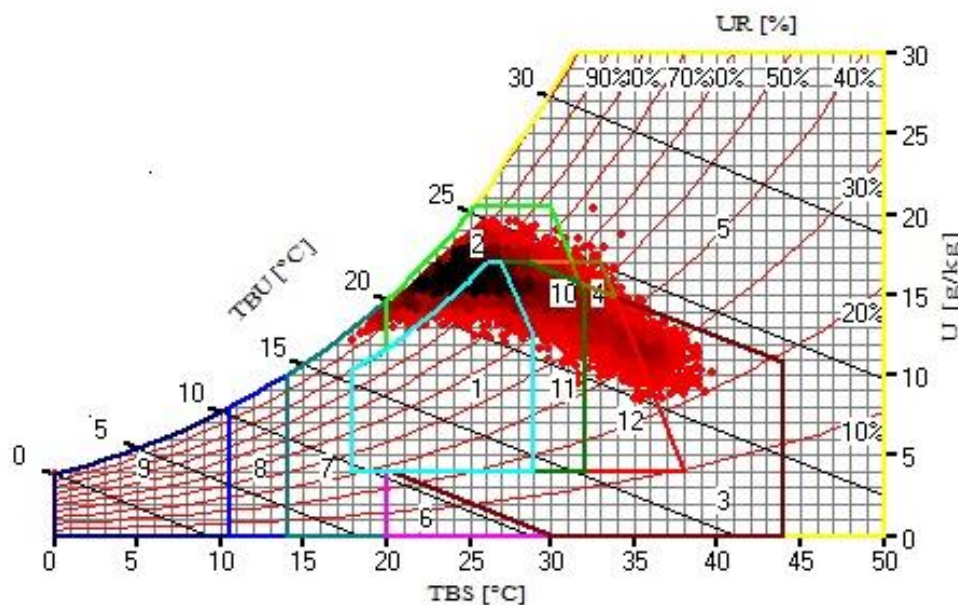


Fonte: Software Climate Consultant, adaptado por autora, 2015.

2.3.2 Diretrizes Bioclimáticas

Segundo a carta bioclimática apenas 20.9% das horas do ano, encontram-se em conforto, enquanto 79.1% em desconforto, sendo 78% por desconforto de calor e 1.07% de frio (Figura 2.31).

Figura 2.31 - Carta bioclimática de Pão de Açúcar, gerada pelo software Analysis Bio 2.2, com dados do arquivo climático TRY.



Fonte: software Analysis Bio 2.2, com dados do arquivo climático TRY da cidade.

As estratégias para o desconforto por calor apontadas pela carta, na maior parte do tempo foi o uso da ventilação natural, como pode ser visto na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Estratégias recomendadas para a cidade de Pão de Açúcar.

Estratégia	Porcentagem Recomendada no ano
Ventilação	60,8%
Inércia térmica	29%
Resfriamento Evaporativo	34,4%

Apesar da estratégia de ventilação natural ser a mais recomendada no ano, destaca-se que nos períodos de verão e primavera, a estratégia mais recomendada é a de

resfriamento evaporativo. Nestes períodos as estratégias de ventilação e massa térmica apresentam percentuais de recomendações similares. Nos períodos de inverno e outono, percebe-se uma maior diferença entre as estratégias, com uma maior recomendação da ventilação (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Estratégias recomendadas por estação, para a cidade de Pão de Açúcar.

	Ventilação	Inércia Térmica	Resf. Evap
Inverno	77,6%	16,3%	15,8%
Outono	78%	23,2%	23,8%
Verão	45,2%	39,1%	51,5%
Primavera	41,6%	37,8%	46,7%

Assim como na cidade de Palmeira dos índios, a temperatura a noite encontra-se acima dos 22°C, e por isso a inércia térmica é recomendada apenas em ambientes de uso diurno. Para a estratégia de resfriamento evaporativo, deve-se levar em conta a disponibilidade de água na região, no entanto destaca-se a presença do Rio São Francisco que beira a cidade, favorecendo esta estratégia.

2.4 Síntese da Caracterização Bioclimática

Como foi visto, os percentuais das estratégias recomendadas para cada cidade variam do clima quente e úmido ao semiárido (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Síntese das estratégias recomendadas para as três cidades.

ESTRATÉGIAS	MACEIÓ	PALMEIRA DOS ÍNDIOS	PÃO DE AÇÚCAR
Ventilação	78%	57,2%	60,8%
Inércia Térmica	18,5%	21,1%	29%
Resfriamento Evap.	16,5%	21,3%	34,4%

Em todas as cidades a estratégia de ventilação foi a mais indicada. Em Maceió e Palmeira dos Índios, esta estratégia se destaca para todos os meses do ano, entretanto na cidade de Pão de Açúcar, a ventilação é mais recomendada apenas nos meses de março

a setembro. Nos meses mais quentes do ano (setembro a março), destaca-se a estratégia de resfriamento evaporativo.

Cabe salientar que a cidade de Palmeira dos Índios, apesar de obter a estratégia de ventilação natural mais indicada em todas as estações do ano, apresenta uma maior amplitude sazonal, assim como na cidade de Pão de Açúcar. Desta maneira conclui-se que estas cidades possuem uma maior necessidade de estratégias híbridas, que respondam às diferentes variações climáticas do ano, com destaque não só para a utilização da ventilação, mas também da massa térmica e do resfriamento evaporativo, nos períodos mais quentes.

Deste modo é importante refletir sobre as estratégias, com base nos dados climáticos sazonais de cada cidade (Tabela 2.8). A partir da análise climática e do potencial de aplicação das estratégias recomendadas para cada cidade são definidos os modelos adaptados, apresentados no próximo capítulo.

Tabela 2.8 – Síntese das variáveis climáticas das cidades estudadas.

VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	CIDADES		
	Maceió	Palmeira dos Índios	Pão de Açúcar
Médias mensais da Temperatura do ar (°C)	23 a 26	22 a 27	24 a 29
Amplitude Térmica média anual (°C)	10,6	13,6	14,9
Precipitação mínima e máxima anual (mm)	14,9 a 312,5	7,2 a 150	13 a 100
Médias mensais da Umidade Relativa do ar (%)	72 a 86	61 a 85	55 a 83
Médias mensais da Velocidade dos ventos (m/s)	2 a 3,5	1 a 4	1 a 2
Direção predominante dos ventos	Leste	Leste	Sudeste

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho para a avaliação do desempenho térmico das edificações e do potencial de uso das estratégias passivas recomendadas para as cidades selecionadas foi subdividida em cinco partes: definição do Modelo Base, estudo qualitativo, definição dos modelos adaptados, definição dos parâmetros adotados nas simulações computacionais e estudo quantitativo.

As cidades foram selecionadas por estarem situadas em diferentes realidades climáticas do estado de Alagoas: Maceió, no litoral (mesorregião leste); Palmeira dos Índios, mesorregião do agreste e Pão de Açúcar, mesorregião do sertão. Desse modo, abrangeu-se no estudo desde o clima quente e úmido até o semiárido. Outro fator de escolha foi a disponibilidade dos arquivos climáticos dessas cidades, obtidos na base de dados do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2014)¹.

Como premissa para definição dos modelos residenciais a serem estudados em cada cidade, adotou-se uma configuração frequentemente utilizada no estado de Alagoas, tendo como referência as plantas do Banco de Projetos para habitação de interesse social disponibilizadas pela Caixa Econômica Federal². Estes projetos seguem um padrão construtivo utilizado não só nas cidades estudadas, mas em todo Brasil, apresentando pouca ou nenhuma diferença arquitetônica entre si, como comentado no capítulo 1. Logo, este trabalho aborda possibilidades de adequação para um projeto de casa popular, a partir do emprego de estratégias passivas, em diferentes realidades climáticas de Alagoas.

Assim é analisado primeiramente o Modelo Base, definido com base na consulta ao banco de projetos do Programa Minha Casa Minha Vida. A partir de estudos qualitativos do Modelo Base, com ensaios em mesa d'água para análise da distribuição do ar no interior dos ambientes e construção de máscaras de sombra a partir da carta solar para análise do sombreamento das aberturas, foram proposto os modelos adaptados, nos quais foram introduzidas estratégias passivas de condicionamento. Para a seleção das estratégias aplicadas foi utilizado também o *software* Analysis Bio, o qual utiliza as recomendações da carta bioclimática proposta por Givoni (1992) combinadas

¹ Disponíveis em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>> Acesso em: dez. 2014.

² Disponíveis em: <<http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>> Acesso em: 07 fev. 2015.

ao método de Watson e Labs (1983), que usa os dados climáticos das 8760 horas de um ano típico (TRY) para cada cidade (LABEEE, 2010).

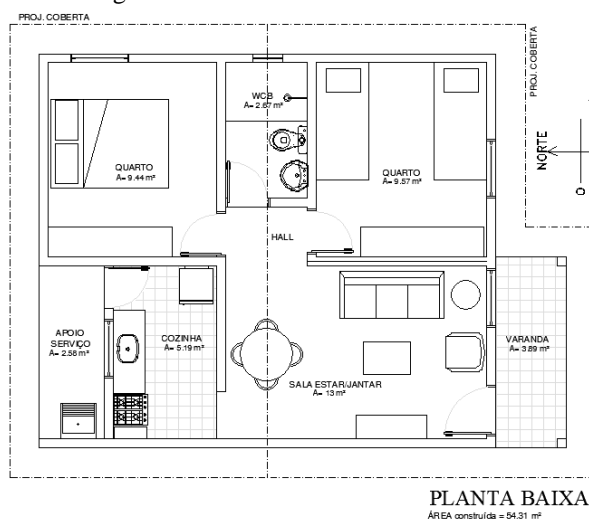
Após definidos os modelos adaptados são desenvolvidos estudos quantitativos com base em simulações computacionais realizadas com o *software* EnergyPlus, utilizando como parâmetros de avaliação o graus-hora de resfriamento (GHR) e o percentual de horas de desconforto por calor.

3.1 Caracterização do Modelo Base

Para definição do Modelo Base foi feito inicialmente um levantamento de dados em órgãos competentes, como a Superintendência Municipal de Controle e Convívio Urbano de Maceió (SMCCU) e a Caixa Econômica Federal, assim como construtoras responsáveis por empreendimentos do PMCMV, implantados no estado de Alagoas. A partir do material levantado, incluindo projetos e planilhas com especificações, assim como visitas técnicas a obras, foi proposto o Modelo Base.

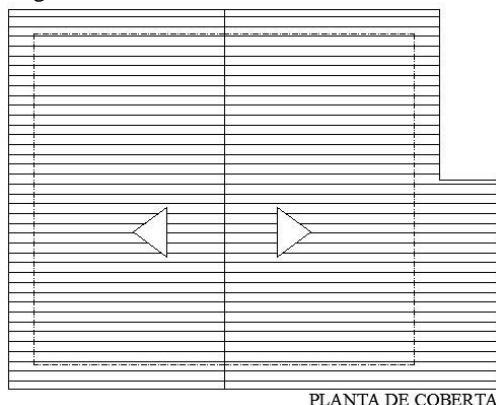
Este modelo segue as especificações do programa PMCMV para famílias com renda até R\$ 1.600,00 (CAIXA, 2013), apresentando o programa de necessidades, destinado à ocupação por uma família com 4 pessoas. Assim, constitui uma residência unifamiliar, com área construída de 51 m², cujo programa inclui uma sala de estar e jantar, um dormitório para casal, um dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço (externa), circulação, varanda e um banheiro (Figuras 3.3, 3.4, 3.5).

Figura 3.3 – Planta baixa do Modelo Base.



Fonte: Autora, 2014.

Figura 3.4 – Planta de cobertura, Modelo Base.



PLANTA DE COBERTA

Fonte: Autora,2014.

Figura 3.5 – Perspectiva externa, Modelo Base.



Fonte: Autora,2014.

As dimensões dos cômodos seguiram as especificações do PMCMV, definidas a partir do número e medidas dos equipamentos previstos em cada cômodo da casa.

O padrão construtivo também seguiu a configuração de habitação popular recorrente nas regiões, de acordo com os projetos levantados e visitas técnicas a obras do PMCMV (Tabela 3.1).

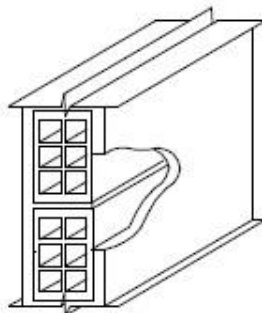
Tabela 3.1 - Componentes construtivos, Modelo Base.

Modelo Base	Estrutura
Parede	Tijolo 6 furos, Massa única rebocada para pintura na cor branca.
Piso	Cerâmica esmaltada em toda a unidade, com rodapé e desnível máximo de 15 mm.
Cobertura	Em telha cerâmica não esmaltada, com estrutura de madeira. Telhado aparente.

A cobertura, de telha cerâmica, é dividida em duas águas, com inclinação de 30%, possui transmitância térmica de $4,55 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. As paredes do Modelo Base são compostas por tijolos 6 furos quadrados (9 cm x 14 cm x 19 cm), assentados na menor dimensão, com espessura total de 14 cm (Figura 3.6), com transmitância térmica de $2,48 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, capacidade térmica de $159 \text{ kJ}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ e atraso térmico de 3,3 horas. As

propriedades térmicas dos materiais construtivos da envoltória foram levantadas com base na NRB 15220-3 (ABNT, 2005).

Figura 3.6 – Configuração das Paredes e cobertura do Modelo Base.



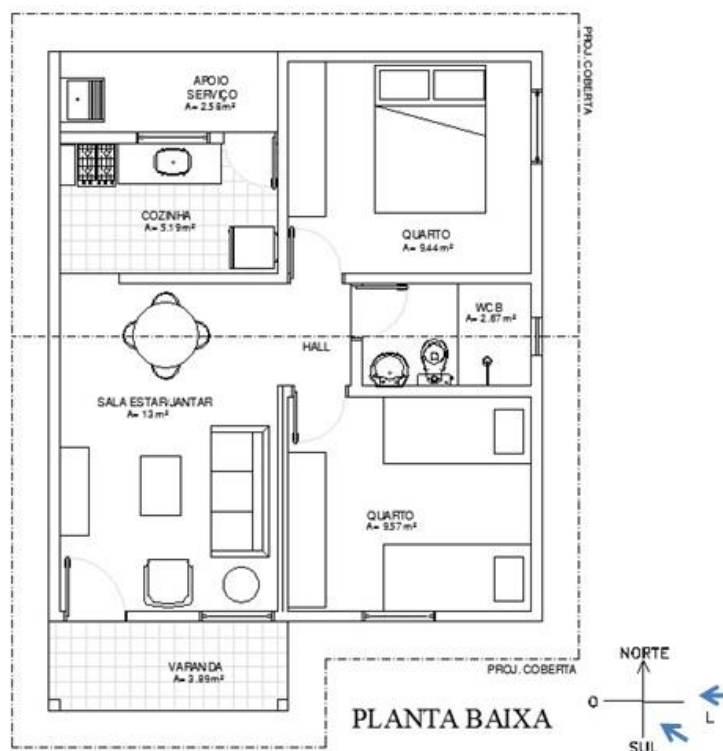
O Modelo Base foi simulado para as três cidades, servindo de referência para comparação com os resultados dos modelos adaptados, os quais apresentam a inserção das estratégias bioclimáticas.

3.2 Estudo Qualitativo do Modelo Base

Para análise qualitativa da ventilação natural foi utilizado o equipamento mesa d'água, do Laboratório de Conforto Ambiental da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas. Por meio de fotos e filmagens foram feitos registros das simulações, onde o escoamento da água representa o vento.

Foi utilizado para os ensaios o modelo reduzido da habitação popular, representativo do Modelo Base, confeccionado na escala de 1:50. O modelo foi posicionado com a fachada dos quartos voltada para a orientação leste, considerando uma melhor captação dos ventos predominantes nas três cidades: leste e sudeste (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Orientação do modelo, em relação aos ventos predominantes.



Fonte: Autora, 2015.

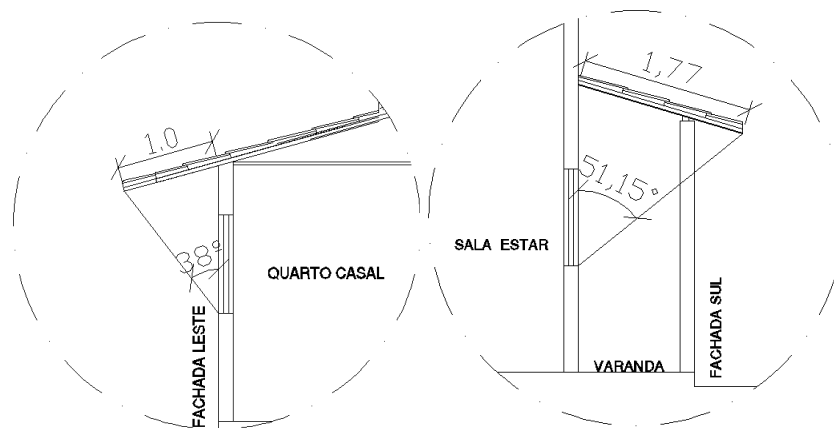
Cabe ressaltar que esta ferramenta possibilita apenas a visualização em duas dimensões e impossibilita a mensuração de grandezas fluido dinâmicas, tais como o coeficiente de pressão do vento, que será considerado mais adiante, nas simulações computacionais. Assim, a mesa d'água foi utilizada apenas para o estudo da distribuição do ar nos ambientes, fator este que exerce grande influência na sensação de conforto dos habitantes. A partir dos ensaios com o Modelo Base é possível propor alterações para os modelos adaptados simulados para o estudo quantitativo, tendo em vista promover uma melhor distribuição dos fluxos de ar no interior dos ambientes, favorecendo assim o efeito de resfriamento fisiológico causado pela ventilação.

Para o estudo qualitativo, a respeito da trajetória solar e análise do sombreamento das aberturas, foi utilizado o programa SOL-AR 6.2, desenvolvido pelo LABEEE³. Este programa auxilia no projeto de protetores solares, possibilitando o traçado dos ângulos de proteção desejados sobre o transferidor de ângulos, que pode ser posicionado em função de qualquer orientação da fachada. Deste modo, de acordo com a latitude de cada cidade, a fachada lateral dos quartos foi orientada para o leste, enquanto a fachada frontal foi orientada a sul.

³ Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar> > . Acesso em: dez, 2014.

Na Figura 3.2 através dos cortes são mostrados os ângulos de sombreamento proporcionados pelos beirais, da janela do quarto de casal, equivalente à janela do quarto de solteiro, ambas na fachada leste, e da janela da sala de estar, na fachada sul.

Figura 3.2 – Ângulos de sombreamento considerados para proteção solar das janelas.



Fonte: Autora, 2015.

3.3 Caracterização dos Modelos Adaptados

Para definição dos modelos adaptados foram considerados aspectos econômicos, tais como custo de materiais e de manutenção de alguns sistemas inseridos para a adaptação das estratégias, visto que o estudo é direcionado à habitação popular. Também foram evitadas propostas alheias à realidade cultural das cidades.

Os modelos adaptados diferem do Modelo Base em alguns fatores como a forma da cobertura, propriedades térmicas dos materiais construtivos, áreas de abertura e sua localização e tipo de esquadria.

A partir de estudos bioclimáticos das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, realizados no capítulo anterior, complementados pela análise qualitativa do Modelo Base, foram propostos quatro modelos adaptados, nos quais foram incorporadas estratégias bioclimáticas. Os limites de aplicabilidade das estratégias seguiram as recomendações de Givoni (1992), para países em desenvolvimento.

Segundo a carta bioclimática, três estratégias são recomendáveis para as cidades em estudo: ventilação natural, massa térmica para resfriamento (inércia térmica) e resfriamento evaporativo. Entretanto, em cada caso, as mesmas são recomendadas de acordo com as particularidades do clima de cada cidade, conforme explicitado adiante.

O primeiro modelo proposto incorpora as três estratégias (Modelo 3E). Este modelo foi simulado para as três cidades, no entanto com padrões de ventilação diferentes, que serão descritos mais adiante.

No caso de Maceió, a ventilação natural é recomendada durante 78,7% das horas do ano, conforme apresentado no capítulo 2. Por este motivo, foi simulado para esta cidade o Modelo VENT, que se diferencia do Modelo Base apenas pelo incremento da ventilação, obtido a partir de alterações nas aberturas e o padrão de uso da ventilação.

Para as cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar foram simulados os modelos V_MT e V_RE. Como estas cidades apresentam temperaturas e amplitudes maiores, recomenda-se a adoção não só da ventilação, mas da ventilação combinada com a massa térmica (modelo V_MT) ou com a presença do resfriamento evaporativo (V_RE).

Desse modo, além do modelo que incorpora as 3 estratégias, os demais modelos propostos empregam de forma isolada a massa térmica ou o resfriamento evaporativo, sempre combinadas com a ventilação natural, visto que é a estratégia mais recomendada para todas as cidades (Tabela 3.2). Portanto, os modelos são dotados de estratégias híbridas, podendo ser aplicadas de acordo com a realidade climática das cidades, a cada época do ano.

Tabela 3.2 - Modelos adaptados simulados para as cidades em estudo.

Modelos adaptados	Estratégias inseridas	Cidades
Modelo VENT	Ventilação natural	Maceió
Modelo V_MT	Ventilação natural + Massa térmica	Palmeira dos Índios e
Modelo V_RE	Ventilação natural + Resfriamento Evaporativo	Pão de Açúcar
Modelo 3E	Ventilação natural + Massa térmica + Resfriamento Evaporativo	Todas as 3 cidades

3.3.1 Modelo Ventilação Natural (Modelo VENT)

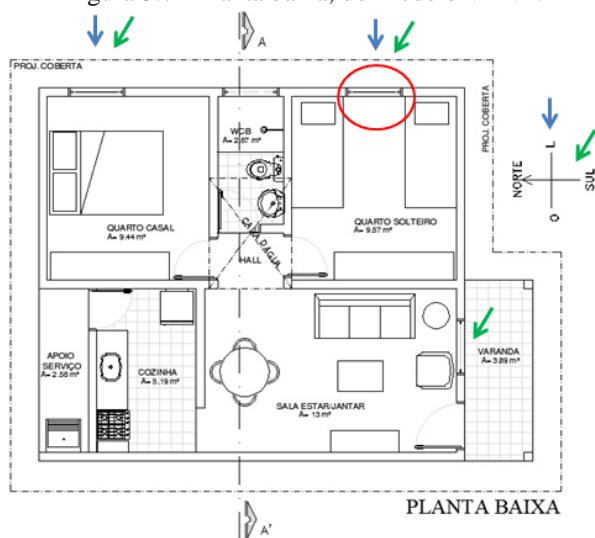
O Modelo VENT foi adaptado para a inserção da estratégia de ventilação natural. Como soluções para o incremento da ventilação, foram realizadas as seguintes alterações em relação ao Modelo Base (Tabela 3.3):

Tabela 3.3 - Soluções adotadas para o Modelo VENT.

Modelo Base	Modelo VENT
Janela quarto de solteiro: fachada sul	Janela quarto de solteiro: fachada leste
Janelas de correr	Janelas de giro (180°)
Coberta com duas águas	Coberta com duas águas + captador de vento inserido na torre da caixa d'água

Conforme ilustrado na planta baixa (Figura 3.7), a janela do quarto de solteiro, que antes era na fachada sul foi reposicionada para a fachada leste, para melhor captação dos ventos predominantes nas três cidades, leste e sudeste.

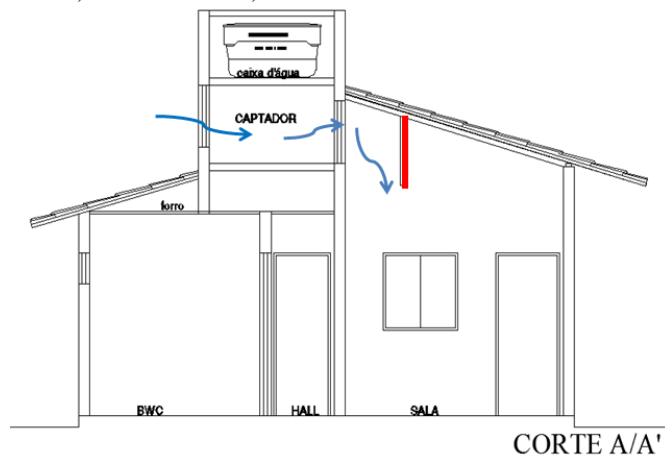
Figura 3.7 - Planta baixa, do Modelo VENT.



Fonte: Autora, 2014

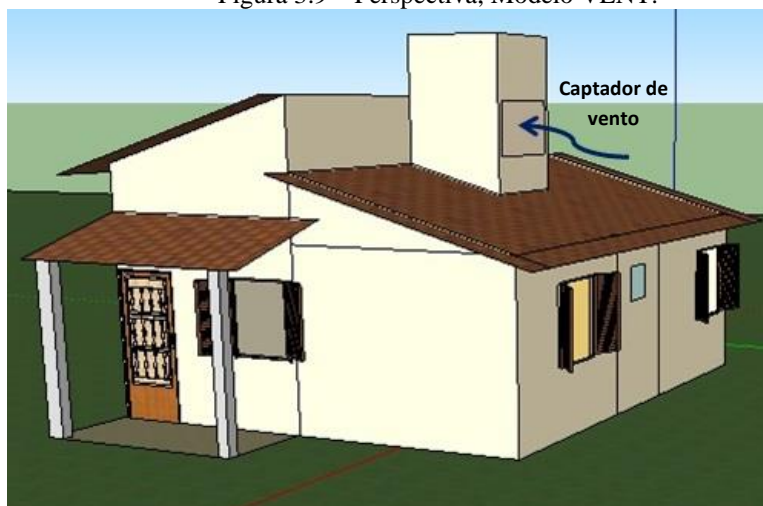
A fim de obter um maior incremento da ventilação nos ambientes da sala de estar e jantar foi proposto um captador de vento, através de uma adaptação na torre de caixa d'água (Figura 3.8). Nota-se também que foi inserido um elemento de redirecionamento do ar no interior do ambiente, para efeito do resfriamento fisiológico, dos habitantes. A abertura do captador está voltada para a fachada leste, de forma a aproveitar os ventos predominantes em todas as cidades analisadas (Figura 3.9).

Figura 3.8 – Corte A/A', Modelo VENT, destacando-se o elemento redirecionador do fluxo de ar.



Fonte: Autora,2014.

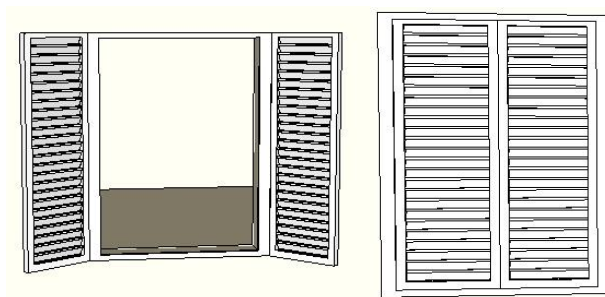
Figura 3.9 – Perspectiva, Modelo VENT.



Fonte: Autora, 2014

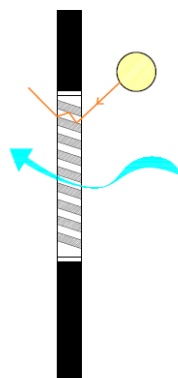
Optou-se também pela mudança das esquadrias de correr, substituindo-as por esquadrias de giro, com folhas de madeira e venezianas móveis (Figura 3.10). As esquadrias de giro possibilitam uma abertura de 100% do vão, o dobro da área de abertura em relação às janelas, com duas folhas de correr, que permitem uma abertura de apenas de 50% do vão. Além disso, quando as folhas estiverem fechadas há a opção de abrir as venezianas, outra forma de permitir a passagem do vento. Desse modo, as venezianas podem ainda regular o fluxo de ar e proteger o ambiente interno dos raios solares diretos, como estratégia de sombreamento (Figura 3.11).

Figura 3.10 - Janela de giro com folhas de venezianas móveis.



Fonte: Autora, 2014.

Figura 3.11 - Corte esquemático da janela com venezianas.



Fonte: Autora, 2014.

O sistema construtivo do Modelo VENT é o mesmo do Modelo Base (Tabela 3.4), ocorrendo modificação da forma da cobertura, com a presença de forro reto nos quartos e inclinado na sala, para permitir a entrada do ar por meio do captador de vento, (vide Figura 3.8).

Tabela 3.4 - Componentes construtivos, Modelo VENT.

Modelo VENT	Estrutura
Parede	Tijolo 6 furos, Massa única rebocada para pintura (branco). $U= 2,48 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.
Piso	Cerâmica esmaltada em todo a unidade, com rodapé, e desnível máximo de 15 mm.
Cobertura	Em telha cerâmica, com estrutura de madeira e forro de gesso. $U= 1,94 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

O padrão seletivo de uso da ventilação foi definido de acordo com as oscilações de temperatura externa nas cidades. Para tal, foi adotado o limite máximo de temperatura externa de 32°C recomendado por Givoni (1992) para admissão da ventilação natural, determinando os períodos nos quais as esquadrias seriam mantidas abertas. Quando a temperatura ultrapassasse o limite estabelecido, com a tendência da

temperatura interna se igualar à temperatura externa devido ao emprego da ventilação natural, isto ocasionaria um maior desconforto térmico. Por isso, neste caso, as esquadrias são consideradas fechadas, recomendando-se inclusive a utilização de outras estratégias complementares, como a ventilação mecânica.

Outro fator levado em consideração é o período da noite, em que as pessoas encontram-se dormindo. Neste período, por razões de segurança e privacidade, as esquadrias foram consideradas fechadas, no entanto com as venezianas abertas.

Na cidade de Maceió, as temperaturas externas médias encontram-se dentro do limite adotado ($< 32\text{ }^{\circ}\text{C}$). Sendo assim, o padrão de uso da ventilação se restringe nos horários em que as pessoas se recolhem para dormir, admitindo-se as folhas das janelas fechadas, apenas com as venezianas abertas. No período diurno, em que as pessoas encontram-se acordadas, presentes na casa, as esquadrias foram consideradas totalmente abertas (Tabela 3.5). As portas internas também são consideradas abertas durante todo o dia.

Tabela 3.5 - Padrão de uso anual da ventilação, no Modelo VENT (Maceió).

Período	Padrão de uso da ventilação
1h às 8h	Janelas fechadas, com venezianas abertas
8h às 22h	Janelas totalmente abertas
22h às 24h	Janela fechadas, com venezianas abertas

O Modelo VENT, que possui unicamente a estratégia de ventilação, é simulado apenas para a cidade de Maceió. Entretanto, todos os outros modelos simulados para as cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar possuem a estratégia de ventilação, com as soluções aqui adotadas, combinadas com as demais estratégias propostas.

O padrão de uso da ventilação dos outros modelos, referentes às cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar será descrito a seguir, de acordo com a sua caracterização.

3.3.2 Modelo Ventilação + Massa Térmica (Modelo V_MT)

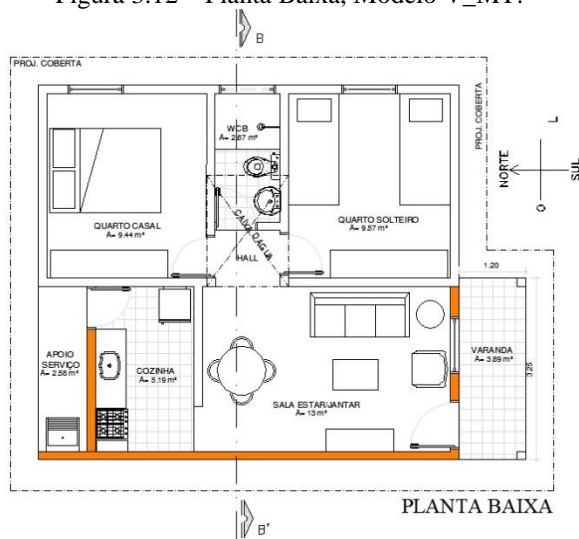
O Modelo V_MT representa a estratégia de ventilação combinada com massa térmica. Este modelo é simulado para as cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Na Tabela 3.6, destacam-se as alterações feitas em relação ao Modelo Base.

Tabela 3.6 - Alterações do modelo V_MT, em relação ao Modelo Base.

Modelo Base	Modelo V_MT
Janela quarto de solteiro: fachada sul	Janela quarto de solteiro: fachada leste
Janelas de correr	Janelas de giro (180°)
Sem captador de vento e sem forro	Com captador de vento e com forro de gesso.
Parede: tijolo 6 furos convencional	Parede: dupla com tijolo 6 furos, em ambientes de uso diurno

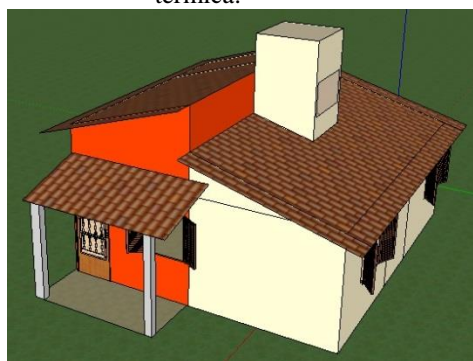
Em Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar as amplitudes térmicas médias anuais são iguais a 13,6°C e 14,4°C, respectivamente. As temperaturas à noite durante o verão geralmente são superiores a 20°C, limite que Givoni (1992) considera como ideal, para aplicação da massa térmica. Portanto, recomenda-se o uso da massa térmica apenas em ambientes de uso diurno, para que à noite, quando o calor armazenado pela estrutura for liberado para o ambiente interno, este não esteja ocupado. Na Figura 3.12 e 3.13 estão destacadas as paredes da sala de estra/jantar e cozinha, constituídas por materiais com maior atraso térmico.

Figura 3.12 – Planta Baixa, Modelo V_MT.



Fonte: Autora, 2014.

Figura 3.13 – Perspectiva do Modelo V_MT, destacando-se as paredes com maior massa térmica.



Fonte: Autora, 2015.

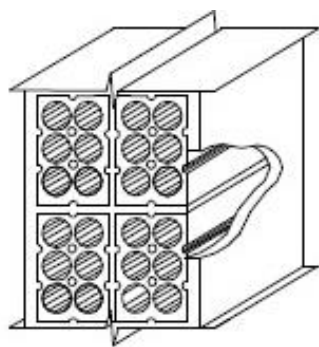
Para as paredes dos ambientes de uso diurno, foram adotadas as recomendações da NBR 15.220-3 (2005) para a zona bioclimática 7, a qual admite parede pesada (maior inércia térmica). Apesar de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar serem classificadas na zona 8, estudos apontam que a realidade climática de Pão de Açúcar se assemelha mais com as cidades das zona 7 (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012); (PASSOS, 2009). Como Palmeira dos Índios também apresenta características climáticas semelhantes a Pão de Açúcar justifica-se o emprego de componentes com maior inércia térmica nestas cidades. Portanto, adotou-se uma parede dupla de tijolos 6 furos, considerada pesada segundo a NBR 15.220-3 (2005), com transmitância térmica $U = < 2,20 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e atraso térmico $\geq 6,5 \text{ h}$. As demais propriedades das paredes, piso e cobertura são descritos na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Componentes construtivos, Modelo V_MT

Envoltória	Estrutura
Paredes (sala/cozinha)	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor Dimensão. $U = 1,52 \text{ W/m}^2.\text{K}$ / $CT = 248 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$ / $\varphi = 6,5 \text{ horas}$
Demais paredes	Tijolo 6 furos, Massa única rebocada para pintura. $U = 2,48 \text{ W/m}^2.\text{K}$ / $\varphi = 3,3 \text{ horas}$
Piso	Cerâmica esmaltada em todo a unidade, com rodapé e desnível máximo de 15mm.
Coberta	Em telha cerâmica, com estrutura de madeira e forro de gesso. $U = 1,94 \text{ W/m}^2.\text{K}$

A parede dupla de tijolos de seis furos circulares, assentados na menor dimensão, possui uma espessura total de 26 cm, com emboço e argamassa (Figura 3.14).

Figura 3.14 - Parede dupla de tijolos cerâmicos seis furos



Fonte: NBR 15.220-3 (2005).

O padrão de uso da ventilação nas cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar segue a condição da temperatura externa estar abaixo de 32°C. Para isto é analisada a média de temperatura externa horária em todos os meses, onde foi constatado que os períodos em que se admite ventilação nas duas cidades, são semelhantes. Deste modo é definido um padrão de uso de ventilação comum para a cidade de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 - Padrão de uso anual da ventilação Modelo V_MT, Palmeira e Pão de Açúcar.

PERÍODOS	JAN / ABR	MAIO / AGO	SET / DEZ
1h às 8h	Janelas fechadas c/ venezianas	Janelas fechadas c/ venezianas abertas	
8h às 16h		Janelas totalmente	Janelas fechadas c/ venezianas abertas
17h às 22h	Janelas totalmente abertas	abertas	Janelas totalmente abertas
22h às 24h	Janelas fechadas c/ venezianas abertas		

Nos períodos em que as pessoas encontram-se dormindo, das 22h às 8h, apenas as venezianas são mantidas abertas. Nos meses mais quentes, de setembro a abril, no período das 8h às 16h, as temperaturas excedem os 32°C. Portanto, nesses períodos é admitida apenas a abertura parcial por meio das venezianas. Nos meses de maio a agosto, quando as temperaturas durante este período não excedem os 32°C, é adotada a abertura total das janelas.

O captador é mantido aberto apenas no período noturno, combinando o efeito da ventilação noturna com a massa térmica para o ambiente de uso diurno, no caso, a sala de estar/jantar. Deste modo é considerado aberto no período das 18h às 24h, se

estendendo até as 8h, horário em que as pessoas acordam e é recomendável fechar a abertura do captador devido à elevação da temperatura externa.

3.3.3 Ventilação + Resfriamento Evaporativo (Modelo V_RE)

O Modelo V_RE foi simulado para as cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar representando a estratégia de ventilação combinada ao resfriamento evaporativo, com o uso do telhado verde. A planta baixa do Modelo V_RE é idêntica ao Modelo VENT (ver Figura 3.7), no entanto o padrão de uso da ventilação segue as especificações descritas para o Modelo V_MT (ver Tabela 3.8) . A Tabela 3.9 mostra as alterações feitas no Modelo V_RE, em relação ao Modelo Base.

Tabela 3.9 - Alterações do Modelo V_RE, em relação ao Modelo Base.

Modelo Base	Modelo V_RE
Janela quarto de solteiro: fachada sul	Janela quarto de solteiro: fachada leste
Janelas de correr	Janelas de giro (180°)
Sem captador de vento, sem forro.	Com captador de vento, sem forro
Coberta: telha cerâmica.	Coberta: laje inclinada e telhado verde.
U= 4,55 W/m²K	U= 0,76W/m²K.

A solução adotada de telhado verde (Figura 3.15) proporciona a obtenção do resfriamento evaporativo indireto, além de ter o efeito de massa térmica, uma vez que este tipo de cobertura apresenta um maior atraso térmico devido a existência de diferentes camadas de materiais sobre a cobertura.

Figura 3.15 - Perspectiva Modelo V_RE.



Fonte: Autora, 2015

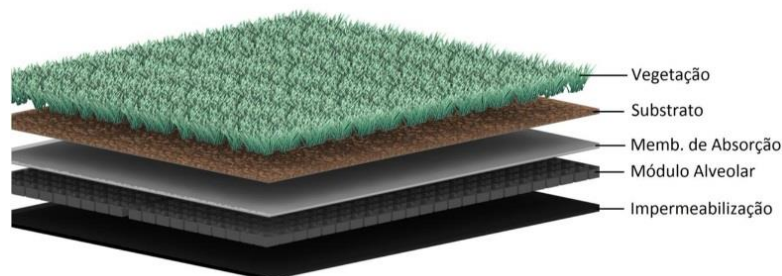
Para o telhado verde foi escolhido um sistema que apresenta custo inferior se comparado com outros modelos de cobertura verde, devido a estrutura leve e de fácil montagem, denominado sistema modular alveolar simples (Figura 3.16). Este sistema conta ainda com uma retenção de água da chuva através do módulo alveolar, que fica abaixo da membrana de absorção (Figura 3.17). Este módulo tem a finalidade de drenagem controlada e retenção de água para as raízes da vegetação.

Figura 3.16 – Diferentes tipos de telhados verdes

Sistemas	Preço	Peso	Reserva água (l)
Laminar Alto	Médio	200 a 300 kg/m ²	reserva de 160l
Laminar Médio	Baixo	90 a 110 kg/m ²	reserva de 50l
Hexa	Médio	50 a 80 kg/m ²	reserva de 20l
Alveolar Grelhado	Baixo	50 a 80 kg/m ²	reserva de 30l
Alveolar Simples	Baixo	40 a 80 kg/m ²	reserva de 30l

Fonte: <http://ecotelhado.com/portfolio/ecotelhado/>, acesso em 2015.

Figura 3.17 – Estrutura do sistema alveolar simples.



Fonte: <http://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2013/09/Manual-e-Especificacoes-do-Sistema-Modular-Alveolar-Leve-Ecotelhado1.pdf>, acesso em 2015.

Este sistema é aplicado sobre uma cobertura inclinada com telha de fibrocimento apoiada sobre laje (Figura 3.18). No total, o telhado verde tem aproximadamente 15 cm de altura e pesa cerca de 40 kg/m (ECOTELHADO, 2015). A resistência térmica é de 1,31m²K/W e a transmitância térmica final calculada da cobertura é de 0,76W/m²K, considerando toda a estrutura sobre a laje inclinada (MORISHITA *et al*, 2011).

Figura 3.18 - Sistema alveolar de telhado verde



Fonte: <http://ecotelhado.com/>, acesso em 2014.

Considerou-se também a utilização de plantas nativas das regiões, que são resistentes à seca e requerem o mínimo de manutenção, como as plantas do gênero *sedum*. Uma vez que ocorre retenção da água no módulo alveolar, recomenda-se a construção de um reservatório (cisterna) para a coleta de água da chuva excedente captada do telhado nos períodos chuvosos, possibilitando seu aproveitamento para fins não potáveis na residência, tais como lavagem de áreas externas, descarga do vaso sanitário e irrigação.

3.3.4 Modelo Ventilação natural + Massa térmica + Resfriamento Evaporativo (Modelo 3E)

O modelo 3E foi simulado em todas as cidades, representando a combinação das três estratégias (Figura 3.19), a partir da junção de todas as soluções adotadas nos modelos anteriores, conforme mostra a tabela 3.10.

Tabela 3.10: Alterações do Modelo 3E, em relação ao Modelo Base.

Modelo Base	Modelo 3E
Janela quarto de solteiro: fachada sul	Janela quarto de solteiro: fachada leste
Janelas de correr	Janelas de giro (180°)
Sem captador de vento, sem forro	Com captador de vento, sem forro
Parede: tijolo 6 furos convencional em todos os ambientes	Parede: dupla com tijolo 6 furos, em ambientes de uso diurno
Coberta: telha cerâmica	Coberta: laje inclinada e telhado verde

Figura 3.19 - Perspectiva do Modelo 3E, com destaque para as paredes com maior massa térmica.



Fonte: Autora, 2015

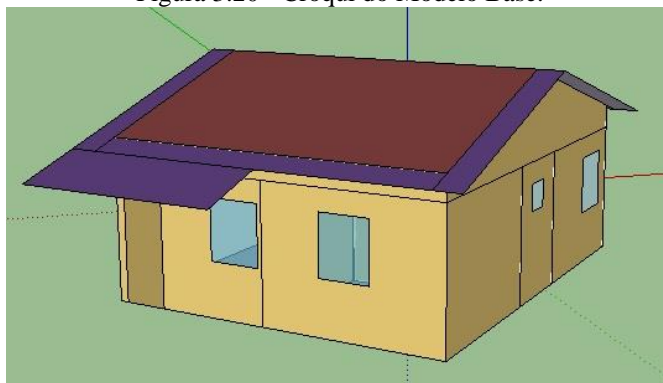
Os padrões de uso da ventilação seguem os mesmos descritos para o Modelo VENT, no caso de Maceió (vide Tabela 3.5), e do Modelo V_MT para Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar (vide Tabela 3.8).

3.4 Parâmetros Adotados na Modelagem Computacional

Para o estudo quantitativo foi escolhido o *software* EnergyPlus, versão 8.1. (DOE, 2015). Este programa é uma ferramenta que possibilita uma análise térmica e energética da edificação baseada nos resultados de simulações computacionais. Desenvolvido a partir da junção dos programas DOE-2 e BLAST, o programa considera o clima local, através de arquivos climáticos com dados horários de cada cidade, calculando temperaturas internas, trocas de calor e as cargas de resfriamento ou aquecimento necessárias para manter o ambiente confortável, assim como o consumo de energia dos sistemas de climatização, iluminação e demais equipamentos.

Cada modelo simulado é representado por zonas térmicas, as quais correspondem aos ambientes, incluindo uma zona para a cobertura (Figura 3.20). O programa calcula o balanço térmico das zonas considerando os ganhos internos do sistema de iluminação, equipamentos e ocupação, assim como os ganhos e perdas de calor para cada superfície da edificação, hora a hora. Para isto são definidos os padrões de uso e ocupação (*schedules*), que caracterizam a rotina dos moradores, as formas de uso da edificação e de seus sistemas, conforme descrito a seguir.

Figura 3.20 - Croqui do Modelo Base.



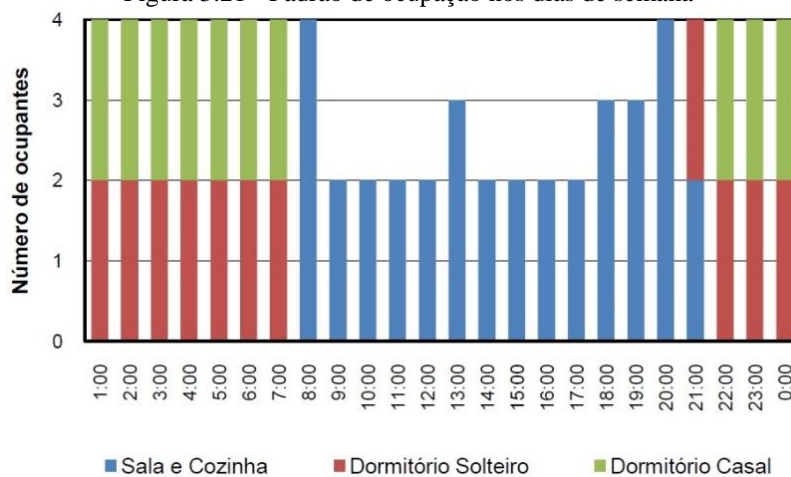
Fonte: Autora, 2014.

3.4.1 Padrão de Ocupação

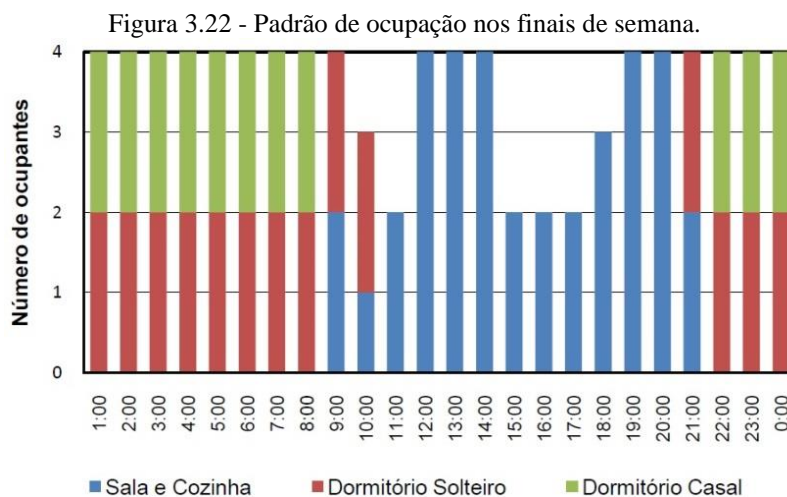
O padrão de ocupação foi definido para representar uma família com quatro integrantes: um casal e dois filhos. Nos dormitórios a ocupação máxima é de duas pessoas, enquanto nos outros ambientes a ocupação máxima é de quatro, exceto no banheiro.

Considerou-se dois padrões de ocupação, um para os dias de semana e outro para os finais de semana. Destaca-se que estes padrões foram definidos apenas para os ambientes de permanência prolongada, incluindo a cozinha (Figuras 3.21 e 3.22).

Figura 3.21 - Padrão de ocupação nos dias de semana



Fonte: Sorgato, 2004.



Fonte: Sorgato, 2004.

Com base na ASHRAE (2005) foram definidas as taxas metabólicas dos indivíduos, correspondentes às cargas térmicas advindas da ocupação, de acordo com o tipo de atividade desempenhada em cada ambiente, conforme descrito na Tabela 3.11.

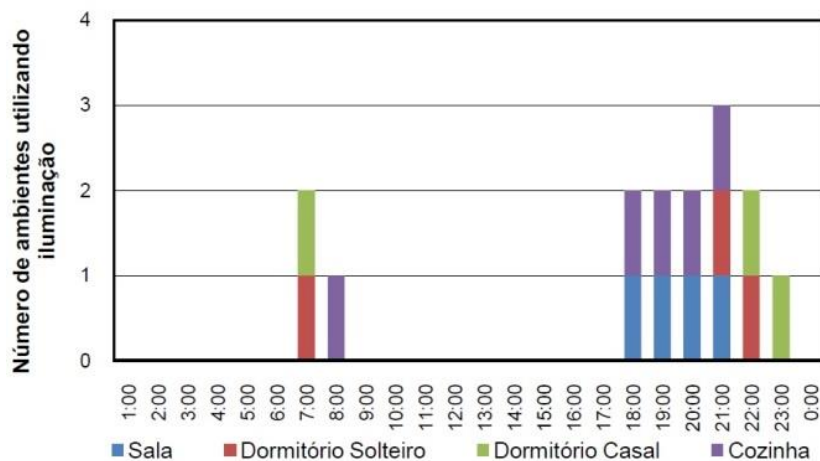
Tabela 3.11 - Taxas metabólicas para cada atividade.

Zona	Atividade realizada	Calor produzido [W/m ²]	Calor produzido para área de pele=1,80m ² [W]
Cozinha	Preparando refeição	95	171
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

3.4.2 Padrão de uso da Iluminação e Equipamentos

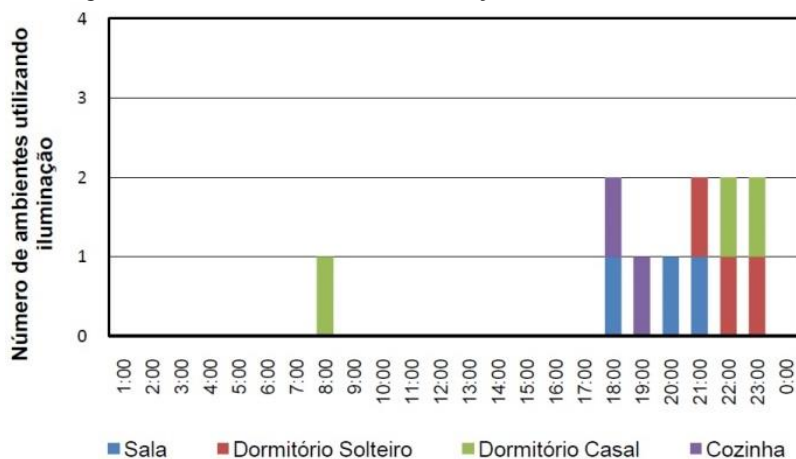
A respeito do padrão do uso da iluminação, considerou-se o aproveitamento da luz natural no período diurno, utilizando-se a iluminação artificial apenas nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, a partir das 18h até as 23h. Nos finais de semana o uso varia, conforme ilustrado nas Figuras 3.23 e 3.24.

Figura 3.23 - Padrão de uso da iluminação, nos dias de semana.



Fonte: Sorgato, 2004.

Figura 3.24 - Padrão de uso da iluminação, nos finais de semana.



Fonte: Sorgato, 2004.

Com base nas especificações da planilha do PMCMV (Anexo 1), onde já é previsto que cada ambiente possua determinados equipamentos básicos, como geladeira, televisão, liquidificador, aparelho de som e ferro de passar, estimou-se o consumo médio diário de cada equipamento. Considerou-se, dessa forma, a carga interna de equipamentos para a cozinha e para a sala com potência total de 54 W.

3.4.3 Modelagem da ventilação natural

O modelo de ventilação natural do programa EnergyPlus leva em conta a área de abertura e alguns coeficientes, como: o coeficiente de descarga (Cd), coeficiente de

fluxo de massa de ar por frestas (C_q), coeficiente de rugosidade (α) e coeficiente de pressão (C_p).

O coeficiente de descarga (C_d) está relacionado com as resistências de fluxo de ar encontradas nas aberturas em função da geometria, considerando a diferença de temperatura do ar, velocidade e direção do vento. Já o coeficiente de fluxo de massa de ar por frestas (C_q), refere-se à infiltração através de frestas e outras aberturas não intencionais (BRASIL, 2012).

O coeficiente de rugosidade (α) caracteriza a configuração do entorno da edificação. Nas simulações, adotou-se uma configuração com poucas obstruções, com alturas menores de 10 m, visto que nas cidades estudadas as habitações populares do PMCMV são construídas em conjuntos residenciais localizados em terrenos afastados dos centros urbanos.

Para a estimativa do coeficiente de pressão (C_p), utilizou-se o aplicativo *on line*, *TNO Cp Generator*⁴ estimando-se os valores de C_p para o centro geométrico das aberturas nas fachadas da edificação, considerando a forma da edificação, direção do vento e influência de obstruções, como edificações vizinhas.

Tabela 3.12 - Coeficientes adotados na modelagem da ventilação natural.

Coeficientes	Valores
Coeficiente de descarga (C_d)	0,6
Coeficiente de fluxo de massa de ar por frestas(C_q)	0,001
Coeficiente de rugosidade (α)	0,14
Coeficiente de pressão (C_p)	TNO

3.4.4 Temperatura do Solo

A temperatura do solo é outro fator importante a ser considerado na simulação, pois interfere no resultado final das trocas de calor em ambientes térreos. Os valores adotados foram calculados utilizando-se o aplicativo *Slab*, que está vinculado ao *software* EnergyPlus, com base nos valores médios mensais das temperaturas internas e externas da edificação. Conforme o clima escolhido, o programa calcula a temperatura média do solo, para cada mês do ano. Estes dados são inseridos durante a modelagem

⁴ O site atualmente não encontra-se mais disponível. Assim recomenda-se outros aplicativos, como por exemplo: http://www.wind.arch.tkougei.ac.jp/info_center/windpressure/lowriseeave/RAH12.html

para que o balanço térmico da edificação considere as trocas do piso com o solo sob tais temperaturas.

3.5 Estudo Quantitativo: Parâmetros de Avaliação do Desempenho Térmico dos Modelos

Foram adotados dois parâmetros para avaliação do desempenho térmico dos modelos. O primeiro foi o indicador “graus-hora de resfriamento” (GHR), o qual representa a diferença entre a temperatura interna e a temperatura adotada como limite de conforto para o calor, a cada hora. Ou seja, quantos graus deveriam ser resfriados para retornar à condição de conforto térmico. Para definição deste limite foi utilizada a ASHRAE Standard 55 (2010). Esta norma apresenta limites de aceitabilidade para a temperatura operativa de ambientes naturalmente ventilados, considerando a temperatura média anual local, obtida a partir dos dados do arquivo TRY das cidades em estudo. Através da equação de regressão da norma (Equação 3.1) e considerando-se o percentual de 90% de aceitabilidade para o desconforto por calor⁵, a temperatura adotada como limite de conforto foi de 28°C.

$$T_{neutra} = 0,31T_{ext-média} + 17,8 \quad \text{Equação 3.1}$$

T_{neutra} = Temperatura neutra de conforto (°C);

$T_{ext-média}$ = Temperatura média externa correspondente ao período monitorado (°C).

Na Tabela 3.13 é possível observar os dados das temperaturas médias anuais de cada cidade e a temperatura neutra, calculada conforme a Equação 3.1. Percebe-se que para o limite de 90% de aceitabilidade, o acréscimo de 2,5°C à temperatura neutra resultou em limites superiores de desconforto por calor próximos à 28°C nas três cidades. Desse modo, este foi valor adotado como referência para o cálculo do número de graus hora de calor.

Tabela 3.13 – Dados para definição dos limites de temperaturas de conforto, por frio e por calor.

⁵ De acordo com a referida norma, a T_{neutra} representa o valor central da zona de conforto. O limite superior e inferior desta zona, considerando 90% de aceitabilidade das condições térmicas do ambiente, varia de +2,5°C a -2,5°C em relação à T_{neutra} . Para o limite de 80% de aceitabilidade é considerado até +3,5°C em relação à temperatura neutra, para o limite superior indicativo de desconforto por calor e -3,5°C como limite inferior, a partir de onde ter-se-ia desconforto por frio (ASHRAE Standard 55,2010).

	Maceió	Palmeira dos índios	Pão de Açúcar	Parâmetro adotado
Temperatura Média Anual	25,5°C	25,3°C	26,3°C	-
Temperatura Neutra	25,7°C	25,6°C	25,9°C	-
Limite/Calor 90% (+2,5°C)	28,2°C	28,1°C	28,4°C	28°C

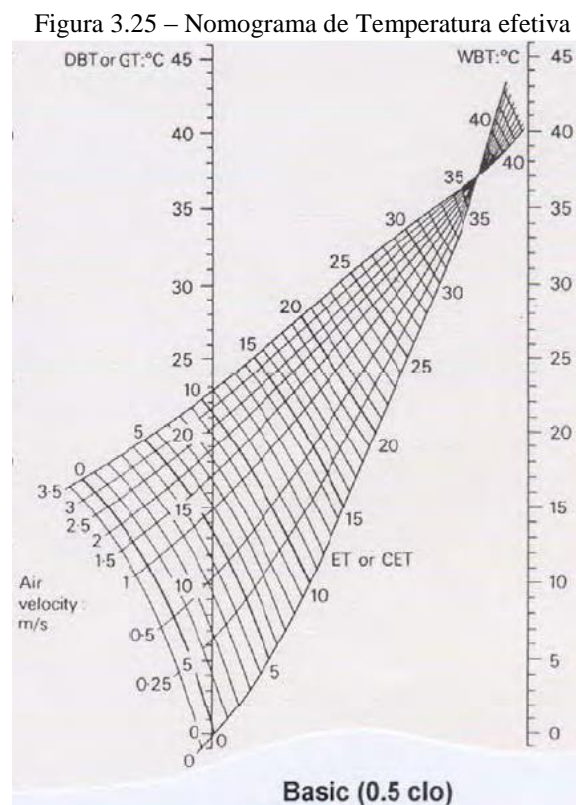
Após definido o limite de temperatura de conforto, é calculado o somatório de graus-hora de resfriamento (GHR), quando da ocorrência de temperaturas acima de 28°C. Assim o somatório de graus-hora representa a quantidade de graus excedentes do limite de conforto adotado. Este parâmetro foi determinado para o período anual e também para cada mês.

O outro parâmetro de avaliação adotado é o percentual de horas de desconforto. Para determiná-lo, inicialmente é quantificado o número de horas nas quais o limite de conforto foi excedido em cada modelo. Em seguida, este total de horas é relacionado ao total de horas simuladas. Portanto, este parâmetro representa a quantidade de vezes em que a temperatura excede o limite de conforto. Note-se que há uma diferença entre os dois parâmetros adotados: O somatório representa um parâmetro indicativo da intensidade do desconforto térmico, enquanto o percentual de horas de desconforto refere-se à frequência com que são contabilizados graus-hora de resfriamento. Trata-se, portanto, de um parâmetro indicativo da duração do desconforto, ou seja, um parâmetro referente ao tempo.

Também é analisado o número de graus-hora máximos anuais, destacando o desempenho dos modelos nos meses mais quentes. O grau-hora máximo de cada modelo corresponde à hora do ano na qual o limite de conforto foi ultrapassado com a maior quantidade de graus. A partir do estudo quantitativo, utilizando estes parâmetros, é possível comparar os desempenhos térmicos obtidos pelos modelos em cada cidade, relacionando-os com o desempenho do Modelo Base.

Na simulação do Modelo Base os graus-hora obtidos são confrontados com os dados climáticos de cada cidade, tais como; temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, ressaltando-se assim a influência positiva ou negativa que as variáveis climáticas de cada cidade apresentam no desempenho do modelo, subsidiando a escolha das estratégias a serem utilizadas nos modelos adaptados.

Destaca-se ainda que, devido às limitações do programa de simulação utilizado, para análise da estratégia de ventilação, é adotado também um estudo através do nomograma de temperatura efetiva de Yaglow e Hought (1993), através da correlação entre a sensação de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar discutindo assim, o efeito de resfriamento fisiológico. Considerou-se o gráfico referente à vestimenta de 0,5 clo, visto que nas cidades estudadas os indivíduos usam roupas leves (Figura 3.25).



Fonte: Frota e Schiffer, 2001.

A partir do nomograma e da mesa d'água utilizada no estudo qualitativo, aprofunda-se a análise dos resultados em relação à estratégia de ventilação natural, nos modelos adaptados.

4 RESULTADOS

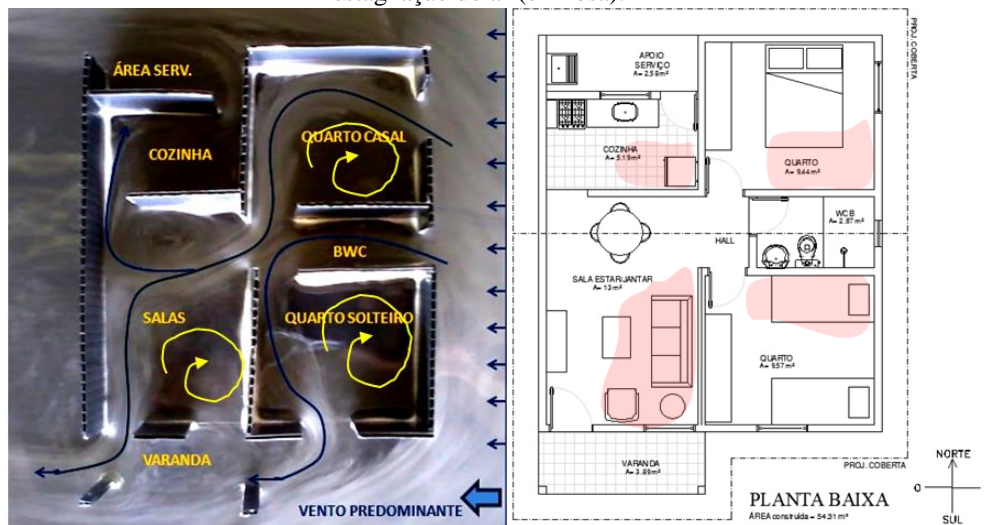
Os resultados foram divididos de acordo com o estudo qualitativo e o estudo quantitativo. Para o estudo qualitativo, o ensaio na mesa d'água, analisou-se o comportamento da ventilação no Modelo Base e, através do programa SOL-AR, analisou-se a trajetória solar, em vista do sombreamento das aberturas. Os resultados do desempenho térmico dos Modelos Adaptados e do Modelo Base apresentam-se por meio do estudo quantitativo, desenvolvido para cada cidade.

4.1 Estudo Qualitativo

No ensaio da mesa d'água foi analisado o Modelo Base, a fim de identificar se o movimento do ar no interior dos ambientes favoreceria o resfriamento fisiológico dos ocupantes. Através deste estudo é possível identificar a necessidade de possíveis adaptações na disposição das aberturas para os modelos que foram propostos neste trabalho.

O modelo reduzido, em planta baixa, foi posicionado de modo que os ventos predominantes das cidades incidissem perpendicularmente à fachada dos quartos. Na Figura 4.1 é possível perceber o comportamento do fluxo de ar no interior da habitação, sob incidência leste. Nota-se que a janela do quarto de casal, por estar voltada para o vento predominante, capta melhor o ar, ao contrário da janela do quarto de solteiro, que serve como saída de ar, recebendo-o de outros ambientes, quando as portas estão abertas. Percebe-se também na imagem uma área de estagnação do ar no quarto de solteiro onde se localizam as camas (área delimitada em rosa na Figura 4.1), área de maior permanência das pessoas no quarto. Esta área necessitaria de um melhor fluxo de ar, a fim de proporcionar o resfriamento fisiológico dos usuários.

Figura 4.1 – Ensaio na mesa d'água do Modelo Base e Planta baixa com destaque nas áreas de estagnação do ar (em rosa).



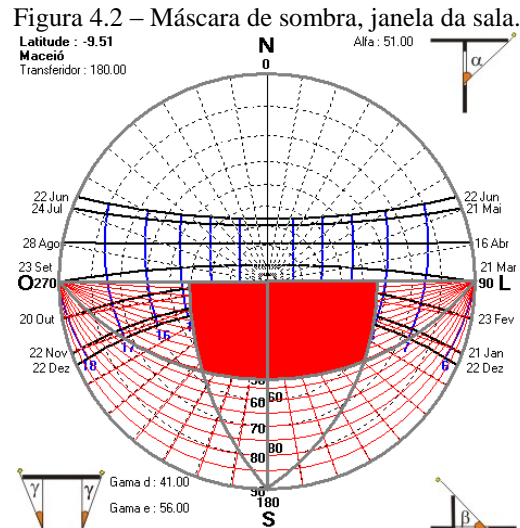
Fonte: Autora, 2014.

O fluxo de ar na sala, advindo em sua maior parte do quarto de casal, quando a porta está aberta, se divide na direção da cozinha e da porta de entrada da casa. Como se pode observar na Figura 4.1, criou-se uma zona de estagnação na área de estar da sala, onde as pessoas ficam acomodadas. Deste modo, a janela da sala acaba por não contribuir de forma satisfatória para o direcionamento do fluxo de ar dentro da edificação. Já a cozinha recebe uma ventilação de menor intensidade, advinda dos outros ambientes da casa, e a porta para a área de serviço funciona como saída de ar. Como se pode perceber, os ambientes mais prejudicados foram o quarto de solteiro e a sala de estar, onde ocorre estagnação do ar na área de permanência dos usuários (Figura 4.1).

Com base nos resultados deste estudo qualitativo do fluxo do ar, é possível propor algumas alterações no projeto, para um melhor aproveitamento da ventilação. Propôs-se então a mudança da orientação da janela do quarto de solteiro para a fachada leste, captando desse modo os ventos predominantes, leste e sudeste, nas cidades. Na sala verificou-se a necessidade de criar novas aberturas que sirvam como captadores de vento, já que o maior fluxo de ar no ambiente é advindo dos quartos, a depender das portas estarem abertas.

Para o estudo do desempenho dos beirais como proteção solar das aberturas, foram geradas as máscaras de sombra das janelas do quarto de casal, de solteiro e da sala. Devido à proximidade entre as latitudes das cidades, adotou-se a carta solar referente a Maceió para todos os casos.

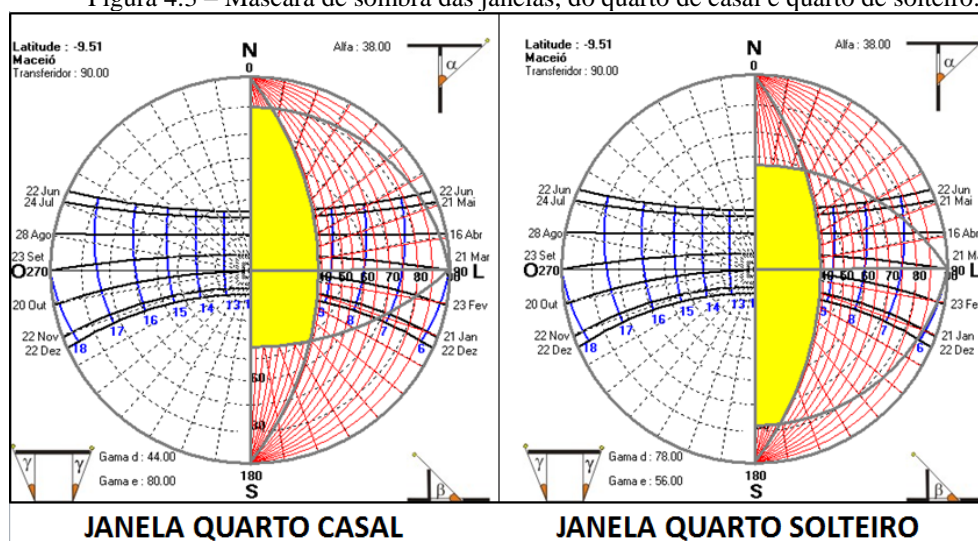
A Figura 4.2 mostra o sombreamento da janela da sala, a qual é protegida pela coberta da varanda. Percebe-se que no período de verão a janela é sombreada das 8h da manhã até as 15h da tarde, obtendo um sombreamento satisfatório.



Fonte: Software SOL-AR.

A janela do quarto de casal apresenta sombreamento semelhante à janela do quarto de solteiro, recebendo radiação solar direta no período de 5:50h até as 9:10h da manhã, no verão. No inverno a radiação solar direta se estende um pouco mais, até as 9:40h da manhã, aproximadamente (Figura 4.3).

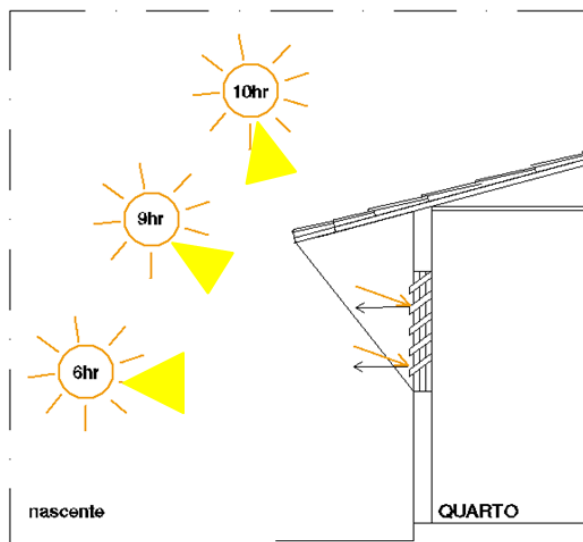
Figura 4.3 – Máscara de sombra das janelas, do quarto de casal e quarto de solteiro.



Fonte: Software SOL-AR.

Por estarem orientadas para a fachada leste, nascente, estas aberturas recebem uma maior quantidade de radiação solar direta durante as primeiras horas da manhã. Entretanto, destaca-se que as esquadrias dos modelos adaptados são de madeira e venezianas móveis, podendo ser utilizadas como outra forma de proteção solar, nestes horários (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Corte esquemático, do efeito do sombreamento do beiral e das venezianas.



Fonte: Produzido por Autora, 2015.

Conclui-se, a partir da análise qualitativa do sombreamento das aberturas, que prolongando-se o beiral até 1m, é possível obter um sombreamento nos horários mais quentes da manhã: das 10h às 12h, considerando as janelas dos quartos. A janela da sala, que está sob proteção da varanda, apresentou um sombreamento maior durante a manhã: das 8h às 12h e no período da tarde obteve um sombreamento também, nas horas mais quentes, das 12h às 15h.

4.2 Estudo Quantitativo

Para o estudo quantitativo foi escolhido como ambiente representativo para análise dos resultados a sala de estar-jantar, por ser o local de maior permanência de todos os ocupantes.

A partir dos resultados das simulações foram calculados os somatórios de graus-hora de resfriamento mensal e anual dos modelos em cada cidade, ou seja, a quantidade

de graus, a cada hora, que excederam o limite de temperatura operativa de conforto adotado: 28°C para situação de calor. Foram calculados também os percentuais de horas de desconforto, que correspondem à frequência com que a temperatura excede os limites de conforto estabelecidos.

Os resultados do Modelo Base são confrontados com os dados climáticos de cada cidade, a fim de identificar quais os ajustes a serem feitos no projeto para melhorar o desempenho térmico da edificação em cada caso.

Os resultados das simulações dos modelos adaptados são apresentados de forma comparativa entre eles e o Modelo Base, destacando-se qual alternativa obteve melhor desempenho térmico em cada cidade.

4.2.1 Modelo Base - Resultados anuais

O modelo base, representativo de uma habitação popular projetada de acordo com as especificações do Programa Minha Casa Minha Vida, foi simulado para as três cidades estudadas, a fim de caracterizar os diferentes desempenhos que a mesma edificação poderia apresentar em regiões de climas diferentes.

Na Tabela 4.1 identifica-se que o percentual de horas de desconforto anual por calor, nas cidades de Maceió e Palmeira dos Índios, foram semelhantes. Pão de Açúcar foi a cidade que apresentou o maior percentual de horas de desconforto por calor. Ressalta-se que os percentuais de desconforto por frio foram irrisórios, nas três cidades.

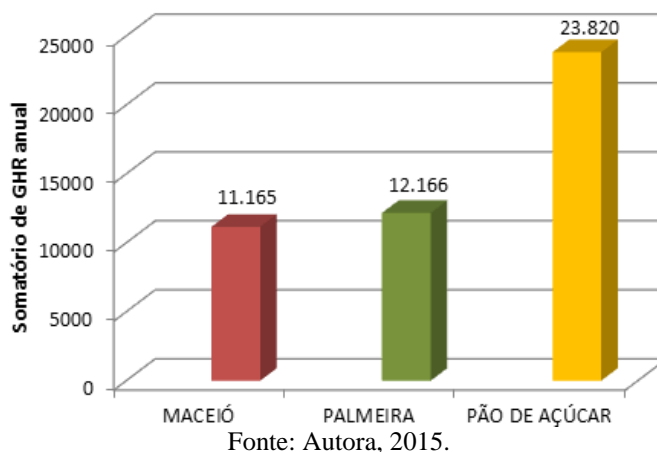
Tabela 4.1 - Percentuais anuais de horas de desconforto obtido pelo Modelo Base nas cidades em estudo.

CIDADES	PERCENTUAL DE HORAS DE DESCONFORTO POR CALOR (ANUAL)
MACEIÓ	38,2%
PALMEIRA DOS ÍNDIOS	36,5%
PÃO DE AÇÚCAR	58,7%

Porém, na análise do somatório de graus-hora de resfriamento (GHR), identifica-se uma maior diferença no desempenho térmico do modelo simulado nas três cidades. Em Maceió obteve-se o menor somatório, conforme pode ser observado no gráfico (Figura 4.5). Já em Pão de Açúcar, o modelo apresentou um somatório 53,1% maior em

relação a Maceió, enquanto Palmeira dos Índios obteve um somatório 8,2% superior aquele obtido em Maceió.

Figura 4.5 – Somatórios anuais de graus-hora (°Ch) de resfriamento (GHR) obtido pelo Modelo Base nas cidades em estudo.

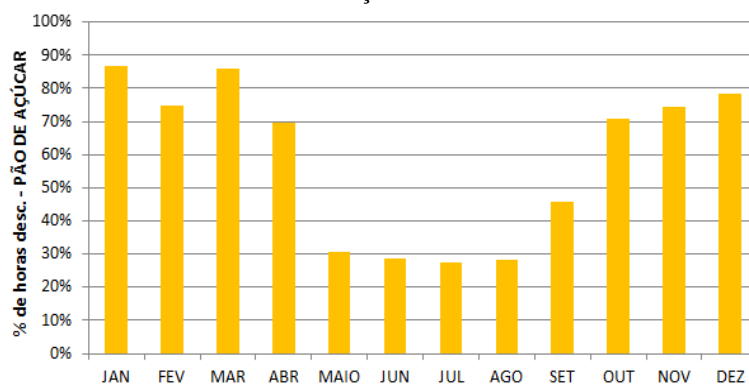


Os resultados mostram que, na cidade de Pão de Açúcar, o modelo apresenta uma maior frequência de ocorrências de graus-hora de resfriamento e uma maior quantidade de graus-hora que extrapolou o limite de conforto, resultando em maior desconforto por calor e alcançando o pior desempenho pelo Modelo Base entre as três cidades.

4.2.1.1 Pão de Açúcar

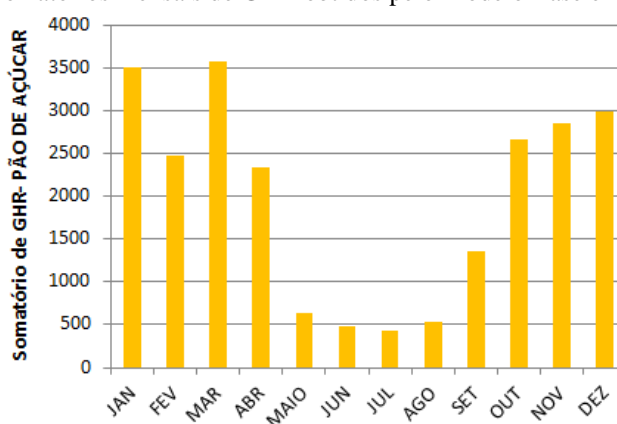
Analisando-se os resultados mensais na cidade de Pão de Açúcar, observou-se que os meses de outubro a abril apresentaram mais de 50% das suas horas em desconforto por calor (Figura 4.6). Os maiores somatórios de graus-hora de resfriamento foram obtidos nos meses de janeiro e março (Figura 4.7).

Figura 4.6 – Percentuais mensais de horas de desconforto por calor obtidos pelo Modelo Base em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.

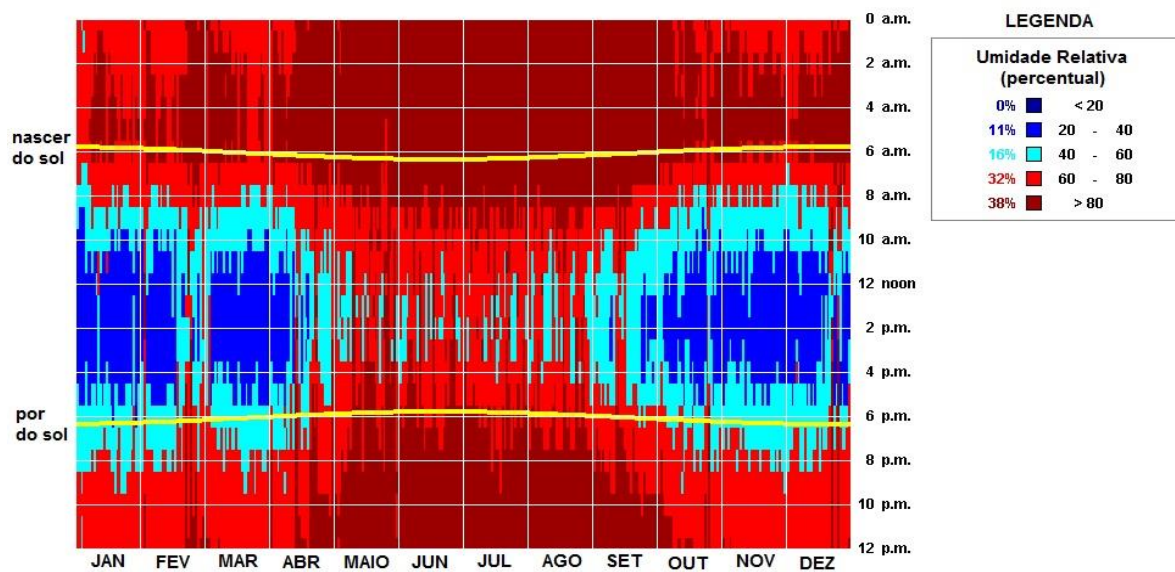
Figura 4.7 – Somatórios mensais de GHR obtidos pelo Modelo Base em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.

Em março é registrado o total de graus-hora de resfriamento máximo do ano, superando em 14°C o limite de conforto, quando a temperatura externa registrada foi 38,7°C e a umidade relativa do ar 23,1%. Nestas condições, a temperatura externa encontrou-se elevada e a umidade relativa abaixo de 50%. Na maior parte do ano, nos meses de setembro a março, durante o período diurno, a umidade encontra-se na faixa de 20% a 60%. Nos meses de inverno e nos períodos do começo da manhã e da noite identificam-se as umidades mais elevadas, conforme mostra o gráfico (Figura 4.8). Ou seja, no período diurno, onde se necessita de um maior resfriamento, a umidade relativa do ar encontra-se reduzida, recomendando-se o emprego da estratégia de resfriamento evaporativo a fim de obter a redução da temperatura nos ambientes internos.

Figura 4.8 - Variação de Umidade Relativa do ar, em Pão de Açúcar.



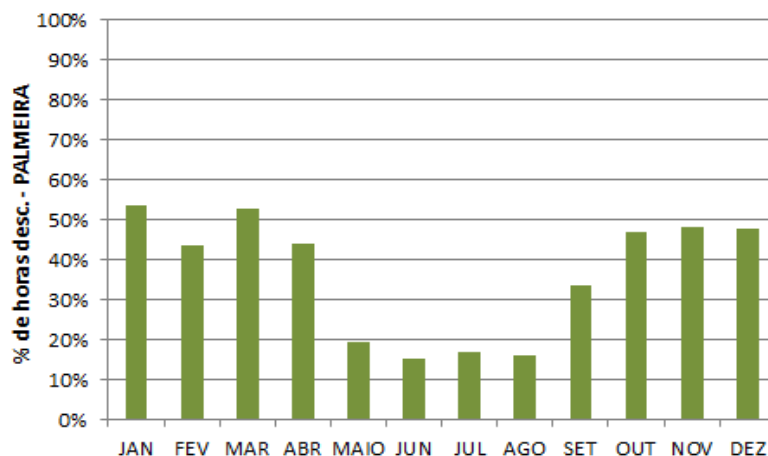
Fonte: Software Climate Consultant, adaptador por autora, 2014.

Destaca-se que, nestes períodos críticos, a edificação foi simulada com as esquadrias abertas. Com a penetração do ar externo nos períodos quentes, a tendência é que as temperaturas internas se aproximem das externas, prejudicando o desempenho da edificação. Por isso recomenda-se a busca por alternativas, além da ventilação para o condicionamento térmico.

4.2.1.2 Palmeira dos Índios

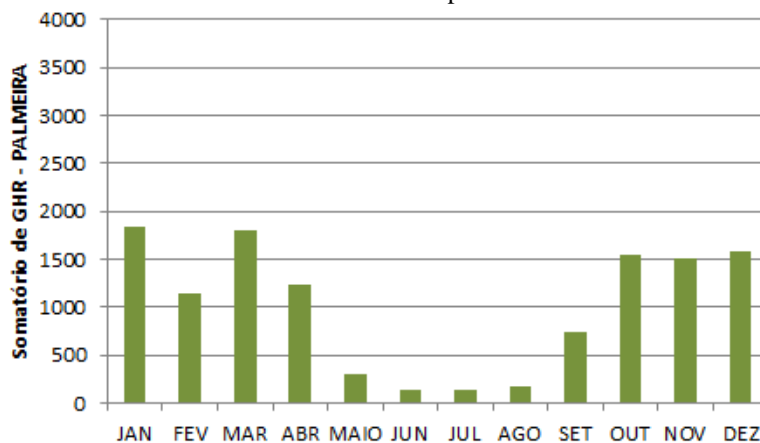
Analisando-se os resultados mensais do Modelo Base na cidade de Palmeira dos Índios, verifica-se que os meses de janeiro e março obtiveram mais de 50% das horas de desconforto por calor e os maiores somatórios de graus-hora de resfriamento do ano (figura 4.9 e 4.10).

Figura 4.9 – Percentuais mensais de horas de desconforto por calor obtidos pelo Modelo Base em Palmeira dos Índios.



Fonte: Autora, 2015.

Figura 4.10 – Somatórios mensais de GHR obtidos pelo Modelo Base em Palmeiras dos Índios.



Fonte: Autora, 2015.

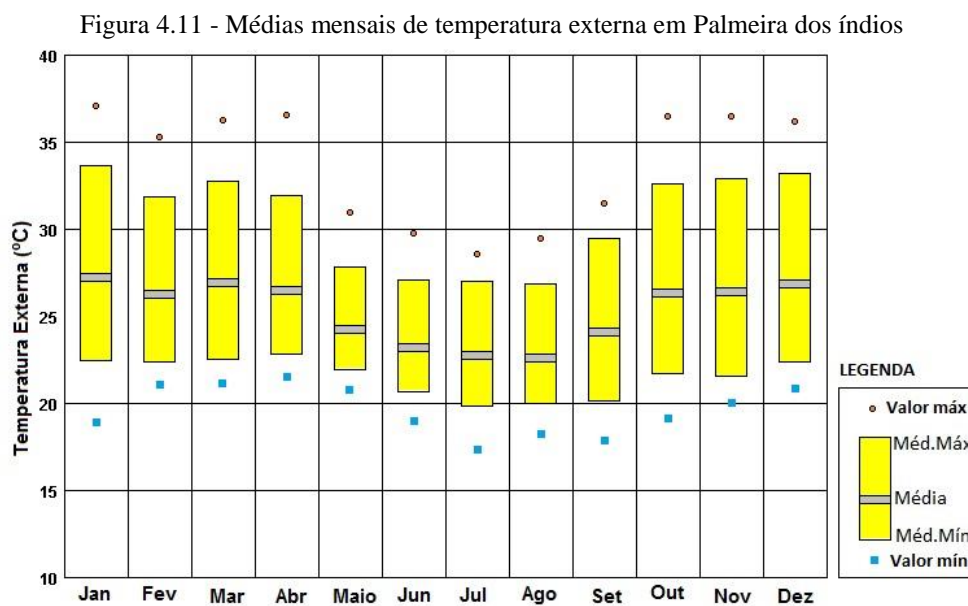
Identifica-se no mês de janeiro o número de graus-hora máximo do ano, apresentando o valor de 11,7°C, enquanto a temperatura externa de 36°C e umidade relativa de 24%. Já no mês de março, o GHR máximo foi de 10,9°C, sob uma temperatura externa de 34,2°C e umidade relativa de 38,1%.

Percebe-se que em relação ao clima de Pão de Açúcar, Palmeira dos Índios apresenta uma temperatura externa mais baixa e uma umidade relativa mais elevada. Portanto, o modelo obteve um menor somatório de graus-hora de resfriamento, assim como um menor percentual de horas de desconforto por calor.

Enquanto em Palmeira o maior GHR mensal foi 1.833°C.h, ocorrido no mês de janeiro, em Pão de Açúcar o maior GHR ocorreu no mês de março: 3.127°C.h, quase o dobro do GHR obtido em Palmeira. Estes meses são os mais quentes nestas cidades, com temperaturas médias respectivamente iguais a 27°C e 30°C.

Outro fator que afeta o desempenho da edificação são os materiais da envoltória. A utilização de materiais que proporcionam uma maior inércia térmica, combinados com a ventilação natural seletiva, poderia contribuir para um melhor desempenho do modelo.

Como recomendado na literatura, a massa térmica é aplicável quando a temperatura externa máxima diária não ultrapassa os 36°C e a temperatura mínima diária não excede os 20°C. A cidade de Palmeira dos Índios apresenta uma temperatura externa máxima absoluta de 36°C em janeiro e a temperatura mínima 17,4°C em julho. Entretanto, as médias mensais da temperatura mínima mantiveram-se acima dos 20°C (Figura 4.11). Por isso recomenda-se que a massa térmica seja utilizada em ambientes de uso diurno, para que à noite, quando o calor armazenado durante todo o dia na envoltória se propagar para o ambiente interno, o ambiente não esteja ocupado. Como as temperaturas mínimas externas superam os 20°C, neste caso o efeito de resfriamento e retirada da carga térmica poderia não ser suficiente para assegurar o conforto dos usuários.



Fonte: Software Climate Consultant, adaptador por autora, 2014.

4.2.1.3 Maceió

Analisando-se os resultados obtidos pelo Modelo Base na cidade de Maceió, os meses de março e dezembro apresentaram mais de 50% das horas de desconforto e maiores somatórios de graus-hora de resfriamento (figura 4.12 e 4.13).

Figura 4.12 – Percentuais mensais de horas de desconforto por calor obtidos pelo Modelo Base em Maceió.

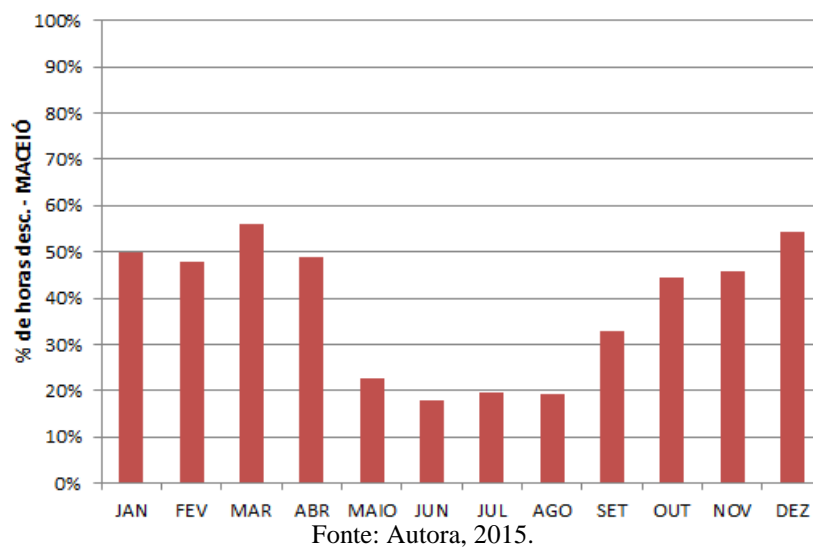
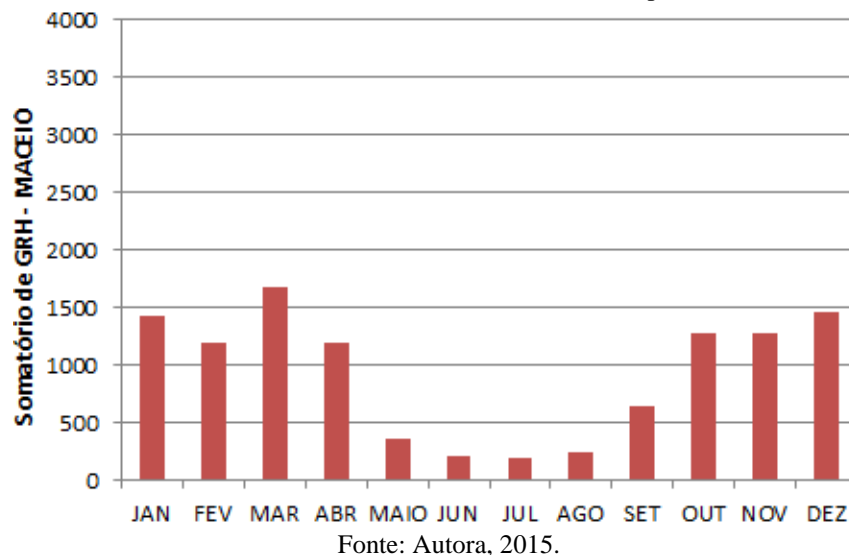


Figura 4.13 – Somatórios mensais de GHR de resfriamento obtidos pelo Modelo Base em Maceió.

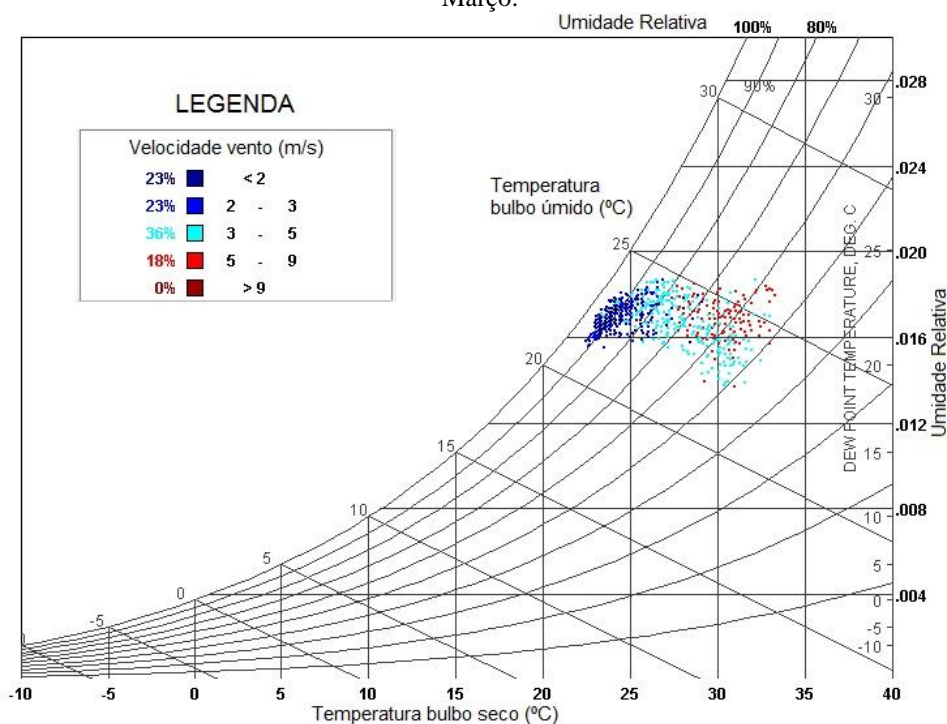


Verifica-se que no mês de março o GHR máximo obtido foi de 9,2°C, com uma temperatura externa de 33°C e umidade relativa de 57,3%. Em dezembro o GHR máximo foi de 8,9°C, às 12 h, sob uma temperatura externa de 30,9°C e umidade relativa de 55%.

Como a cidade de Maceió apresenta uma umidade relativa acima dos 50% nos meses mais quentes do ano, mesmo com uma temperatura externa mais elevada, o uso da ventilação natural ameniza a sensação de desconforto ao favorecer a evaporação do suor.

Analisando o mês de março, onde o modelo apresentou seu pior desempenho, verifica-se uma maior frequência de ocorrência de velocidade do vento variando entre 2 m/s e 5 m/s, enquanto a temperatura varia de 25°C a 33°C, aproximadamente, e a umidade relativa varia entre 50% e 90%, conforme desmostram os dados plotados na carta psicrométrica (Figura 4.14). Percebe-se que as velocidades do vento registradas para temperaturas inferiores a 32°C encontram-se em sua maioria acima dos 2 m/s, valor recomendado por Givoni (1992) para o emprego da ventilação natural, demonstrando uma boa disponibilidade de vento para aplicação desta estratégia. Além disso, as umidades relativas são elevadas, acima dos 50%, demandando também a ventilação natural, como estratégia a ser utilizada na construção do modelo para a melhora de seu desempenho térmico.

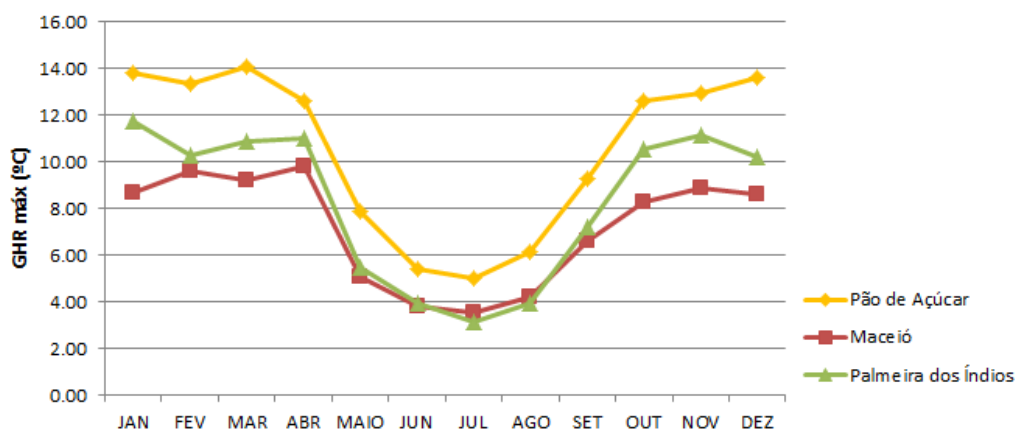
Figura 4.14 - Carta psicrométrica de Maceió, destacando-se as velocidades do vento registradas no mês de Março.



Fonte: Software Climate Consultant, adaptador por autora, 2014.

Com base nos resultados apresentados, verifica-se que o Modelo Base apresentou elevados valores de GHR em todas as cidades. No entanto, Maceió foi a cidade na qual o modelo apresentou o melhor desempenho (Figura 4.15), tendo em vista as condições climáticas mais favoráveis à obtenção do conforto térmico. Como Pão de Açúcar apresenta condições climáticas mais extremas, o modelo requer maiores adaptações a fim de suprir as limitações impostas pelo clima.

Figura 4.15 – Valores máximos mensais de GHR obtidos pelo Modelo Base nas cidades em estudo.



Fonte: Autora, 2015.

Comparando-se os GHR máximos obtidos na cidade de Pão de Açúcar, a qual obteve o pior desempenho, com Maceió, onde o modelo obteve o melhor desempenho verificou-se uma diferença de até 4,2°C entre os resultados (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – GHR máximos obtidos em cada cidade.

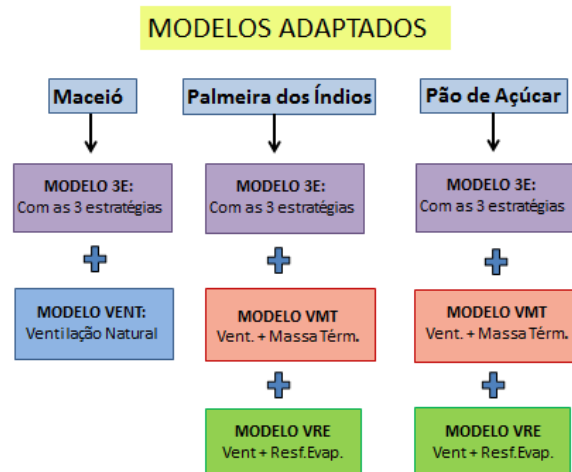
CIDADES	GHR MÁX.	PERÍODO	UMID.REL	TEMP.EXT
Pão de Açúcar	14 °C	Março	23,1%	38,7°C
Palmeira dos Índios	11,7°C	Janeiro	24%	36°C
Maceió	9,8°C	Abril	63%	34°C

Estes resultados demonstram como o desempenho do Modelo Base pode variar do clima quente e úmido ao semiárido, nas cidades estudadas. Deste modo, destaca-se a importância de se reavaliar as práticas construtivas no setor habitacional no âmbito do PMCMV, a fim de se adequarem as diferenças climáticas de cada região, para obtenção de um melhor desempenho térmico. Diante deste contexto e com base na avaliação climática realizada para cada cidade, são propostos os modelos adaptados, com vistas ao aperfeiçoamento do modelo de habitação recorrente, cujos desempenhos térmicos são analisados a seguir.

4.2.2 Modelos Adaptados

Os modelos adaptados foram propostos a partir do Modelo Base, incorporando as estratégias recomendadas para cada cidade, conforme foi visto no capítulo anterior (Figura 4.16).

Figura 4.16 - Organograma dos modelos simulados em cada cidade.



Fonte: Autora, 2015.



4.2.2.1 Pão de Açúcar

Para a cidade de Pão de Açúcar foram simulados os modelos adaptados: 3E, V_MT, V_RE.

a) Modelo 3E

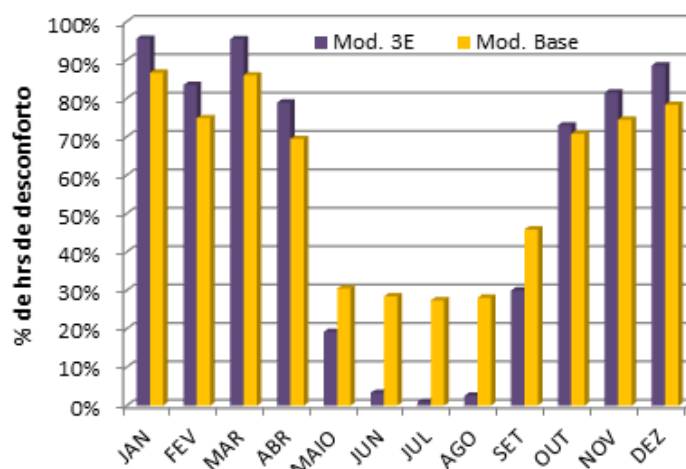
Os dados da Tabela 4.3 demonstram a diferença entre os desempenhos do Modelo 3E e do Modelo Base em Pão de Açúcar, considerando-se dados anuais. O modelo 3E obteve uma redução de 46,7% no somatório de GHR em relação ao Modelo Base.

Tabela 4.3 – Resultados anuais: modelos Base e 3E, para Pão de Açúcar.

Dados	Modelo Base	Modelo 3E
		
Somatório de GHR	23.820°C _h	12.695°C _h
Percentual de horas de desconforto por calor	58,7%	54,5%
GHR máximo	14°C	7,9°C
GHR médio	4,6°C	2,6°C

Analisando o percentual de horas de desconforto por calor anual, destaca-se que o Modelo Base apresentou valor superior ao Modelo 3E. Porém, analisando-se os percentuais de horas de desconforto por mês, percebe-se que o Modelo 3E apresenta um maior percentual nos meses mais quentes: de janeiro a abril e de outubro a novembro (Figura 4.17).

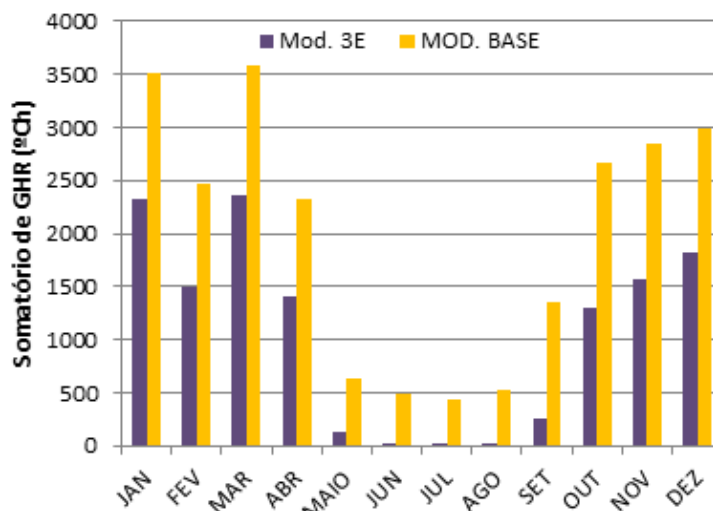
Figura 4.17 - Percentuais mensais de horas de desconforto por calor obtidos pelo Modelo Base e pelo Modelo 3E, em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.

Verifica-se ainda que, apesar do modelo 3E apresentar um percentual de horas de desconforto por calor mais elevado nos meses mais quentes, o somatório de graus hora de desconforto foi menor em relação ao modelo base, em todos os meses (Figura 4.18).

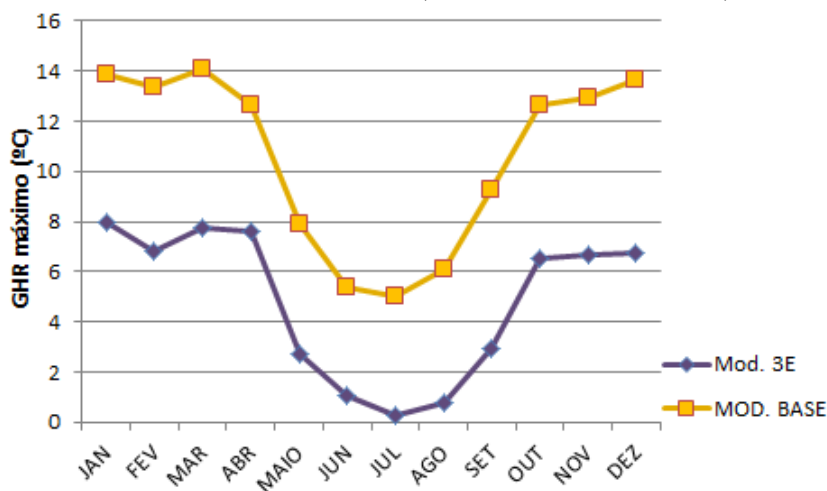
Figura 4.18 - Somatórios mensais de GHR, Modelo Base e Modelo 3E, em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.

A partir destes dados é possível concluir que o desempenho do Modelo 3E foi melhor, pois apesar de obter uma maior frequência de horas de desconforto nos meses mais quentes, a quantidade de graus excedida do limite de conforto adotado reduziu-se pela metade em relação ao Modelo Base (Figura 4.19).

Figura 4.19 – Valores máximos mensais de GHR, Modelo Base e Modelo 3E, em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.




b) Modelo V_MT

O modelo V_MT representa a estratégia de ventilação natural combinada com massa térmica. Para tal, o modelo teve suas aberturas alteradas em relação ao Modelo Base, recebendo também um captador de vento, conforme descrito no item 3.3.1. Além

disso, este modelo foi construído com paredes externas apresentando maior massa térmica do que o Modelo Base, conforme descrito no item 3.3.2.

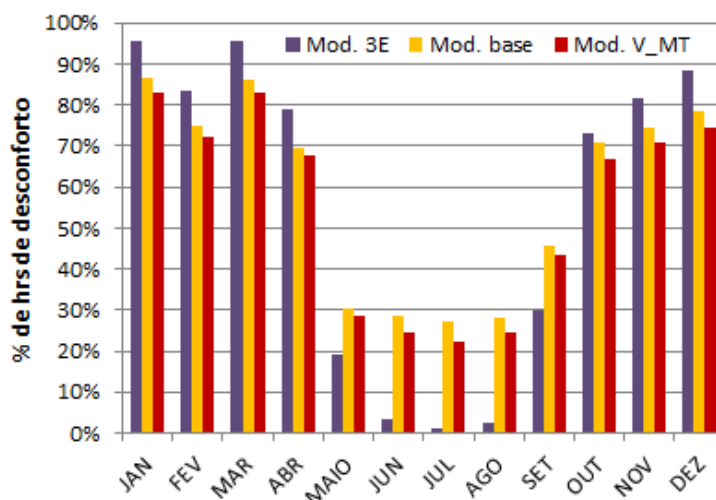
A Tabela 4.4 mostra os resultados anuais dos modelos Base, V_MT e 3E em Pão de Açúcar, onde é possível verificar a influência do teto jardim, presente no modelo 3E. Este modelo apresenta uma redução do somatório de GHR de 46,7% em relação ao Modelo Base. Já no modelo V_MT, com cobertura em telha cerâmica e forro de gesso, esta redução é de apenas 12,3%.

Tabela 4.4 – Resultados anuais: Modelo Base, V_MT e 3E, para Pão de Açúcar.

Dados	Modelo Base	Modelo V_MT	Modelo 3E
			
Somatório de GHR	23.820 °Ch	20.882 °Ch	12.695 °Ch
Percentual de horas de desconforto por calor	58,7%	54,8%	54,5%
GHR máximo	14°C	13,2°C	7,9°C
GHR médio	4,7°C	4,3°C	2,7°C

O percentual anual de horas de desconforto por calor apresenta-se maior no Modelo Base. Entretanto, ao analisar os dados mensais, percebe-se que o modelo 3E apresenta um maior percentual de horas de desconforto perante o Modelo Base e o Modelo V_MT nos meses mais quentes (outubro a abril), como pode-se observar no gráfico (Figura 4.20). Verifica-se também, que nos meses de maio a agosto os percentuais de desconforto dos modelos adaptados são inferiores aos do Modelo Base. O Modelo 3E apresenta apenas 3% nos meses de junho e agosto e 1% no mês de julho. A diferença dos percentuais nestes meses, explica o maior percentual de desconforto anual, do Modelo Base, conforme foi mostrado na Tabela 4.4.

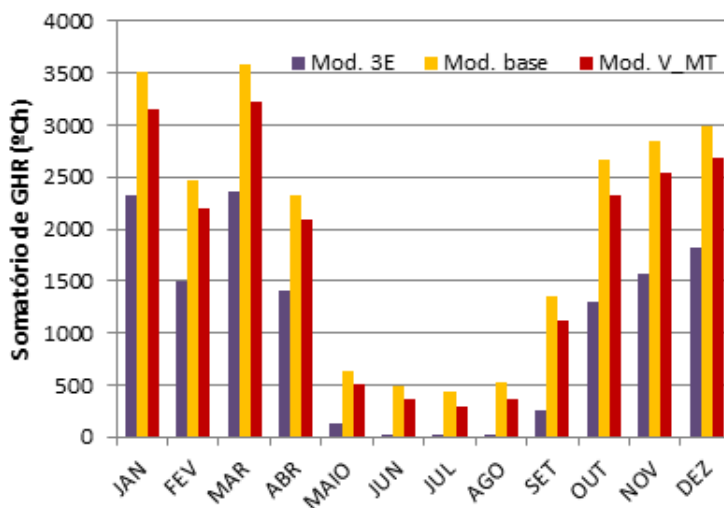
Figura 4.20 – Percentuais mensais de horas de desconforto por calor obtidos pelos modelos: 3E, Base e V_MT, em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.

Analisando o gráfico de somatório de graus hora (Figura 4.21), que corresponde aos graus excedentes ao limite de desconforto por calor ($>28^{\circ}\text{C}$), verifica-se que o Modelo Base apresentou um maior somatório, em todos os meses do ano. Nos meses de janeiro e março foram obtidos os maiores somatórios de GHR nos três modelos analisados. Observa-se também que modelo V_MT apresentou desempenho semelhante ao Modelo Base, enquanto o modelo 3E apresentou os menores somatórios de GHR e, conseqüentemente, o melhor desempenho térmico.

Figura 4.21 – Somatórios mensais de GHR, modelos 3E, Base e V_MT em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.

c) Modelo V_RE

Em Pão de Açúcar, o Modelo V_RE apresentou resultados semelhantes ao modelo 3E, superando em apenas 0,24% o somatório anual de GHR obtido por este (Tabela 4.5). Ou seja, os dois modelos obtiveram desempenhos equivalentes. Destaca-se que a diferença entre estes modelos está na presença da massa térmica das paredes, no Modelo 3E. Observa-se também que embora os percentuais de horas de desconforto tenham sido semelhantes entre os modelos é possível verificar uma maior diferença no desempenho analisando os somatórios anuais e mensais de GHR (Figura 4.22).

Tabela 4.5 - Dados anuais de GHR de todos os modelos simulados para cidade de Pão de Açúcar.





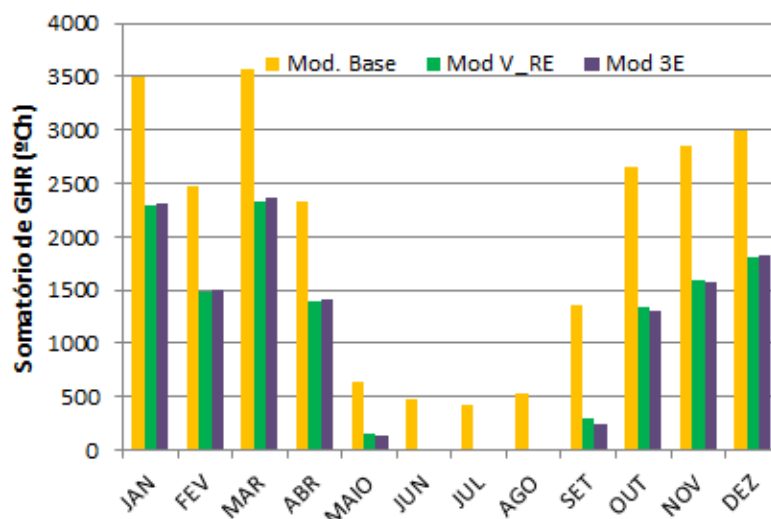
Dados	Modelo base	Modelo V_MT	Modelo V_RE	Modelo 3E
				
Somatório de GHR	23.820 °Ch	20.882 °Ch	12.725 °Ch	12.695 °Ch
Percentual de horas de desconforto por calor	58,7%	54,8%	52,4%	54,5%
GHR máximo	14 °C	13,2 °C	8,4 °C	7,9 °C
GHR médio	4,6 °C	4,3 °C	2,8 °C	2,7 °C

Figura 4.22 – Somatórios mensais de GHR obtidos pelos modelos, Base e V_RE e 3E, em Pão de Açúcar.



Fonte: Autora, 2015.

Os modelos com a presença do telhado verde, 3E e V_RE, apresentaram um melhor desempenho, com reduções de 46,71% e 46,58% respectivamente, no somatório anual de GHR em relação ao Modelo Base. Já o Modelo V_MT apresentou uma redução de apenas 12,34% em relação ao Modelo Base (Tabela 4.5).



4.2.2.2 Palmeira dos Índios

Para a cidade de Palmeira dos Índios foram simulados os modelos: 3E, V_MT e V_RE.

a) Modelo 3E

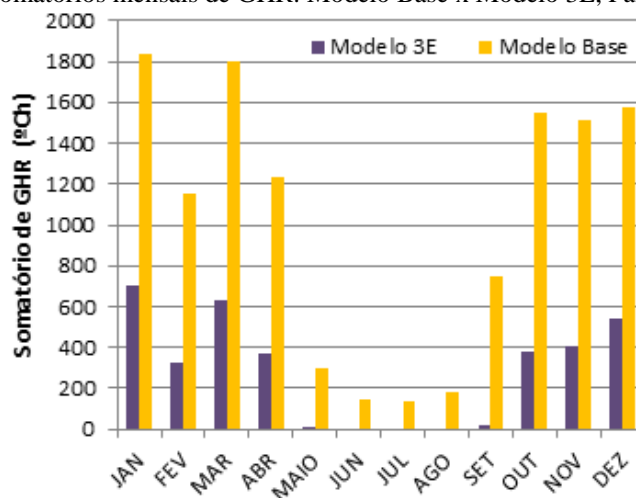
O modelo 3E representa a adaptação do Modelo Base com a inserção das três estratégias: ventilação natural + massa térmica + resfriamento evaporativo. A tabela 4.6 mostra os resultados anuais obtidos pelos modelos Base e 3E. Como se pode verificar, o Modelo 3E apresentou uma grande diferença no desempenho térmico em relação ao Modelo Base. O somatório de GHR diminuiu de 12.166 °Ch para 3.383 °Ch, o que corresponde a uma redução de 72,2%. O percentual de horas de desconforto sofreu uma redução de 10,6% e o GHR máximo do ano reduziu-se pela metade.

Tabela 4.6 – Resultados anuais obtidos pelo do modelo Base e pelo modelo 3E em Palmeira dos Índios.

Dados	Modelo Base	Modelo 3E
		
Somatório de GHR	12.166 °Ch	3.383 °Ch
Percentual de horas de desconforto por calor	36,4%	25,8%
GHR máximo	11,4 °C (janeiro)	5,2 °C (abril)
GHR médio	3,8 °C	1,5 °C

Na Figura 4.23 comparam-se os somatórios de GHR ao longo do ano, nos dois modelos. Destaca-se que nos meses de junho, julho e agosto o modelo 3E não obteve GHR e nos outros meses obteve uma redução de mais de 50% no somatório de GHR em relação ao Modelo Base.

Figura 4.23 – Somatórios mensais de GHR: Modelo Base x Modelo 3E, Palmeira dos Índios.



Fonte: Autora, 2015.




b) Modelo V_MT

O modelo V_MT representa a estratégia de ventilação combinada com massa térmica. A diferença deste modelo em relação ao Modelo 3E está na ausência do telhado verde. Comparando-se os resultados do Modelo V_MT com o Modelo 3E e Modelo Base é possível observar a influência do telhado verde no desempenho térmico da habitação.

Verifica-se na tabela 4.7 que o Modelo V_MT apresentou uma redução de 14,5% no somatório anual de GHR em relação ao Modelo Base, enquanto o modelo 3E apresentou uma diminuição de 72,2%.

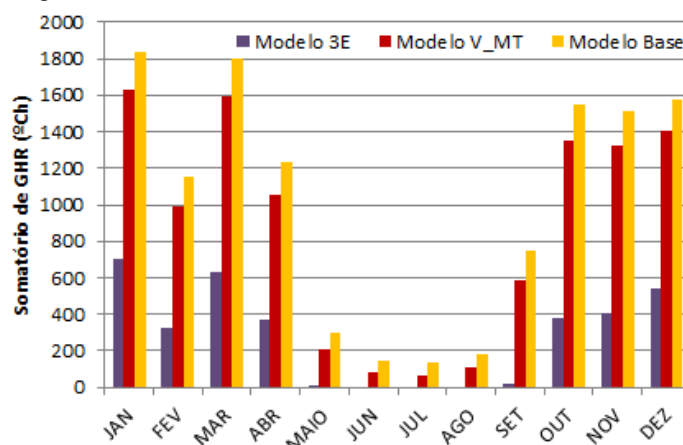
O Modelo V_MT apresenta desempenho semelhante ao Modelo Base, com elevados somatório de graus hora de desconforto por calor, durante um maior período do ano, registrando-se o GHR máximo igual a 10,6°C em abril, enquanto o Modelo Base registra 11,4°C em janeiro. O modelo 3E também obteve seu GHR máximo no mês de abril, porém com o valor igual a 5,2°C (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Resultados anuais obtidos pelos modelos: Base, V_MT e 3E em Palmeira dos índios.

Dados	Modelo Base	Modelo V_MT	Modelo 3E
			
Somatório de GHR	12.166 °Ch	10.409 °Ch	3.383 °Ch
Percentual de horas de desconforto por calor	36,4%	34%	25,8%
GHR máximo	11,4°C (jan)	10,6°C (abr)	5,2°C (abr)
GHR médio	3,8°C	3,5°C	1,5°C

O Modelo 3E apresentou o melhor desempenho térmico, com redução superior a 50% no somatório anual de GHR e no GHR máximo, em relação ao Modelo Base (Tabela 4.7). Na Figura 4.24 observa-se a variação do somatório de GHR ao longo do ano, nos modelos analisados.

Figura 4.24 – Somatório de GHR do Modelo Base, V_MT e 3E.



Fonte: Autora, 2015.




O Modelo V_MT apresentou um maior somatório de GRH, entre os modelos adaptados, em todos os meses, similar ao Modelo Base. Nos meses de maio a agosto o Modelo 3E não obteve graus-hora de resfriamento.

c) Modelo V_RE

O Modelo V_RE representa a estratégia de ventilação e resfriamento evaporativo por meio do teto jardim, sem a massa térmica adotada nas paredes externas dos ambientes diurnos. Ressalta-se ainda que a adoção do teto jardim também representa uma modalidade de emprego da massa térmica, adotada neste caso apenas na cobertura. Assim, os resultados são apresentados de forma comparativa com o Modelo Base e com os modelos adaptados analisados até aqui.

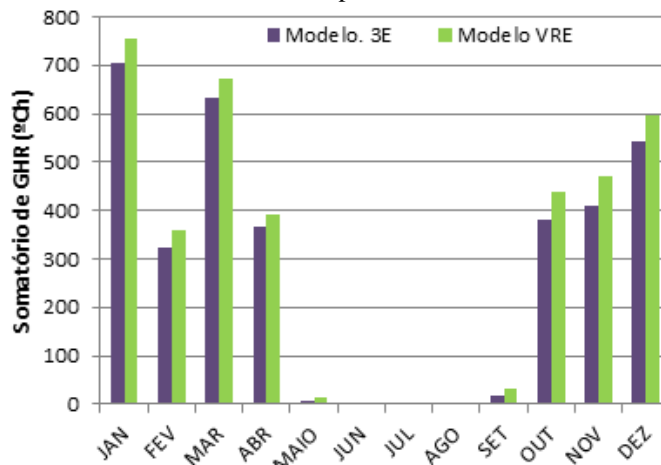
Os dados da Tabela 4.8 mostram os resultados anuais de desempenho dos modelos em questão. Verifica-se que o somatório anual de GHR do Modelo V_RE sofre uma redução equivalente a 69,4% em relação ao Modelo Base, enquanto o Modelo 3E obteve uma redução equivalente a 72,2%.

Tabela 4.8 – Resultados anuais obtidos pelos modelos Base, V_RE e 3E, em Palmeira dos Índios.

Dados	Modelo Base	Modelo V_RE	Modelo 3E
			
Somatório de GHR	12.166 °Ch	3.730 °Ch	3.383 °Ch
Percentual de horas de desconforto por calor	36,4%	25,3%	25,8%
GHR máximo	11,4°C (jan)	5,6°C (abril)	5,2°C (abril)
GHR médio	3,8°C	1,7 °C	1,5°C

Analisando-se os dados mensais de GHR (Figura 4.25) percebe-se que os desempenhos dos modelos V_RE e 3E ao longo do ano são semelhantes. Destaca-se que a diferença entre os modelos está na presença de maior massa térmica nas paredes de ambientes de uso diurno, do Modelo 3E, em relação à existente no Modelo V_RE. Quando comparamos o somatório de GHR anual nestes dois modelos, verifica-se uma redução de apenas 2.85% a mais no modelo 3E, que possui massa térmica nas paredes.

Figura 4.25 - Somatórios mensais de GHR obtidos pelos Modelos 3E e V_RE, em Palmeira dos Índios.

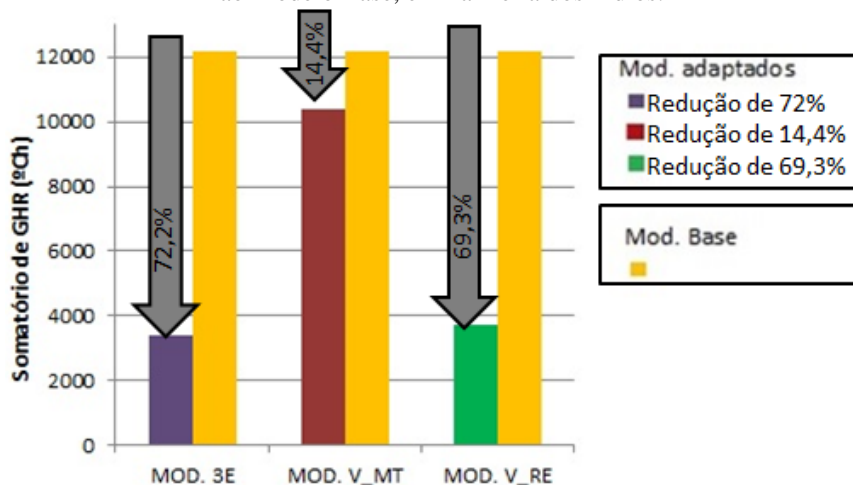


Fonte: Autora, 2015.

Nos meses de janeiro e março foram obtidos os maiores somatórios de GHR. Entretanto, cabe ressaltar que o GHR máximo alcançado em ambos os modelos analisados ocorreu no mês de abril: 5,6°C e 5,2°C nos modelos V_RE e 3E, respectivamente.

O Modelo 3E apresentou o melhor desempenho térmico. Nota-se na Figura 4.26 que este modelo apresentou a maior redução no somatório de GHR em relação ao Modelo Base, enquanto o Modelo V_MT, o qual possui massa térmica nas paredes de ambientes de uso diurno, obteve a menor redução no somatório de GHR. O modelo V_RE apresentou desempenho semelhante ao modelo 3E.





Figura 4.26 – Comparativo dos somatórios anuais de GHR obtidos pelos modelos adaptados, em relação ao Modelo Base, em Palmeira dos Índios.



Fonte: Autora, 2015.

Com base nestes resultados é possível dizer que o telhado verde foi o principal fator que influenciou no desempenho térmico dos modelos. Os dados da Tabela 4.9 resumem os resultados anuais de todos os modelos simulados em Palmeira dos Índios.

Tabela 4.9 – Síntese dos resultados obtidos pelos modelos simulados em Palmeira dos Índios.

Dados	Mod.Base	Mod.V_MT	Mod.V_RE	Mod.3E
				
Somatório de GHR	12.166°CCh	10.409 °CCh	3.730 °CCh	3.383 °CCh
Percentual de horas de desconforto por calor	36,4%	34%	25,3%	25,8%
GHR máximo	11,4°C (jan)	10,59 °C (abril)	5,61 °C (abril)	5,2 °C (abril)
GHR médio	3,81°C	3,49°C	1,68°C	1,49°C

Percebe-se que além da diminuição no somatório de graus-hora e no percentual de horas de desconforto, o grau hora máximo do Modelo 3E, em relação ao Modelo Base diminui a metade, de 11,4°C para 5,6°C.



4.2.2.3 Maceió

Para a cidade de Maceió foram simulados 2 modelos adaptados. O Modelo VENT, representando apenas a principal estratégia recomendada: ventilação natural, e o Modelo 3E, o qual representa a inserção das 3 estratégias recomendadas: ventilação natural, massa térmica e resfriamento evaporativo.

a) Modelo VENT

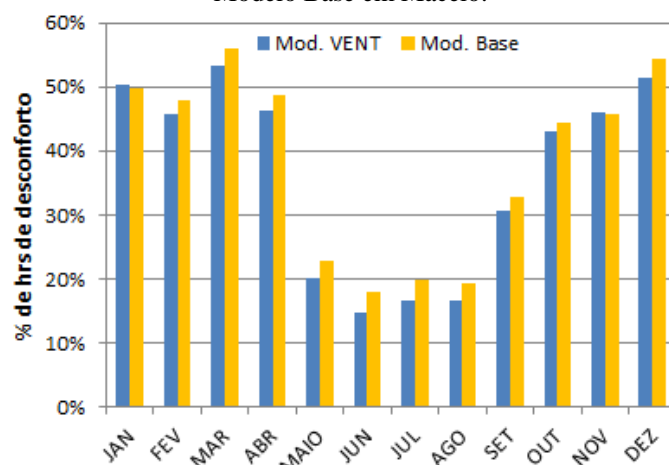
Os resultados do Modelo VENT foram comparados com o Modelo Base (Tabela 4.10). Verifica-se que com o incremento na ventilação natural realizada no Modelo VENT resultou em uma redução de 14,1% no somatório anual de GHR em relação ao Modelo Base.

Tabela 4.10 – Resultados anuais obtidos pelo Modelo Base e Modelo VENT em Maceió.

Dados	Modelo Base	Modelo VENT
		
Somatório de GHR	11.165°C _h	9.589°C _h
Percentual de horas de desconforto por calor	38,2%	36%
GHR máximo	9,8°C	9,0°C
GHR médio	3,3°C	3,0°C

A Figura 4.27 mostra os percentuais mensais de horas de desconforto obtidos pelos modelos ao longo do ano. Nota-se que não houve uma grande diferença no desempenho destes. Nos meses de março e dezembro, os dois modelos apresentaram mais de 50% das horas em desconforto por calor.

Figura 4.27 - Percentuais de horas de desconforto por calor obtidos pelo Modelo VENT e pelo Modelo Base em Maceió.



Fonte: Autora, 2015.

Entretanto, vale a pena destacar que a ventilação possui ainda o efeito de resfriamento fisiológico, pois o movimento do ar incrementa a evaporação do suor da pele. Este efeito tem um potencial maior na cidade de Maceió, onde as temperaturas externas proporcionam condições favoráveis ao uso da ventilação. Porém, este efeito não é levado em consideração nos resultados das simulações.

As mudanças propostas no modelo VENT, a partir do estudo qualitativo, como o reposicionamento da abertura do quarto de solteiro e as novas aberturas inseridas,

proporcionam um melhor fluxo de ar no interior do modelo, contribuindo para o efeito do resfriamento fisiológico e, conseqüentemente, um maior conforto dos usuários.

Desse modo, apesar do Modelo VENT não apresentar redução significativa do GHR em relação ao Modelo Base, buscou-se ressaltar o efeito fisiológico de resfriamento causado pela ventilação, o qual a simulação não considera. Para tal, foi analisada a correlação entre velocidade do vento, temperatura do ar (temperatura de bulbo seco) e temperatura de bulbo úmido através do nomograma de temperatura efetiva, onde é possível avaliar o efeito da ventilação sobre a percepção de conforto térmico dos ocupantes.

A partir dos dados levantados do modelo VENT, simulado para Maceió, verificou-se que os valores da temperatura de bulbo seco (TBS) mais frequentes no interior da sala de estar variaram entre 22,9°C e 35,9°C durante os horários de ocupação deste ambiente (8h – 22h). Observou-se também os valores de umidade relativa (UR) correspondentes às TBS indicadas, obtendo-se os dados apontados na Tabela 4.11:

Tabela 4.11 - Umidades relativas do ar (UR) correspondentes às temperaturas de bulbo seco (TBS) verificadas nas simulações do Modelo VENT.

TBS	UR correspondentes
22,9°C (mínima)	90,1% até 95,5%
33,4°C (máxima)	34,8% até 55,2%

Como o nomograma de temperatura efetiva demonstra a relação entre velocidade do vento, TBS e temperatura de bulbo úmido (TBU) foi utilizado o Programa Psicrom 1.0¹, para obter os dados de TBU na carta psicrométrica, a partir dos dados já levantados na Tabela 4.11 (Tabela 4.12).

Tabela 4.12 – Dados de TBS, TBU e Umidade Relativa referentes à sala de estar, Modelo VENT.

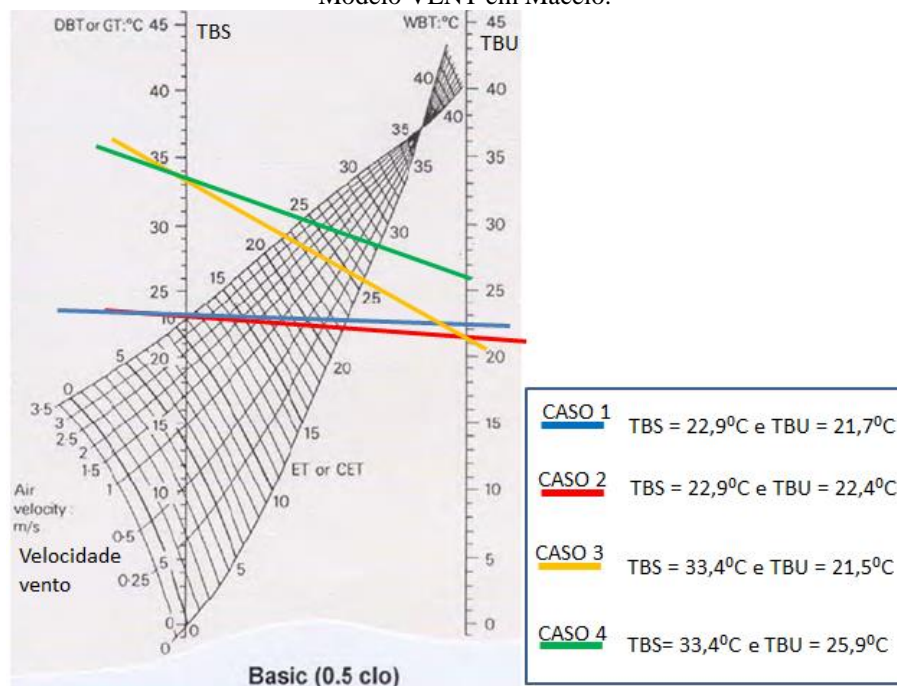
TBS (°C)	22,9°C (mínima)			33,4°C (máxima)		
UR (%)	90,1%	até	95,5%	34,8%	até	55,2%
TBU (°C)	21,7°C		22,4°C	21,5°C		25,9°C
CASOS ANALISADOS	CASO 1		CASO 2	CASO 3		CASO 4

Inserindo os dados de TBS e TBU, de acordo com a variação de umidade relativa, nos casos apresentados na tabela 4.12 são determinadas as temperaturas

¹ Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/download_6.html>. Acesso em: abril, 2015.

efetivas, estimando-se o efeito do resfriamento fisiológico proporcionado pela ventilação no interior do ambiente (Figura x). Destaca-se que o nomograma utilizado refere-se a um isolamento de vestimenta igual a 0,5 clo, correspondente a roupas leves, por se tratar da vestimenta usual sob condições de calor.

Figura 4.28 – Nomograma de temperatura efetiva, destacando-se os dados relativos à simulação do Modelo VENT em Maceió.



Nomograma de temperatura efetiva, adaptado por autora, 2015.

A partir destes dados é possível observar as reduções sofridas pela temperatura efetiva diante da variação na velocidade do vento. Para tal, considera-se a possibilidade de admissão da ventilação natural durante o período de ocupação do ambiente, com a obtenção de velocidades do ar variando de 0 (calmaria) até 3,5 m/s.

Diante uma TBS de 22,9⁰C e uma TBU de 22,4⁰C poder-se-ia obter como efeito do resfriamento fisiológico uma redução de até 11,2⁰C na temperatura efetiva, sob uma velocidade do vento de 3,5m/s (Figura 4.29).

Figura 4.29 – Reduções estimadas da temperatura efetiva sob diferentes velocidades do vento, Caso 1 e Caso 2.

CASO 1			CASO 2		
Var (m/s)	T _{ef} (°C)	Redução em relação à situação sem movimento do ar	Var (m/s)	T _{ef} (°C)	Redução em relação à situação sem movimento do ar
0	22,9		0	22,2	
0,5	20	-2.9°C	0,5	19,5	-2.7°C
1	18	-4.9°C	1	17,8	-4.4°C
1,5	16	-6.9°C	1,5	16	-6.2°C
2,0	15	-7.9°C	2,0	14,2	-8°C
2,5	14	-8.9°C	2,5	13,5	-8.7°C
3,0	13	-9.9°C	3,0	12	-10.2°C
3,5	12	-10.9°C	3,5	11	-11.2°C

Fonte: Autora, 2015.

No caso 3 e 4, diante uma TBS de 33,4°C e uma TBU de 25,9°C a temperatura efetiva poderia ser reduzida em até 3,8°C (Figura 4.30).

Figura 4.30 – Dados de redução da temperatura efetiva em relação a velocidade do vento. Caso 3 e 4.

CASO 3			CASO 4		
Var (m/s)	T _{ef} (°C)	Redução em relação à situação sem movimento do ar	Var (m/s)	T _{ef} (°C)	Redução em relação à situação sem movimento do ar
0	25,8		0	28	
0,5	24,9	-0.9°C	0,5	27,3	-0.7°C
1	24,2	-1.6°C	1	27	-1°C
1,5	23,8	-2°C	1,5	26	-2°C
2,0	23,2	-2.6°C	2,0	25,8	-2.2°C
2,5	23	-2.8°C	2,5	25,3	-2.7°C
3,0	22,5	-3.3°C	3,0	24,8	-3.2°C
3,5	22,5	-3.3°C	3,5	24,2	-3.8°C

Fonte: Autora, 2015.




Como a temperatura efetiva é um índice subjetivo de conforto, este não é contabilizado nas simulações. Entretanto, os dados apresentados demonstram a influência que a ventilação exerce na sensação de conforto dos ocupantes, principalmente pelo efeito de resfriamento fisiológico, enfatizando a relevância da ventilação natural como estratégia de condicionamento passivo em habitações.

b) Modelo 3E

Na Tabela 4.13, os resultados relativos ao Modelo 3E são comparados com o desempenho do Modelo Base e do Modelo VENT em Maceió.

Destaca-se que o somatório anual de GHR do Modelo 3E obteve uma redução de 76,8% em relação ao Modelo Base, enquanto que para o modelo VENT esta redução foi de 14,1% no ano (Tabela 4.11).

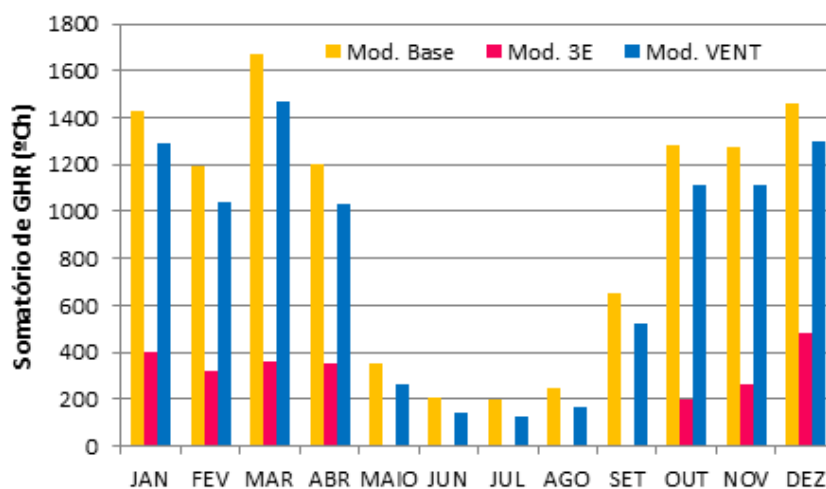
Tabela 4.13 Resultados anuais obtidos para o Modelo Base e modelos adaptados em Maceió.

Dados	Modelo Base	Mod. VENT	Mod. 3E
			
Somatório de GHR	11165°Ch	9589°Ch	2593°Ch
Percentual de horas de desconforto por calor	38,2%	36%	27,9%
GHR máximo	9,8°C	9,0°C	3,6°C
GHR médio	3,3°C	3,0°C	1,1°C

Como pode ser visto na Tabela 4.13, o GHR máximo alcançado pelo Modelo 3E foi igual a 3,6°C, enquanto no Modelo Base foi igual a 9,8°C. Já a diferença entre o grau hora máximo obtido pelo Modelo VENT em relação ao Modelo Base foi de apenas 0,8°C.

A Figura 4.31 ilustra os somatórios mensais de GHR durante todo o ano. Percebe-se que o modelo 3E apresenta somatórios mensais inferiores à metade dos somatórios obtidos pelos modelos Base e VENT.

Figura 4.31 – Somatórios mensais de GHR obtidos pelos modelos Base, 3E e VENT, simulados em Maceió.



Fonte: Autora, 2015.

Com base nos dados ora apresentados é possível perceber a influência da envoltória no desempenho térmico dos modelos. A ventilação, por sua vez, tem o poder de contribuir ainda mais para o resfriamento quando empregada em uma edificação constituída por uma envoltória eficiente, como a do Modelo 3E.

4.3 Síntese dos Resultados

Diante dos resultados apresentados verifica-se que o Modelo 3E apresentou melhor desempenho em todas as cidades. O desempenho do Modelo V_RE foi semelhante ao Modelo 3E em todas as cidades. Já o Modelo V_MT apresentou a menor redução no somatório de GHR em relação ao Modelo Base. Com isso, conclui-se que o fator que mais influenciou nos resultados das simulações foi a existência do teto jardim, presente nos modelos 3E e V_RE. A massa térmica, aplicada apenas nas paredes de ambientes de uso diurno, não apresentou influência significativa no desempenho térmico dos modelos (diminuição dos graus hora de desconforto por calor).

Na Tabela 4.14 apresentam-se as reduções obtidas nos somatórios anuais de GHR quantificados em todos os modelos simulados, em relação ao Modelo Base, nas três cidades estudadas.

Tabela 4.14 - Redução nos somatórios anuais de GHR obtidos pelos modelos adaptados em relação ao Modelo Base.

Modelos	Maceió	Palmeira dos Índios	Pão de Açúcar
3E	-76.78%	-72.20%	-46.71%
VENT	-14.12%	Não simulado	Não simulado
V_RE	Não simulado	-69.35%	-46.47%
V_MT	Não simulado	-14.45%	-12.34%

O modelo 3E, simulado para as três cidades, apresentou uma maior eficiência na cidade de Maceió, onde obteve a maior redução de graus hora de resfriamento em relação ao Modelo Base. Conforme o clima varia de quente e úmido para o semiárido, considerando a cidade de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, este modelo apresentou desempenho térmico menos satisfatório, com menores reduções no GHR anual em relação ao Modelo Base, principalmente em Pão de Açúcar.

Observa-se também que o modelo V_RE, na cidade de Palmeira dos Índios, também alcançou uma maior redução no somatório do que na cidade de Pão de Açúcar. A diferença alcançada pelo desempenho do Modelo V_MT nestas cidades é menor, mas o melhor resultado também foi alcançado em Palmeira dos Índios, conforme indicado na Tabela 4.14.

Destaca-se que o teto jardim representa a estratégia de resfriamento evaporativo e também de massa térmica. Este telhado apresenta uma transmitância térmica de $0,76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, enquanto a cobertura do Modelo Base possui transmitância igual a $4,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Desse modo, percebe-se a maior massa térmica no teto jardim, assim como sua maior resistência térmica, o que justifica o melhor desempenho destes modelos, uma vez que a coberta é a superfície da edificação exposta à maior incidência da carga térmica advinda da radiação solar.

Visto que o desempenho dos modelos 3E e V_RE foram semelhantes, recomenda-se a adoção do modelo V_RE para habitação popular em estudo, já que o mesmo apresenta um menor custo de construção. O modelo 3E diferencia-se do modelo V_RE apenas pela presença de paredes duplas nos ambientes de uso diurno, que foram utilizadas como estratégia de inércia térmica. Sendo assim, o custo do modelo 3E é maior do que o do modelo V_RE, o qual não possui parede dupla, entretanto apresenta um desempenho equivalente.

5 CONCLUSÃO

Atualmente no Brasil existe uma importante demanda por soluções arquitetônicas que contemplem um melhor desempenho térmico no âmbito das habitações populares. Porém, é necessário que arquitetos e urbanistas conheçam as características do clima local, para então fazer um mapeamento sistemático das estratégias a serem empregadas analisando dessa forma, qual a solução que mais se adequa a realidade climática do local, para prover conforto térmico aos ocupantes. Assim, este trabalho facilita o entendimento e a adoção de práticas mais comprometidas com a qualidade dos ambientes construídos.

A norma 15.220 (ABNT,2005) classifica todas as cidades estudadas neste trabalho na zona bioclimática 8 e recomenda como principal estratégia de condicionamento térmico a ventilação cruzada permanente. De acordo com os resultados dos modelos simulados neste trabalho, pode-se concluir que tal recomendação é insuficiente, pois verificou-se que é mais recomendável a adoção de estratégias híbridas para as cidades aqui estudadas. É importante lembrar que o clima varia durante o ano e que cada estratégia possui seus limites de aplicabilidade. A adoção de estratégias híbridas permite que a edificação esteja preparada para se adaptar às condições climáticas específicas de cada período, fazendo uso da estratégia mais adequada para potencializar o seu desempenho térmico, em cada período do dia ou época do ano.

O modelo Base apresentou desempenhos térmicos diferentes entre as três cidades, ressaltando a necessidade de se construir observando a realidade climática de cada região, e não seguir um padrão construtivo. Conforme o clima varia de quente e úmido em Maceió, ao semiárido de Pão de Açúcar verificou-se um aumento do desconforto térmico.

Os resultados mostraram que os componentes da envoltória, devido às suas propriedades termofísicas, são determinantes no desempenho térmico da edificação. A massa térmica, junto com a estratégia de resfriamento evaporativo adotada na cobertura, por meio do telhado verde, foi a solução que mais influenciou nos resultados, reduzindo o desconforto por calor no ambiente simulado, a sala de estar. A ventilação também beneficiou o desempenho térmico, entretanto o seu efeito foi potencializado nos

modelos em que a envoltória recebeu adaptações que proporcionaram menor ganho de calor, destacando-se a importância do incremento da massa térmica na cobertura.

O modelo 3E, o qual obteve melhor desempenho em todas as cidades, apresentou desempenho similar nas cidades de Maceió e Palmeira dos Índios. Já na cidade de Pão de Açúcar nota-se uma maior diferença nos resultados, com uma menor redução nos somatórios de GHR obtidos por este modelo. Deste modo, destaca-se que é possível adotar um mesmo modelo de habitação nas cidades de Maceió e Palmeira dos Índios, obtendo-se resultados satisfatórios e semelhantes quanto ao seu desempenho térmico. Para a cidade de Pão de Açúcar, apesar do modelo 3E também ter obtido uma melhoria significativa no desempenho térmico, faz-se necessária uma maior análise das estratégias empregadas, pois a cidade apresenta um maior rigor climático. Propõe-se inclusive, para trabalhos futuros, a simulação de outros modelos adaptados à cidade de Pão de Açúcar, que apresentem um desempenho satisfatório tanto quanto o modelo 3E apresentou nas cidades de Maceió e Palmeira dos Índios.

Os resultados obtidos com os outros modelos adaptados também podem ser considerados satisfatórios, pois demonstram um incremento no desempenho térmico em todos os casos simulados nas cidades em estudo.

Quanto aos parâmetros adotados para a avaliação do desempenho térmico: somatório de graus-hora e percentual de horas de desconforto, conclui-se que os mesmos devem ser analisados de forma conjunta, observando-se a relação de intensidade *versus* tempo. Ou seja, deve-se analisar não só a quantidade de graus-hora que ultrapassam a temperatura limite de conforto, mas também como se deu essa distribuição do desconforto ao longo do tempo.

No caso dos modelos simulados neste trabalho, o somatório de graus-hora se destacou nas avaliações, pois foi o parâmetro que indicou uma maior diferença de desempenho dos modelos adaptados em relação ao Modelo Base. Já o percentual de horas de desconforto apresentou uma menor variação entre os modelos simulados, indicando que o principal impacto das estratégias adotadas não foi na duração dos períodos de desconforto, mas sim na redução da quantidade de graus-hora de desconforto.

Diante dos resultados obtidos, considera-se que os objetivos do trabalho foram alcançados. Através dos modelos propostos espera-se contribuir para um mapeamento

do potencial das estratégias de resfriamento passivo para as cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, respaldado pelos indicadores de desempenho propostos (GHR e percentuais de horas de desconforto), ressaltando-se o conjunto de variáveis que envolvem o projeto bioclimático e sua importância para o resultado final de desempenho térmico da habitação.

5.1 Limitações do trabalho

Cabe destacar as limitações do programa de simulação utilizado, EnergyPlus. Primeiramente, o programa não contabiliza o efeito fisiológico de resfriamento proporcionado pela ventilação natural. O desempenho do Modelo VENT em Maceió, quando comparado ao Modelo Base (sem adaptações), apresentou resultado aquém do esperado, uma vez que a estratégia de ventilação é a mais recomendada para a cidade, sujeita à influência de grandes massas d'água e que apresenta percentuais de umidade relativa altos e temperaturas mais amenas. Tendo em vista as limitações do programa e a relevância desta estratégia para a obtenção de conforto térmico, buscou-se demonstrar o efeito de resfriamento fisiológico proporcionado pela ventilação. Desse modo, foi realizado o estudo na mesa d'água para subsidiar as melhorias incorporadas nos modelos adaptados, a partir da visualização do fluxo de ar no interior dos ambientes do Modelo Base. Já na análise dos resultados do Modelo VENT utilizou-se o nomograma de temperatura efetiva, a fim de ressaltar a interferência da velocidade do ar na sensação de conforto dos ocupantes. De acordo com o nomograma, a ventilação natural poderia proporcionar uma redução acima de 10°C graus na sensação térmica dos ocupantes, a depender da velocidade do ar no interior do ambiente.

Outra limitação do programa se refere ao resfriamento evaporativo. Não foi contabilizado o efeito da transferência de umidade através dos componentes construtivos, devido à indisponibilidade de propriedades termofísicas específicas dos materiais. Dessa forma, nos modelos 3E (3 estratégias: ventilação, massa térmica e resfriamento evaporativo) e VRE (ventilação e resfriamento evaporativo), os desempenhos obtidos representam uma resposta relacionada mais ao efeito de massa térmica do teto jardim do que ao resfriamento evaporativo indireto em si. Desse modo, considera-se que a adoção de outros tipos de coberturas, que apresentem propriedades térmicas semelhantes às do teto jardim (maior massa térmica e maior resistência térmica

do que a cobertura empregada no Modelo Base), também poderia produzir resultados satisfatórios sob o ponto de vista do desempenho térmico.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para a definição dos modelos estudados considerou-se soluções cabíveis de serem aplicadas em habitações populares. Sugere-se para trabalhos futuros o levantamento de custos relativos à construção destes modelos, para analisar a sua real viabilidade. Porém, não só o custo inicial da construção dos modelos deve ser levado em conta, mas também o custo benefício a longo prazo para os moradores, uma vez que habitações adaptadas ao clima proporcionam uma diminuição no uso de sistemas artificiais para promover condições de conforto, o que reduz o consumo de energia.

Para os modelos adaptados deste trabalho foi adotado um padrão de uso da ventilação que considerou um melhor aproveitamento desta estratégia, em função das temperaturas externas, disponibilidade de vento em cada cidade, ocupação e rotina de uma família de quatro integrantes. O controle da ventilação é de fundamental importância para pôr em prática as estratégias adotadas. Entretanto, esta rotina e padrão de uso das aberturas podem variar de acordo com os costumes de cada morador, o que interfere no desempenho térmico da edificação. Desta forma, sugere-se a elaboração de cartilhas educativas com recomendações de como fazer um melhor uso da habitação e obter um maior conforto para os moradores.

Outra sugestão refere-se a uma análise mais aprofundada dos parâmetros adotados para quantificar o desempenho térmico. Além da comparação dos dados totais de percentuais de horas de desconforto e somatórios mensais e anuais de GHR, é possível analisar mais a fundo a relação do tempo de desconforto e da intensidade do desconforto, destacando como essa intensidade se distribui ao longo do dia e assim observar o que ocorre quando o percentual de horas de desconforto aumenta e o somatório diminui, em determinados períodos de ocupação.

Por fim, destaca-se que os resultados obtidos neste trabalho são referentes às soluções adotadas para modos específicos de empregar cada estratégia. Propõe-se para trabalhos futuros a simulação de outros modelos adaptados ao clima de cada região,

com a adoção de outras soluções para ventilação natural, inércia térmica e resfriamento evaporativo.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Entenda o que muda nas bandeiras tarifárias. 2015.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8395&i_d_area=90>. Acesso em fev,2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____ – **NBR 15575.** Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55-2010** -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Grupo Técnico Edificações do MME. Instituto Nacional de Meteorologia, Normalização e Qualidade Industrial. Eletrobrás/Pro cel. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Manual para aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** [S.l.: s.n], vol.4, 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Grupo Técnico Edificações do MME. Instituto Nacional de Meteorologia, Normalização e Qualidade Industrial. Eletrobrás/Pro cel. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Manual para Aplicação do RTQ-R.** [S.l.: s.n], vol.4.2, 2012.

BATISTA, Juliana. **Eficácia da ventilação mecânica noturna para resfriamento:** impacto de estratégias híbridas de ventilação no desempenho térmico de residência em Florianópolis-SC. Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

BITTENCOURT, L. **Ventilation as a cooling resource for warm humid climates:** An investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings. Tese (Doutorado em Environmentand Energy Studies). Architectural Association Graduate School, Londres, 1993.

BITTENCOURT, Leonardo S.; CÂNDIDO, Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 2006.

BITTENCOURT, Leonardo S.; CÂNDIDO, Christhina. **Ventilação natural em edificações**. Rio de Janeiro, 2010.

BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. Porto Alegre: Sagra, 1990.
CAMARGO, J. R. **Resfriamento Evaporativo: Climatização Ecológica**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção.—Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **Demanda habitacional no Brasil**. Brasília. ISBN 978-85-86836-33-6, CAIXA,2011.

CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **Dois milhões de casas para os brasileiros**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/habitacao/mcmv/>>. Acesso em: dez, 2013.

CATERMO. **Instalações**. Disponível em: <<http://www.catermo.com.br/instalacoes/>>. Acesso em, 2014.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos**-Conforto Ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DOE. **United States Department of Energy**. Disponível em: <http://www.energy.gov/>>. Acesso em: janeiro, 2015.

ECOBRIISA. **Funcionamento**. Disponível em: <<http://www.ecobrisa.com.br/funcionamento.html>> . Acesso em, 2014.

ECOTELHADO. **Sistema Alveolar**. Disponível em: <<http://ecotelhado.com/portfolio/ecotelhado/sistema-modular-alveolar-grelhado>> . Acesso em,2014.

ECOTELHADO. **Qual a diferença entre Ecotelhado e Telhado Verde?**. Disponível em:<<http://ecotelhado.com/portfolio/ecotelhado/>>. Acesso em, 2014.

ECOTELHADO. **Manual do Sistema Alveolar Leve**. Disponível em: <<http://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2013/09/Manual-e-Especificacoes-do-Sistema-Modular-Alveolar-Leve-Ecotelhado1.pdf>> . Acesso em, 2015.

ERNEST, D. R.; BAUMAN, F. S.; ARENS, E. A. **The effects of external wind pressure distribution on wind-induced air motion inside buildings**. In: 8° Intern. Conf. On Wind Engineering. Ontario, July 8-12 1991, Davenport, A., Isyumov, N. King, J., Novak, M., Surry, D. and Vickery, B. (eds.) Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1992. Proceedings... Amsterdam: 1992.

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

GANDEMER, J.; BARNAUD G.; MILLET J. R.; SACRE, C. **Guide sur la climatisation naturelle de l’habitat en climat tropical humide**. Tome 1:Methodologie de Prise em Compte des Parametres Climatiques dans l’Habitat et Conseils Pratiques. Report for the CSTB, Nantes, 1992.

GUTIERREZ, Grace Cristina; LABAKI, Lucila. **Avaliação de desempenho térmico de três tipologias de brise: Soleil fixo**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Maceió, 2005.

GIVONI, B. **Comfort climate analysis and building design guidelines**. Energy and Buildings, v.18, n.1, p. 11 – 23, 1992.

_____. **Man, climate and architecture**. London: Applied Science Publishers, 1976.

_____. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.

GOULART, S. **Thermal Inertia and Natural Ventilation: optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil**. 2004. 196f. Thesis (Doctoral) –Architectural Association School, Architecture Graduate School, London, 2004.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal do Brasil** (em formato shapefile). 2005.

IBGE. **Infográficos:** Dados gerais do município. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=270430&search=|maceio>>. Acesso em: jan, 2015.

KOENIGSBERGER, O; INGERSOL, T.G., MAYTHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Manual of tropical housing and building.** Part I: Climatic Design. London: Longman, 1974.

LOBO, D. G. F.; BITTENCOURT, L. **A influencia dos captadores de vento na ventilação de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos.** In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v.3,n.2, p.57-67,abr./jun.2003. ISSN 1415-8876. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2003.

LABEEE. **Arquivos climáticos em formato EPW.** Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>> Acesso em: fev, 2014.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **ANALYSIS Bio.** Versão 2.2 UFSC – ECV – NPC – LABEEE, 2010. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br>, acesso em: dez,2014.

MARROQUIM, F. M. G. **Avaliação Pós-Ocupação de unidades residenciais modificadas de um conjunto habitacional em Maceió-AL:** flexibilidade, dimensionamento e funcionalidade dos ambientes. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado – DEHA. Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 2007.

MELO, Ana Paulo. Et al. **Relatório de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa energyplus.** Florianópolis: LABEEE, 2008.

MORISHITA, Claudia, et al. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas.** (v.5). Florianópolis: LABEEE, 2011.

MARTINS, Tathiane; BITTENCOURT, Leonardo; KRAUSE, Cláudia. **Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro:** reflexões sobre o semiárido nordestino. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr./jun. 2012. ISSN 1678-8621. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012.

MELO, Ana Paulo. Et al. **Relatório de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa energyplus.** Florianópolis: LABEEE, 2008.

MASSIERO, E. **Resfriamento evaporativo e condicionamento de ar convencional**: Estudo experimental Comparativo. Dissertação de Mestrado -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 121 p, 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1989.

OLIVEIRA, Andreia. **A influência das recomendações do zoneamento bioclimático brasileiro no desempenho térmico da envoltória de edificações de interesse social nos municípios da Paraíba**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2013.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimáticos para Arquitectos e Urbanistas**. Editorial Gustavo Gilli S A , Barcelona, 1998.

OLGYAY, V. *Design with climate*. New Jersey, Princeton University, 1963.

PEREIRA,F.O.R.;CUNHA NETO,J.S.B. **Princípios para otimização do desempenho térmico de componentes da edificação**. In: Simpósio de desempenho de materiais e componentes de construção civil, 1., UFSC. Anais... Florianópolis, 1988.

PASSOS, Isabela. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas**: Estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Maceió. Dissertação (Mestrado em Dinâmica do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas, 2009.

Palmeira dos Índios será contemplada com mais 300 Unidades habitacionais. Disponível em:<<http://www.palmeiradosindios.al.gov.br/Noticia/433/Palmeira-dos-Indios-sera-contemplada-com-mais-300-Unidades-habitacionais>>. Acesso em, 2014.

RORIZ, Maurício. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. In: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos- SP, Jan, 2012.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change**, 2. Ed. Oxford: Architectural Press, 2009.

ROMERO, M. A. B. - **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo:Projeto, 2ª edição, 2000.

RORIZ, M. **Um Método para Interpolação de Dados climáticos**. In: V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza-CE, 1999

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. D.E. Luzzato e Universidade Federal do Rio de Grande do Sul. Porto Alegre, 1985.

SILVA, M. A. da. **Arquitetura moderna: a atitude alagoana**. Maceió: SERGASA, 1991.

SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente**. Orientação: Roberto Lamberts. Florianópolis, SC. 2009. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. 1. ed. Oxford: Architectural Press, 2004.

TNO Building Research. **Cp Generator**. Disponível em: <<http://cpgen.bouw.tno.nl/cp>>. Acesso em: dez,2013.

TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. **O potencial da mesa d'água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios**. In: Encontro nacional de conforto no ambiente construído. 7, 2003. Curitiba. Anais ENCAC/COTEDI 2003. Curitiba: ANTAC, 2003. p. 1383-1390. 1 CD-ROM.

TRINDADE, Sileno Cirne; PADRINI, Aldomar; DUARTE, Raimundo Nonato Calazans. **Métodos de aplicação da simulação computacional em edifícios naturalmente ventilados no clima quente e úmido**. Ambiente Construído, vol.10 no.4 Porto Alegre out./dez, 2010.

VIEIRA, Fernanda. **Fotos Internas e Externas do Módulo-I do Res. Novo Jardim**. Disponível em: <<http://www.engenharq.com.br/noticias/fotos-internas-e-externas-do-modulo-i-do-res-novo-jardim/>>, acesso em, 2015.

VANIN, Débora Delai. **Resposta dinâmica de edifícios altos frente à ação do vento: comparação de técnicas experimentais em túnel de vento**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2011.

WESTPHAL, F. S; LAMBERTS, R. **Simulação Energética de Edificações no Programa *Energy Plus* Utilizando Dados das Normais Climatológicas**. In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió-AL, 2005.

XAVIER, Alyson lino. **Estudo da utilização dos softwares Energyplus e Desktop Radiance na cidade de Cuiabá-MT**. Cuiabá. Dissertação (Mestrado no Programa de pós-graduação em física ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de física, 2008.

ANEXO

Casa* (Para contratação com valor máximo de aquisição da unidade de acordo com o item 7.1 do Anexo I da Portaria Nº 465, de 03 de outubro de 2011)

Projeto	Casa com sala / 1 dormitório para casal e 1 dormitório para duas pessoas / cozinha / área de serviço (externa) / circulação / banheiro.
DIMENSÕES DOS CÔMODOS (Estas especificações não estabelecem área mínima de cômodos, deixando aos projetistas a competência de formatar os ambientes da habitação segundo o mobiliário previsto, evitando conflitos com legislações estaduais ou municipais que versam sobre dimensões mínimas dos ambientes)	
Dormitório casal	Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,60 m x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m.
Dormitório duas pessoas	Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,80 m x 1,90 m); 1 criado-mudo (0,50 m x 0,50 m); e 1 guarda-roupa (1,50 m x 0,50 m). Circulação mínima entre as camas de 0,80 m. Demais circulações mínimo de 0,50 m.
Cozinha	Largura mínima da cozinha: 1,80 m. Quantidade mínima: pia (1,20 m x 0,50 m); fogão (0,55 m x 0,60 m); e geladeira (0,70 m x 0,70 m). Previsão para armário sob a pia e gabinete.
Sala de estar/refeições	Largura mínima sala de estar/refeições: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos igual ao número de leitos; mesa para 4 pessoas; e Estante/Armário TV.
Banheiro	Largura mínima do banheiro: 1,50 m. Quantidade mínima: 1 lavatório sem coluna, 1 vaso sanitário com caixa de descarga acoplada, 1 box com ponto para chuveiro – (0,90 m x 0,95 m) com previsão para instalação de barras de apoio e de banco articulado, desnível máx. 15 mm; Assegurar a área para transferência ao vaso sanitário e ao box.
Área de Serviço	Quantidade mínima: 1 tanque (0,52 m x 0,53 m) e 1 máquina (0,60 m x 0,65 m).
Em Todos os Cômodos	Espaço livre de obstáculos em frente às portas de no mínimo 1,20 m. Deve ser possível inscrever, em todos os cômodos, o módulo de manobra sem deslocamento para rotação de 180° definido pela NBR 9050 (1,20 m x 1,50 m), livre de obstáculos.
CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Área útil (área interna sem contar áreas de paredes)	36,00 m ²
Pé direito mínimo	2,30 m nos banheiros e 2,50 m nos demais cômodos.
Cobertura	Em telha cerâmica/concreto com forro ou de fibrocimento (espessura mínima de 5mm) com laje, sobre estrutura de madeira ou metálica.
Revestimento Interno	Massa única, gesso (exceto banheiros, cozinhas ou áreas de serviço) ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento Externo	Massa única ou concreto regularizado para pintura.
Revestimento Áreas Molhadas	Azulejo com altura mínima de 1,50 m em todas as paredes do banheiro, cozinha e área de serviço.
Revestimento áreas comuns	Massa única, gesso ou concreto regularizado para pintura.
Portas e Ferragens	Portas internas em madeira. Admite-se porta metálica no acesso à unidade. Batente em aço ou madeira desde que possibilite a inversão do sentido de abertura das portas. Vão livre de 0,80 m x 2,10 m em todas as portas. Previsão de área de aproximação para abertura das portas (0,60 m interno e 0,30 m externo), maçanetas de alavanca a 1,00 m do piso.
Janelas	Completa, de alumínio para regiões litorâneas (ou meios agressivos) e de aço para demais regiões. Vão de 1,50 m ² nos quartos e 2,00 m ² na sala, sendo admissível uma variação de até 5%.
Pisos	Cerâmica esmaltada em toda a unidade, com rodapé, e desnível máximo de 15mm.
Ampliação da UH	Os projetos deverão prever a ampliação das casas.
PINTURAS	
Paredes internas	Tinta PVA.
Paredes de áreas molhadas	Tinta acrílica.
Paredes externas	Tinta acrílica ou textura impermeável.
Tetos	Tinta PVA.
Esquadrias	Em esquadrias de aço, esmalte sobre fundo preparador. Em esquadrias de madeira, esmalte ou verniz.
LOUÇAS E METAIS	
Lavatório	Louça sem coluna e torneira metálica cromada com acionamento por alavanca ou cruzeta. Acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
Vaso Sanitário	Louça com caixa de descarga acoplada.
Tanque	Capacidade mínima de 20 litros, de concreto pré-moldado, PVC, granilite ou mármore sintético com torneira metálica cromada com acionamento por alavanca ou cruzeta. Acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
Pia cozinha	Bancada de 1,20 m x 0,50 m com cuba de granilite ou mármore sintético, torneira metálica cromada. Torneira e acabamento de registro de alavanca ou cruzeta.
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS / TELEFÔNICAS	
Número de pontos de tomadas elétricas	2 na sala, 4 na cozinha, 1 na área de serviço, 2 em cada dormitório, 1 tomada no banheiro e mais 1 tomada para chuveiro elétrico (mesmo em caso de aquecimento solar).
Número de pontos diversos	1 ponto de telefone, 1 ponto de antena e 1 ponto de interfone (em condomínios).
Número de circuitos	Prever circuitos independentes para chuveiro (dimensionado para a potência usual do mercado local), tomadas e iluminação.
Interfone	Instalar sistema de porteiro eletrônico em condomínios.
Geral	Tomadas baixas a 0,40 m do piso acabado, interruptores, interfones, campainha e outros a 1,00 m do piso acabado.

Casa* (Para contratação com valor máximo de aquisição da unidade de acordo com o item 7.1 do Anexo I da Portaria N° 465, de 03 de outubro de 2011)	
DIVERSOS	
Reservatório	Caixa d'água de 500 litros ou de maior capacidade quando exigido pela concessionária local. Para reservatório elevado de água potável, em condomínio, prever instalação de no mínimo 2 bombas de recalque com manobra simultânea.
Vagas	Vagas de garagem conforme definido na legislação municipal.
Cercamento do condomínio	Alambrado com baldrame e altura mínima de 1,80 m no entorno do condomínio.
Proteção da alvenaria externa	Em concreto com largura de 0,50 m ao redor da edificação.
Calçadas para circulação interna no condomínio	Largura mínima de 0,90 m.
Máquina de Lavar	Prever solução para máquina de lavar roupas (ponto elétrico, hidráulica e de esgoto).
Equipamento de lazer / uso comunitário	Obrigatório para empreendimentos em condomínio, com 60 UH ou mais, devendo prever recursos de, no mínimo, 1% da soma dos custos de infraestrutura e edificações. Considerado o valor destinado para este item, serão produzidos os equipamentos a seguir especificados, obrigatoriamente nesta ordem: centro comunitário; espaço descoberto para lazer/recreação infantil; e quadra de esportes.
	Em condomínio, obrigatória a execução de depósito de lixo e local para armazenamento de correspondência.
TECNOLOGIAS INOVADORAS	
	Aceitáveis as tecnologias inovadoras testadas e aprovadas conforme a Norma de Desempenho - NBR-15.575 e homologadas pelo SINAT ou que comprovarem desempenho satisfatório junto à CAIXA.
SUSTENTABILIDADE	
	Aquecimento solar nas unidades (item obrigatório em todas as regiões). Sistema aprovado pelo INMETRO.
	Medição individualizada de água e gás (ou sistema de botijão individualizado).
INFRAESTRUTURA	
	Pavimentação definitiva, calçadas, guias, sarjetas e sistema de drenagem.
	Sistema de abastecimento de água.
	Solução de esgotamento sanitário.
	Energia elétrica e iluminação pública.
ACESSIBILIDADE E ADAPTAÇÃO	
Áreas de uso comum	Deverá ser garantida a rota acessível em todas as áreas públicas e de uso comum no empreendimento. Orientações disponíveis na Cartilha de Acessibilidade a Edificações e Espaços e Equipamentos Urbanos, elaborada pela CAIXA.
Unidades adaptadas	Disponibilizar unidades adaptadas ao uso por pessoas com deficiência, com mobilidade reduzida e idosos, de acordo com a demanda, com kits específicos devidamente definidos. Na ausência de legislação municipal ou estadual que estabeleça regra específica, disponibilizar no mínimo 3% das UH.
OBSERVAÇÕES	
	* Edificação residencial unifamiliar de um pavimento.