

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

Dissertação de Mestrado



# Clima e Arquitetura habitacional em Alagoas:

estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar

Isabela Cristina da Silva Passos

MACEIÓ  
2009

**ISABELA CRISTINA DA SILVA PASSOS**

**Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias  
bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.**

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. Dra. Gianna Melo Barbirato

Co-Orientador: Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

MACEIÓ  
2009

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

P289c    Passos, Isabela Cristina da Silva.  
          Clima e arquitetura habitacional em Alagoas : estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar / Isabela Cristina da Silva Passos, 2009.  
          173 f. : il., graf., tabs.

          Orientadora: Gianna Melo Barbirato.  
          Co-Orientador: Leonardo Salazar Bittencourt.  
          Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

          Bibliografia: f. 151-162.  
          Apêndices: f. 163-173.

          1. Arquitetura e clima. 2. Arquitetura de habitação – Alagoas. 3. Arquitetura – Estratégias bioclimáticas. 4. Meteorologia. I. Título.

CDU: 728:551.58(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

**Isabela Cristina da Silva Passos**

**Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias  
bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.**

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

Aprovada em 06/05/2009

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dra. Gianna Melo Barbirato  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



Prof. Dra. Cláudia Barroso-Krause  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFRJ



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



Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús  
Centro de Tecnologia - UFAL

Dedico este trabalho ao Pablo cujo amor dá  
sentido a cada vitória.

## **Agradecimentos**

A Deus, por ter me permitido chegar até aqui, pela sua bondade e providência tão claras em minha vida.

A minha família, meu refúgio, pelo apoio incondicional e carinho.

Ao Pablo, pela companhia em todos os momentos, pelo suporte técnico e emocional, pela confiança e amor.

A Professora Gianna Melo Barbirato que durante esses cinco anos tem sido mais que uma orientadora, uma amiga com quem posso contar. Ao Professor Leo Bittencourt, meu co-orientador e sempre mestre e aos amigos do GECA e do LABConf pela ajuda e incentivo.

Aos que me acolheram e me deram suporte nas minhas pesquisas de campo. Em especial a minha madrinha Ana Hortência pela “viagem fotográfica” em Maceió, ao meu avô José Alves pela acolhida tão alegre em Palmeira dos Índios e a Tathiane Martins e sua família por possibilitarem minha ida a Pão de Açúcar.

Aos amigos do Grupo de Oração Água Viva que me inspiram a prosseguir decididamente, e são para mim manifestação do amor de Deus.

E a todos os amigos que me acompanharam nessa caminhada, em especial a Chris, Eva, Simone e Juba, Rapha e Eliana que, apesar de muitas vezes distantes (Chris e Eva), dedicaram tempo e esforço nas planilhas Excel, nos textos e conversas sobre a vida.

Ao INMET pelos dados concedidos, sem os quais essa pesquisa seria inviável.

Aos professores do DEHA, que contribuíram neste processo de aprendizagem e em especial ao Professor Ricardo Cabús. E ainda as Professoras Elenice, da Meteorologia e Cláudia Krause, da UFRJ, pelas valiosas contribuições ao meu trabalho.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida. E a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste projeto.

"Somente na fé a verdade pode ser encarnada e a razão realmente humana, capaz de dirigir a vontade rumo ao caminho da liberdade." (Papa Bento XVI).

## Sumário

<b>Lista de figuras .....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de quadros .....</b>	<b>xiv</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de gráficos.....</b>	<b>xvi</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>xviii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xix</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1    Objetivos .....	5
1.2    Estrutura do Trabalho: .....	6
<b>1    Revisão Documental.....</b>	<b>8</b>
1.1    Conceitos e Escalas de Abordagem Climática .....	8
1.2    Metodologias de Classificação Climática.....	12
1.2.1    Classificação Climática de Köppen .....	13
1.2.2    Classificação Climática de Thornthwaite .....	16
1.2.3    Classificação Climática de Nimer para o Brasil .....	17
1.3    Arquitetura adaptada ao clima .....	20
1.4    Arquitetura e Aporte Energético .....	25
1.5    Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade .....	26
1.6    Estratégias para climas tropicais .....	32
1.6.1    Clima quente e úmido.....	33
1.6.2    Clima quente e seco .....	39
1.7    Dados climáticos aplicados ao projeto de arquitetura.....	42
1.7.1    Métodos de tratamento de dados climáticos.....	44
1.7.2    Estado da Arte nas pesquisas envolvendo a aplicação de dados climáticos no projeto de arquitetura.....	52
<b>2    Metodologia.....</b>	<b>59</b>
2.1    Escolha das cidades .....	59
2.2    Pesquisa de campo (coleta de dados).....	60
2.3    Tratamento e análise de dados meteorológicos .....	61
2.4    Recomendações de projeto .....	66
2.5    Discussão acerca do Zoneamento Climático feito pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) .....	68
<b>3    Contexto Climático.....</b>	<b>69</b>

3.1	A climatologia da região Nordeste .....	69
3.2	O clima do Estado de Alagoas .....	71
3.3	As cidades em estudo.....	74
3.3.1	Pão de Açúcar .....	75
3.3.2	Palmeira dos Índios .....	75
3.3.3	Maceió .....	76
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>77</b>
4.1	Caracterização da arquitetura habitacional .....	77
4.1.1	Maceió .....	78
4.1.2	Palmeira dos Índios .....	81
4.1.3	Pão de Açúcar .....	84
4.2	Caracterização Climática (Análise Estatística).....	87
4.2.1	Temperatura Média do Ar .....	87
4.2.2	Precipitação .....	92
4.2.3	Umidade Relativa do Ar .....	93
4.2.4	Ventos (direção e velocidade) .....	95
4.2.5	Síntese da caracterização climática .....	99
4.3	Estratégias Bioclimáticas Recomendadas.....	104
4.3.1	Maceió .....	104
4.3.2	Palmeira dos Índios .....	108
4.3.3	Pão de Açúcar .....	111
4.3.4	Síntese das análises.....	113
4.3.5	Análise das estratégias a partir de Dias Típicos de Projeto.....	114
4.3.6	Síntese das análises e recomendações .....	120
4.3.7	Parâmetros de Conforto Térmico .....	124
4.4	Discussão da aplicabilidade da Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) às cidades analisadas.....	127
	<b>Considerações Finais.....</b>	<b>130</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>134</b>
	<b>Apêndices .....</b>	<b>146</b>

## Lista de figuras

- Figura 1: Mesoescala, Escala Local e Microescala de acordo com Oke. Na figura, UCL: Camada Intra Urbana, UBL: Camada Limite Urbana e PBL: Camada Limite Planetária. Fonte: OKE, 2006. .... 11
- Figura 2: Descrição esquemática das camadas da atmosfera. Fonte: Adaptado de Oke, 1996. .... 12
- Figura 3: Mapa do mundo segundo a Classificação Climática de Köppen. Fonte: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> ..... 15
- Figura 4: Mapa do Brasil segundo classificação climática do IBGE. Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) ..... 19
- Figura 5: Arquitetura adaptada ao clima: Vista interior de um iglu e Pueblo Mesa Verde. Fonte: StockPhotos, 2007. .... 22
- Figura 6: Assentamento na cidade de Mardin, Turquia, região de clima quente e seco. Fonte: MANIOGLU, YILMAZ (2008) ..... 23
- Figura 7: Arquitetura típica dos climas quentes e úmidos. Aldeia SOS do Amazonas. Arquiteto Severiano Mário Porto. Fonte: ROVO; OLIVEIRA, 2004. .... 23
- Figura 8: Commerzbank Headquarters, do arquiteto Norman Foster, em Frankfurt, Alemanha. Fonte: Foster and Partners. Disponível em: <http://www.fosterandpartners.com>. .... 28
- Figura 9 (a) e (b): (a) Projeto New York, New Housing, nos EUA. (b) Projeto Pavilhão de Exposição da Inglaterra na Expo'92 em Sevilha. Ambos do Arquiteto Nicholas Grimshaw. Fonte: Nicholas Grimshaw and Partners. Disponível em: <http://www.grimshaw-architects.com>. .... 29
- Figura 10: Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro. Projeto de Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Affonso Reidy, Jorge Moreira, Carlos Leão e Ernani Vasconcelos. Fonte: ANDRADE, 2007. .... 30
- Figura 11: Núcleo de Pesquisa Multidisciplinar da Universidade Federal de Alagoas. Projeto do Arquiteto Leonardo Bittencourt. Fonte: BITTENCOURT, 2005. .... 31
- Figura 12: Terminal Rodoviário da cidade de Maceió-AL. Projeto Arquitetônico dos arquitetos Leonardo Bittencourt, Mário Aloísio Melo e Eduardo Assumpção. Fonte: CAVALCANTI, 2008. .... 31
- Figura 13: Localização aproximada das regiões com clima tropical segundo Koenigsberger *et al* (1974). Fonte: adaptado de Stockphotos®. .... 33
- Figura 14: Segunda pele formada pelo crescimento de trepadeiras nas treliças instaladas na fachada da EcoHouse Urca. Fonte: Lichtemberg, 2006. .... 36
- Figura 15: Utilização de varandas em climas quentes e úmidos. Fonte: GARZON, 2007 e GILLESPIE, 2003. .... 37
- Figura 16: Utilização de sheds para aproveitamento da ventilação e iluminação naturais. Projeto do Centro de Reabilitação Infantil Sarah-Rio, no Rio de Janeiro, do arquiteto João Filgueiras Lima. Fonte: MOURA, 2002. .... 38
- Figura 17: Torres para captação do vento em Yazd, Iran. Fonte: FATHY, 1986. .... 40

Figura 18: Efeito da massa térmica nas construções. Fonte: Bittencourt; Cândido, 2006. .....	40
Figura 19: Edificações em clima quente e seco. Uso de vegetação e piscina em pátios internos para resfriamento evaporativo. Fonte: Manioglu; Yilmaz, 2008.....	41
Figura 20: Localização das cidades escolhidas para estudo em cada Mesorregião Geográfica. ....	60
Figura 21: Localização da região Nordeste no Brasil.....	69
Figura 22: Mapa de diferenciações climáticas da região Nordeste. Fonte: NIMER, 1989. .....	71
Figura 23: Localização do Estado de Alagoas.....	72
Figura 24: Distribuição espacial da precipitação média anual no Estado de Alagoas. Fonte: adaptado de FIGUEIREDO <i>et al</i> , 2002.....	73
Figura 25: Classificação Climática do Estado de Alagoas segundo Köppen. Fonte: GOIS <i>et al</i> , 2005.....	74
Figura 26: Vista da cidade de Maceió a partir do Mirante São Gonçalo no bairro do Farol.....	79
Figura 27: Verticalização na orla marítima de Maceió-AL, bairros de Ponta Verde e Jatiúca. ....	80
Figura 28: Edifícios multifamiliares inserido no Programa de Arrendamento Residencial PAR em Maceió-AL, nos bairros do Barro Duro e Serraria, respectivamente. ....	80
Figura 29: Exemplares arquitetônicos da tipologia de casas sem recuos. Bairro do Poço, Maceió-AL.....	81
Figura 30: Elementos de proteção solar e contra as chuvas na cidade de Maceió: varandas e brises em madeira. Bairros: Farol e Jaraguá.....	81
Figura 31: Casas típicas em Palmeira dos Índios-AL.....	82
Figura 32: Elementos de proteção solar e permeabilidade aos ventos em habitações na cidade de Palmeira dos Índios-AL.....	82
Figura 33: Elementos de proteção solar em casas típicas, Palmeira dos Índios-AL. ....	83
Figura 34: Padrão das habitações financiadas pela COHAB. ....	84
Figura 35: Vista superior da configuração urbana da cidade de Pão de Açúcar. Fonte: MARTINS, 2008. ....	84
Figura 36: Variedade de tipologias de arquitetura habitacional encontrados em Pão de Açúcar-AL. Fonte: MARTINS, 2008.....	85
Figura 37: Casas com características coloniais na cidade de Pão de Açúcar- AL. Fonte: MARTINS, 2008. ....	85
Figura 38: Casa de padrão mais elevado no centro de Pão de Açúcar-AL. ....	86
Figura 39: Uso da vegetação em Pão de Açúcar: Parede revestida de cobertura vegetal e praça sombreada por árvores de grande e médio porte no centro da cidade. ....	87
Figura 40: Gráfico do clima para a cidade de Maceió contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) das variáveis: velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar e precipitação (no gráfico de temperatura foi	

inserido o intervalo de conforto térmico de acordo com a temperatura neutra de Auliciems, 1982). .....	101
Figura 41: Gráfico do clima para a cidade de Palmeira dos Índios contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) das variáveis: velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar e precipitação (no gráfico de temperatura foi inserido o intervalo de conforto térmico de acordo com a temperatura neutra de Auliciems, 1982).....	102
Figura 42: Gráfico do clima para a cidade de Pão de Açúcar contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) das variáveis: velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar e precipitação (no gráfico de temperatura foi inserido o intervalo de conforto térmico de acordo com a temperatura neutra de Auliciems, 1982). .....	103
Figura 43: Carta Bioclimática gerada para Maceió contendo dados do ano climático de referência determinado (2000).....	104
Figura 44: Carta Bioclimática gerada para Palmeira dos Índios contendo dados do ano climático de referência determinado (2002).....	108
Figura 45: Carta Bioclimática gerada para Pão de Açúcar contendo dados do ano climático de referência determinado (2002).....	111
Figura 46: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de verão, nível de frequência de 1% para a cidade de Maceió. ....	115
Figura 47: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de inverno, nível de frequência de 1% para a cidade de Maceió .....	116
Figura 48: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de verão, nível de frequência de 1% para a cidade de Palmeira dos Índios.....	117
Figura 49: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de inverno, nível de frequência de 1% para a cidade de Palmeira dos Índios. ....	118
Figura 50: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de verão, nível de frequência de 1% para a cidade de Pão de Açúcar.....	119
Figura 51: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de inverno, nível de frequência de 1% para a cidade de Pão de Açúcar.....	120
Figura 52: Esquemas de estratégias bioclimáticas aplicáveis em Maceió-AL.....	122
Figura 53: Esquemas de estratégias bioclimáticas aplicáveis em Palmeira dos Índios-AL.....	123
Figura 54: Esquemas de estratégias bioclimáticas aplicáveis em Pão de Açúcar- AL.	124
Figura 55: Carta Psicrométrica contendo as Zonas de Conforto de Givoni (1992) em azul, Araújo, V (1996) em verde, e Araújo, M (2008) em roxo, para a cidade de Maceió. ....	125

Figura 56: Carta Psicrométrica contendo as Zonas de Conforto de Givoni (1992) em azul e Araújo, V (1996) em verde, para a cidade de Palmeira dos Índios.....	126
Figura 57: Carta Psicrométrica contendo as Zonas de Conforto de Givoni (1992) em azul e Araújo, V (1996) em verde, para a cidade de Pão de Açúcar. ....	126
Figura 58: Zona Bioclimática 8. Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).....	127

## Lista de quadros

Quadro 1: Classificação climática de Köppen. Fonte: Ayoade, 1998. ....	14
Quadro 2: classificação climática segundo Thornthwaite em relação aos índices de umidade. Fonte: AYOADE, 1998. ....	16
Quadro 3: Classificação climática de Thornthwaite em relação à adequação sazonal de umidade. Fonte: Ayoade, 1998. ....	17
Quadro 4: Classificação dos climas do Brasil segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Fonte: NIMER, 1989. ....	19
Quadro 5: Rede de Estações do INMET. Fonte: INMET, 2008. ....	44
Quadro 6: Estações da Plataforma de Coleta de Dados do INPE. Fonte: CPTEC, 2008. ....	44
Quadro 7: Período de registro de dados climáticos das cidades de Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e Maceió, disponibilizados pelo INMET. ....	61
Quadro 8: Médias de temperatura do ar mensais por ano em cada cidade analisada. Quadro organizado a fim de determinar um Ano Climático de Referência para cada cidade. ....	64
Quadro 9: critérios para avaliação do uso de estratégias de condicionamento térmico passivo segundo GIVONI, 1992. Fonte: adaptado de Batista (2006) <i>apud</i> Givoni (1992). ....	67
Quadro 10: síntese das estratégias bioclimáticas recomendadas para as cidades em estudo. ....	124

## Lista de tabelas

Tabela 1: síntese das variáveis analisadas em cada cidade, a partir de dados meteorológicos de uma série história (1996-2007) tratados estatisticamente. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	99
Tabela 2: Síntese das estratégias recomendadas para Maceió, segundo a Carta Bioclimática de Givoni. ....	105
Tabela 3: Síntese das estratégias recomendadas para Palmeira dos Índios, segundo a Carta Bioclimática de Givoni. ....	109
Tabela 4: Síntese das estratégias recomendadas para Pão de Açúcar, segundo a Carta Bioclimática de Givoni. ....	111
Tabela 5: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa <i>Analysis Bio</i> para verão em Maceió. ....	115
Tabela 6: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa <i>Analysis Bio</i> para inverno em Maceió. ....	116
Tabela 7: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa <i>Analysis Bio</i> para verão em Palmeira dos Índios. ....	117
Tabela 8: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa <i>Analysis Bio</i> para inverno em Palmeira dos Índios. ....	118
Tabela 9: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa <i>Analysis Bio</i> para verão em Pão de Açúcar. ....	119
Tabela 10: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa <i>Analysis Bio</i> para inverno em Pão de Açúcar. ....	120

## Lista de gráficos

Gráfico 1: Temperatura Média em Maceió-AL para os anos analisados, inserindo-se intervalo de conforto determinado pela temperatura neutra. Onde: $T_n \text{ máx} =$ temperatura neutra $+2,5^\circ\text{C}$ e $T_n \text{ mín} =$ temperatura neutra $-2,5^\circ\text{C}$ . Fonte de dados: INMET, 2008. ....	88
Gráfico 2: Temperatura Média em Palmeira dos Índios-AL AL para os anos analisados, inserindo-se intervalo de conforto determinado pela temperatura neutra. Onde: $T_n \text{ máx} =$ temperatura neutra $+2,5^\circ\text{C}$ e $T_n \text{ mín} =$ temperatura neutra $-2,5^\circ\text{C}$ . Fonte de dados: INMET, 2008. ....	88
Gráfico 3: Temperatura Média em Pão de Açúcar-AL AL para os anos analisados, inserindo-se intervalo de conforto determinado pela temperatura neutra. Onde: $T_n \text{ máx} =$ temperatura neutra $+2,5^\circ\text{C}$ e $T_n \text{ mín} =$ temperatura neutra $-2,5^\circ\text{C}$ . Fonte de dados: INMET, 2008. ....	89
Gráfico 4: Variação da temperatura média do ar ao longo do dia em Maceió-AL nos meses de agosto e dezembro. Fonte de dados: INMET, 2008.....	90
Gráfico 5: Variação da temperatura média do ar ao longo do dia em Palmeira dos Índios-AL. Fonte de dados: INMET, 2008.....	91
Gráfico 6: Variação da temperatura média do ar ao longo do dia em Pão de Açúcar-AL. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	91
Gráfico 7: Precipitação média mensal a partir de uma série histórica de dados nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	92
Gráfico 8: Média mensal dos valores de umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	93
Gráfico 9: Valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados na cidade de Maceió. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	94
Gráfico 10: Valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados na cidade de Palmeira dos Índios. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	94
Gráfico 11: Valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados na cidade de Pão de Açúcar. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	95
Gráfico 12: Médias dos valores médios de velocidade do ar, obtidas a partir de uma série histórica de dados das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte dos dados: INMET, 2008. ....	96
Gráfico 13: Variação da velocidade média do ar ao longo do dia nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Dados de 2005 a 2006. Fonte dos dados: INMET, 2008. ....	97
Gráfico 14: Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Maceió, confeccionada a partir de uma série histórica de dados. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	98

Gráfico 15: Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Palmeira dos Índios, confeccionada a partir de uma série histórica de dados. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	98
Gráfico 16: Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Pão de Açúcar, confeccionada a partir de uma série histórica de dados. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	99
Gráfico 17: Frequência com que a temperatura externa do ar é inferior a 32 °C ao longo das horas em Maceió durante o verão do ano de 2000. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	106
Gráfico 18: Frequência com que a temperatura externa foi inferior a 32 °C ao longo das horas em Palmeira dos Índios durante o verão de 2002. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	109
Gráfico 19: Frequência com que a temperatura externa foi inferior a 32 °C ao longo das horas em Pão de Açúcar durante o verão do ano de 2002. Fonte de dados: INMET, 2008. ....	112

## **Resumo**

No Brasil, a escassez de dados meteorológicos ainda é um desafio e em consequência disto, muitas vezes, o clima é desconsiderado ou adotado de maneira generalista na prática arquitetônica. Diante disto, o presente trabalho discute estratégias bioclimáticas para habitação nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, localizadas nas diferentes Mesorregiões Geográficas do Estado de Alagoas, de forma que se adaptem ao clima local, visando conforto térmico, eficiência energética e sustentabilidade do espaço habitado. Os procedimentos metodológicos adotados foram: escolha das cidades; pesquisa de campo; tratamento e análise de dados meteorológicos e discussão das recomendações de projeto. Foram utilizados dados meteorológicos de um período de aproximadamente dez anos, obtidos junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), tratados através de análise estatística e das metodologias de Ano Climático de Referência e Dia Típico de Projeto. Os resultados mostraram que, existem diferenças climáticas entre as cidades, em especial quanto à amplitude térmica anual, precipitação e direção dos ventos. As principais estratégias bioclimáticas 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. Além disto, foram identificadas contradições entre as recomendações feitas pela NBR 15.220-3 para as cidades e os dados analisados.

**Palavras-chave:** Climatologia Aplicada, Dados Meteorológicos, Estratégias Bioclimáticas, Alagoas.

## Abstract

In Brazil, the lack of meteorological data is an issue in order to apply a bioclimatic approach for building design. As one of the consequences, designers frequently apply general climate data from one region to another rather than specific data for design strategies purposes. However, this general climate data not necessarily represent accurately microclimatic conditions for different cities even when they are part of the same region. Facing this, this work discusses design strategies for bioclimatic housing in Maceió, Palmeira dos Índios and Pão de Açúcar, located in different geographical mesoregions in Alagoas, in order to adapt to local climate, to thermal comfort, energy efficiency and sustainability of the living space. The methodological steps were: choice of cities, field research, meteorological data evaluation and buildings design recommendations discussion. Meteorological data for approximately ten years was used, obtained from INMET (National Institute of Meteorology) and processed by statistical analysis and the methods of Test Reference Year (TRY) and Project Typical Day. The results showed that there are differences between the cities, especially about annual temperature range, precipitation and direction of winds. The main bioclimatic strategies recommended were: shading, ventilation and protection from rain for Maceió; shading, ventilation, protection from rain and high-mass in daily use rooms for Palmeira dos Índios and shading, ventilation, high-mass in daily use rooms and evaporative cooling for Pão de Açúcar. Besides that, inconsistencies between the recommendations made by the NBR 15220-3 for cities and the data analyzed were found.

**Key-words:** Applied Climatology, Meteorological Data, Bioclimatic design strategies, Alagoas.

## **Introdução**

Desde os tempos mais remotos, o homem busca proteger-se contra os rigores climáticos e estar em equilíbrio higrotérmico com o meio em que vive. Através das vestimentas e das soluções encontradas para o abrigo, por exemplo, é possível perceber que o clima, durante toda a evolução humana, exerceu forte influência sobre seus costumes e modo de viver.

Segundo Olgyay (1998), o tipo de clima, a herança racial e o desenvolvimento cultural são três fatores que determinam as condições de civilização. Sendo assim, pode-se considerar que para alcançar o ápice de sua produção, o homem depende também, de condições climáticas que lhe proporcionem saúde física e mental, além da sensação de bem-estar.

Na antiguidade, ao adaptar o seu abrigo ao clima, o homem buscava soluções de forma bastante intuitiva, já que os conhecimentos acerca da atmosfera terrestre e do clima eram limitados. Neste período, os fenômenos naturais eram atribuídos a deuses e diversas histórias foram criadas, para explicar o que não se conhecia, sendo transformadas em mitos e transmitidas através das gerações.

Por volta do século V a. C. os gregos começaram a realizar observações meteorológicas, trazendo uma atitude científica às investigações sobre o clima. O homem passou, então, a buscar na ciência, explicações lógicas para os fenômenos naturais. Com o decurso do tempo e principalmente a partir do Renascimento, as pesquisas em todas as áreas científicas foram intensificadas. Exemplos concretos deste progresso foram as invenções do termômetro, por Galileu Galilei em 1593, e do barômetro, por Torricelli em 1643, quando o estudo do clima passou a se desenvolver de maneira mais significativa (AYOADE, 1998).

Aos poucos se firmou o discurso sobre as condições atmosféricas e climáticas da Terra que compuseram as especialidades científicas da Meteorologia e da Climatologia. Hoje, pode-se dizer que a meteorologia trata da atmosfera e está relacionada ao seu estado físico, dinâmico e químico e as interações entre eles e a superfície terrestre, enquanto a climatologia estuda especificamente o clima e pode ser subdividida em diversas especialidades como, por exemplo, a climatologia regional, a climatologia histórica ou a climatologia aplicada (AYOADE, 1998).

Há uma estreita ligação entre as ciências da Meteorologia e da Climatologia, sendo que esta última envolve a peculiaridade de relacionar o clima com as atividades humanas, já que o desenvolvimento destas influencia o clima local das cidades da mesma forma que o clima influencia a vida do homem. A urbanização e o crescimento dos centros urbanos sem o planejamento necessário, por exemplo, provocam uma série de prejuízos para a atmosfera urbana e eficiência ambiental dos edifícios e, conseqüentemente, para o conforto térmico<sup>1</sup> do homem (SANTAMOURIS, 2001).

Segundo Emmanuel (2005), o problema das mudanças climáticas nas grandes cidades, ocorridas em conseqüência de seus rápidos processos de urbanização e crescimento, merece atenção especial devido a sua magnitude na contemporaneidade. O relatório do PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA (IPCC, 2007, p.3), alerta para as transformações do clima do planeta:

Mudanças na atmosfera da quantidade de gás causador do efeito estufa e aerossol, mudanças da radiação solar e na propriedade da superfície da terra alteram o equilíbrio energético do sistema climático. (...) A concentração de dióxido de carbono, de gás metano e de óxido nitroso na atmosfera global tem aumentado marcadamente como resultado de atividades humanas desde 1750, e agora já ultrapassou em muito os valores da pré-industrialização determinados através de núcleos de gelo que estendem por centenas de anos (...). O aumento global da concentração de dióxido de carbono ocorre

---

<sup>1</sup> Pode ser definido como estado de satisfação e equilíbrio térmico com o ambiente. Segundo a ASHRAE, a adaptação térmica humana é composta por três fatores: comportamental, fisiológico e psicológico (ASHRAE RP-884, 1997).

principalmente devido ao uso de combustível fóssil e a mudança no uso do solo (...).

Tais transformações colaboraram para que o interesse dos pesquisadores pela Climatologia crescesse consideravelmente. Ganham foco as discussões a respeito da consideração das variáveis climáticas, visando o alcance da eficiência energética, sustentabilidade do ambiente construído, bem como a sensação de conforto.

No contexto brasileiro, o “Apagão” ocorrido em 2001<sup>2</sup>, preocupou pesquisadores e consumidores acerca da utilização da energia elétrica, gerando uma discussão sobre o desperdício de energia e a necessidade de rever os comportamentos relacionados a este recurso, inclusive no setor da construção civil. (CÂNDIDO, 2006)

Apesar disto, muitos projetistas continuam a desconsiderar a necessidade de uma arquitetura energeticamente mais eficiente e um repertório mais coerente com o clima local e, portanto, confortável, que tome partido das condições oferecidas pelo meio ambiente a fim de minimizar os aspectos negativos e potencializar os positivos (HERTZ, 1998) com o emprego de estratégias bioclimáticas<sup>3</sup> desde o início do projeto.

O que ocorre muitas vezes é uma importação de valores incoerentes com os condicionantes locais, em um processo de “transplante direto e acrítico” (SCHLEE, 2001, p.29), onde dificilmente se poderia identificar a localização de uma determinada obra arquitetônica simplesmente pelo seu partido.

Neste sentido, a Climatologia Aplicada surge como uma importante ferramenta, capaz de auxiliar no planejamento urbano e projeto de edificações, na busca de um equilíbrio entre o desenvolvimento e a observação das premissas ambientais, necessárias tanto para o meio ambiente, quanto para o homem (HIGUERAS, 2006).

---

<sup>2</sup> A crise energética de 1973 e o Apagão no Brasil serão abordados na página 25.

<sup>3</sup> Estratégias aplicadas ao projeto de arquitetura que consideram as variáveis climáticas em favor do equilíbrio térmico entre o homem e o meio.

Na tentativa de minimizar essa dissociação entre arquitetura e clima, foi aprovada em 2005 a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, direcionada ao projeto de Habitações de Interesse Social no Brasil. A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) define e apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, dividindo o país em oito zonas climáticas distintas e formulando diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social em cada uma delas.

Ao todo foram analisadas 330 cidades brasileiras. Destas, oito pertencem ao Estado de Alagoas, localizado na região Nordeste do país: Água Branca, Anadia, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar, Pilar e Porto de Pedras. Com exceção de Água Branca, todas as cidades alagoanas foram classificadas na Zona Bioclimática oito juntamente com outras 92 cidades do Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Apesar de ser uma importante contribuição, que evita grandes disparidades na produção de habitações de interesse social no Brasil, o Zoneamento Bioclimático proposto pela ABNT parece generalista, ao classificar em uma mesma Zona Bioclimática cem cidades com características climáticas locais, ao menos aparentemente tão distintas, como acontece, por exemplo, na Zona oito.

Além disto, ocorre em Alagoas, uma carência de dados climáticos nas mais diversas cidades do Estado, bem como, dificuldades de acesso aos dados existentes, o que dificulta a atuação de profissionais e o desenvolvimento de pesquisas na área. Isto faz com que, muitas vezes, os dados climáticos da capital, Maceió, sejam considerados como parâmetro para construção em cidades circunvizinhas, ocasionando a generalização das recomendações para projetos de arquitetura e desenho urbano às demais cidades do Estado.

Na fase inicial do processo de projeto não tem sido comum uma avaliação detalhada dos dados climáticos por parte dos arquitetos, mesmo porque, na grande maioria dos casos, não há dados detalhados disponíveis ou eles não são estritamente necessários. (GONÇALVES *et al*, 2003, p. 242)

Um fato agravante é que os dados meteorológicos existentes não são tratados especificamente para fins de projeto, mas sim para outras ciências como a agricultura e a aviação, como cita Goulart; Firmino; Lamberts (1998):

(...) os dados meteorológicos, quando disponíveis, não são direcionados para a solução dos problemas de projeto de edificações, fazendo com que os profissionais da área os ignorem. Além disso, nos países em desenvolvimento, a climatologia tem se desenvolvido mais em função da aviação e da agricultura. Isto explica a localização das estações meteorológicas e a natureza dos parâmetros medidos.

O crescimento natural das cidades, bem como a obrigatoriedade da implantação de Planos Diretores<sup>4</sup>, justificam a necessidade de informações climáticas mais específicas que venham a auxiliar no planejamento e projeto de edificações e também no planejamento urbano das cidades.

Espera-se com este trabalho, portanto, contribuir para uma reflexão sobre a importância do clima na concepção e gestão do espaço habitado e quiçá para a elaboração de futuros projetos de habitação de acordo com as especificidades locais das cidades alagoanas analisadas. Além de despertar para a necessidade do desenvolvimento de estudos com essa abordagem no Estado de Alagoas.

## 1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como **objetivo geral** discutir estratégias bioclimáticas para habitação nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, localizadas nas diferentes Mesorregiões Geográficas (IBGE) do Estado de Alagoas, de forma que se

---

<sup>4</sup> O Estatuto da cidade, Lei Federal 10.247/2001, estabeleceu a obrigatoriedade de implantação do Plano Diretor Participativo aos municípios brasileiros com mais de 20.000 habitantes, integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, ou ainda com áreas de especial interesse turístico, inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental na região ou no País. (BRASIL, 2008)

adaptem ao clima local, visando conforto térmico, eficiência energética e sustentabilidade do espaço habitado.

Os **objetivos específicos** são:

- Reunir e organizar dados climáticos das cidades alagoanas em estudo: Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar;
- Identificar informações climáticas úteis para projetos de arquitetura em cada cidade estudada, analisando comparativamente suas características climáticas;
- Discutir a aplicabilidade da classificação climática feita pela Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) quanto às estratégias propostas às cidades analisadas.

## **1.2 Estrutura do Trabalho:**

O trabalho está estruturado da seguinte forma: Introdução, Revisão Documental, Metodologia, Caracterização Climática da Região de Estudo, Resultados e Discussões, Considerações Finais. O primeiro capítulo traz a base conceitual teórica deste trabalho e se divide em duas partes sendo a primeira “Clima” e a segunda “Clima e Arquitetura”, visto que estes dois tópicos foram os eixos norteadores para o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo dois são detalhados os procedimentos metodológicos utilizados para realização deste trabalho e no capítulo três serão apresentados os objetos de estudo, neste caso, as cidades escolhidas. No capítulo quatro são apresentados os resultados encontrados e as discussões realizadas. Finalmente, são feitas as considerações finais onde os objetivos propostos são confrontados com os resultados alcançados, além de apontar dificuldades e sugestões para trabalhos na área.



## **1 Revisão Documental**

### **Parte I: Clima**

Esta primeira parte da Revisão Documental refere-se a uma pesquisa bibliográfica e documental acerca do **clima**. Aborda conceitos de clima, a diferença entre clima e tempo, o estudo do clima, elementos e fatores climáticos, escalas de abordagem climática e tipos de classificação climática. Está subdividida em dois tópicos: Conceitos e Escalas de Abordagem Climática (2.1) e Metodologias de Classificação Climática (2.2). Enfoca o estado da arte dos assuntos relacionados e serve de aporte teórico para o presente trabalho.

#### **1.1 Conceitos e Escalas de Abordagem Climática**

Os estudos científicos a respeito do clima estão presentes na sociedade há bastante tempo. As transformações no modo de pensar de homem e, mais recentemente, o avanço da tecnologia contribuíram para o aprimoramento das técnicas e observações do tempo e do clima no planeta, mudando também a forma de abordagem no estudo do clima e da atmosfera (AYOADE, 1998).

Na climatologia clássica ou tradicional, os objetivos estavam voltados para a descrição do clima, numa abordagem essencialmente descritiva. Em relação à classificação climática, por exemplo, a climatologia clássica não considera o fato de que o clima se modifica de maneira gradual e que, portanto, deve haver flexibilidade na demarcação das regiões climáticas. Já a climatologia moderna tem sua origem no fim do século XIX e busca uma conceituação mais dinâmica, com ênfase na explicação dos processos atmosféricos (AYOADE, 1998).

Segundo Albentosa (1976) esta forma de analisar os climas foi reforçada no quarto decênio do século XIX com a definição de clima formulada por Sorre (1936, p. 14), segundo o qual clima é “o ambiente atmosférico constituído pela série de estados

da atmosfera de um lugar em sua sucessão habitual” (tradução nossa). Esta definição juntamente com o conceito de ritmo introduzido por Monteiro (1976) mudaram os paradigmas da investigação climatológica clássica. (BARBOSA, 2005).

Clima, portanto, pode ser definido como a síntese do tempo num dado lugar registrado a partir de observações contínuas durante um longo período ou como afirmou Sorre (1936), a partir de sua sucessão habitual. Corresponde a um número maior de observações que incluem a variabilidade atmosférica e não apenas eventos específicos. Diferentemente do conceito de tempo que significa “o estado médio da atmosfera numa dada porção de tempo e em determinado lugar” (AYOADE, 1998).

Koenigsberger *et al* (1974, p. 3), reforçam esta conceituação quando afirmam: “enquanto tempo é o estado momentâneo do ambiente atmosférico em um dado lugar, clima pode ser definido como a integração, em um período, das condições de tempo.” (tradução nossa)

O clima de um determinado lugar é definido por um conjunto de elementos que o caracterizam, tais como: a temperatura, a umidade e a pressão e conseqüentemente suas manifestações: precipitação (chuva e neve), movimento do ar e nebulosidade. Esses elementos são determinados pela ação dos chamados fatores climáticos, como por exemplo, latitude, relevo, topografia, continentalidade, maritimidade, vegetação.

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), os elementos climáticos são definidos pelos atributos físicos que representam as propriedades atmosféricas de um local e interagem na formação dos diferentes climas da Terra. Portanto, aos elementos atribui-se a função de definir o clima e aos fatores, a função de dar-lhe origem ou determiná-lo.

Entretanto, a distinção entre elementos e fatores climáticos nem sempre é consensual entre os diversos autores. Frequentemente, um determinado fator climático pode ser considerado, em certos aspectos, um elemento e vice-versa. O movimento do ar, por exemplo, é um elemento, mas pode atuar como um fator na medida em que controla a precipitação de acordo com a quantidade de umidade presente no ar.

Koenigsberger *et al* (1974) consideram como fatores climáticos: radiação solar, coordenadas geográficas, radiação na superfície terrestre, balanço térmico da terra, comportamento global do vento e topografia. Para o mesmo autor, são considerados elementos climáticos: temperatura, umidade, pressão de vapor, precipitação, condições de céu, radiação solar, ventos e vegetação.

Além dos elementos e fatores, costuma-se identificar no estudo do clima, escalas de abordagem climática de acordo com a ação dos fenômenos atmosféricos. Tais escalas já foram definidas por diversos autores e, segundo Lopes (2003), são de difícil delimitação devido à ausência de um critério único.

Apesar da definição das escalas ser um tema de debate entre todos os que estudam os fenômenos atmosféricos (Meteorologistas, Geógrafos / Climatologistas, Físicos da Atmosfera, Engenheiros, etc.) e de difícil delimitação, a questão central reside, na maior parte dos casos, na nomenclatura própria de cada ciência. No entanto, dada a ausência de um critério único, cada autor vê-se na obrigação de esclarecer o seu ponto de vista pessoal (ALCOFORADO, 1992), aumentando a lista de critérios e subdivisões já existentes, apesar da unanimidade quanto a duas delas: macro e microclima (YOSHINO, 1975), também designadas por macro e micrometeorológicas. (LOPES, 2003, p.6)

Para o presente trabalho adotou-se, portanto, a classificação dada por Oke (1996) tendo em vista a grande aceitabilidade da mesma na área da Climatologia. Segundo o autor as escalas são: microclimática, local, mesoclimática e macroclimática. Baseado em esquemas de classificação por distâncias horizontais sugere as seguintes distâncias:  $10^{-2}$  a  $10^3$  m para microescala;  $10^2$  a  $5 \times 10^4$  m para escala local;  $10^4$  a  $2 \times 10^5$  m para mesoescala e  $10^5$  a  $10^8$  m para macroescala (Figura 1).

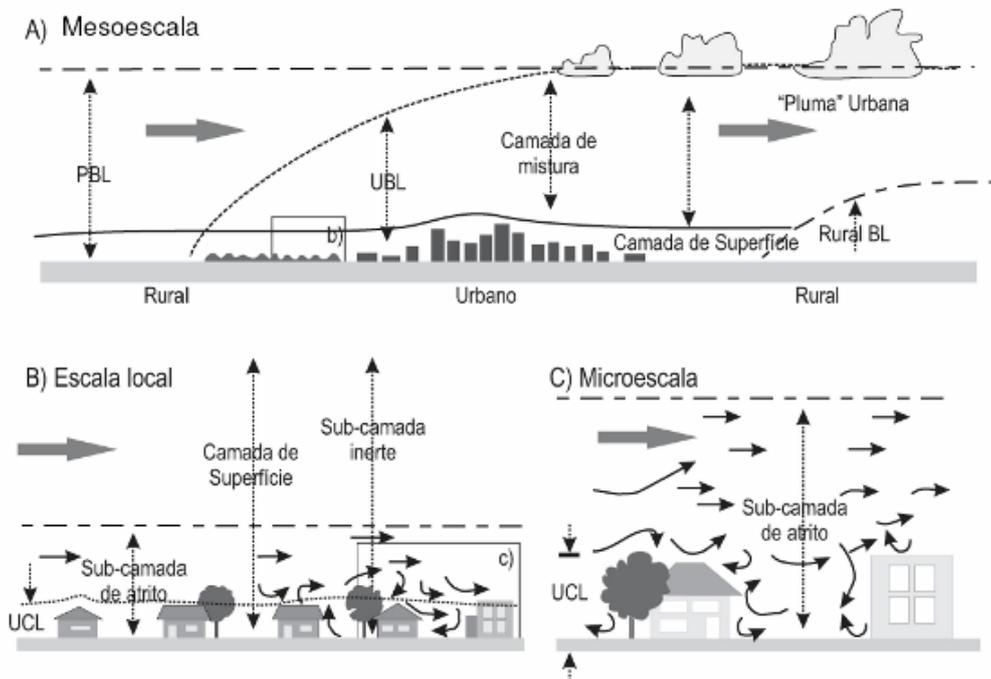


Figura 1: Mesoescala, Escala Local e Microescala de acordo com Oke. Na figura, UCL: Camada Intra Urbana, UBL: Camada Limite Urbana e PBL: Camada Limite Planetária. Fonte: OKE, 2006.

Considerando a influência do espaço urbano sobre a atmosfera, Oke (1996) divide a atmosfera da cidade em duas camadas verticais diferenciadas. A primeira camada é chamada de intra-urbana (*urban canopy layer*), e se estende do solo até o nível médio das coberturas das edificações, e a segunda, camada limite urbana (*urban boundary layer*) (Figura 2), que seria a porção superior à camada intra-urbana e que ainda é parcialmente influenciada pelas transformações ocorridas no espaço urbano (OKE,1996).

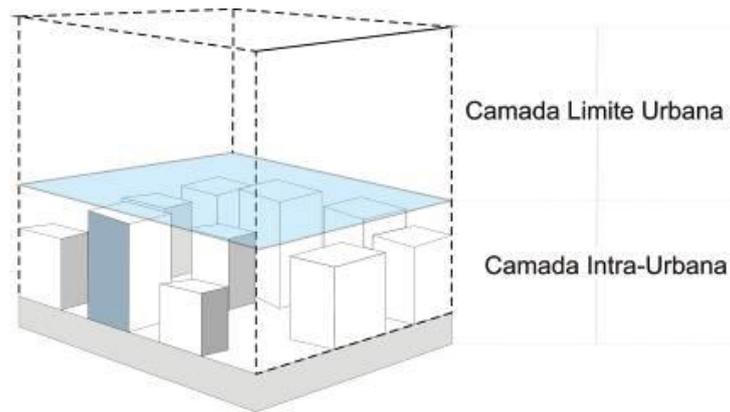


Figura 2: Descrição esquemática das camadas da atmosfera. Fonte: Adaptado de Oke, 1996.

## 1.2 Metodologias de Classificação Climática

A partir da interação entre radiação solar, precipitação, movimento do ar, distribuição de massas de água e terra, relevo, topografia e demais fatores e elementos, inúmeros tipos climáticos são definidos ao redor do globo. Segundo Ayoade (1998) não existe, na superfície terrestre, dois lugares com climas idênticos; Apesar disto, é possível identificar áreas onde as características climáticas são relativamente semelhantes. Estas áreas são comumente chamadas regiões climáticas e o ramo da climatologia que busca identificar, mapear e descrevê-las, climatologia regional.

Compreende-se que a definição de regiões climáticas é bastante complexa, pois os limites dessas regiões não podem ser precisamente mapeados, já que uma região pode surgir gradativamente dentro de outra. Além disto, a insuficiência e inadequação de dados climáticos ou a tamanha variabilidade do clima são desafios que vêm sendo enfrentados constantemente na tentativa de classificar os climas.

Entretanto, segundo Koenigsberger *et al* (1974), o mapeamento de regiões climáticas é uma prática importante na medida em que fornece um conjunto de informações que podem ser úteis aos diversos campos de desenvolvimento que são influenciados pela climatologia como a agricultura, a aviação, a arquitetura e o

planejamento urbano. Por isto, diversos pesquisadores, geógrafos e meteorologistas já buscaram em seus trabalhos, classificar o clima do globo ou de uma determinada região.

Os primeiros estudos nesta área, segundo Albentosa (1976), foram elaborados por H. Lautensach e seus discípulos a partir de 1906 e publicados em 1964 acerca da climatologia da Espanha e Portugal. Estudos similares foram realizados na Alemanha por Flohn no mesmo período.

Entretanto, segundo Miller (1975) foi Supan, que em 1896 aplicou a classificação climática a nível global, dividindo o mundo em 35 províncias caracterizadas de acordo com seus elementos climáticos em comum. A partir do primeiro passo dado por Supan, outros autores se dispuseram a enfrentar os desafios da classificação climática do globo.

As classificações climáticas podem ser elaboradas, segundo Ayoade (1998), através de modelos genéticos, baseados no controle climático, ou empíricos, baseados nos elementos climáticos. A maior parte das classificações se baseia em modelos empíricos. Serão abordados a seguir, dois dos mais relevantes estudos deste tipo: o de Köppen (1900, 1936) e o de Thornthwaite (1948) e em seguida, a classificação de Nimer para o Brasil.

### **1.2.1 Classificação Climática de Köppen**

A classificação climática de Wladimir Köppen é baseada na observação do crescimento das plantas, pois para ele “a vegetação nativa é a melhor expressão da totalidade de um clima, e as plantas são instrumentos meteorológicos capazes de medir todos os elementos climáticos integrados” (DUARTE, 2000. p.113).

O primeiro modelo de classificação de Köppen foi lançado em 1900 e se baseava em um mapa de vegetação produzido por um fisiólogo francês chamado

Alphonse de Candolle. O modelo foi revisado em 1918, dando maior atenção à temperatura, à precipitação pluvial e às suas características sazonais (AYOADE, 1998).

Köppen estabelece cinco grupos climáticos principais, reconhecidos principalmente pelas características de temperaturas e representados por letras maiúsculas. Tais grupos são subdivididos conforme suas características sazonais de precipitação e características adicionais de temperatura, totalizando vinte e quatro tipos climáticos diferenciados. Os grupos principais são: **A** – climas tropicais chuvosos; **B** – Climas Secos; **C** – Climas temperados chuvosos e moderadamente quentes; **D** – Climas frios com neve-floresta; **E** – Climas polares. (Quadro 1).

<b>A</b> Climas Tropicais Chuvosos	
Af	Clima tropical chuvoso de floresta
Aw	Clima de savana
Am	Clima tropical de monção
<b>B</b> Climas Secos	
BSh	Clima quente de estepe
BSk	Clima frio de estepe
BWh	Clima quente de deserto
BWk	Clima frio de deserto
<b>C</b> Climas Temperados Chuvosos e Moderadamente Quentes	
Cfa	Úmido em todas as estações, verão quente
Cfb	Úmido em todas as estações, verão moderadamente quente
Cfc	Úmido em todas as estações, verão moderadamente frio e curto
Cwa	Chuva de verão, verão quente
Cwb	Chuva de verão, verão moderadamente quente
Csa	Chuva de inverno, verão quente
Csb	Chuva de inverno, verão moderadamente quente
<b>D</b> Climas frios com neve-floresta	
Dfa	Úmido em todas as estações, verão quente
Dfb	Úmido em todas as estações, verão frio
Dfc	Úmido em todas as estações, verão moderadamente frio e curto
Dfd	Úmido em todas as estações, inverno intenso
Dwa	Chuva de verão, verão quente
Dwb	Chuva de verão, verão moderadamente quente
Dwc	Chuva de verão, verão moderadamente frio
Dwd	Chuva de verão, inverno intenso
<b>E</b> Climas polares	
ET	Tundra
EF	Neve e gelo perpétuos

Quadro 1: Classificação climática de Köppen. Fonte: Ayoade, 1998.

Tais grupos podem ser ainda classificados segundo características adicionais de temperatura do ar e precipitação, da seguinte forma: **f** – nenhuma estação seca, úmido o ano todo (A, C, D); **m** – de monção, com uma breve estação seca e com chuvas intensas durante o resto do ano (A); **w** – chuva de verão (A, C, D); **S** – estação seca de verão (B); **W** – estação seca de inverno (B); **a** – verão quente, o mês mais quente tem temperatura média maior do que 22°C; **b** – verão moderadamente quente, o mês mais quente tem temperatura média inferior a 22°C; **c** – verão breve e moderadamente frio, menos do que 4 meses têm temperatura média maior do que 10°C; **d** – inverno muito frio, o mês mais frio tem temperatura média menor do que -38°C. Tal classificação gerou o mapa a seguir (Figura 3).

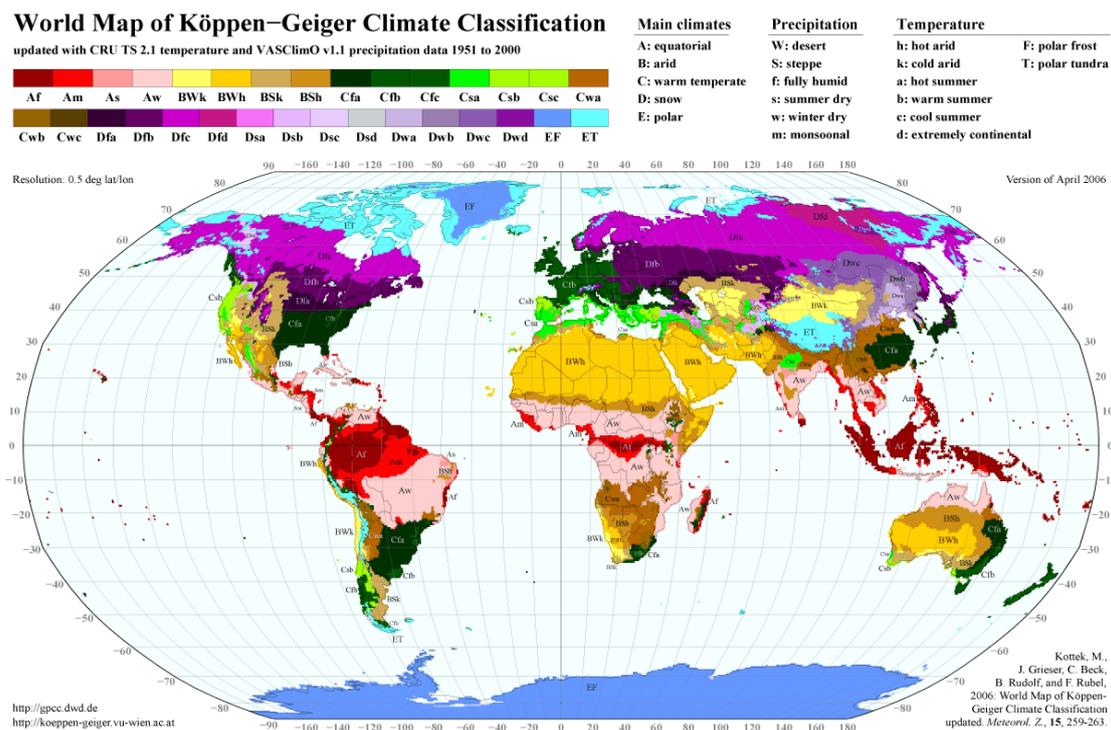


Figura 3: Mapa do mundo segundo a Classificação Climática de Köppen. Fonte: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>

Duarte (2000) relata críticas que foram apontadas ao modelo de Köppen dentre as quais estão: algumas incoerências devido à rigidez dos limites impostos na classificação dos climas tendo em vista a escassez de estações meteorológicas, alguns

limites climáticos estabelecidos arbitrariamente, fórmulas desenvolvidas para climas em terras baixas utilizadas para altitudes maiores.

Entretanto, apesar das críticas recebidas, o modelo de Köppen foi o primeiro modelo de classificação climática do mundo com base científica, e devido à simplicidade e facilidade de uso é largamente aceito no meio acadêmico.

### 1.2.2 Classificação Climática de Thornthwaite

A classificação de Thornthwaite baseia-se em três índices climáticos: eficiência da precipitação, concentração sazonal de chuvas e eficiência térmica, e a partir destes índices estabelece regiões climáticas. Compara precipitação e evapotranspiração e diferentemente de Köppen, considera a vegetação apenas como mecanismo de transporte de água do solo para o ar (DUARTE, 2000).

Thornthwaite utiliza os seguintes critérios em sua classificação climática: adequação da umidade, representada por valores de umidade; eficiência térmica, representada pelos valores de evapotranspiração potencial; distribuição sazonal da adequação da umidade e concentração no verão da eficiência térmica (AYOADE, 1998). Em relação aos índices de umidade, os tipos climáticos podem ser classificados conforme Quadro 2.

Tipo de Umidade Climática	Índice de umidade
A – Perúmido	100 e acima
B4 – Úmido	80-100
B3 – Úmido	60-80
B2 – Úmido	40-60
B1 – Úmido	20-40
C2 – Subúmido chuvoso	0-20
C1 – Subúmido seco	-33,3-0
D – Semi-Árido	-66,7 até 33,3
E – Árido	-100 até 66,7

Quadro 2: classificação climática segundo Thornthwaite em relação aos índices de umidade. Fonte: AYOADE, 1998.

Quanto à eficiência térmica os climas podem ser: **Megatérmico, Mesotérmico, Microtérmico, Tundra e Geadas**, além das variações em relação à adequação sazonal da umidade demonstradas no Quadro 3.

Clima úmido (A, B, C <sub>2</sub> )		Índice de aridez
r	Pouco ou nenhum déficit hídrico	0-10
s	Déficit moderado de verão	10-20
w	Déficit moderado de inverno	10-20
s2	Grande déficit de verão	Acima de 20
w2	Grande déficit de inverno	Acima de 20
Clima Seco (C, D, E)		Índice de umidade
d	Pequeno ou nenhum excedente de água	0-16,7
s	Excedente moderado de inverno	16,7-33,3
w	Excedente moderado de verão	16,7-33,3
s2	Grande excedente de inverno	Acima de 33,3
w2	Grande excedente de verão	Acima de 33,3

Quadro 3: Classificação climática de Thornthwaite em relação à adequação sazonal de umidade. Fonte: Ayoade, 1998.

Segundo Ayoade (1998) o modelo de Thornthwaite também recebeu críticas, pois os valores de evapotranspiração potencial, sobre os quais o índice de umidade está baseado, não estão disponíveis em todas as áreas. Além disto, sua fórmula empírica parece ter superestimado as condições satisfatórias das regiões áridas e semi-áridas.

### 1.2.3 Classificação Climática de Nimer para o Brasil

Além das classificações brevemente descritas, outros métodos foram sendo aplicados, a fim de analisar e classificar os climas das diversas regiões do planeta. Estudos vêm sendo desenvolvidos no Brasil com o objetivo de sistematizar o clima diversificado do país.

Um destes estudos foi feito por Edmon Nimer e publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Apresenta as divisões climáticas do país de acordo com a temperatura média e a quantidade de meses secos e consiste em duas classificações climáticas (NIMER, 1989).

A primeira divide o país em cinco Climats Zonais, sendo eles: Equatorial, Temperado, Tropical Brasil Centro, Tropical Nordeste Oriental e Tropical Zona Equatorial. A segunda classificação é mais específica e divide o país nas regiões climáticas representadas no quadro a seguir (Quadro 4), originando o mapa da Figura 4. (NIMER, 1989).

<b>Quente</b>	super-úmido	sem seca
		com subseca
	úmido	1 a 2 meses secos
		3 meses secos
	semi-úmido	4 a 5 meses secos
	semi-árido	6 meses secos
		7 a 8 meses secos
		9 a 10 meses secos
	11 meses secos	
<b>Subquente</b>	super-úmido	sem seca
		com subseca
	úmido	1 a 2 meses secos
		3 meses secos
		4 a 5 meses secos
	semi-árido	6 meses secos
<b>Mesotérmico brando</b>	super-úmido	sem seca
		com subseca
	1 a 2 meses secos	
	3 meses secos	
	4 a 5 meses secos	
<b>Mesotérmico mediano</b>	super-úmido	sem seca
		com subseca
	úmido	1 a 2 meses secos

Quadro 4: Classificação dos climas do Brasil segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.  
Fonte: NIMER, 1989.

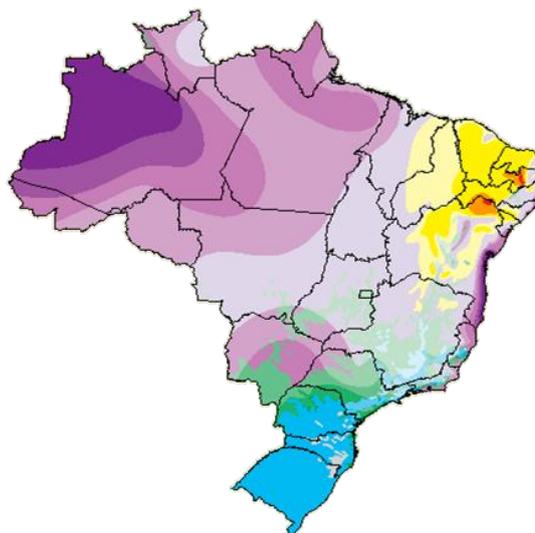


Figura 4: Mapa do Brasil segundo classificação climática do IBGE. Fonte: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

Segundo Campos Navarro (2007, p. 22), entretanto, estas classificações, embora sejam amplamente utilizadas, “podem não ser as mais adequadas para fins de apoio ao projeto bioclimático de edificações, já que as variáveis utilizadas não têm o mesmo peso para caracterizá-las bioclimaticamente, em função do clima e do conforto humano do ambiente construído”. A opinião do autor acerca do assunto ressalta a necessidade de classificações climáticas que tenham como objetivo a concepção de edifícios adequados ao clima.

## **Parte II: Clima e Arquitetura**

Esta segunda parte da Revisão Documental trata da relação entre clima e arquitetura, objeto de investigação do trabalho. Está subdividida em cinco temas que abordam aspectos relacionados à adaptação da arquitetura aos diversos tipos climáticos, em especial ao clima quente úmido em questão, o bioclimatismo, a questão energética e a sustentabilidade na arquitetura, além de métodos de tratamento de dados climáticos com fins de aplicação ao projeto de arquitetura.

As informações reunidas aqui serviram de aporte teórico em especial, para a elaboração da metodologia do presente trabalho.

### **1.3 Arquitetura adaptada ao clima**

Segundo Bittencourt (1989), sendo a arquitetura produzida pelo homem e para o homem, ficará compartimentada toda vez que não houver uma abordagem do ser humano de forma integradora. Neste processo, o arquiteto assume o papel de mediador entre as suas idéias para determinado projeto, os sonhos e desejos do seu cliente e, entre outros aspectos, as condicionantes externas que se apresentam.

Dentre os fatores que influenciam as decisões de projeto arquitetônico, os aspectos ambientais se destacam por possibilitarem a produção de uma arquitetura mais coerente com o contexto geográfico – e conseqüentemente, climático – do local onde está implantada e que, portanto, abrange aspectos relacionados ao conforto ambiental, à eficiência energética e à sustentabilidade.

Durante muito tempo, o homem buscou adaptar os abrigos que produzia, integrando arquitetura e clima em consonância e harmonia com a natureza. Ao longo da história, diversos exemplos mostram a preocupação do homem com a adequação da arquitetura às condicionantes ambientais locais.

Vitrúvio, arquiteto e engenheiro romano que viveu no século I d. C. e cuja obra *De Architectura* marcou a sua época e atravessou gerações sendo referência até os dias de hoje, ressalta em seu tratado a necessidade de considerar o clima, desde os princípios do desenho arquitetônico.

Os edificios particulares estarão bem dispostos se desde o principio forem considerados a orientação e o clima em que vão ser construídos; porque não há dúvidas de que haverão de ser diferentes as edificações que se erguem no Egito das que se efetuam na Espanha; diferentes as que se erguem no Ponto das que se edificam em Roma; Sabe-se que uma parte da Terra está sobre a influência imediata de sua proximidade ao Sol, outra de sua distância do mesmo, e outra, por sua posição intermediária entre as duas primeiras, torna-se temperada. (VITRUVIO, 1997, p. 140, tradução nossa).

O iglu (Figura 5), construção típica em regiões com temperaturas muito baixas, é um exemplo de adaptação da arquitetura ao clima. Sua forma arredondada colabora para o escoamento da neve e para a melhor distribuição do calor em seu interior, suas paredes funcionam como um isolante térmico deixando a temperatura interna na maior parte do tempo maior que a temperatura exterior, à entrada geralmente é feita uma barreira para dificultar a entrada do fluxo de ar, entre outros artifícios adotados.

Os assentamentos Pueblos (Figura 5), das civilizações índias do sudoeste dos Estados Unidos da América, são exemplos de como a arquitetura pode ser adequada ao

clima quente e seco da região. Segundo Bittencourt (2004), a forma compacta, a inércia térmica<sup>5</sup> e a orientação adotada, propiciam o conforto dos usuários tanto nos períodos mais quentes, quanto às temperaturas mais baixas, durante a noite, já que o clima na região é caracterizado por significativas oscilações diárias de temperatura do ar.

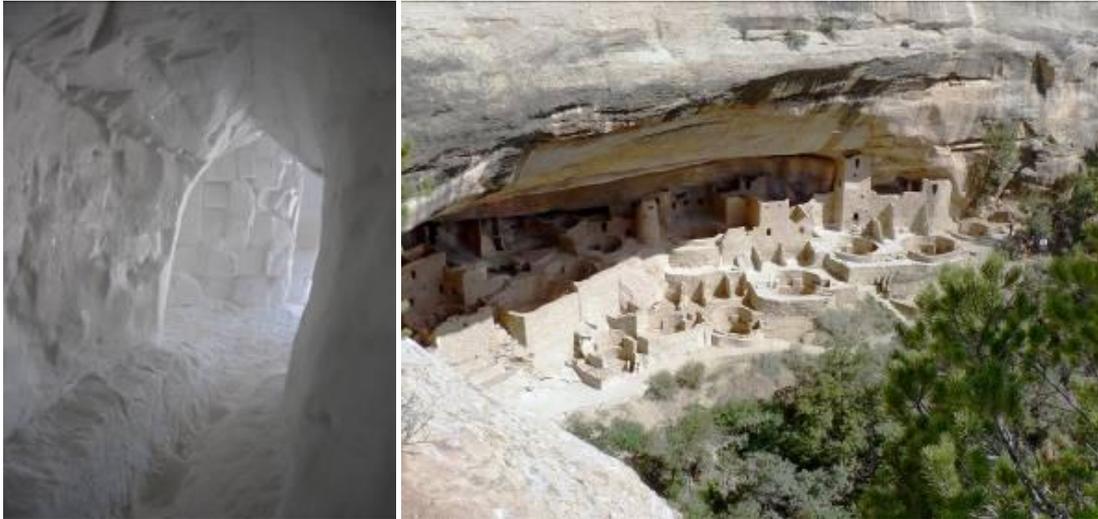


Figura 5: Arquitetura adaptada ao clima: Vista interior de um iglu e Pueblo Mesa Verde. Fonte: StockPhotos, 2007.

Outro exemplo de adaptação ao clima quente e seco são as construções tradicionais islâmicas (Figura 6). Elas demonstram grande conhecimento das formas de controlar os rigores climáticos através da utilização de pátios internos, paredes espessas, aberturas mínimas e elementos como fontes e espelhos d'água que além de minimizar o desconforto térmico por calor, caracterizam de maneira singular a arquitetura local.

---

<sup>5</sup> A inércia térmica ocorre em função da densidade, condutividade e capacidade térmica dos materiais que compõem uma determinada superfície. Segundo Dornelles e Roriz (2005) é caracterizada por dois importantes efeitos sobre os fluxos de calor entre o ambiente interno das edificações e o meio exterior: o amortecimento, que atua como redutor das oscilações das temperaturas internas, e o atraso térmico, ou seja, a defasagem temporal das mesmas em relação às temperaturas externas.



Figura 6: Assentamento na cidade de Mardin, Turquia, região de clima quente e seco. Fonte: MANIOGLU, YILMAZ (2008)

No clima quente e úmido (Figura 7), onde a radiação solar é intensa e os índices de umidade e precipitação são altos, a adaptação ao clima se dá de maneira diferente. Grandes aberturas e elementos vazados permitem a ventilação no interior das construções, além da utilização de materiais leves e protetores solares. É o caso, por exemplo, das aldeias indígenas do litoral do Nordeste brasileiro e da arquitetura colonial portuguesa com suas casas de engenho avarandadas.



Figura 7: Arquitetura típica dos climas quentes e úmidos. Aldeia SOS do Amazonas. Arquiteto Severiano Mário Porto. Fonte: ROVO; OLIVEIRA, 2004.

Percebe-se, a partir dos exemplos citados que é possível um diálogo entre clima e arquitetura através de materiais e técnicas não muito rebuscados que proporcionam ao

homem a satisfação térmica com o lugar. Este modo de produção arquitetônica foi utilizado na antiguidade e continua sendo possível nos dias atuais, através da evolução das técnicas construtivas e inovações tecnológicas, que podem ser traduzidos em expressões arquitetônicas coerentes com seus respectivos contextos.

No decurso histórico, entretanto, o avanço tecnológico e o surgimento de novos materiais como o ferro, o aço e o concreto trazidos pela Revolução Industrial do século XIX, assumiram lugar de destaque na produção arquitetônica. A energia elétrica recém-descoberta foi rapidamente difundida substituindo fontes de energia renováveis utilizadas até então. Torres foram construídas aumentando a superfície exposta e, conseqüentemente, os ganhos de calor e acelerando o regime de ventos próximo ao solo, causando desconforto térmico tanto no interior quanto no exterior dos edifícios (CARVALHO, 2006).

Em alguns casos, a arquitetura foi produzida independentemente das condições específicas de cada lugar, gerando ambientes inadequados ao clima local, com pouca ou nenhuma eficiência energética e em desarmonia com a natureza. Segundo Dumke (2002, p. 45) as novas idéias e conceitos do Modernismo, bem como, a abundância de recursos energéticos até então, colaboraram para o “distanciamento dos arquitetos em relação à arquitetura regional e em favor da arquitetura internacional”.

#### 1.4 Arquitetura e Aporte Energético

O conflito árabe-israelense na década de 1970, fez com que o mundo inteiro vivesse o colapso dos recursos energéticos, essenciais à sobrevivência humana. A Crise Energética de 1973<sup>6</sup> alertou para a finitude da energia elétrica e gerou a formação de grupos de discussão a respeito das possíveis soluções para o problema. A Arquitetura Internacional começou a ser avaliada sob a ótica da crise.

No Brasil, os efeitos desta crise foram percebidos de maneira mais intensa em 2001, com o chamado “Apagão”<sup>7</sup>, que fez com que o problema da escassez de energia deixasse de ser interesse apenas de pesquisadores e cientistas para estar presente no cotidiano dos consumidores. Apesar do grande potencial hídrico existente para geração de energia elétrica, a crise energética atingiu o país em consequência do aumento da demanda, associada aos fatores climáticos e a ausência de investimentos no setor (CÂNDIDO, 2006).

Segundo Gomes (2007) o principal fator da crise no Brasil foi o processo de privatização do setor elétrico do país iniciado em 1990 com o Plano Nacional de Desestatização. Esta mudança estrutural apresentou “fragilidades e inconsistências nos seus fundamentos em relação ao Sistema Elétrico Brasileiro, com especificidades e características únicas no mundo”. Em consequência disto, um racionamento no consumo equivalente a 20% do volume médio de demanda de MWh foi imposto à população.

Segundo dados do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) (2001), o setor da construção civil é responsável por cerca de 48% do consumo total de energia elétrica no mundo. Este fato reflete a necessidade cada vez mais urgente

---

<sup>6</sup> Crise provocada pelo aumento do preço do barril do petróleo pelas nações árabes, que causou desequilíbrio na economia mundial principalmente nos EUA e Europa.

<sup>7</sup> Apagão: racionamento do consumo de energia elétrica no Brasil em virtude do desequilíbrio entre oferta e demanda deste recurso vivido no ano de 2001.

da incorporação dos aspectos ambientais às fases iniciais do projeto arquitetônico, buscando minimizar o uso de energia elétrica com sistemas de iluminação e condicionamento térmico do ar no interior das edificações.

Prova da necessidade de considerar os aspectos ambientais no projeto de arquitetura é a produção mundial de leis e incentivos para que edificações sejam projetadas de forma ambientalmente responsável e com alto desempenho, como os selos de eficiência energética no Reino Unido, o BREEAM, implantado em 1990, nos Estados Unidos o LEED, criado em 1996, e mais recentemente a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos do Brasil, de implantação gradual no país a partir de 2008.

A arquitetura possui, portanto, um papel importante na busca pela produção de espaços mais sustentáveis que visem o conforto ambiental dos usuários, a redução do consumo de energia elétrica e o aproveitamento dos recursos naturais sem levá-los ao esgotamento, minimizando os impactos sobre o meio ambiente a partir da consideração dos aspectos climáticos. Sendo assim, são os arquitetos e o setor da construção civil os responsáveis por “desligar o termostato global” (MARZIA, 2004).

### **1.5 Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade**

Foi a partir da preocupação com os impactos ambientais causados pela construção dos espaços que, os irmãos Olgyay, em 1973 (OLGYAY, 1998), utilizaram pela primeira vez o termo em arquitetura bioclimática. Em busca de novos parâmetros, sugeriam a aplicação de conhecimentos climatológicos à arquitetura, gerando ambientes mais confortáveis e sustentáveis.

Desde então, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com objetivos semelhantes aos de Olgyay. “Porém, ainda existe um longo caminho a percorrer até que

os princípios bioclimáticos sejam totalmente aceitos e incorporados ao projeto” (MACIEL, 2002).

Já que o atual modelo de desenvolvimento econômico das cidades não é sustentável, faz-se necessária uma mudança nos paradigmas da sociedade atual que supra as necessidades de hoje, sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de suprir as suas (BRUNTLAND, 1987). É com este enfoque que o conceito do Desenvolvimento Sustentável surgido em 1987 com a publicação “*Our common future*”, vem sendo amplamente discutido.

Nesse contexto, e segundo Evans (2007), a arquitetura bioclimática engloba não apenas o conforto ambiental, na busca pela proteção contra os rigores climáticos, mas também a redução da demanda por energia fóssil e não renovável:

A proteção contra condições adversas do ambiente externo, assim como a conservação das variáveis ambientais favoráveis ao conforto, pode ser alcançada através de dois mecanismos alternativos: o uso das premissas do projeto bioclimático ou o condicionamento artificial. Entretanto, a proteção climática e o aproveitamento das condições favoráveis não apenas implica na busca por conforto e bem-estar, mas também na redução da demanda por energia fóssil e não-renovável, assim como o melhor uso de energias renováveis de fontes naturais como o sol e o vento (EVANS, 2007, p.3, tradução nossa).

A aplicação dos princípios bioclimáticos à arquitetura, portanto, representa uma ferramenta potencial na busca por uma arquitetura mais sustentável. Neste sentido, é possível destacar alguns exemplos mais recentes de iniciativas na busca por retomar o equilíbrio da arquitetura com a natureza e a sua adaptação ao clima local.

O *Commerzbank Headquarters*, edifício localizado em Frankfurt, na Alemanha, projetado pelo arquiteto Norman Foster (Figura 8), ficou conhecido mundialmente pela adoção de conceitos de bioclimatismo e sustentabilidade. Finalizado em 1997, o projeto inclui sistemas de aproveitamento da luz natural e da ventilação natural e consumo de

energia equivalente à metade do nível consumido em edificações de escritórios convencionais.

Com 53 andares, o *Commerzbank* é o primeiro edifício de escritórios ecológico no mundo e o mais alto da Europa. Resultado de uma competição internacional limitada, o projeto explora a natureza do ambiente de escritório, desenvolvendo novas idéias para sua ecologia e padrões de trabalho. Paralelo a essa concepção está a utilização de sistemas naturais de iluminação e ventilação. Todos os escritórios no prédio são iluminados e possuem janelas, permitindo aos ocupantes controlar seu próprio ambiente, e resultando em um consumo de energia elétrica equivalente a metade daqueles obtidos em edifícios de escritórios convencionais (FOSTER, 2008, tradução nossa).



Figura 8: Commerzbank Headquarters, do arquiteto Norman Foster, em Frankfurt, Alemanha.  
Fonte: Foster and Partners. Disponível em: <http://www.fosterandpartners.com>.

O projeto do arquiteto inglês Nicholas Grimshaw, *New York New Housing*, nos Estados Unidos (Figura 9), planejado dez anos após o *Commerzbank* Alemão, possui teto jardim que protege contra a insolação excessiva, amenizando o ganho de calor e auxilia no escoamento da água das chuvas. Todos os apartamentos foram projetados com ventilação cruzada e aproveitamento da iluminação natural e, além disto, existem tanques para recolhimento da água das chuvas e sistemas de reciclagem de lixo.



Figura 9 (a) e (b): (a) Projeto New York, New Housing, nos EUA. (b) Projeto Pavilhão de Exposição da Inglaterra na Expo'92 em Sevilha. Ambos do Arquiteto Nicholas Grimshaw. Fonte: Nicholas Grimshaw and Partners. Disponível em: <http://www.grimshaw-architects.com>.

Nicholas Grimshaw foi o arquiteto responsável pelo Pavilhão da Inglaterra na Expo 92 em Sevilha (Figura 9), projeto no qual adotou estratégias bioclimáticas tais como: ventilação da cobertura, proteções solares e cascata de água, que minimizaram o consumo de energia do edifício.

Toledo (1999) evidencia a afinidade entre os conceitos da Arquitetura Bioclimática proposta inicialmente pelos irmãos Olgay e a arquitetura moderna no Brasil nas décadas de 1950-60 através da utilização de elementos de proteção solar, elementos vazados para incremento da ventilação natural no interior dos edifícios na concepção de projetos. Segundo o autor, os cobogós foram utilizados pela primeira vez em Olinda, Estado de Pernambuco, pelos arquitetos Luiz Nunes e Fernando Saturnino de Brito em 1935-37.

Destaca-se, ainda durante o período modernista, o trabalho de alguns arquitetos como, por exemplo, o MES – Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro (Figura 10), projeto dos arquitetos: Lucio Costa, Oscar Niemeyer, Affonso Reidy, Jorge Moreira, Carlos Leão e Ernani Vasconcelos. Na edificação a fachada sudeste é composta por caixilhos de vidro que garante o aproveitamento da vista enquanto a

fachada oposta compõe-se de brises horizontais móveis que auxiliam na busca do conforto térmico amenizando o ganho de calor.

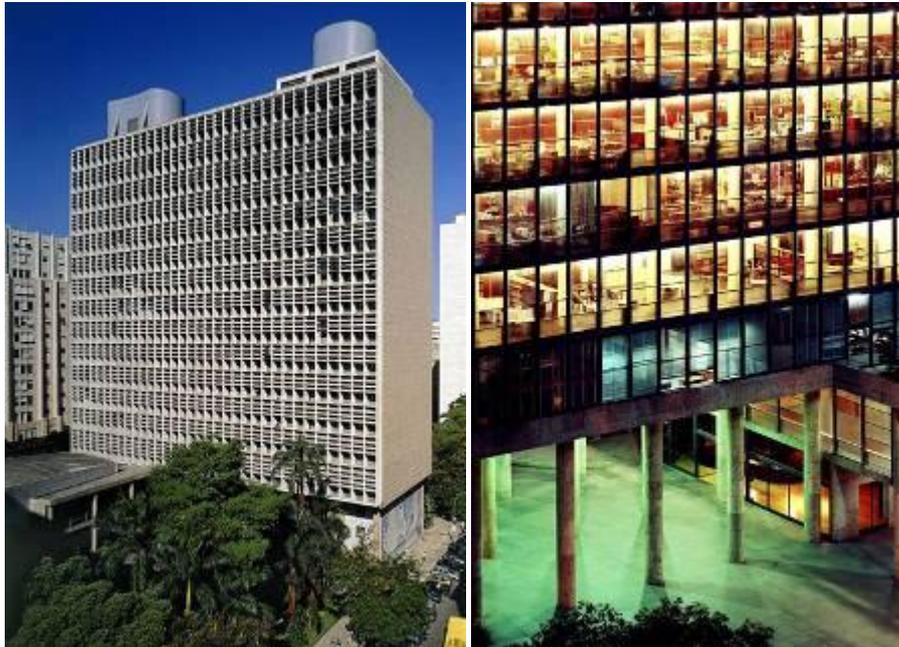


Figura 10: Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro. Projeto de Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, Affonso Reidy, Jorge Moreira, Carlos Leão e Ernani Vasconcelos. Fonte: ANDRADE, 2007.

Mais recentemente, ressalta-se o trabalho do arquiteto Leonardo Bittencourt ao projetar o Núcleo de Pesquisa Multidisciplinar da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e, em conjunto com os arquitetos Mário Aloísio e Eduardo Assumpção, o Terminal Rodoviário de Maceió. Ambos os projetos apresentam integração da arquitetura às condicionantes ambientais locais.

O Núcleo de Pesquisa Multidisciplinar da UFAL (Figura 11) é dotado de elementos como coletores de vento, grelhas, amplos beirais, prateleiras de luz e peitoris ventilados como estratégias de projeto para incrementar a iluminação natural e o resfriamento passivo, diminuindo assim, a dependência de dispositivos mecânicos de resfriamento e iluminação na edificação (MACIEL, 2006).



Figura 11: Núcleo de Pesquisa Multidisciplinar da Universidade Federal de Alagoas. Projeto do Arquiteto Leonardo Bittencourt. Fonte: BITTENCOURT, 2005.

O projeto do Terminal Rodoviário de Maceió (Figura 12) caracteriza-se pela grande estrutura metálica que confere proteção contra radiação como se fosse um “grande sombreiro ventilado” como afirma Melo (2005), além do uso de painéis de fibra de vidro que funcionam como anteparos contra a chuva.



Figura 12: Terminal Rodoviário da cidade de Maceió-AL. Projeto Arquitetônico dos arquitetos Leonardo Bittencourt, Mário Aloísio Melo e Eduardo Assumpção. Fonte: CAVALCANTI, 2008.

Contudo, percebe-se que é possível relacionar as variáveis: clima e arquitetura, embora esta postura ainda não seja uma prática constante dos arquitetos conforme afirma Maciel, 2006:

(...) nos últimos trinta e cinco anos houve um progresso considerável no campo da bioclimatologia e eficiência energética. Mas, a despeito de todo esse progresso (...) há uma lacuna entre o conhecimento acadêmico e a prática de projeto. Os conceitos bioclimáticos não são realmente integrados na prática do projeto como parte do partido arquitetônico. Em geral, há

apenas uma simples adição de sistemas voltados para a conservação de energia, durante o detalhamento do projeto. Além disso, o apelo para a integração destes conceitos tem sido mais baseado em pressões de ordem econômica, o que parece muito limitado. (...) não há informações consolidadas sobre quais são as barreiras reais à integração bioclimática, de acordo com o ponto de vista dos arquitetos.

Grandes esforços estão sendo feitos no sentido de adaptar a arquitetura ao clima e às demais condicionantes ambientais, entretanto ainda não há uma conscientização unânime entre os profissionais da área acerca das conseqüências da desconsideração destas variáveis ao projeto de arquitetura, à qualidade de vida das pessoas e ao meio ambiente.

### **1.6 Estratégias para climas tropicais**

Os climas tropicais são afetados por forte radiação solar durante a maior parte do ano. Minimizar os efeitos do calor nas edificações representa o principal desafio da arquitetura nestas regiões (KOENIGSBERGER, *et al*, 1974).

Segundo Koenigsberger *et al* (1974), embora não existam limites muito rígidos, as regiões com climas tropicais, também conhecidas como regiões de climas quentes, localizam-se entre os trópicos de Câncer e Capricórnio (Figura 13). “Dentro da faixa equatorial, o clima varia, predominantemente, de quente e seco a quente e úmido” (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).



Figura 13: Localização aproximada das regiões com clima tropical segundo Koenigsberger *et al* (1974).  
Fonte: adaptado de Stockphotos®.

Segundo Nimer (1989), o Brasil é composto predominantemente por climas úmidos, entretanto, em algumas regiões o clima é semi-árido, com períodos de seca que podem durar até 11 meses durante o ano. Sendo assim, serão abordadas neste tópico, estratégias para estes dois tipos de clima: quente e úmido e quente e seco.

### 1.6.1 Clima quente e úmido

O clima quente e úmido caracteriza-se por altas temperaturas e índices de umidade relativa do ar, além de precipitação abundante. As regiões com este clima na terra localizam-se geralmente próximos a linha do Equador estendendo-se a aproximadamente 15° ao Norte e ao Sul (KOENIGSBERGER, *et al*, 1974).

Segundo Köppen os climas quentes e úmidos, classificados como clima A, possuem, em geral, temperatura média do mês mais frio em torno de 18°C e não apresentam um período de inverno definido. A precipitação anual total é maior que

1000 mm e ultrapassa os valores de evaporação anual, o que justifica os altos índices de umidade relativa do ar (FREIXANET, 2004).

Além disto, apresentam médias anuais de temperatura e umidade do ar relativamente constantes, o que significa baixa amplitude térmica tanto diária quanto sazonal. A temperatura média anual fica em torno de 27°C, sendo que as máximas podem chegar a aproximadamente 38°C em dias mais ensolarados (GIVONI, 1998).

Koenigsberger *et al* (1974) reforçam esta assertiva afirmando que em regiões com clima quente e úmido há uma pequena variação sazonal de temperatura, sendo as únicas modificações entre as estações a ocorrência de mais ou menos chuva, ventanias e tempestades.

Segundo Givoni (1998), uma característica típica destas regiões é que conforme aumenta a temperatura, aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água, causando desconforto térmico nos habitantes. Em virtude disto, a ventilação natural apresenta-se como a melhor estratégia passiva de resfriamento para remover o excesso de vapor d'água do ar, facilitar as perdas de calor por convecção e assim, garantir o equilíbrio térmico do homem com o meio.

Em geral, nos trópicos úmidos, tais estratégias devem promover a ventilação natural, o aproveitamento da iluminação natural, minimizar o calor provocado pelas altas temperaturas, sombrear e proteger contra o sol e chuvas, incrementando assim o conforto térmico dos usuários com a menor utilização de recursos energéticos.

A orientação adequada no terreno é uma das primeiras providências a serem tomadas. Uma decisão acertada acerca da orientação garantirá o aproveitamento dos ventos dominantes e poderá favorecer determinados ambientes quanto à exposição ao sol. O estudo da trajetória solar no local de implantação oferece informações

imprescindíveis na escolha da orientação e pode ser feito através do uso das cartas solares, simulações computacionais ou experimentos com maquetes físicas.

Segundo Koenigsberger *et al* (1974) a melhor orientação em climas quentes e úmidos é dispor o eixo mais longilíneo da edificação na direção Leste Oeste, a fim de evitar os ganhos térmicos. Entretanto isto pode ser freqüentemente conflitante com a necessidade de aproveitar os ventos dominantes. Nestes casos, o autor recomenda analisar cada edificação em particular, lembrando que a trajetória solar é constante, enquanto que o movimento do ar pode ser modificado no entorno através de elementos como projeções ou vegetação.

As cobertas das edificações comumente são as maiores superfícies de uma edificação exposta à radiação solar, exceto nos casos de edifícios altos. Portanto, é importante em climas quentes e úmidos, que o material da cobertura seja mais reflexivo e tenha baixa transmitância térmica<sup>8</sup> (KOENIGSBERGER *et al*, 1974, p.218).

As superfícies das paredes, assim como as aberturas, devem ser protegidas contra radiação solar através de elementos arquitetônicos como cobogós, brises, beirais, marquises, dentre outros. Outra solução seria o uso de vegetação como no caso da *EcoHouse* Urca, onde foram implantadas às superfícies externas, treliças de metal que serviram de suporte ao crescimento de plantas trepadeiras que funcionaram como uma “segunda pele” (Figura 14), dissipando o ar quente absorvido pela vegetação (LICHTENBERG, 2006).

---

<sup>8</sup> Segundo Frota e Schiffer (2003, p.38), a transmitância térmica ou o coeficiente global de transmissão térmica “quantifica a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes que o elemento constituído por tal material separa (W/m<sup>2</sup>°C)”.



Figura 14: Segunda pele formada pelo crescimento de trepadeiras nas treliças instaladas na fachada da EcoHouse Urca. Fonte: Lichtemberg, 2006.

O Projeto *EcoHouse* teve início em 2002 e consistiu em reformar edificações residenciais urbanas localizadas em regiões de clima quente e úmido, como o da cidade do Rio de Janeiro, com vistas a economia de energia, uso racional da água e resolução de problemas relacionados ao conforto ambiental. A *EcoHouse* Urca, localizada no bairro da Urca, Rio de Janeiro, fez parte deste projeto (LICHTEMBERG, 2006).

O uso de varandas (Figura 15) também é comum em regiões de clima quente e úmido, pois oferecem sombreamento e proteção contra as chuvas, além de proporcionar um espaço de permanência agradável aos usuários (GIVONI, 1998).



Figura 15: Utilização de varandas em climas quentes e úmidos. Fonte: GARZON, 2007 e GILLESPIE, 2003.

Além disto, a orientação e o tamanho das aberturas devem ser definidos conforme a trajetória solar, buscando suprir as necessidades de ventilação e iluminação nos ambientes sem comprometer o conforto térmico dos usuários devido à entrada de calor. Segundo Koenigsberger *et al* (1974), não há razões para utilizar janelas com panos de vidro fixos nos climas quentes e úmidos.

A ventilação natural é a principal estratégia apontada para diversas cidades com clima quente e úmido, considerada de grande eficiência na promoção do conforto, pois ajuda na redução da temperatura do ar através da convecção, bem como dos níveis de umidade. Mas é importante observar que, além da orientação e tamanho, a tipologia das esquadrias também influencia o fluxo do vento no interior da edificação. É possível ainda, a adoção de elementos como os *sheds* (Figura 16) e o peitoril ventilado, proporcionando um melhor aproveitamento da ventilação natural.

Nestas regiões, as construções devem evitar ganhos de calor proveniente da radiação solar enquanto dissipam o calor produzido internamente. (...) Além de sombreamento, estruturas leves têm sido usadas para prevenir o armazenamento de calor, já que o conforto no período noturno é crítico em construções residenciais. O resfriamento é a principal meta do projeto arquitetônico, e a necessidade de aquecimento é muito rara. O conforto

térmico nas construções depende em alto grau do movimento de ar e da prevenção de ganhos de calor. (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006, p. 6)

A iluminação natural pode ser aproveitada a partir da adequada utilização de elementos como clarabóias, *sheds* (Figura 16), prateleiras de luz, dutos de luz, dentre outros, porém sempre controlando a entrada de radiação solar direta por estas aberturas.



Figura 16: Utilização de sheds para aproveitamento da ventilação e iluminação naturais. Projeto do Centro de Reabilitação Infantil Sarah-Rio, no Rio de Janeiro, do arquiteto João Filgueiras Lima. Fonte: MOURA, 2002.

Segundo CABÚS (2002), um critério básico de projeto para a região dos trópicos úmidos é proteger contra a iluminação solar direta e reduzir a visão direta do céu, sem perder a área de ventilação, e mantendo níveis de iluminação adequados. Segundo o autor, combinar direção dos ventos com ângulos de elementos de sombra deve ser um objetivo a ser alcançado em um projeto bioclimático integrado para os trópicos úmidos.

Além dos aspectos supracitados, uma edificação localizada em regiões de clima quente e úmido, precisa possuir elementos de proteção contra as chuvas, abundantes neste tipo de clima. Este efeito pode ser obtido através da utilização de beirais e varandas, por exemplo, e se não for levado em consideração pode forçar os usuários de uma edificação a fechar as janelas em tempos de chuva, diminuindo os níveis de iluminação e ventilação naturais.

### 1.6.2 Clima quente e seco

As regiões de clima quente e seco localizam-se entre 15° e 30° ao Norte e ao Sul do Equador, apresentam precipitação total média anual abaixo de 600 mm (Ayoade, 1998), além de altos índices de amplitude térmica, anual, sazonal e diária. Segundo Koenigsberger *et al* (1974), a variação térmica diurna pode chegar a 22°C, os índices de umidade relativa do ar variam entre 10 e 55%, a precipitação é baixa e bastante variável, o céu é geralmente claro, a radiação solar é direta e intensa durante o dia e os ventos são quentes e carregam poeira e areia.

Segundo Givoni (1994), o desempenho térmico de uma edificação em regiões de clima quente e seco deve promover: atraso térmico durante o dia no verão, resfriamento noturno nas noites de verão, penetração mínima de poeira, ventilação noturna durante o verão e aumento das temperaturas internas em relação às externas no inverno.

Assim como nos trópicos úmidos, deve-se proteger tanto as edificações quanto os espaços públicos externos, da radiação solar e dos ventos quentes carregados de poeira. Koenigsberger *et al* (1974) sugerem que as edificações sejam, portanto, compactas com o mínimo de superfícies expostas ao sol.

Por conseguinte, o dimensionamento das aberturas deve ser efetuado considerando-se a necessidade de evitar a radiação solar nas horas mais quentes do dia e ao mesmo tempo permitir a penetração da luz natural necessária e a entrada do ar externo mais frio no período noturno, fazendo-se uso de elementos arquitetônicos ou da vegetação para proporcionar sombreamento (BATISTA, 2006).

Uma alternativa para aproveitamento da ventilação é o uso de captadores de vento (Figura 17), que captam o fluxo de ar acima da cobertura dos edifícios, onde a temperatura e a carga de poeira são menores, e o conduzem para o interior através de túneis molhados, aumentando a umidade do ar e reduzindo as temperaturas (BITTENCOURT; CANDIDO, 2005).

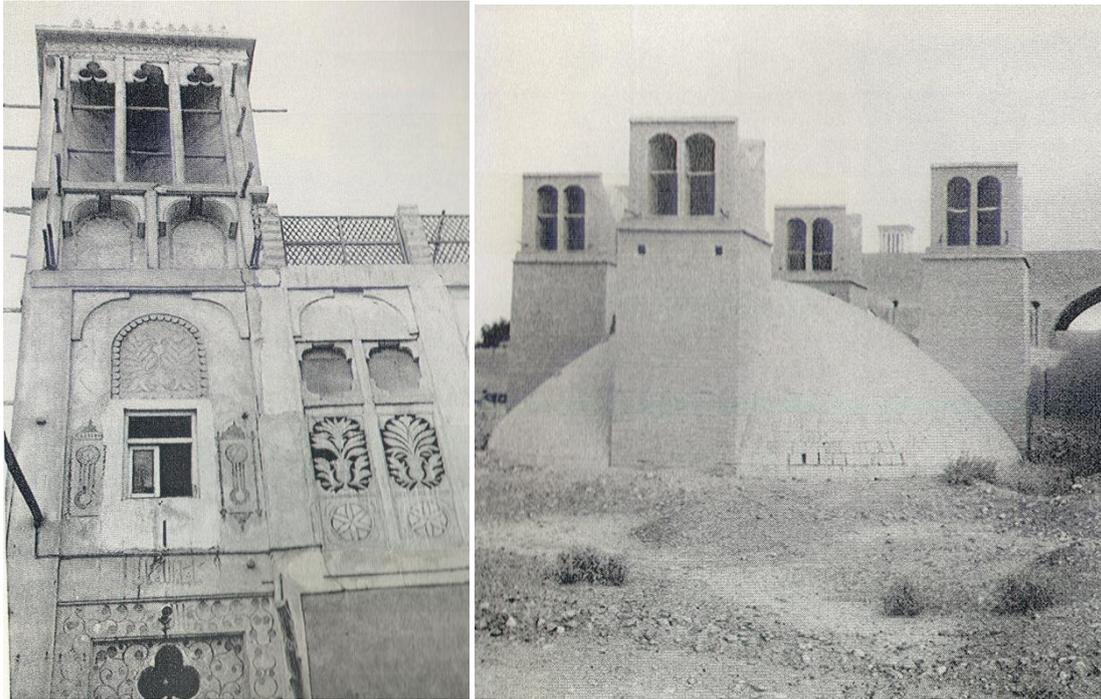


Figura 17: Torres para captação do vento em Yazd, Iran. Fonte: FATHY, 1986.

Devido aos altos índices de amplitude térmica sazonal e diária em climas quentes e secos, é comum o uso da massa térmica (Figura 18) para controle das trocas térmicas com o meio. Esta estratégia consiste em utilizar materiais com elevada capacidade térmica e espessura, proporcionando atraso térmico e amortecimento das temperaturas internas em relação às temperaturas externas (WATSON; LABS, 1992, *apud* BATISTA, 2006).

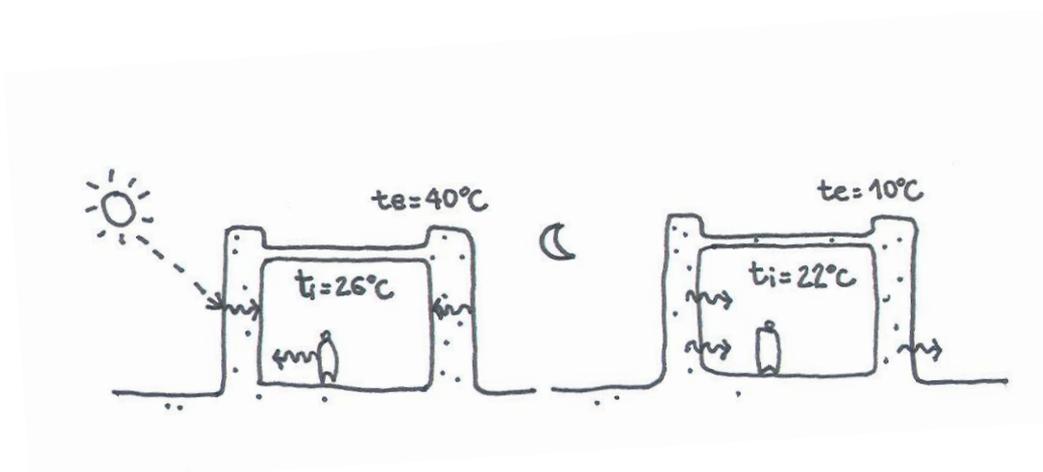


Figura 18: Efeito da massa térmica nas construções. Fonte: Bittencourt; Cândido, 2006.

Morais (2004) constatou que a utilização de coberturas verdes é bastante eficaz na resistência às variações térmicas diárias. Esta pode representar um decréscimo de até 5°C na temperatura do ar nos ambientes internos e constituir-se em estratégia interessante se adequadamente aplicadas às edificações em climas quentes e secos.

Construções compactas e sombreamento são, portanto, indicados para esta região, juntamente com o uso de vegetação e espelhos d'água para fins de resfriamento evaporativo (Figura 19) e conseqüentemente, minimizar as altas temperaturas durante o dia (MANIOGLU, YILMAZ, 2008).



Figura 19: Edificações em clima quente e seco. Uso de vegetação e piscina em pátios internos para resfriamento evaporativo. Fonte: Manioglu; Yilmaz, 2008.

O uso do resfriamento evaporativo provoca a redução da temperatura do ar a partir da evaporação da água e pode acontecer de forma direta ou indireta. Denomina-se resfriamento direto quando o ar resfriado por evaporação é introduzido diretamente no ambiente interno. Por outro lado, quando há o resfriamento de algum elemento da edificação, como, por exemplo, a cobertura diz-se que houve resfriamento indireto (GIVONI, 1994).

Além disto, o uso de cores claras e reflexivas nas superfícies externas é recomendável para a região já que as cores escuras possuem maiores índices de absorvidade.

## 1.7 Dados climáticos aplicados ao projeto de arquitetura

É de fundamental importância para o arquiteto conhecer as variáveis climáticas que atuam sobre determinado sítio, de modo que todos os fatores e elementos climáticos possam ser aproveitados da melhor forma no projeto dos espaços, em benefício do homem. Segundo Uber (1993), quanto maior for o conhecimento acumulado a respeito do clima para dado local, maior será a flexibilidade que o planejador terá na otimização de estratégias, embasando suas decisões em análises seguras da relação custo/benefício.

Sendo assim, os dados climáticos representam uma fonte importante de informações para o projetista. Entretanto, no Brasil, estes dados geralmente são de difícil acesso e quando disponíveis, não são tratados com vistas ao projeto de arquitetura e planejamento das cidades, mas são desenvolvidos em função, por exemplo, da agricultura e das ciências aéreas. Isto justifica a localização da maioria das estações meteorológicas em aeroportos, bem como a natureza dos parâmetros medidos. Estas dificuldades em relação aos dados climáticos é um dos motivos pelos quais tais informações acabam sendo ignoradas pelos arquitetos (GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998).

Koenigsberger *et al* (1974) reforçam a necessidade de dados climáticos tratados especificamente para o projeto:

Registros climáticos como os obtidos em aeroportos e estações meteorológicas não são destinados principalmente para o uso de projetistas. Frequentemente as publicações omitem alguns dos aspectos que interessam aos projetistas. Geralmente é necessário complementar tais informações com dados não publicados obtidos diretamente das estações meteorológicas. É tarefa do projetista, analisar as informações climáticas e apresentá-las em um formato que o permita identificar características que são benéficas ou prejudiciais para os futuros ocupantes de suas construções (tradução nossa).

Roriz (1999) já comentava sobre a inexistência, no Brasil, de uma base de dados climáticos, suficientemente ampla e adequada à aplicação no projeto de arquitetura. Segundo o autor, “As poucas informações disponíveis se resumem às Normais

Climatológicas de algumas localidades. A última publicação oficial destas Normais se refere ao período entre 1961 e 1990 e inclui apenas 206 cidades, ou seja, menos de 4% dos mais de 5500 municípios brasileiros”.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil, o INMET (2008), os principais órgãos operacionais de meteorologia do Brasil que mantêm uma rede de observação em nível nacional atualmente são: O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) do Comando da Aeronáutica e a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Comando da Marinha, ambos do Ministério da Defesa, além do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Ministério da Ciência e Tecnologia (INPE).

Em Alagoas, existiam estações meteorológicas financiadas pela SUDENE a partir da década de 1970. Entretanto, com a extinção deste órgão, muitos destes postos de medição foram desativados e seus dados perdidos. Atualmente, os dados climáticos de Alagoas são registrados apenas pelos órgãos nacionais supracitados, dificultando o acesso aos mesmos.

Atualmente, existem dois tipos de estações meteorológicas ativas no Estado sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). São estações automáticas e estações convencionais (Quadro 5). As estações automáticas fazem o monitoramento automático dos dados a cada hora, enquanto que nas estações convencionais os dados são registrados apenas em três horários por dia.

Estações Convencionais	Estações Automáticas
Maceió Porto de Pedras Palmeira dos Índios Major Isidoro Mata Grande Água Branca Pão de Açúcar	Arapiraca Pão de Açúcar Palmeira dos Índios

Quadro 5: Rede de Estações do INMET. Fonte: INMET, 2008.

Já o INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, possui em Alagoas, uma plataforma de coleta de dados com dezoito estações automáticas de monitoramento (Quadro 6), sendo que apenas uma delas é meteorológica, duas são agrometeorológicas e as demais são hidrometeorológicas.

A estação meteorológica registra dados de direção e velocidade dos ventos, precipitação acumulada, pressão barométrica, radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar. As estações agrometeorológicas registram os mesmos dados da estação meteorológica acrescentando-se dados de temperatura do solo e conteúdo de água do solo, enquanto que as hidrometeorológicas registram apenas dados relacionados à precipitação, salinidade, pH, pressão e temperatura da água das chuvas.

Hidrometeorológica	Agrometeorológica	Meteorológica
Atalaia, Camacari, Camaragibe, Coruripe, Faz. Boa Fortuna, Jequiá, Jitituba, Manguaba, Meirim, Mundaú, Paraíba, Perucaba, Piauí, Pratagy, Santo Antonio, São Miguel	Santana do Ipanema Mata Grande	Xingó

Quadro 6: Estações da Plataforma de Coleta de Dados do INPE. Fonte: CPTEC, 2008.

### 1.7.1 Métodos de tratamento de dados climáticos

Os métodos de tratamento e análise de dados climáticos com o objetivo de indicar estratégias bioclimáticas são ferramentas importantes nas fases iniciais do projeto de arquitetura, pois representam um bom indicativo de quais soluções são as

mais adequadas à arquitetura do lugar. Por isso, são abordados a seguir, os principais métodos de tratamento de dados climáticos utilizados com fins de adequação climática do projeto de arquitetura.

O dia típico de projeto é utilizado em diversos estudos como base para recomendações a fim de obter o conforto térmico dos usuários no interior das edificações. É estimado a partir da identificação do período de inverno e do período de verão. A seguir, são calculadas as médias de temperatura do ar em cada período até que se encontre um dia com características climáticas mais próximas dos valores médios, chamado de dia típico, de inverno ou de verão.

Goulart e Lamberts (1993) compararam duas metodologias de análise de dados climáticos para estimar o Dia Típico de Projeto: a do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (AKUTSU, 1991) e a proposta por Sattler (1989).

As metodologias foram aplicadas aos dados climáticos de dez anos (1960 a 1970) da cidade de Florianópolis obtidos junto a Divisão de Ciências Atmosféricas do Instituto Aeroespacial, registrados na estação do Aeroporto Hercílio Luz. Os dados utilizados foram os seguintes: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, direção e velocidade dos ventos, nebulosidade e precipitação.

Os autores concluíram, de acordo com os resultados, que a amplitude térmica influencia na determinação dos dias típicos de projeto e a metodologia mais indicada, em locais onde esses valores são próximos ao valor da amplitude média do período em questão, é a desenvolvida por Sattler (1989). O estudo faz parte da dissertação de mestrado de Goulart e destaca a importância da disponibilidade de dados meteorológicos das diversas regiões do país para possibilitar análises como esta.

Araújo (1993) realizou uma análise estatística, utilizando dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos, de um período de cinco anos coletados junto à Estação Meteorológica da cidade de Natal. Inicialmente, foi montada uma estrutura de banco de dados compatível com softwares que seriam utilizados para posterior análise e interpretação destes dados. Os softwares utilizados foram: SOC (*Software Científico – EMBRAPA - UNICAMP*) e SAS (*Statistics Analysis System*).

Em seguida calcularam-se as estatísticas primárias: média, mediana, desvio-padrão, moda, percentual, coeficiente de variação, máximos e mínimos e usando, as médias e medianas montou-se o dia típico de projeto para as variáveis estudadas. Foram utilizadas técnicas de análise espectral e de perfis do comportamento da trajetória da temperatura e da umidade relativa do ar, e foram feitos estudos de correlação entre as variáveis em cada hora do dia. O estudo não apresentou conclusões, pois se encontrava em andamento.

Akutsu, Vittorino e Kamaciro (1993) apresentaram um método para determinação dos períodos de verão e inverno através do tratamento estatístico de dados climáticos, usando o “Teste de Tukey” de igualdade de médias. Primeiramente deve-se conhecer os valores médios mensais da temperatura máxima diária e da temperatura mínima diária, em seguida,

faz-se uma análise pela variância (ANAVA) para se determinar se existe pelo menos uma média mensal que seja diferente das demais; se for encontrada evidência de que existe diferença entre elas, é feito a seguir um teste, definido por Tukey[2], a partir do qual é determinada, ao nível de significância definido, a diferença máxima aceitável (DMPX) entre duas médias para que elas possam ser consideradas estatisticamente iguais. Tomando-se então como referência o valor mais alto, busca-se os valores que apresentam diferença menor que DMPX em relação a esta referência (AKUTSU, VITTORINO e KAMACIRO, 1993).

Após a descrição do método, os autores demonstraram sua aplicação à cidade de São Paulo, tomando como base dados climáticos registrados no período entre 1974 e 1989. Em seguida, apresentaram os períodos de inverno e verão para vinte e seis capitais brasileiras, obtidos através deste método, e os resultados foram comparados aos resultados obtidos através do método expedito, mostrando a concordância entre ambos.

Goulart e Lamberts (1995) utilizaram o método da temperatura BIN e o método de graus-dia para análises energéticas em cidades brasileiras a partir de dados climáticos de dez anos consecutivos. O método BIN utiliza as temperaturas agrupadas em intervalos e segundo os autores, estes dados não estavam disponíveis no Brasil no ano em que a pesquisa foi desenvolvida, sendo necessária a geração de dados climáticos apropriados para cálculos relativos à energia.

Segundo os autores, o método de graus-dia é um parâmetro climático que corresponde ao somatório da diferença de temperatura média diária, quando esta estiver abaixo de uma temperatura base pré-estabelecida ( $T_b$ ), ao longo do ano. Graus-hora é um índice que pode ser estimado de maneira similar levando em consideração os valores de temperatura horária em vez de temperatura diária.

O trabalho apresentou dados de temperaturas BIN para as cidades de Florianópolis, Rio de Janeiro e São Paulo e Graus-hora para as cidades de Florianópolis e Rio de Janeiro, que podem ser aplicados para análise do consumo de energia em edificações nestas localidades.

Estes e outros métodos para análise de dados climáticos foram abordados por Goulart, Firmino e Lamberts (1998), tais como: Temperatura de Projeto, Graus-hora, Ano Climático de Referência, Dia típico de projeto e Análise Estatística, com a finalidade de tratar dados climáticos de 14 cidades brasileiras, tendo em vista a carência

de dados tratados especificamente para o projeto de edificações. Será feita em seguida uma abordagem sobre tais métodos segundo os autores.

O método de selecionar uma temperatura de Projeto é indicado pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 1993). É “baseado na suposição de que o nível de frequência de uma temperatura específica em um determinado período de tempo se repetirá no futuro”.

Sendo assim, para o período de inverno, os dados de temperatura de bulbo seco de uma determinada série histórica são classificados em dois níveis de frequência de ocorrência. Estes níveis representam temperaturas que são igualadas ou excedidas por 99% ou 97,5% dos valores correspondentes ao número total de horas (valores mais baixos). Já no período de verão, as temperaturas são classificadas em três níveis de frequência de ocorrência: temperaturas que são igualadas ou excedidas por 1%, 2,5% ou 5% dos valores correspondentes ao número total de horas (valores mais altos) (GOULART, FIRMINO e LAMBERTS, 1998).

Segundo a ASHRAE (1993), as temperaturas de bulbo úmido podem ser consideradas para calcular cargas de ventilação ou quando há a necessidade de resfriamento evaporativo. Se usadas em conjunto, as temperaturas de bulbo seco e as de bulbo úmido correspondentes devem ser usadas na determinação de cargas de refrigeração em edificações (GOULART, FIRMINO e LAMBERTS, 1998).

A determinação de graus-dia ou graus-hora serve para estimar a energia requerida para refrigeração, e foi utilizada por Homero e Silva (2003) para avaliar o desempenho termo-energético de quatro apartamentos da cidade de João Pessoa, Paraíba. Os graus-dias foram calculados com base em duas bases de dados distintas: uma relativa a uma série histórica de dez anos (1985-1994), e outra utilizando o ano de 1992 como o ano climático de referência segundo pesquisas anteriores. O cálculo do

número de graus-dia foi utilizado para investigar a necessidade de resfriamento ou aquecimento ao longo do tempo nos apartamentos analisados.

Goulart, Firmino e Lamberts (1998) também abordam o método do Ano Climático de Referência ou *Test Reference Year* (TRY) descrito por Stamper (1977) para determinar um ano representativo, dentre uma série histórica de dados climáticos. Este ano climático de referência é utilizado em diversos programas de simulação computacional para cálculo de consumo de energia ou para determinação de estratégias bioclimáticas, como é o caso do software Analysis BIO v 2.1.3 (LABEEE, 2007).

O procedimento utilizado para selecionar o ano climático para um local específico é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano, somente. Para isto, os meses são classificados em ordem (...) analisando-se os valores médios mensais de temperatura do ar, anotando-se o mês mais quente e o mês mais frio, o segundo mês mais quente e o segundo mês mais frio e assim por diante, conforme aparecem as maiores e as menores temperaturas médias mensais, respectivamente. Após fecharem os doze meses, repete-se a seqüência dos meses, porém invertendo-se o sentido de análise, ou seja, onde é quente passa a ser frio e vice-versa. Com isso, os anos que apresentarem temperaturas médias mensais extremas (mais altas ou mais baixas) poderão ser eliminados de acordo com o procedimento (GOULART, FIRMINO e LAMBERTS, 1998).

Pietrobon, Lamberts e Pereira (1999) realizaram o tratamento de dados climáticos a partir de preceitos estatísticos, a fim de elaborar uma base de dados da cidade de Maringá-PR que possibilitasse simulações em programas computacionais, tais como o NBSLD (*National Bureau of Standard Load Determination*) e Visual DOE 2.6. Utilizando registros dos horários de 12 h, 18 h e 24 h, do período entre 1983 e 1995, foram calculadas as médias diárias, a partir de médias aritméticas e, em seguida, as médias mensais, com as quais se elaborou a Normal Climatológica para a cidade de Maringá, de acordo com as recomendações da OMM (Organização Mundial de Meteorologia) e o Ano Climático de Referência (TRY). Concluiu-se que a Normal Climatológica mostrou-se menos representativa nos períodos onde a temperatura do ar é mais baixa.

Sabendo que geralmente são registrados dados em três horários ao longo do dia, e que dados horários são importantes para análises climatológicas aplicadas ao projeto de arquitetura, Roriz (1999) desenvolveu um método para a interpolação de dados climáticos, tendo em vista a carência de dados e o difícil acesso aos mesmos no Brasil na ocasião.

Além do modelo teórico que permite razoável aproximação a partir de informações geográficas do local, o autor aplicou o método ao clima do Estado de São Paulo. Primeiramente, foi realizada uma estimativa do relevo do Estado e, em seguida, foram desenvolvidas equações para estimar as temperaturas e umidades a partir da altitude das cidades. Verificou-se que, dentre as 52 localidades paulistas com clima conhecido, apenas aquelas com altitudes acima de 300 metros apresentam uma relação aproximadamente linear entre os valores de Temperatura Média Anual e Altitude. Segundo o autor, a proximidade do mar pode contribuir para a diferenciação do clima em menores altitudes.

Os dados climáticos também podem ser tratados a partir da Estatística Descritiva que consiste em interpretar uma determinada base de dados extraindo dela informações úteis e de fácil leitura (GOULART, FIRMINO e LAMBERTS, 1998). Esta técnica é aplicada a partir dos conceitos de média, mínimas, máximas, mediana, variância, desvio-padrão, dentre outros e foi aplicada pela maioria dos trabalhos apresentados.

Harris e Labaki (2001) desenvolveram uma metodologia de análise de dados climáticos baseada no Método dos Triângulos de Conforto proposto por Evans (2000) aliada à Teoria dos Sistemas Nebulosos<sup>9</sup>. Foram utilizados dados de Temperatura do ar e Amplitude Térmica para definir quatro estados de conforto e estratégias caso a análise

---

<sup>9</sup> A Teoria dos Sistemas Nebulosos (*Fuzzy Systems Theory*) é um conjunto de teorias e métodos capazes de modelar sistemas complexos e subjetivos. Foi fundamentada por Zadeh (1965) a fim de modelar informações qualitativas de natureza vaga, nebulosa ou imprecisa, complementando as deficiências da matemática clássica. (SENA, 2004)

demonstrasse estar fora da área de conforto. A avaliação da metodologia proposta se deu a partir da análise comparativa entre quatro cidades do Estado de São Paulo, com diferentes características climáticas. Observou-se coerência entre os dados, apontando para a confirmação da possibilidade de utilização da Teoria dos Sistemas Nebulosos para modelagem de metodologias de análise climática.

Akutsu *et al* (2001) analisaram dois períodos de dados climáticos da cidade de São Paulo: entre 1982 e 1985 e entre 1990 e 2000. Os dados foram analisados primeiramente a partir das médias mensais de temperatura do ar. Em seguida foram estimados os dias típicos de projeto segundo a metodologia do IPT e as temperaturas de projeto recomendadas pela ASHRAE. O estudo demonstrou a necessidade de constante atualização dos dados climáticos das cidades.

O método das tabelas de Mahoney, segundo Gonçalves *et al* (2003), foi desenvolvido inicialmente em 1969 quando o arquiteto Carl Mahoney foi incorporado a uma equipe de arquitetos cuja função era elaborar diretrizes para o projeto de escolas secundárias na Nigéria. O objetivo de Mahoney com as tabelas era saber como a arquitetura deveria mudar em resposta às variações climáticas da Nigéria, já que “(...) o clima na Nigéria apresenta grande diversidade, variando de quente-úmido no litoral a quente-desértico na porção continental”, e saber em qual região geográfica se aplicam as recomendações desenvolvidas através da análise do clima.

O método desenvolvido por Mahoney tem sido usado desde então, por quase trinta anos, em muitos países e contextos climáticos. Os dados disponíveis em normais climatológicas são anotados em planilhas e comparados com limites de conforto pré-estabelecidos. Esta comparação permite identificar grupos de problemas climáticos dominantes e, para cada grupo, obter recomendações técnicas de projeto. O trabalho foi publicado pela primeira vez em uma monografia (ONU, 1971), em que Mahoney dividiu a autoria com os professores John Martin Evans e Otto Koenigsberger. (...) Com a sua inclusão no "*Manual of Tropical Housing*" (KOENIGSBERGER, 1974), (...) as tabelas ficaram conhecidas e foram publicadas em diversos idiomas (GONÇALVES, *et al*, 2003).

Sena (2004) comparou o Método de Mahoney Tradicional e o Método de Mahoney remodelado por Harris (1999), de acordo com a Teoria dos Sistemas Nebulosos, chamado de Método de Mahoney Nebuloso, aplicando-os a quatro estudos de caso em regiões distintas do Estado de São Paulo: Campos do Jordão, Franca, Iguape e Presidente Prudente. Os resultados obtidos a partir desta comparação permitiram detectar as falhas na aplicação do Método de Mahoney Tradicional e as vantagens na utilização do Método remodelado, além de uma caracterização mais detalhada do clima nas cidades em estudo.

Os estudos de Sena (2004) concluíram que o Método de Mahoney Tradicional não possui flexibilidade para representar situações intermediárias, não sendo capaz de representar, por exemplo, as diferenças em climas de transição, enquanto que o Método remodelado a partir da Teoria dos Sistemas Nebulosos demonstrou maior clareza e riqueza de detalhes ao relatar as características climáticas das cidades analisadas, alcançando resultados mais próximos da realidade.

### **1.7.2 Estado da Arte nas pesquisas envolvendo a aplicação de dados climáticos no projeto de arquitetura**

Na tentativa de suprir as carências existentes em relação à disposição de dados climáticos tratados especificamente para o projeto de arquitetura, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos no Brasil e no mundo. Neste trecho do trabalho pretende-se fazer um breve histórico destes estudos, mostrando os principais avanços na área.

Foram abordadas pesquisas publicadas no fórum de discussão bi-anual do ENCAC, Encontros Nacionais de Conforto no Ambiente Construído (ENCACs), onde são publicados e discutidos trabalhos relacionados à adequação climática dos espaços construídos, bem como dissertações, teses, periódicos nacionais e internacionais. As pesquisas de maior relevância para o presente trabalho estão relacionadas a seguir, em

ordem cronológica: primeiramente as experiências internacionais e, em seguida, aquelas produzidas no Brasil.

Erell, Portnov e Etzion (2003) sugeriram o mapeamento de zonas climáticas em regiões com climas variados para aplicação de técnicas diferenciadas para arquitetura com vistas à eficiência energética. Com base em dados climáticos selecionados, os autores propuseram um mapeamento para a região de Israel que apesar de ser pequena possui um clima bastante variável.

Demirbilek *et al* (2003) analisaram o desempenho térmico de uma pousada do Observatório Nacional em Antalya-Saklikent destinada a receber os pesquisadores, localizada a 2465 m de altitude na Turquia, uma região de clima quente e seco bastante severo e cujos dados climáticos eram indisponíveis em quase sua totalidade. Foram utilizados dados de quatro meses de verão da cidade de Antalya-Saklikent e dados de seis anos da cidade de Van-Baskale, que segundo as análises apresentou condições climáticas mais próximas daquelas observadas em Saklikent. Foram produzidos, a partir destes dados, arquivos climáticos com dados horários de um dia típico de verão e um dia típico de inverno. Os autores avaliaram diversas alternativas de projeto, além do projeto original, no programa computacional *SUNCODE-PC*, obtendo resultados satisfatórios na escolha dos materiais e alternativas a serem adotadas no projeto.

Lam *et al* (2005) analisaram dados climáticos de cinco cidades da China, a partir de bases de períodos entre dez e quarenta e dois anos. As cidades Pequim, Harbin, Kunming, Xangai e Hong Kong foram escolhidas para representar os cinco principais grupos climáticos da China classificados especificamente para adaptação da arquitetura: severamente frio, frio, verão quente com inverno frio, ameno, verão quente com inverno fresco. Foram feitas análises estatísticas e aplicados métodos de gráfico aos dados obtidos e três principais variáveis foram investigadas: temperatura (bulbo seco e bulbo

úmido), radiação solar e condições de vento. Foram determinados os períodos de inverno e verão, baseados na estatística do método de graus-dia, bem como as frequências de ocorrência dos dados. Com base nas análises realizadas os autores propuseram recomendações de projeto de edificações para as cidades.

Engin *et al* (2007) investigaram os efeitos do clima na formação de habitações vernáculas na região de *Eastern Black Sea*, norte da Turquia. As habitações foram avaliadas de acordo com os seguintes aspectos: implantação; estrutura e construção e os materiais utilizados. Além disso, foi analisada a influência dos seguintes elementos climáticos: chuva, umidade, ventos e radiação solar. Os autores concluíram após a investigação, que a chuva abundante e a umidade relativa do ar em torno de 80%, são os principais fatores que determinam as características estruturais das casas, diferenciando-as das demais regiões da Turquia e fazendo com que a arquitetura de lá possa ser tomada como modelo de adaptação ao clima local.

Saavedra (2007) realizou um estudo sobre as condições climáticas nas dez cidades mais importante da Bolívia. A partir dos dados climáticos disponíveis das dez cidades, de um período de quarenta anos, caracterizou o clima de cada uma delas, propondo estratégias para a arquitetura no local.

Sözen e Gedík (2007) avaliaram habitações tradicionais antigas de Diyarbakır na Turquia, em relação a sua adaptação ao clima local. Foram coletados dados climáticos da região tais como temperatura, umidade relativa, precipitação, ventos e radiação. As principais características climáticas de Diyarbakır são as altas temperaturas e a baixa umidade, além disso, a variação térmica diária torna a adaptação da edificação ao clima mais complexa. Os autores concluíram que diversas soluções adotadas nas casas antigas, tais como massa térmica, construções compactas e orientação adequada, se

mostram adequadas às condições climáticas da cidade, enfatizando a importância deste tipo de avaliação no projeto de novas habitações.

Guan, Yang e Bell (2007) investigaram co-relações entre as variáveis climáticas das capitais australianas a partir de uma série histórica de dez anos de cada uma delas. Os dados de todas as capitais foram obtidos na ACADS-BSG, uma companhia de consultoria que fornece dados climáticos da Austrália, Nova Zelândia, Singapura e Hong Kong para pesquisa e prática de simulações de edificações. Foram analisados o TRY, Test Reference Year (Ano Climático de Referência), bem como o Typical Meteorological Year através de metodologias de análise de regressão a fim de investigar a existência de correlação entre as variáveis radiação solar, temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade do ar e vento.

Os autores concluíram que há uma forte relação entre a radiação solar e a temperatura de bulbo seco: quando a radiação solar está em ascensão, a temperatura do ar é alta e quando a radiação solar está decrescendo, a temperatura geralmente também decresce. Foi verificada uma relação estreita também entre a umidade do ar e a temperatura de bulbo seco, sendo que de maneira inversa, quando a umidade é alta, a temperatura é baixa e vice-versa. Poucas associações foram feitas entre a temperatura de bulbo seco e a velocidade do ar, bem como entre a temperatura de bulbo seco e a pressão atmosférica.

De La Flor *et al* (2008) criaram uma metodologia para zoneamento climático de localidades não incluídas nas regulamentações da EPBD (*Energy Performance of Buildings*). A metodologia apresentada consiste basicamente em obtenção de registros climáticos, geração de arquivos climáticos através do programa computacional METEONORM e em seguida, a definição das zonas climáticas. Para as cidades cujos

dados climáticos são incompletos os autores sugerem uma interpolação baseada em dados geográficos tais como altitude e latitude entre essas localidades e localidades próximas cujos dados sejam acessíveis. Por fim, a metodologia é aplicada à cidade de Andaluzia, na Espanha, como forma de validação do método proposto.

No Brasil, Gonçalves *et al* (2003) realizaram um estudo para zoneamento bioclimático do Estado de Minas Gerais com base nas tabelas de Mahoney. Neste estudo, foram utilizados dados climatológicos mensais de temperatura média, das máximas e das mínimas, umidade relativa média do ar e pluviosidade, referentes a 79 cidades do Estado, disponíveis nas Normais climatológicas. A partir destes dados, foram classificadas cinco Zonas climáticas distintas e para cada uma delas, foram obtidas recomendações para o projeto de edificações.

Em 2005 foi aprovada a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, direcionada ao projeto de Habitações de Interesse Social no Brasil. A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) analisa 330 cidades brasileiras e define o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, dividindo o país em oito zonas climáticas distintas e formulando diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social em cada uma delas.

Desde então, diversas pesquisas foram desenvolvidas, a fim de discutir a classificação da Norma nas diversas regiões do Brasil, contestando ou complementando as recomendações para construção de habitações em cada Zona Bioclimática classificada.

Pereira e Assis (2005) discutiram a classificação bioclimática de Belo Horizonte proposta pela Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Foram considerados dados de 1986 a 2000 da cidade, cujo Ano Climático de Referência encontrado foi o de 1995. O Ano Climático foi classificado como Aw (tropical úmido e seco ou savana com temperaturas

médias mensais superiores a 18°C, com estação seca extensa no período de inverno) segundo a Classificação Climática de Köppen, distinguindo-se do tipo climático da cidade devido aos efeitos de aquecimento urbano.

Bastos, Barroso-Krause e Beck (2007) analisaram a Norma Brasileira NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) quanto ao potencial da ventilação natural no Brasil. Segundo os autores, a Norma não considera este potencial na divisão das Zonas Bioclimáticas podendo ocorrer uma discordância entre as estratégias bioclimáticas recomendadas e a disponibilidade local de ventos. Os autores apresentaram ainda um mapa de distribuição regional de ventos e superposições deste com o zoneamento proposto pela Norma e concluem que a mesma não considera as diferenças regionais em termos de ventilação.

Os autores realizaram uma classificação bioclimática diversa da proposta pela Norma de Desempenho Térmico NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e sugeriram que a divergência nos resultados deriva da extrapolação do diagrama de Givoni para todo o território nacional (mesmo que adaptado), quando é sabido que os limites de conforto adotado pelo diagrama não são adequados aos climas quentes e úmidos.

Westphal e Lamberts (2005) utilizaram dados das Normais Climatológicas de três cidades brasileiras para desenvolver uma análise sobre a aplicação de dados climáticos ao programa de simulação energética de edificações, *Energy Plus*<sup>10</sup>. O trabalho utilizou os dados das Normais Climatológicas de 1961 a 1990 e comparou às simulações feitas com arquivos (TRY) *Test Reference Year* – Ano Climático de Referência. Os resultados mostraram a validade na utilização de dados climatológicos simplificados como os dados mensais das Normais, no programa computacional.

---

<sup>10</sup> Programa Computacional que simula aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia e água em edificações. Fonte: US DEPARTMENT OF ENERGY, 2008. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

Prata e Frota (2007) realizaram a caracterização das condições de ventilação da cidade de Santos, Estado de São Paulo. Foram analisados dados de vento de um ano obtido em Estação Meteorológica e a partir das análises foram realizados ensaios com modelos reduzidos posicionando-os de acordo com as direções de vento encontradas. A partir dos ensaios realizados foi possível verificar possíveis estratégias para o aproveitamento dos ventos em edificações na área de estudo.

Sousa *et al* (2007) realizaram uma análise comparativa entre estudos anteriores acerca do clima da cidade de Brasília e propuseram um quadro para compreensão ou aplicação dos dados climáticos da região facilitando a adoção de estratégias bioclimática ao projeto arquitetônico.

Enfim, na tentativa de levantar os principais estudos realizados envolvendo a aplicação de dados climáticos no projeto de arquitetura pode-se concluir que as experiências internacionais, em geral, são mais bem sucedidas devido aos avanços na disponibilidade de dados climáticos e fácil acesso aos mesmos.

Constata-se que ainda é um desafio trabalhar com dados climáticos no Brasil visto que não há fácil acesso aos mesmos. Frequentemente os pesquisadores precisam realizar grandes esforços na busca por metodologias que possibilitem o trabalho com dados climáticos simplificados ou métodos de interpolação de dados.

Além disso, ainda são poucos os estudos que buscam tratar dados climáticos com vistas à utilização no projeto de arquitetura, como também o são, aqueles que visam detalhar regiões climáticas a fim de encontrar estratégias bioclimáticas mais específicas para cada lugar, de acordo com suas características climáticas.

## 2 Metodologia

A palavra método possui origem grega e significa caminho no seu sentido etimológico. Na linguagem técnica atual a palavra método pode ser utilizada para descrever um conjunto de ações que conduzirão a um determinado conhecimento (VIEGAS, 2007). Nesta seção será descrita a metodologia e os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa a fim de atingir os objetivos propostos apresentados em capítulo anterior.

A metodologia adotada fundamenta-se em uma pesquisa aplicada<sup>11</sup> e descritiva<sup>12</sup>, que busca estabelecer relações entre as variáveis clima e arquitetura, no contexto da arquitetura habitacional de cidades alagoanas.

Através das técnicas metodológicas de levantamento e tratamento de dados obtidos em estações meteorológicas das cidades em estudo, bem como análises comparativas entre as características climáticas das cidades estudadas, pretende-se discutir parâmetros construtivos para arquitetura habitacional adequados ao clima de localidades em Alagoas.

Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento do trabalho foram: escolha das cidades; pesquisa de campo; tratamento e análise de dados meteorológicos e discussão das recomendações de projeto. Tais procedimentos serão descritos nos sub-capítulos a seguir.

### 2.1 Escolha das cidades

De acordo com a intensidade e a distribuição da precipitação em Alagoas, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divide o Estado em três

---

<sup>11</sup> Pesquisa que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais (SILVA; MENEZES, 2001).

<sup>12</sup> Pesquisa que visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de Levantamento (GIL, 1991).

Mesorregiões Geográficas distintas sendo elas: Sertão, Agreste e Leste Alagoanos. Portanto, o primeiro critério estabelecido para a escolha das cidades a serem analisadas foi que cada cidade deveria ser localizada em mesorregiões geográficas diferentes, a fim de perceber as possíveis diferenças mesoclimáticas (OKE, 1996) existentes entre elas.

Além disto, levou-se em consideração a existência de estações meteorológicas (automáticas ou convencionais), cujos dados pudessem ser acessados a fim de viabilizar o estudo do clima das mesmas.

Seguindo tais critérios, as cidades escolhidas foram: Pão de Açúcar no Sertão alagoano; Palmeira dos Índios no Agreste e Maceió, no Leste do Estado, conforme mostra a Figura 20 a seguir.



Figura 20: Localização das cidades escolhidas para estudo em cada Mesorregião Geográfica.

## 2.2 Pesquisa de campo (coleta de dados)

Foi realizada uma pesquisa de campo, com visitas in loco às cidades escolhidas, para observações apoiadas na base cartográfica de cada cidade, acerca dos aspectos relacionados à arquitetura do lugar.

Foram observados os seguintes aspectos: características da arquitetura habitacional local, reconhecimento de suas tipologias arquitetônicas, presença ou ausência de estratégias para adequação ao clima.

A partir destas observações, foram verificadas as tipologias arquitetônicas habitacionais mais frequentes dentro do contexto do repertório arquitetônico local e coletados dados como documentos, plantas e levantamentos frente aos órgãos públicos de cada cidade, quando possível. Os resultados serão apresentados em capítulo posterior.

### 2.3 Tratamento e análise de dados meteorológicos

A partir da escolha das cidades, foram solicitados junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dados meteorológicos de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos e precipitação, desde 1997 até o ano de 2007 (10 anos), a fim de caracterizar o perfil climático de cada uma delas.

Entretanto, a obtenção da totalidade desses dados não foi possível. Isto porque as Estações Automáticas, que registram dados automaticamente, ou seja, de hora em hora, só foram implantadas em Maceió em Janeiro de 2005, ficando desativada por problemas técnicos em Dezembro de 2006, restando apenas os dados das estações convencionais registrados em três horários diferentes durante o dia, cujos registros obtidos vão de Janeiro de 1997 a Fevereiro de 2007, para a cidade de Maceió. Nas outras cidades, as Estações Automáticas somente foram implantadas em Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar em Julho de 2007, conforme mostra o Quadro 7.

Cidade	Estações automáticas	Estações convencionais
Palmeira dos Índios	Julho/07 – Março/08	Janeiro/97 – Março/08
Pão de Açúcar	Julho/07 – Março/08	Janeiro/97 – Março/08
Maceió	Janeiro/05 – Dezembro/06	Janeiro/97 – Fevereiro/07

Quadro 7: Período de registro de dados climáticos das cidades de Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e Maceió, disponibilizados pelo INMET.

- **Tratamento Estatístico:**

A partir do estudo observacional desta série histórica de dados meteorológicos, foi utilizada a Estatística Descritiva<sup>13</sup> para o tratamento e análise dos dados coletados, sintetizando-os e organizando-os de maneira a contribuir na elaboração de futuros projetos arquitetônicos com vistas à adequação ao clima local.

Inicialmente foram tratados os dados obtidos das estações convencionais, já que estes possuíam registros de um período mais longo. Foram utilizados, portanto, dados meteorológicos de 1997 a 2006 para Maceió e de 1997 a 2007 para as cidades de Pão de Açúcar e Palmeira dos Índios. Os dados foram separados por anos e em seguida por meses em planilhas diferenciadas no programa computacional Excel<sup>®</sup>. Realizou-se uma análise estatística, calculando-se as médias, medianas, máximas e mínimas, além dos totais de precipitação de cada horário. Foi verificada a ausência de dados em determinados períodos da série, nas três cidades.

Os dados de temperatura do ar dos três horários registrados por estas estações (09:00h, 15:00h e 21:00h) foram analisados. Foi calculada a temperatura média compensada ( $T_{mc}$ ) a partir da equação (BRASIL, 1992):

$$T_{mc} = \frac{t_9 + (2 \times t_{21}) + t_{máx} + t_{mín}}{5}$$

Onde,  $t_9$  = Temperatura do ar às 9 horas (°C);  $t_{21}$  = Temperatura do ar às 21 horas (°C);  $t_{máx}$  = temperatura máxima do ar (°C) e  $t_{mín}$  = temperatura mínima do ar (°C).

Foi verificado, entretanto, que a temperatura média compensada, calculada segundo as Normais Climatológicas (Brasil, 1992), leva em consideração além das

---

<sup>13</sup> Técnicas para descrever e resumir dados a fim de possibilitar conclusões a partir das características de interesse.

temperaturas máxima e mínima, a temperatura às 9 e às 21 horas, o que pode ter ocasionado um resfriamento das temperaturas médias consideradas para determinar o Ano Climático de Referência. Por isto, as médias utilizadas para a análise estatística (Gráficos 1, 2 e 3) foram calculadas com base nos dados registrados.

Partindo dos dados de máxima temperatura absoluta, média máxima, média compensada, média mínima e mínima absoluta, foram interpolados os dados em planilha (ASSIS, 2001) a fim de obter dados horários mensais de temperatura para todos os anos nas três cidades.

Foram calculadas as médias mensais e anuais de temperatura e umidade relativa do ar, elaborados gráficos de frequência de ocorrência dos dados.

Com base nas temperaturas médias mensais registradas, foi calculada a temperatura neutra para cada mês em cada cidade, segundo a equação de Auliciems (1982). Com base na curva formada pelas temperaturas neutras mensais foi considerado um intervalo de neutralidade térmica, considerando  $2,5^{\circ}\text{C}$  acima e  $2,5^{\circ}\text{C}$  abaixo da curva da temperatura neutra. Este intervalo foi incluído nos gráficos de temperatura, a fim de perceber a inserção dos valores de temperatura do ar nas cidades, em situação de conforto térmico.

- **Análise a partir do Ano Climático de Referência (TRY):**

Através da análise feita a partir da Estatística Descritiva foi utilizada a metodologia TRY (Test Reference Year – Ano Climático de Referência) para determinar, a partir das séries históricas disponíveis, um ano climático representativo para cada localidade, segundo a metodologia descrita por Goulart, Firmino e Lamberts (1998), na página 49.

Foram assim, elaborados quadros com as médias mensais de cada ano, conforme são apresentados a seguir:

PALMEIRA DOS ÍNDIOS												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>1997</b>	26,9	25,5	25,5	24,6	23,3	22,8	21,8	22,0	24,1	26,7	26,9	27,0
<b>1998</b>	26,5	28,1	28,4	27,0	24,4	22,9	22,4	22,2	23,0	25,0	27,3	27,1
<b>1999</b>	27,1	26,0	26,8	26,0	24,1	23,2	22,1	21,7	22,8	23,1	26,1	26,8
<b>2002</b>	25,0	25,0	25,7	25,3	24,2	22,6	22,8	22,6	24,0	24,9	26,3	27,0
<b>2003</b>	28,0	26,8	27,0	26,5	25,3	22,8	22,5	23,1	24,0	24,9	26,3	27,0
<b>2004</b>	26,2	25,6	26,4	26,0	25,1	22,9	22,6	22,7	23,4	25,2	26,8	27,0
<b>2005</b>	28,1	27,8	28,4	26,5	25,0	23,3	22,7	22,5	24,0	25,8	27,3	26,5
<b>2006</b>	26,5	28,5	28,5	27,0	24,8	23,2	22,7	23,0	24,1	26,2	27,2	27,4
<b>2007</b>	28,0	27,5	25,5	25,5	24,5	23,4	22,6	22,3	22,9	24,6	26,4	26,6

PÃO DE AÇÚCAR												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>1997</b>	29,7	28,8	28,8	26,8	25,8	25,3	23,9	24,2	26,6	28,8	29,7	30,1
<b>1998</b>	30,6	31,1	31,4	30,3	28,3	25,5	25,4	25,1	26,6	28,3	30,7	30,2
<b>1999</b>	30,2	29,9	30,6	29,4	26	24,9	23,9	24,4	26,6	27,8	27,8	29
<b>2002</b>	27,6	28	29	28,5	27,1	25,2	25,3	25,2	27	28,1	29,7	29,9
<b>2003</b>	30,9	29,9	30	29,8	28,5	25,9	25,2	25,9	27,1	28	28,8	29,9
<b>2004</b>	29,1	29,1	29,4	29,5	28,2	25,2	25,1	25,1	26	28,4	29,6	29,7
<b>2005</b>	30,3	30	30,4	28,5	26,7	25,4	24,3	24,2	26,1	28	29,6	29
<b>2006</b>	29	30,8	28,8	29,2	26,5	25	24,2	24,9	26,1	27,9	29,2	29,9
<b>2007</b>		29,8	27,8	28,1	26,3	25,1	24,6	24,4	25,4	27,2	29,1	29,2

MACEIÓ												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>1997</b>	26,6	25,9	26,2	25,7	24,7	24,4	22,9	23,4	24,9	25,9	26,2	26,4
<b>1998</b>	27,0	26,9	27,3	26,9	26,0	25,1	24,2	24,0	24,4	25,0	26,0	26,4
<b>1999</b>	26,4	26,2	26,4	26,6	25,3	24,6	23,6	23,6	23,5	24,0	25,3	25,1
<b>2000</b>	25,3	25,3	25,5	25,1	24,5	23,2	23,2	23,4	23,5	24,2	25,4	24,8
<b>2001</b>	25,4	25,7	26,1	24,6	24,9	23,2	22,8	23,4	24,1	24,6	24,8	24,4
<b>2002</b>	24,0	25,1	24,7	24,6	23,7	22,7	22,4	22,3	23,2	23,7	24,2	24,9
<b>2003</b>	26,1	25,3	26,6	26,4	25,3	23,5	23,0	23,1	23,3	24,0	25,3	25,2
<b>2004</b>	24,6	24,9	25,2	24,8	24,2	23,1	22,8	23,1	23,1	24,3	25,3	25,3
<b>2005</b>	25,6	26,1	26,5	25,9	24,7	23,3	23,0	22,8	23,9	25,6	26,4	25,6
<b>2006</b>	25,7	27,0	27,3	26,5	25,1	24,2	23,6	23,7	24,2	25,1	25,7	25,5

Quadro 8: Médias de temperatura do ar mensais por ano em cada cidade analisada. Quadro organizado a fim de determinar um Ano Climático de Referência para cada cidade.

Os anos 2000 e 2001 de Pão de Açúcar e Palmeira dos Índios apresentaram dados incompletos, assim como o ano de 2007 para a cidade de Maceió e, portanto, não puderam ser incluídos na análise. Assim, foram excluídos os anos com valores extremos de temperatura, até restar apenas um ano representativo para cada cidade sendo eles: 2002 para e 2000 para Maceió.

Entretanto, tanto em 2000, quanto em 2002, não havia ainda no Estado estações meteorológicas automáticas. Devido à carência desses dados, foram analisados apenas os dados das estações convencionais existentes na época, que registram em três horários durante o cada dia. Foram excluídas ainda as células inválidas, preenchidas como “NULL”, onde não houve o registro de dados, totalizando assim, 544 horas para a cidade de Maceió, 1050 horas para Pão de Açúcar e 994 horas para Palmeira dos Índios.

- **Análise a partir do Dia Típico de Projeto:**

Foram calculados os dia típicos de verão e de inverno de cada cidade, segundo metodologia de Sattler (1989) descrita por Goulart (1993). Segundo Akutsu (1998), é recomendável que se use, para a determinação dos dias típicos de projeto, um período de 10 a 15 anos de dados registrados. Entretanto, não havendo nas cidades analisadas este período de dados horários registrados, foram utilizados os dados das estações automáticas de um ano. Para Maceió, como a estação parou de funcionar em 2006 tendo retornado apenas no final do ano passado, foi analisado o ano de 2005. No caso de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, como só se tem registros a partir de julho de 2007, foi analisado o ano de 2008.

Conforme descrito em capítulo anterior, as médias diárias de temperatura do ar do período de um ano em cada cidade foram classificadas em ordem crescente e a partir daí foram definidos os períodos de verão e inverno, sendo cada período equivalente a 15% dos dados. Assim, tendo um ano 365 dias o período de verão correspondeu aos 54 dias cujos valores de temperatura média foram mais altos e o período de inverno aos 54 dias cujos valores de temperatura média foram mais baixos durante o ano analisado para cada cidade.

Em seguida foram definidos os dias típicos de cada período, de acordo com os níveis recomendados na metodologia de Sattler (1989): 1%, 2,5%, 5% e 10%. Para cada nível devem ser selecionados os dias cujas temperaturas se encontravam imediatamente abaixo ou acima do dia de referência, dentro de um intervalo de 1% do número de dias do conjunto, para cálculo da média. Como neste caso 1% de 54 dados é igual a 0,54, foi considerado o próprio dia de referência como sendo o dia típico. De cada dia típico foram apresentados os dados horários de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos.

## 2.4 Recomendações de projeto

Após análise dos dados obtidos nos procedimentos anteriores, foram discutidas as possíveis estratégias de projeto arquitetônico para habitações, de modo a contribuir para um melhor desempenho térmico e conseqüentemente proporcionar conforto térmico aos moradores usuários e eficiência energética.

As recomendações de projeto foram discutidas com base em duas etapas: análise e discussão das estratégias bioclimáticas através do programa *Analysis Bio* (LABEEE, 2007) e das diretrizes propostas por GIVONI (1994), e análise de parâmetros de conforto térmico que serão detalhadas a seguir.

- **Análise das Estratégias Bioclimáticas através do programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) e dos parâmetros de Givoni (1992):**

O programa **Analysis Bio** (LABEEE, 2007) permite obter as estratégias de projeto adequadas para melhor adaptar a edificação ao clima local, através da avaliação de dados climáticos inseridos sobre uma Carta Bioclimática (GIVONI, 1992). O procedimento consiste basicamente em inserir os dados de temperatura e umidade de um ano típico sobre a carta com a finalidade de visualizar a distribuição desses dados

climáticos nas diferentes zonas da Carta, calculando a porcentagem de horas do ano em que cada estratégia bioclimática é mais apropriada. O programa é baseado na Carta Bioclimática proposta por Givoni (1992), para países em desenvolvimento, porém combinando com o método de Watson e Labs, (1983), que usa os dados climáticos das 8760 horas de um ano típico, o TRY (LABEEE, 2007).

Sendo assim, os anos climáticos de referências (TRY) foram inseridos na carta bioclimática de Givoni (1992) a fim de perceber as recomendações de projeto para cada cidade analisada. Foram inseridos nas cartas bioclimáticas dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar dos horários: 09:00, 12:00 e 15:00h dos anos selecionados na metodologia (TRY), totalizando assim, 544 horas para a cidade de Maceió, 1050 horas para a cidade de Pão de Açúcar e 994 horas para Palmeira dos Índios.

A fim de analisar o potencial de uso das estratégias de condicionamento passivo nas cidades alagoanas em estudo, recomendadas através do programa **Analysis Bio** (LABEEE, 2007), os dados horários de temperatura e umidade foram avaliados a partir dos limites de aplicação de cada estratégia sugeridos por Givoni (1992), conforme Quadro 9 a seguir. Este procedimento foi realizado por Batista (2006).

Estratégia	Condicionantes para aplicação
	Pré-requisitos (variáveis ambientais)
Ventilação diurna	Text < Tint Text < 32°C
Ventilação noturna + Massa Térmica para resfriamento	Text < Tint Text dia < 36°C Text noite < 20°C
Resfriamento Evaporativo	TBS max ext < 44°C TBU max ext < 24°C

Quadro 9: critérios para avaliação do uso de estratégias de condicionamento térmico passivo segundo GIVONI, 1992. Fonte: adaptado de Batista (2006) *apud* Givoni (1992).

Os resultados da análise do Ano Climático de Referência no programa *Analysis Bio* (LABEEE, 2007) mostraram que cerca de 70% das estratégias recomendadas para as cidades são destinadas a amenizar o desconforto por calor. Por isso, para análise dos critérios de uso das estratégias foram utilizados dados horários disponíveis dentro do período mais quente nas cidades (dezembro, janeiro, fevereiro e março).

- **Análise de parâmetros de conforto térmico ARAÚJO, V (1996); ARAÚJO, M (2008):**

Em seguida, foi feita uma análise segundo limites de conforto para regiões de clima quente e úmido propostos por ARAÚJO, V (1996) e ARAÚJO, M (2008). Para isto, os limites propostos pelas autoras foram desenhados em programa computacional de edição gráfica sobre a Carta Bioclimática (GIVONI, 1992) anteriormente gerada pelo *Analysis Bio* (LABEEE, 2007), uma vez que tais indicadores mostraram-se mais próximos da realidade climática da região em estudo.

## **2.5 Discussão acerca do Zoneamento Climático feito pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005)**

Por fim, fez-se a análise da adequação da classificação climática das cidades em estudo feita pela Norma Brasileira 15220-3 (ABNT, 2005) comparativamente aos dados meteorológicos obtidos e analisados neste trabalho.

### 3 Contexto Climático

#### 3.1 A climatologia da região Nordeste

A região Nordeste do Brasil está posicionada geograficamente entre as latitudes 1° e 18° Sul e entre as longitudes 35° e 47° Oeste (Figura 21), com extensão de aproximadamente 1.540.827 km<sup>2</sup> (NIMER, 1989). É composta pelos Estados de Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia.



Figura 21: Localização da região Nordeste no Brasil.

Devido à sua extensão territorial, relevo diversificado, constituído por planícies, vales baixos e picos de até aproximadamente 1.200m, e principalmente, por sua posição geográfica em relação aos diversos sistemas de correntes atmosféricas perturbadas, entre outros fatores, a climatologia da região Nordeste caracteriza-se como bastante diversificada. Essa diversidade se reflete conseqüentemente, na variedade de índices pluviométricos, incomparável com outras regiões do Brasil (NIMER, 1989).

Segundo Nimer (1989), o Nordeste brasileiro é submetido à forte radiação solar devido ao seu posicionamento geográfico em relação ao Sol, sendo a quantidade de calor absorvida pelos níveis inferiores da atmosfera na região de 0,39 cal/cm<sup>2</sup>/min (ondas curtas) e 0,3 cal/cm<sup>2</sup>/min (ondas longas). Índices altos quando comparados, por

exemplo, aos de regiões situadas entre as latitudes 60° e 90°, em média, cujos valores estão entre 0,13 cal/cm<sup>2</sup>/min e 0,3 cal/cm<sup>2</sup>/min.

Nimer (1989, p. 321) afirma que quase todas as regiões próximas ao equador geográfico possuem médias térmicas anuais entre 26°C a 28°C. Entretanto, os ventos alísios proporcionam ao litoral oriental temperaturas mais baixas, variando de 26° a 24°C, e até menos nos Estados de Pernambuco e Alagoas. Isso ocorre também no interior da região, nas superfícies elevadas (sedimentar e cristalina), onde o fator altitude ocasiona índices mais amenos de temperatura. Além disso, a posição geográfica da região determina a baixa variabilidade das médias de temperatura anuais da região. Segundo o autor a amplitude média varia de 5°C a menos de 2°C, do sul da Bahia ao litoral norte.

Segundo Molion e Bernardo (2002), a variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o Nordeste Brasileiro, tanto nas escalas espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico. É desta variabilidade na distribuição das chuvas no Nordeste que decorrem suas principais diferenciações climáticas (Figura 22).

Levando-se em conta o regime de umidade ou, mais especificamente, a existência ou inexistência de seca, e o regime de duração dos períodos secos, fica evidente o reconhecimento de uma variedade climática sem igual em outra região brasileira. Tendo em vista estes aspectos ligados ao regime de chuvas, encontramos o Nordeste Brasileiro desde o clima superúmido, sem sequer um mês seco até o clima quase desértico com onze meses secos (...) (NIMER, 1989)

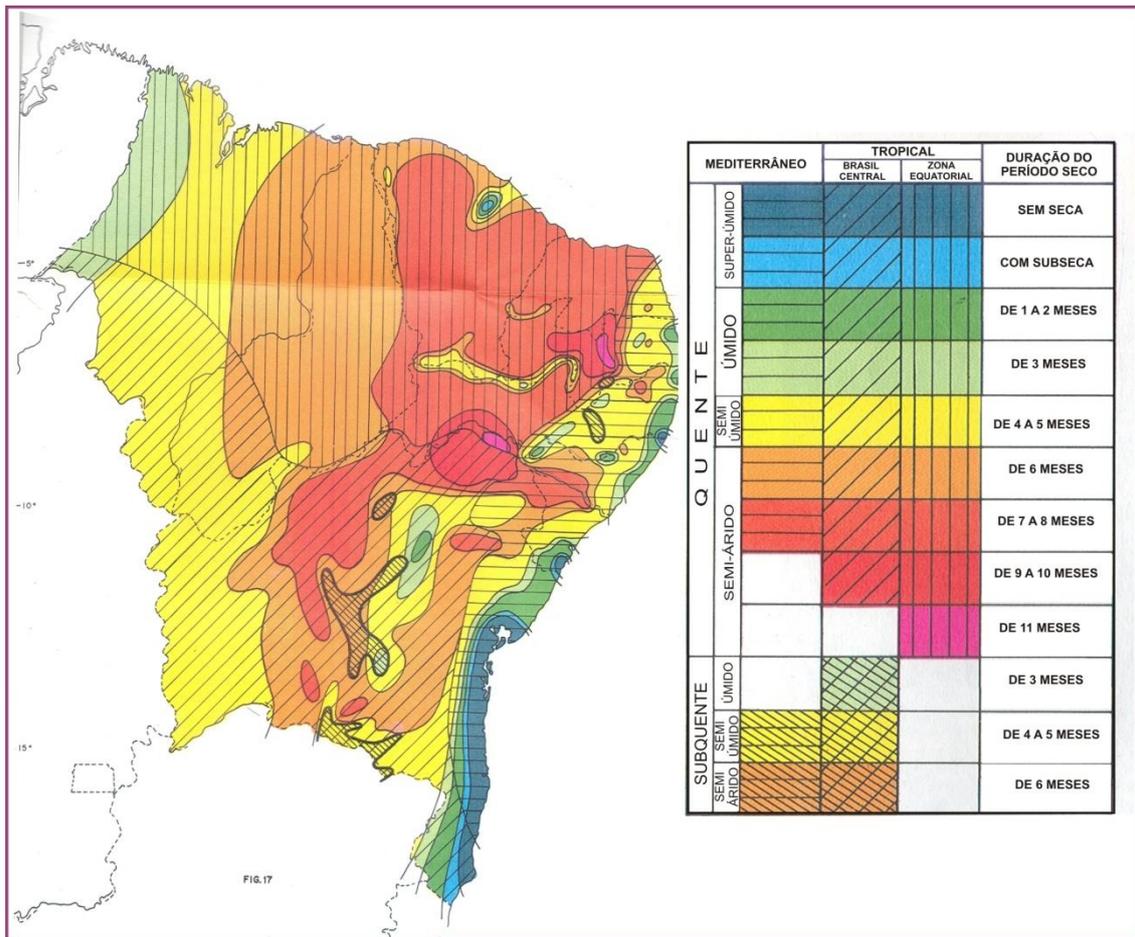


Figura 22: Mapa de diferenciações climáticas da região Nordeste. Fonte: NIMER, 1989.

### 3.2 O clima do Estado de Alagoas

Segundo dados do IBGE, o Estado de Alagoas, localizado no Nordeste brasileiro ocupa uma área de 27.767, 661 km<sup>2</sup> e está limitado a Norte pelo Estado de Pernambuco, a Leste pelo Oceano Atlântico, a Sul pelo Estado de Sergipe e a Noroeste pelo Estado da Bahia. Está situado entre as latitudes 8°48'52'' e 10°30'28'' Sul e longitudes 35°09'09'' e 38°14'15'' Oeste (Figura 23), e divide-se político-administrativamente em 102 municípios.



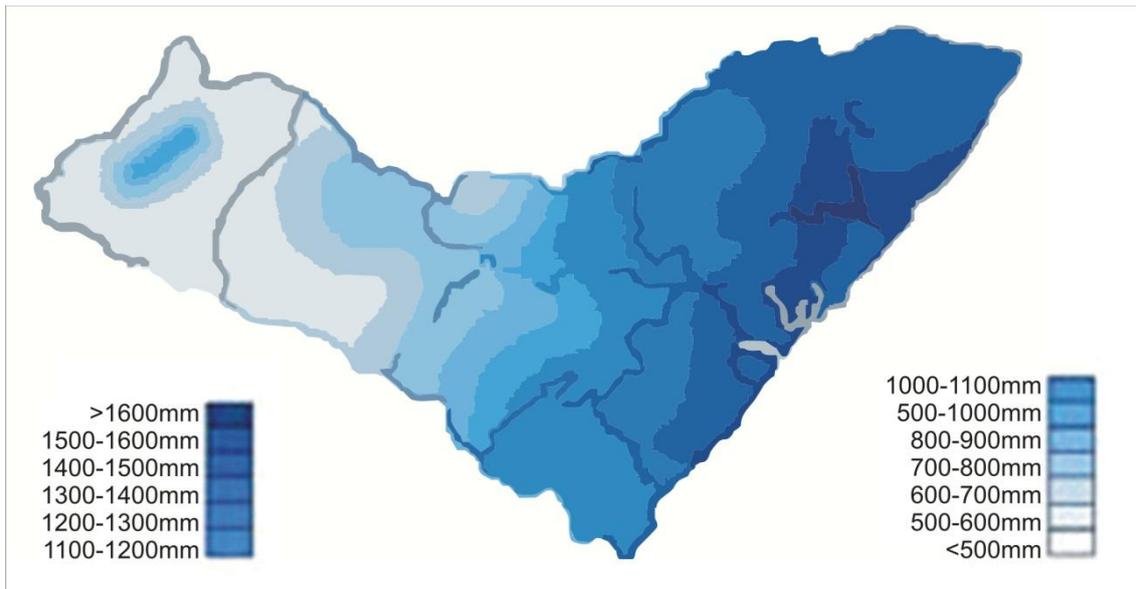


Figura 24: Distribuição espacial da precipitação média anual no Estado de Alagoas. Fonte: adaptado de FIGUEIREDO *et al*, 2002.

O clima de Alagoas pode ser classificado de acordo com Köppen em quatro tipos de climas diferentes: As' – clima tropical chuvoso com verão seco, e chuvas concentradas no outono e inverno, precipitação média anual variando em torno de 1000 mm, sendo a estação chuvosa no período de abril a julho e a estação seca ocorre nos meses de setembro a dezembro e a ocorrência de precipitações no decorrer de todo o ano, com precipitações máximas no Leste; Ams' – tropical chuvoso de monção com verão seco e precipitações mínimas no Agreste do Estado; BSs'h' e BSsh'- climas com precipitação sazonal muito abaixo da média anual, no Sertão. (GOIS *et al*, 2005) (Figura 25).

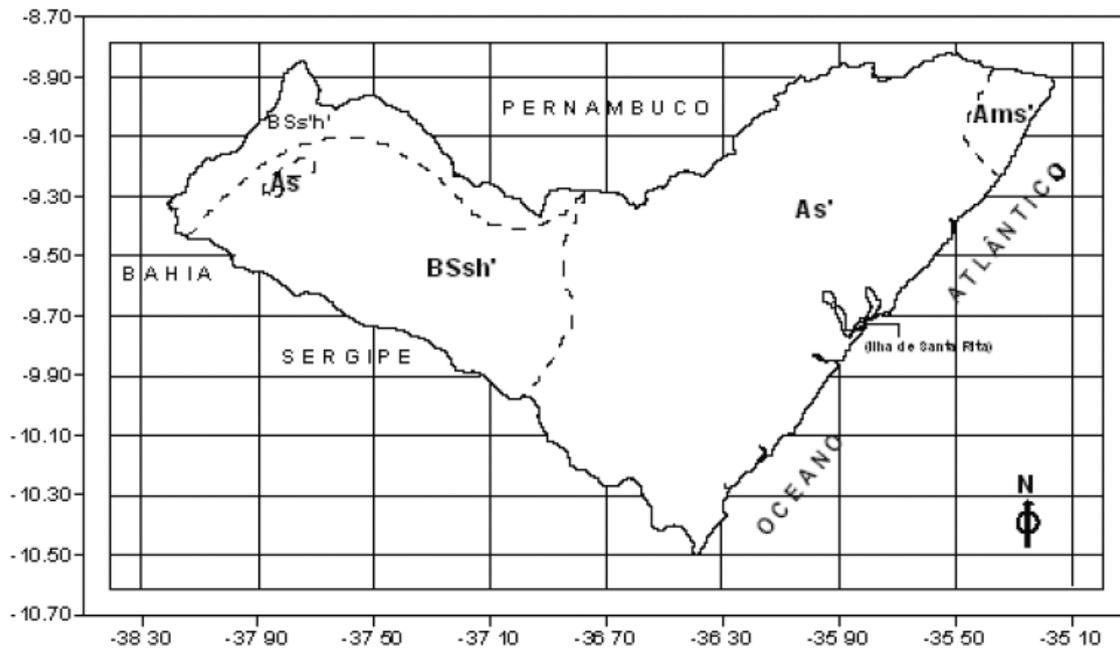


Figura 25: Classificação Climática do Estado de Alagoas segundo Köppen. Fonte: GOIS *et al*, 2005.

Gois *et al* (2005) investigaram a existência de cidades suscetíveis a desertificação no Estado de Alagoas através de índices de temperatura, precipitação e aridez. Segundo os autores, existem nove localidades que podem ser consideradas como suscetíveis a desertificação, Piranhas, Delmiro Gouveia, Olho D'Água do Casado, Pão de Açúcar, Santana do Ipanema, Poço das Trincheiras, Olho D'Água das Flores, Major Isidoro e Canapí. Sendo, Pão de Açúcar, Canapí e Piranhas validadas através do Balanço Hídrico Climatológico por apresentarem os mais altos valores de índice de aridez.

### 3.3 As cidades em estudo

Neste tópico são apresentadas características climáticas gerais das cidades obtidas através de referencial teórico existente. Em capítulo posterior será realizada a caracterização climática de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar com base nos dados meteorológicos fornecidos pelo INMET e analisados neste trabalho.

### 3.3.1 Pão de Açúcar

O município de Pão de Açúcar, localizado na mesorregião do Sertão Alagoano, possui área de 659 km<sup>2</sup> e apresenta durante todo o ano temperaturas médias mensais superiores a 22°C. As médias máximas ficam em torno de 35°C e as mínimas aproximam-se de 21°C. O clima é semiárido, com deficiência hídrica e precipitação média anual é de 700 mm (IBGE, 2005).

Mesmo apresentando as médias apresentadas, as temperaturas médias máximas podem alcançar 35° em dias típicos de verão, enquanto que a média mínima encontra-se em torno de 21° no período noturno. Esta amplitude térmica diária caracteriza o clima semi-árido.

É drenado por sub-bacias de rios com regimes temporários e afluentes do Rio São Francisco. Por estar situado à margem do Rio São Francisco, em seu território tem início a captação de água para a Adutora de Pão de Açúcar. No município, a altitude varia de 112 a 555 metros.

### 3.3.2 Palmeira dos Índios

Situado no Agreste Alagoano, o município de Palmeira dos Índios possui área aproximada de 461 km<sup>2</sup>, altitude aproximada de 342 m e coordenadas geográficas de 9°24' de latitude sul e 36°37' de longitude oeste. Com um clima quente sub-úmido seco (IBGE, 2005), apresenta temperaturas médias durante o ano que variam de 21,6°C em agosto, mês mais frio, a 26,3°C em janeiro, mês mais quente. A média das máximas varia de 25,8°C a 33,6°C e das mínimas varia de 18,5°C a 21,8°C (IBGE, 2005).

A precipitação oscila entre 900 e 1000 mm, concentrada nos meses de maio a agosto, com grande deficiência hídrica no verão e pequeno excesso no inverno. As principais bacias hidrográficas que drenam o município são as dos rios Coruripe e

Paraíba do Meio. A topografia é bastante acidentada ao norte, com altitudes aproximadamente entre 700 e 600 metros (IBGE, 2005).

### 3.3.3 Maceió

Maceió é a capital de Alagoas, localizada na mesorregião Leste do Estado, na latitude 9°40' ao Sul do equador e longitude 35°42' Oeste. Possui clima caracterizado como quente e úmido com radiação solar intensa, apresentando pequenas variações de temperatura diárias, sazonais e anuais. Possui temperatura média anual de 24,8°C e variação anual de 2,8°C entre os valores médios mensais de temperaturas médias. Apesar das médias razoáveis de temperatura, a cidade pode apresentar valores de temperatura absoluta em torno dos 38°C nos meses mais quentes (BRASIL, 1992).

De acordo com as Normais climatológicas do INMET (BRASIL, 1992), Maceió apresenta basicamente duas estações: uma caracterizada por altas temperaturas e pouca pluviosidade com ocorrência de chuvas passageiras (outubro a janeiro), e outra bastante chuvosa, que consiste em um período de intensa pluviosidade e temperaturas mais baixas em relação à estação anterior (abril a julho).

Por ser uma cidade litorânea e estar sob a influência de massas d'água existentes, apresenta taxas de umidade relativa do ar, com média de 78,3%. A média pluviométrica anual da cidade é de 2.167,70mm, entretanto, possui grande variação anual quanto à distribuição de chuvas (BRASIL, 1992).

## **4 Resultados e Discussão**

Neste capítulo, estão relacionadas as discussões e análises dos resultados obtidos em cada etapa metodológica da pesquisa.

### **4.1 Caracterização da arquitetura habitacional**

Segundo Martínez (2000) o termo “tipologia” é utilizado, em arquitetura, para designar a forma-base de edificações, ou seja, a estrutura interna da forma, o princípio que implica em si, a possibilidade de infinitos modelos de produto final.

A utilização deste termo é antiga, pois segundo Pereira (2005), a partir do século XVIII, tornaram-se bastante comuns os levantamentos de monumentos históricos, agrupando-os por tipologias, que tanto podiam ser ditadas pela função comum, quanto pela recorrência a um mesmo padrão formal.

De acordo com Cerasi (1998), o conceito de tipologia em arquitetura pode ser aplicado quando é possível identificar um somatório coerente de denominadores comuns em um determinado grupo de edificações, ou seja, uma série de fatores tecnológicos, estéticos e geométricos que contribuem para configurar uma determinada forma resultante.

Entretanto, verifica-se em diversos estudos, a aplicação tanto do termo tipologia quanto do termo tipo para indicar o mesmo conceito. Diante da ambigüidade existente entre os termos, Brandão (2003) considera que o termo “tipologia” pode ser utilizado em diversos níveis, do mais geral ao mais específico.

Enfim, considerada a complexidade que envolve a conceituação dos termos “tipo” e “tipologia” e tendo em vista os conceitos acima mencionados, adotar-se-á, neste trabalho, a palavra tipologia para tratar dos modelos de arquitetura habitacional encontrados nas cidades.

As tipologias arquitetônicas são produto do conhecimento que é aplicado na prática de construir a fim de responder às necessidades do homem em um determinado momento histórico, considerando-se as limitações técnicas, funcionais e econômicas de determinado local (EMMIT, 2002).

A arquitetura tende a acompanhar a dinâmica da sociedade com o crescimento e evolução das cidades, porém isso não impede que uma tipologia predominante permaneça no contexto atual. “Convivendo” com as inovações técnicas e estéticas, tipologias arquitetônicas podem se incorporar à tradição construtiva da população tornando-se representativas daquela cultura. Situação semelhante pode ser identificada nas cidades alagoanas do interior (...) (BATISTA 2006, p. 23).

A seguir serão descritos os principais aspectos observados acerca da arquitetura habitacional em cada uma das cidades visitadas, com o intuito de exemplificar as tipologias que podem ser encontradas, para posteriormente avaliar o potencial da aplicação de estratégias bioclimáticas em habitações do Estado.

#### **4.1.1 Maceió**

Por ser a capital do Estado, Maceió apresenta, dentre as três cidades, a maior diversidade de tipologias arquitetônicas e variedade formal (Figura 26). Alguns exemplos das tipologias encontradas na cidade são as casas de porta e janela, meia-morada, sobrado, casas projetadas por arquitetos e edifícios multifamiliares.



Figura 26: Vista da cidade de Maceió a partir do Mirante São Gonçalo no bairro do Farol.

O processo de expansão urbana de Maceió teve início com a abertura do porto no bairro do Jaraguá. A partir da década de 1970, a ocupação se deu em direção ao Litoral Sul. Entretanto a implantação de uma indústria química nessa região desvalorizou o solo e fez com que este processo se redirecionasse para o Litoral Norte, onde se localizam os bairros da Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca e Cruz das Almas, respectivamente, situados na orla marítima da cidade. Com o tempo, a expansão urbana foi alcançando regiões mais periféricas da cidade, onde até hoje há condições precárias de infra-estrutura.

Atualmente, a orla marítima vem sendo cada vez mais adensada, ocorrendo a substituição de edificações unifamiliares por edificações multifamiliares, o que significa edifícios cada vez mais altos (Figura 27). Assim, configura-se um poderoso e competitivo Mercado Imobiliário dentro da dinâmica urbana da cidade de Maceió-AL que utiliza a vista e demais vantagens de se morar à beira-mar para atrair investimentos públicos para melhoria da infra-estrutura local, e vice-versa.



Figura 27: Verticalização na orla marítima de Maceió-AL, bairros de Ponta Verde e Jatiúca.

Devido ao déficit habitacional no Estado, o Governo Federal têm investido na construção de habitações de interesse social através de programas como, por exemplo, o Programa de Arrendamento Residencial, financiado pela Caixa Econômica Federal (Figura 28). O número de empreendimentos residenciais inseridos no Programa tem crescido consideravelmente na cidade como afirma Torres (2006):

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



Figura 28: Edifícios multifamiliares inserido no Programa de Arrendamento Residencial PAR em Maceió-AL, nos bairros do Barro Duro e Serraria, respectivamente.

Além dessas tipologias ainda é possível encontrar exemplares decorrentes da arquitetura colonial na cidade (Figura 29), principalmente nos bairros de Jaraguá, Poço, Centro e bairros vizinhos, devido à origem da evolução urbana da cidade.



Figura 29: Exemplares arquitetônicos da tipologia de casas sem recuos. Bairro do Poço, Maceió-AL.

Quanto ao uso de estratégias de adequação ao clima local, a cidade apresenta variedade em seu repertório arquitetônico, com elementos de proteção solar diversos, como beirais, cobogós, marquises e varandas que protegem também contra as chuvas.



Figura 30: Elementos de proteção solar e contra as chuvas na cidade de Maceió: varandas e brises em madeira. Bairros: Farol e Jaraguá.

#### 4.1.2 Palmeira dos Índios

Após a sua emancipação política em 1835, a então freguesia do Amparo começou a se desenvolver em torno da catedral recém construída e a partir do aldeamento missionário foi surgindo Palmeira dos Índios, elevada a cidade oficialmente em 1889 (LINS, 2006).



Figura 31: Casas típicas em Palmeira dos Índios-AL.

Na arquitetura habitacional de Palmeira dos Índios, a tipologia arquitetônica de casa em fita aparece muito frequentemente (Figura 31), em diversos bairros da cidade e com inúmeras variações e modificações posteriores como pintura, portões, revestimentos em pedra e textura. Em alguns modelos, elementos de proteção solar como beirais e pequenos brises aparecem nas fachadas assim como cobogós (Figura 32 e Figura 33).



Figura 32: Elementos de proteção solar e permeabilidade aos ventos em habitações na cidade de Palmeira dos Índios-AL.



Figura 33: Elementos de proteção solar em casas típicas, Palmeira dos Índios-AL.

Silva (1991) afirmava a existência de diversos exemplares de residências modernas “com platibanda plana ou inclinada, grandes esquadrias, emprego de cores vivas, varandas com ou sem apoio de canos, revestimento de azulejos, pedra e cerâmica que vão compondo arranjos diferenciados dentro da prescrição moderna.” Atualmente observa-se a presença de alguns desses exemplares na cidade, embora muitos já tenham sido descaracterizados.

Uma tipologia, entretanto, predomina em um dos bairros da cidade. São casas populares construídas com recursos da Companhia de Habitação popular, a COHAB. Segundo Marroquim (2007), a política habitacional em Alagoas começou a ser implantada através da criação da COHAB, em 1965, cujo objetivo era produzir habitação para a população com renda entre um e sete salários mínimos com recursos do BNH (Banco Nacional de Habitação).

Até a sua extinção em Alagoas em 1999, a COHAB financiou a construção de conjuntos habitacionais em algumas cidades do Estado, a exemplo de Palmeira dos Índios (Figura 34). Apesar disto, a produção de habitações não conseguia acompanhar o crescente déficit habitacional no Estado (MARROQUIM, 2007). Essas casas,

construídas com a mesma tipologia, hoje assumem diversas modificações formais feitas por seus usuários ao longo do tempo.



Figura 34: Padrão das habitações financiadas pela COHAB.

#### 4.1.3 Pão de Açúcar

Percebe-se pela observação da configuração urbana da cidade de Pão de Açúcar (Figura 35) que a arquitetura possui uma horizontalidade bastante definida, sendo interrompida apenas por algumas edificações de dois andares ou pelas torres da igreja.



Figura 35: Vista superior da configuração urbana da cidade de Pão de Açúcar. Fonte: MARTINS, 2008.

Apesar de seu desenvolvimento ter sido impulsionado somente a partir de 1887, quando foi elevada à condição de cidade (LINS, 2006), Pão de Açúcar possui tipologias habitacionais variadas com exemplares de casas em fita, sem recuos frontais ou laterais, recuadas com jardins laterais e varandas, populares, dentre outros (Figura 36).



Figura 36: Variedade de tipologias de arquitetura habitacional encontrados em Pão de Açúcar-AL. Fonte: MARTINS, 2008.

No centro da cidade, entretanto, encontram-se predominantemente, casas como as descritas por Reis Filho (2004), com construções uniformes e sobre os limites dos lotes, fachadas e plantas repetidas com alcovas entre os cômodos que recebiam iluminação e ventilação natural, e um corredor, geralmente na lateral da casa (Figura 37). Segundo o autor, “dimensões e números de aberturas, altura dos pavimentos e alinhamentos com as edificações vizinhas foram exigências correntes no século XVIII.” (*op cit.*, p. 24)

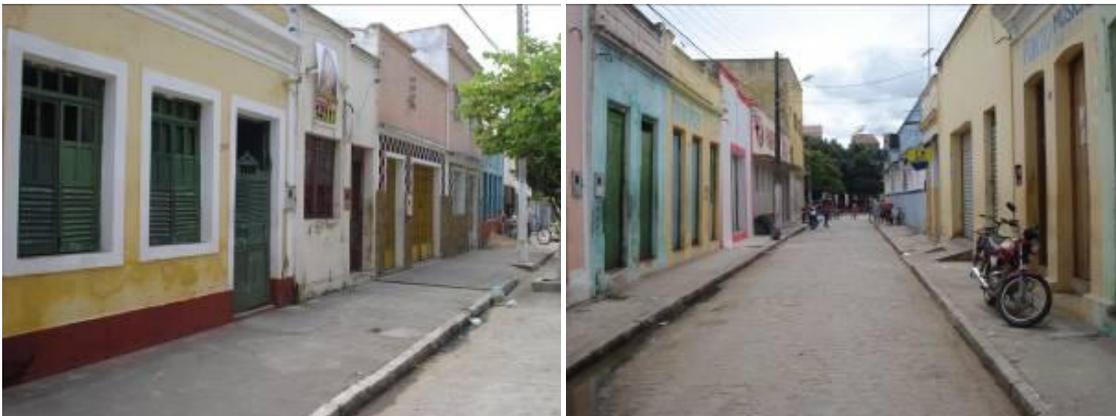


Figura 37: Casas com características coloniais na cidade de Pão de Açúcar- AL. Fonte: MARTINS, 2008.

Construídas geralmente com paredes de tijolos cerâmicos ou taipa e cobertura de telha de barro sem fôrro, com a utilização de platibandas, essa tipologia decorre das diretrizes do parcelamento do solo da época colonial, caracterizado por lotes profundos e pequenas testadas (SILVA, 1991). Geralmente as paredes internas são construídas à meia-altura e o pé-direito é alto, promovendo ventilação apenas por cima dos ambientes.

Além disto, a implantação das casas segue o alinhamento dos lotes, não havendo uma preocupação com a orientação da casa em função do aproveitamento dos ventos ou da proteção contra radiação solar.

Nos lotes maiores, se configuram tipologias com recuos frontais e laterais e em casas de padrão mais elevado, uma maior quantidade de cômodos, o uso de varandas, cobogós e materiais mais sofisticados eram mais recorrentes. Nesses casos, as varandas podem trazer benefícios ao microclima interno das casas promovendo áreas sombreadas, assim como os cobogós que permitem a passagem da ventilação ao interior dos ambientes (Figura 38).



Figura 38: Casa de padrão mais elevado no centro de Pão de Açúcar-AL.

É comum na cidade a permanência da população nas ruas e nas calçadas como um hábito diário. Esse costume torna-se mais prazeroso pela presença de grandes árvores na praça central da cidade (Figura 39), onde moradores conversam, jogam e brincam sob temperaturas mais amenas.



Figura 39: Uso da vegetação em Pão de Açúcar: Parede revestida de cobertura vegetal e praça sombreada por árvores de grande e médio porte no centro da cidade.

## 4.2 Caracterização Climática (Análise Estatística)

São apresentados a seguir, os resultados obtidos a partir do tratamento estatístico dos dados meteorológicos de cada cidade. As análises estão subdivididas de acordo com as variáveis estudadas: temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e ventos.

### 4.2.1 Temperatura Média do Ar

Em Maceió, as temperaturas médias mensais dos anos analisados, variam entre 22,9 °C e 27, 9°C ao longo do ano. Os meses de abril a agosto possuem, em geral, temperaturas médias mensais mais baixas enquanto os meses de setembro a março possuem médias mensais de temperatura mais altas. A máxima temperatura média do período analisado ocorreu no mês de março em 1998 (27,9°C), já a mínima temperatura média mensal ocorreu em julho de 2004 (22,9°C) (Gráfico 1).

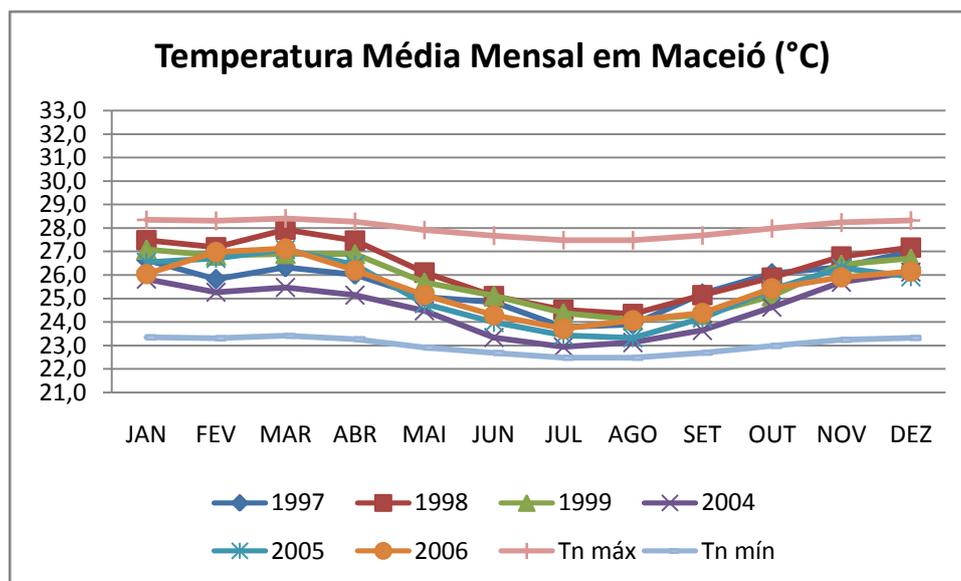


Gráfico 1: Temperatura Média em Maceió-AL para os anos analisados, inserindo-se intervalo de conforto determinado pela temperatura neutra. Onde: Tn máx = temperatura neutra +2,5°C e Tn mín = temperatura neutra -2,5°C. Fonte de dados: INMET, 2008.

Na cidade de Palmeira dos Índios as temperaturas médias mensais dos anos analisados variam entre 22,1 °C e 29,0°C ao longo do ano. Ao longo do ano, os valores de temperatura são mais baixos entre abril a agosto e mais altos de setembro a março. A máxima temperatura média do período analisado ocorreu no mês de fevereiro de 1998 e a mínima temperatura média mensal em julho e agosto de 2005 (Gráfico 2).

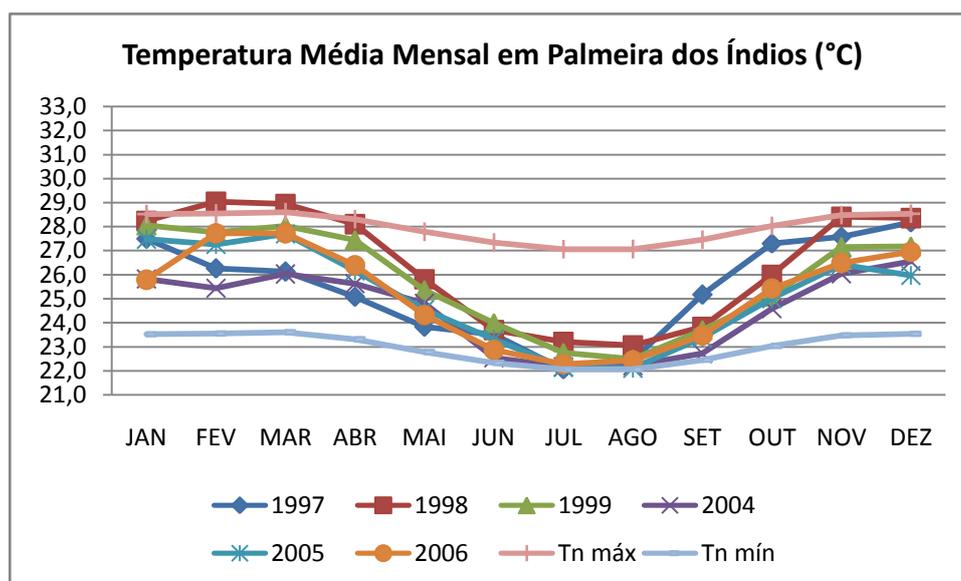


Gráfico 2: Temperatura Média em Palmeira dos Índios-AL para os anos analisados, inserindo-se intervalo de conforto determinado pela temperatura neutra. Onde: Tn máx = temperatura neutra +2,5°C e Tn mín = temperatura neutra -2,5°C. Fonte de dados: INMET, 2008.

A cidade de Pão de Açúcar apresentou os maiores valores de temperatura média mensal e a maior amplitude térmica, variando entre 23,6 °C e 32,6°C. Os valores mais baixos de temperatura média foram encontrados nos meses de junho e julho, e os mais altos nos meses entre novembro e março. A máxima temperatura média do período analisado ocorreu no mês de novembro de 1998 e a mínima temperatura média mensal em julho de 2006 (Gráfico 3).

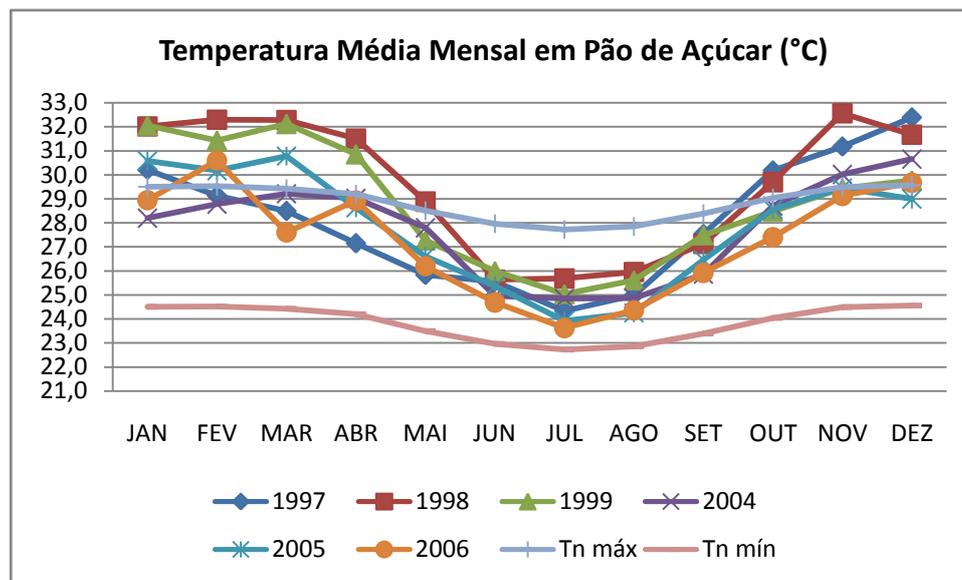


Gráfico 3: Temperatura Média em Pão de Açúcar-AL AL para os anos analisados, inserindo-se intervalo de conforto determinado pela temperatura neutra. Onde: Tn máx = temperatura neutra +2,5°C e Tn mín = temperatura neutra -2,5°C. Fonte de dados: INMET, 2008.

Analisando-se os três gráficos percebe-se que a amplitude térmica sazonal difere bastante entre as cidades. Enquanto Maceió possui temperaturas mais constantes ao longo do ano, com amplitude térmica sazonal máxima de 3,8°C entre o mês mais frio e o mês mais quente, em Palmeira dos Índios esse valor é de 6,1 °C e em Pão de Açúcar, 8,1 °C.

Foi analisada também a amplitude térmica diária ao longo dos meses em cada cidade, que significa a diferença entre a máxima temperatura e a mínima temperatura ao longo de um dia. Para isto, foram utilizados os valores horários mensais de temperatura, obtidos conforme a metodologia adotada no trabalho, elaborando os gráficos 4, 5 e 6.

Para uma melhor compreensão dos gráficos apresenta-se a variação de temperatura diária apenas nos meses com valores máximos (dezembro) mínimos (agosto), observando também a amplitude térmica anual nas cidades.

Observa-se, a partir dos gráficos que, em geral, ocorre o aumento gradativo da temperatura a partir das 7 horas e resfriamento a partir das 15 horas. As temperaturas médias mínimas ocorrem às 6 horas e as máximas às 15 horas.

Em Maceió, (Gráfico 4) a máxima amplitude térmica diária observada é 10,2°C em fevereiro, enquanto que em Palmeira dos Índios (Gráfico 5) esse valor é 13°C em novembro, e em Pão de Açúcar (Gráfico 6) a máxima amplitude registrada é 13,4°C no mês de dezembro.

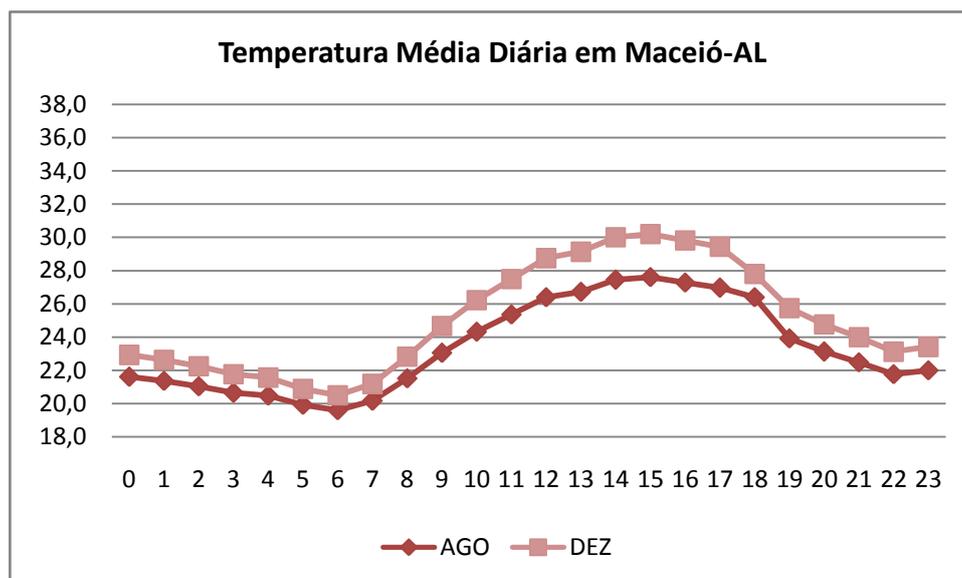


Gráfico 4: Variação da temperatura média do ar ao longo do dia em Maceió-AL nos meses de agosto e dezembro. Fonte de dados: INMET, 2008.

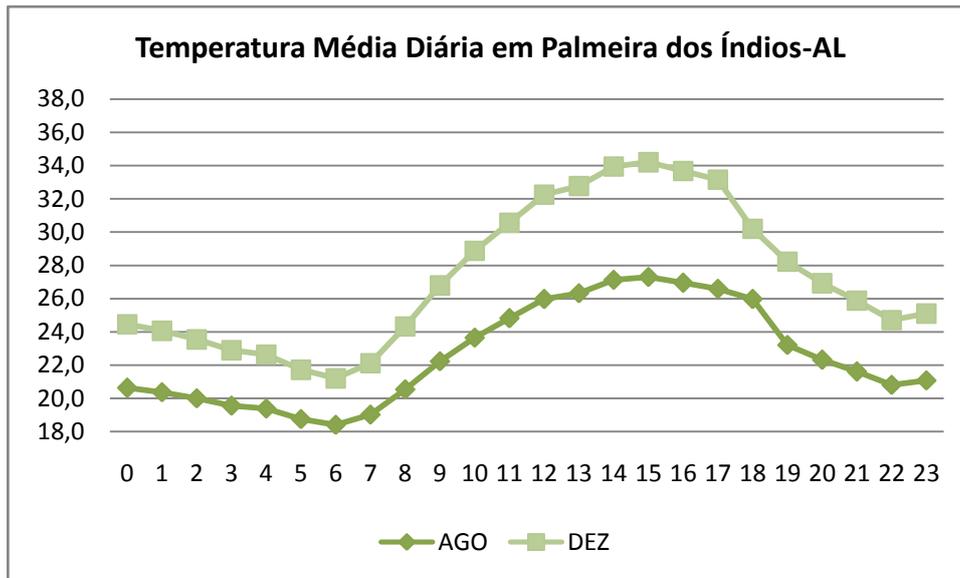


Gráfico 5: Variação da temperatura média do ar ao longo do dia em Palmeira dos Índios-AL. Fonte de dados: INMET, 2008.

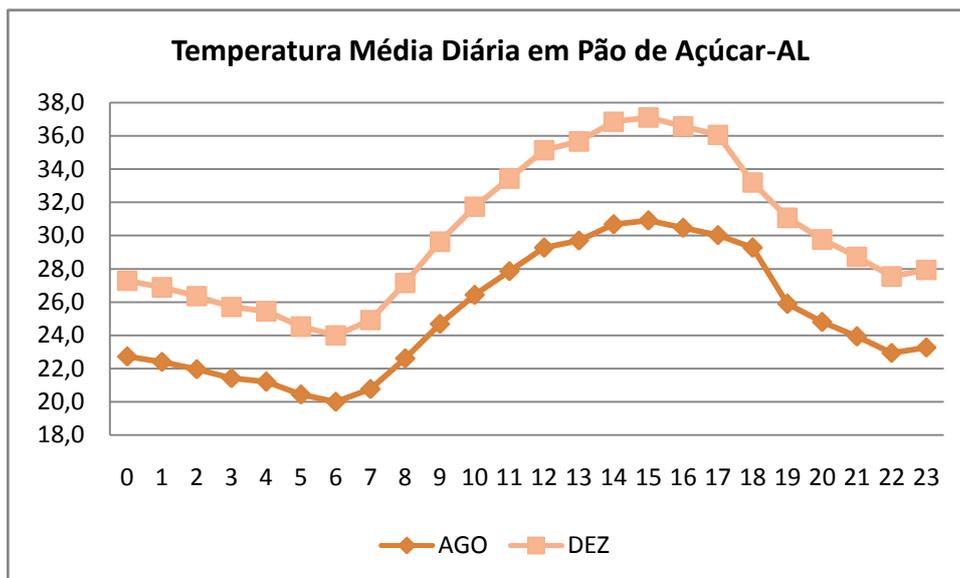


Gráfico 6: Variação da temperatura média do ar ao longo do dia em Pão de Açúcar-AL. Fonte de dados: INMET, 2008.

Verifica-se ainda que em Maceió, os valores de temperatura do ar variam muito pouco ao longo do ano, sendo a diferença máxima entre as temperaturas máximas de agosto e dezembro da ordem de 2,6°C. Na cidade de Palmeira dos Índios essa amplitude anual é de 6,9°C e em Pão de Açúcar 6,2°C.

#### 4.2.2 Precipitação

Quanto à precipitação nas cidades, há uma concentração das chuvas entre os meses de abril e julho tanto em Maceió, quanto em Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Entretanto, em Maceió o valor médio mensal de precipitação chega aos 312,5 mm no mês de junho (Gráfico 7) enquanto que a máxima média mensal em Palmeira dos Índios é 150 mm em junho e em Pão de Açúcar 100 mm em maio.

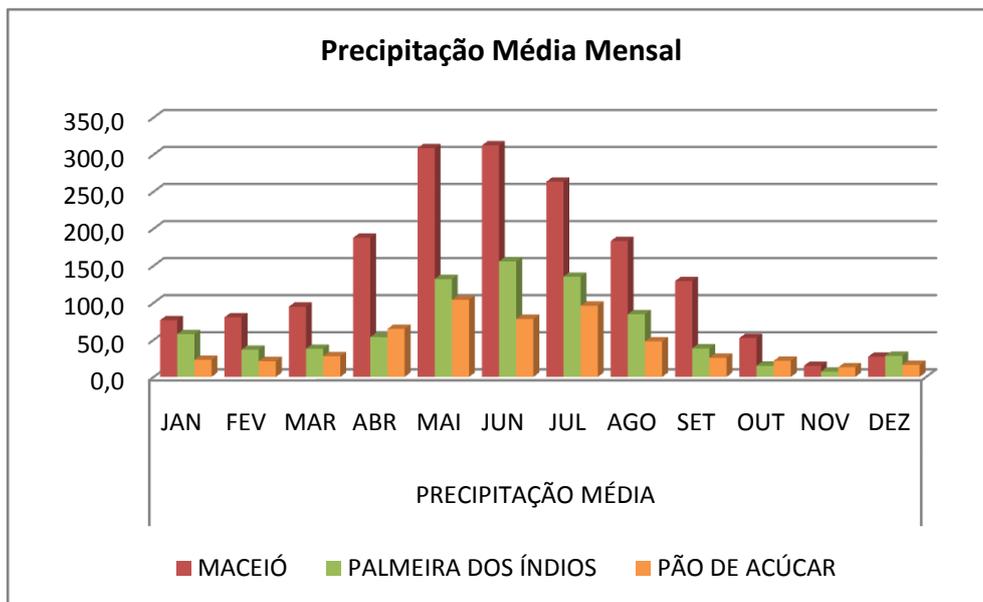


Gráfico 7: Precipitação média mensal a partir de uma série histórica de dados nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte de dados: INMET, 2008.

A menor média mensal de precipitação ocorre em Palmeira dos Índios no mês de novembro com o valor de 7,2 mm (Gráfico 7). Em Pão de Açúcar o menor valor mensal médio de precipitação é 13 mm também em novembro. Em Maceió este valor é de 14,9 mm no mês de novembro.

Já os maiores valores médios são encontrados em Maceió, onde a precipitação média chega a 312,5 mm em junho. Os maiores valores de precipitação média nas outras cidades ficam bem abaixo dos obtidos em Maceió.

Percebe-se ainda que dentre as cidades analisadas, Maceió é aquela que possui a maior variação sazonal dos valores de precipitação, com valores entre 312,5 e 14,9 mm.

Em Palmeira dos Índios os valores médios de precipitação variaram entre 155,9 mm e 7,2 mm e em Pão de Açúcar, entre 104,1 mm e 13 mm.

### 4.2.3 Umidade Relativa do Ar

Quanto à umidade relativa do ar, os valores médios ao longo do ano, nas três cidades analisadas, são mais altos entre os meses de maio a agosto e mais baixos no período entre novembro e março, assim como os valores médios de precipitação (Gráfico 8).

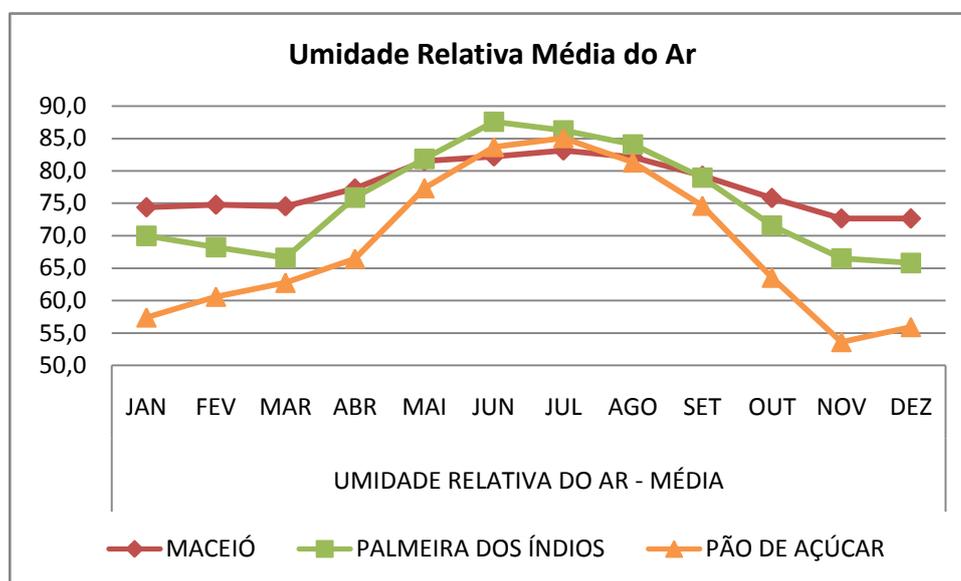


Gráfico 8: Média mensal dos valores de umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte de dados: INMET, 2008.

O máximo valor médio de umidade relativa do ar é de 87,6% em Palmeira dos Índios. A maior variação anual de valores médios ocorre em Pão de Açúcar, sendo esta variação entre 53,6% em novembro e 85% em julho e a menor ocorre na cidade de Maceió, onde os valores médios variam entre 72,7% em novembro e 83,1% em julho.

Os Gráficos 9, 10 e 11 mostram a relação existente entre os valores médios de umidade relativa do ar em conjunto com os valores médios de temperatura do ar, nas três cidades, importante para avaliações dos níveis de conforto higrotérmico.

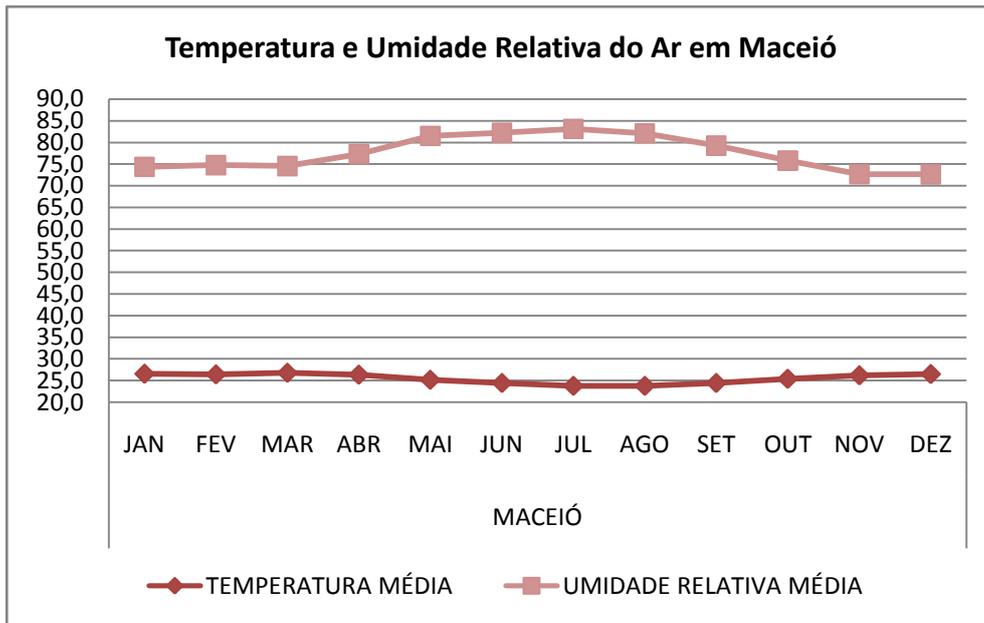


Gráfico 9: Valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados na cidade de Maceió. Fonte de dados: INMET, 2008.

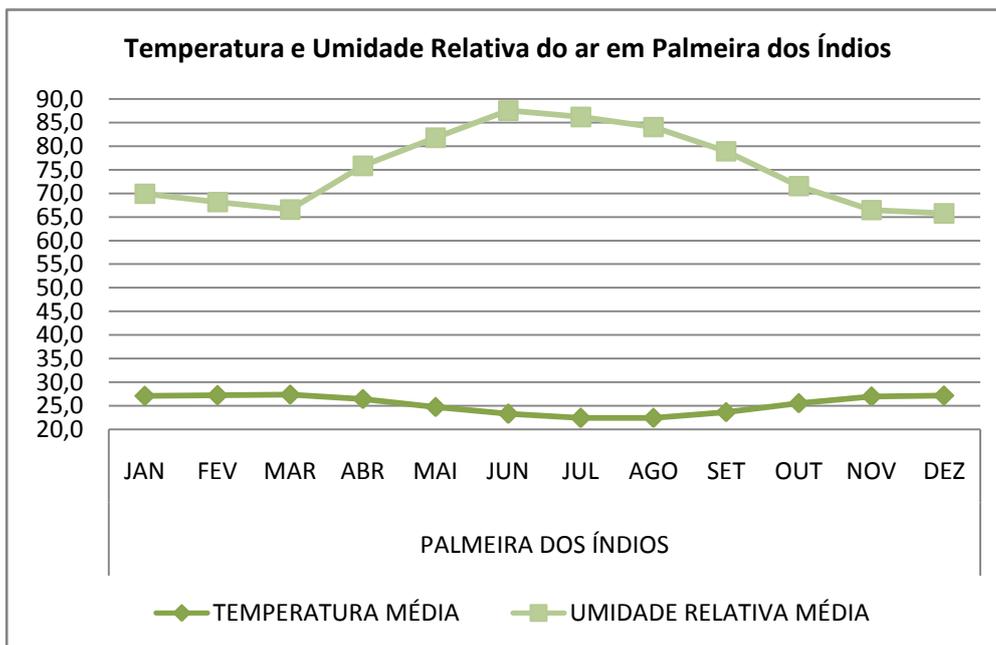


Gráfico 10: Valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados na cidade de Palmeira dos Índios. Fonte de dados: INMET, 2008.

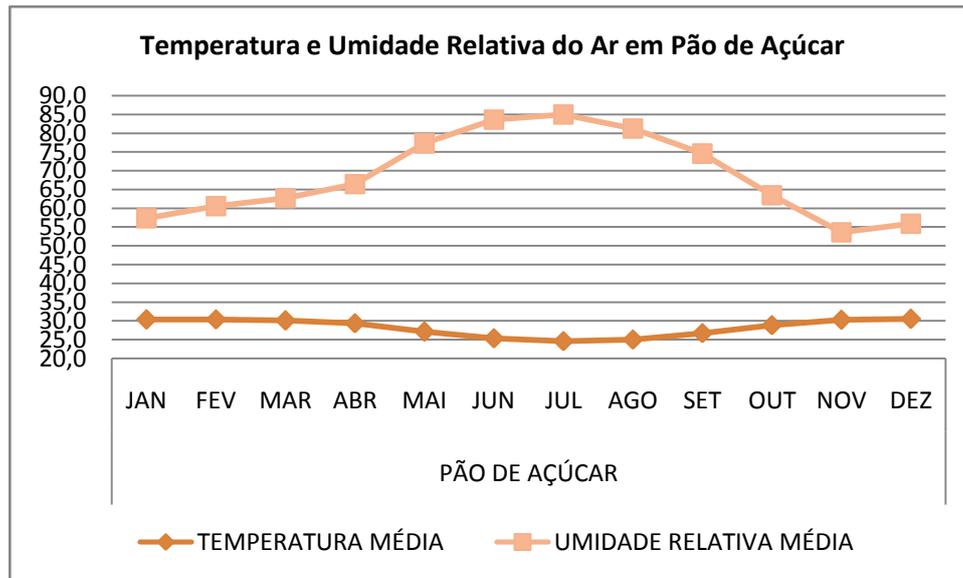


Gráfico 11: Valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar (%) a partir de uma série histórica de dados na cidade de Pão de Açúcar. Fonte de dados: INMET, 2008.

Em geral verifica-se que as duas variáveis consideradas são inversamente proporcionais, ou seja, quando a temperatura do ar é mais elevada, a umidade relativa do ar é mais baixa, isso ocorre no período chuvoso das cidades, entre maio e setembro.

Observa-se ainda que tanto a temperatura, quanto a umidade relativa do ar são mais constantes ao longo do ano na cidade de Maceió, enquanto que em Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar ocorrem maiores variações.

#### 4.2.4 Ventos (direção e velocidade)

Quanto à velocidade, os ventos em Maceió, assumem valores médios entre 2,2 e 4,0 m/s. Em Palmeira dos Índios as velocidades médias do ar variam entre 2,3 e 4,4 m/s e em Pão de Açúcar entre 1,7 e 2,9 m/s, como mostra o Gráfico 12.

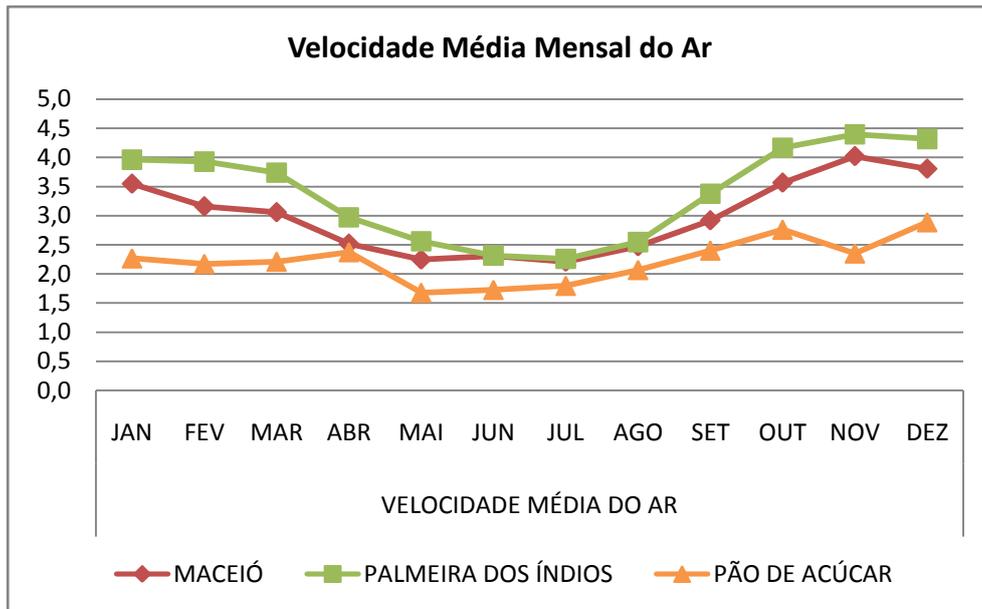


Gráfico 12: Médias dos valores médios de velocidade do ar, obtidas a partir de uma série histórica de dados das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte dos dados: INMET, 2008.

Verifica-se, portanto, que Palmeira dos Índios possui, quanto à velocidade do ar, valores ligeiramente maiores, em especial no período em que as temperaturas do ar são mais altas. Por outro lado, Pão de Açúcar possui os valores mais baixos de velocidade média do ar.

Foi analisado o comportamento do vento, quanto à variação diária de sua velocidade nas cidades em estudo. Para isto, foram considerados valores médios horários dos dias disponíveis em cada cidade (Gráfico 13).

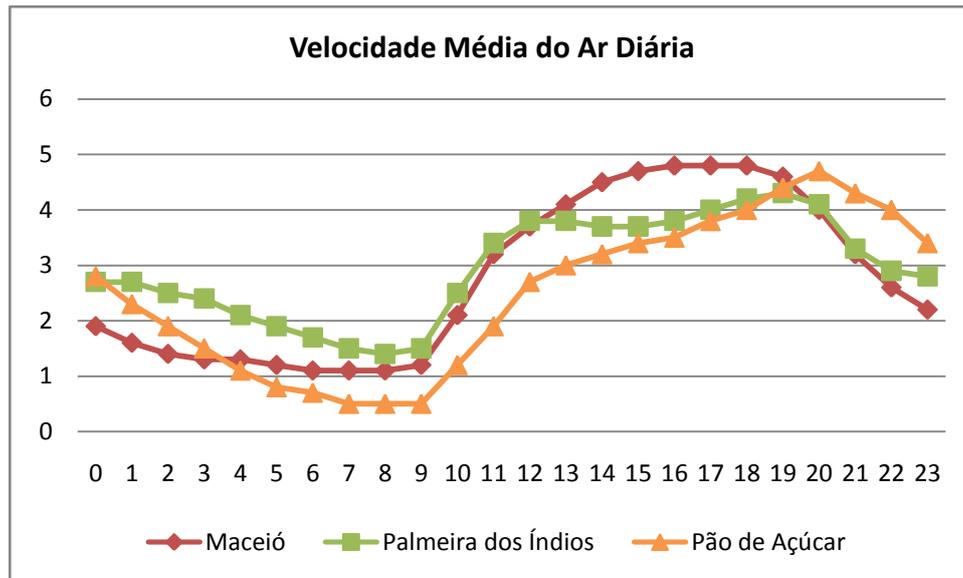


Gráfico 13: Variação da velocidade média do ar ao longo do dia nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Dados de 2005 a 2006. Fonte dos dados: INMET, 2008.

Percebe-se que as três cidades apresentam velocidades mais altas entre as 14 e as 19 horas, acima de 3 m/s. Observa-se que, em Palmeira dos Índios a velocidade diminui em torno das 15 horas, mas permanece acima de 3 m/s. Em Pão de Açúcar, os maiores índices de velocidade do ar ocorrem à noite em torno das 20:00 horas. No período entre 5:00 e 9:00 horas a velocidade do ar fica abaixo de 1 m/s, indicando a existência de períodos de calmaria.

Quanto à direção verifica-se que os ventos predominantes nas três cidades provêm do Quadrante Leste. Entretanto, em Maceió, o vento sudeste se sobressai aos demais em todas as épocas do ano, enquanto que em Palmeira dos Índios o vento Leste é o predominante durante todo o ano, exceto em dezembro, quando o vento Nordeste predomina (Gráfico 14 e Gráfico 15).

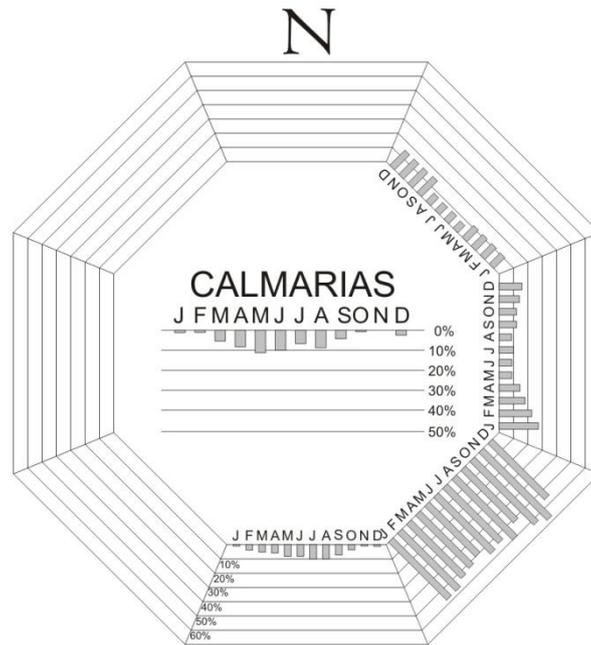


Gráfico 14: Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Maceió, confeccionada a partir de uma série histórica de dados. Fonte de dados: INMET, 2008.

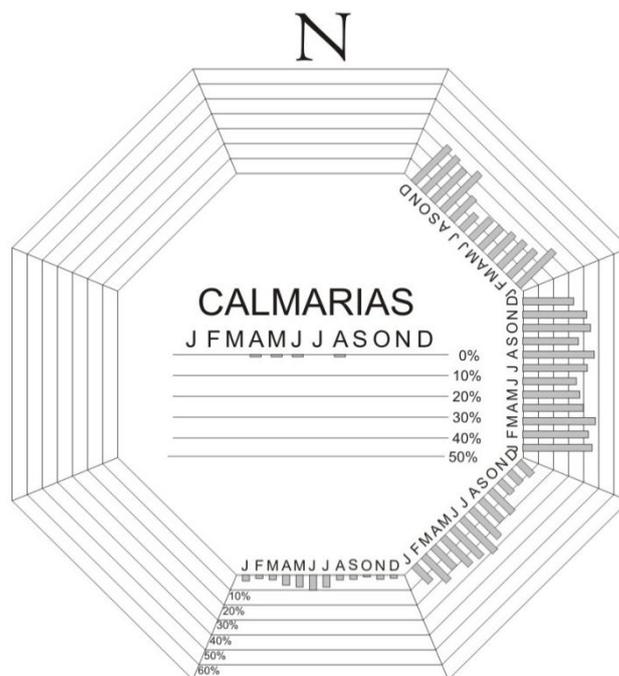


Gráfico 15: Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Palmeira dos Índios, confeccionada a partir de uma série histórica de dados. Fonte de dados: INMET, 2008.

Em Pão de Açúcar o vento predominante durante todo o ano é o vento Sudeste, sendo mais freqüente nos meses de julho a novembro (período chuvoso). Entretanto, observa-se uma maior freqüência de períodos de calmaria (o que não se destaca nas outras cidades analisadas) principalmente nos meses de janeiro a junho quando as

temperaturas são geralmente mais altas, agravando a sensação de desconforto térmico por calor na cidade (Gráfico 16).

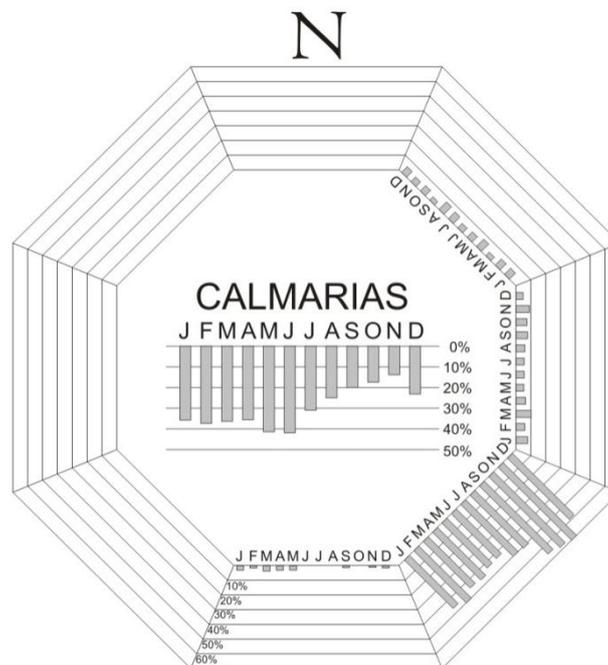


Gráfico 16: Frequência da direção dos ventos (em %) para a cidade de Pão de Açúcar, confeccionada a partir de uma série histórica de dados. Fonte de dados: INMET, 2008.

#### 4.2.5 Síntese da caracterização climática

Analisando os dados meteorológicos das três cidades, observa-se que há algumas diferenças entre as suas características climáticas, quanto aos valores de amplitude térmica, precipitação, umidade relativa do ar e comportamento dos ventos, conforme tabela síntese a seguir.

Tabela 1: síntese das variáveis analisadas em cada cidade, a partir de dados meteorológicos de uma série história (1996-2007) tratados estatisticamente. Fonte de dados: INMET, 2008.

VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	CIDADES		
	Maceió	Palmeira dos Índios	Pão de Açúcar
Temperatura do ar (°C)	22,9 a 27,9	22,1 a 29,0	23,6 a 32,6
Amplitude Térmica Máxima Sazonal (°C)	3,8	6,1	8,1
Amplitude Térmica Máxima Diária (°C)	10,2	13	13,4
Precipitação (mm)	14,9 a 312,5	7,2 a 150	13 a 100
Umidade Relativa do ar (%)	72,7 a 83,1	66,6 a 87,6	53,6 a 85
Velocidade dos ventos (m/s)	2,2 a 4,0	2,3 a 4,4	1,7 a 2,9
Direção predominante dos ventos	Sudeste	Leste	Sudeste

Com base no *Climate Graph* proposto por Koenigsberger *et al* (1974), foram elaborados os gráficos do clima para cada cidade, a partir das médias das séries históricas de dados (1997-2007) reunindo informações obtidas quanto a precipitação, umidade relativa e temperatura do ar e velocidade dos ventos.

No trecho do gráfico referente à temperatura, apresentam-se as temperaturas: máxima absoluta, média das máximas, média compensada, média das mínimas e mínimas absolutas, nesta ordem, para cada cidade (Figuras 40, 41 e 42).

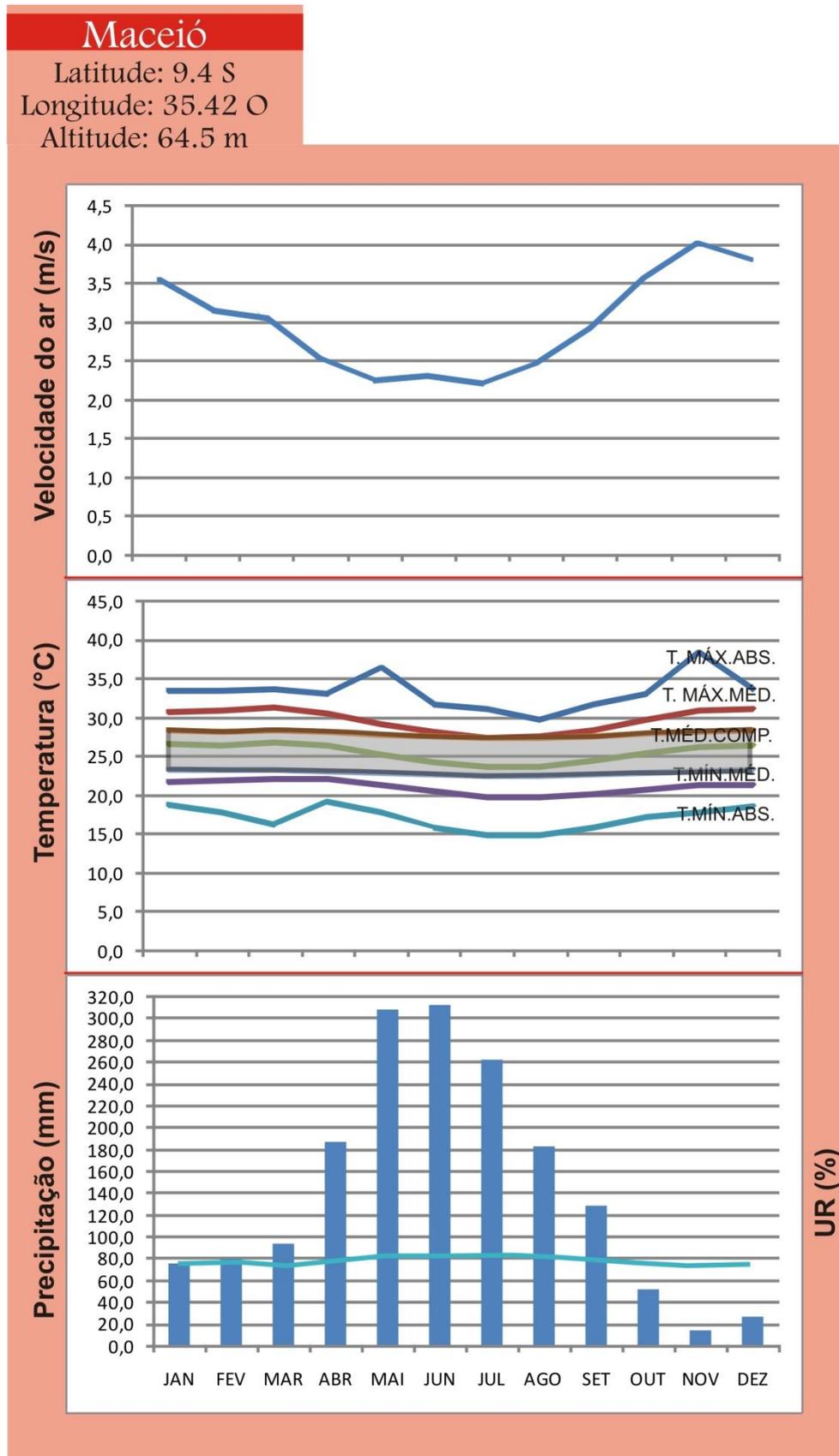


Figura 40: Gráfico do clima para a cidade de Maceió contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) das variáveis: velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar e precipitação (no gráfico de temperatura foi inserido o intervalo de conforto térmico de acordo com a temperatura neutra de Auliciems, 1982).

Palmeira dos Índios

Latitude: 9.27 S  
 Longitude: 36.42 O  
 Altitude: 274.9 m

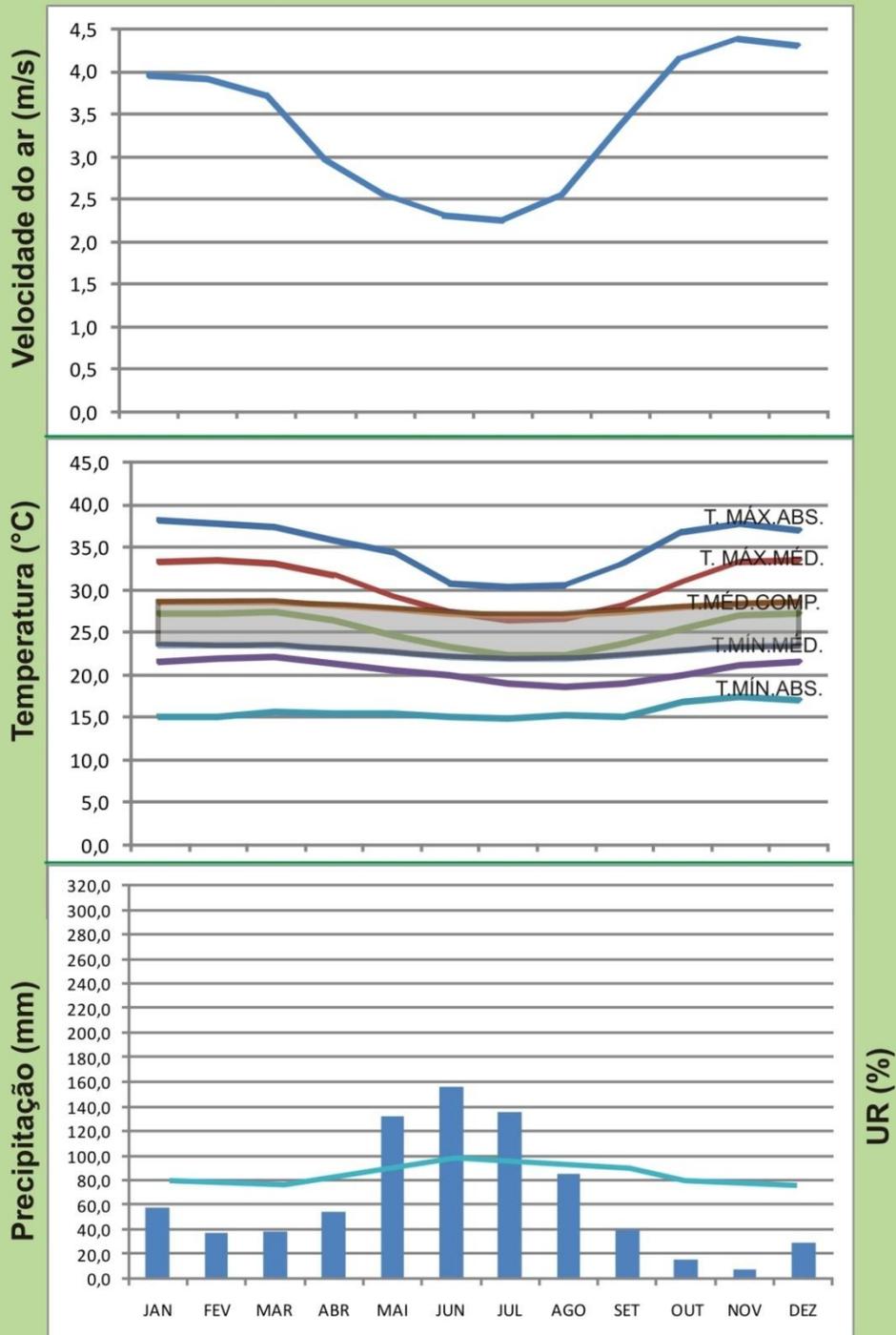


Figura 41: Gráfico do clima para a cidade de Palmeira dos Índios contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) das variáveis: velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar e precipitação (no gráfico de temperatura foi inserido o intervalo de conforto térmico de acordo com a temperatura neutra de Auliciems, 1982)..

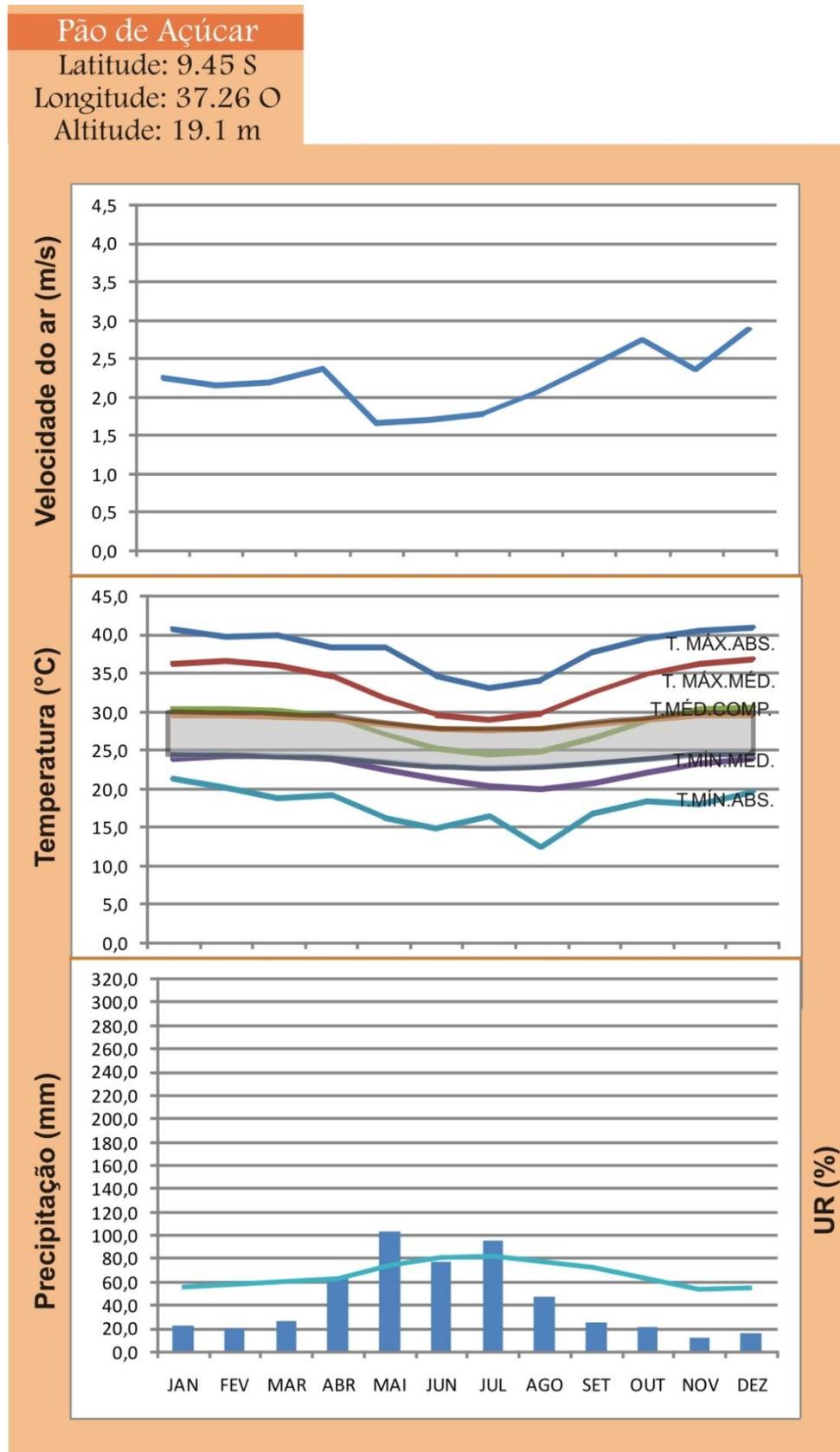


Figura 42: Gráfico do clima para a cidade de Pão de Açúcar contendo dados médios, mínimos e máximos de uma série histórica (1997-2007) das variáveis: velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar e precipitação (no gráfico de temperatura foi inserido o intervalo de conforto térmico de acordo com a temperatura neutra de Auliciems, 1982).

### 4.3 Estratégias Bioclimáticas Recomendadas

Considerando-se que as diferenças climáticas entre as cidades podem representar soluções arquitetônicas diferenciadas para a arquitetura, este tópico discute as estratégias recomendadas para habitações nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.

As estratégias sugeridas baseiam-se na análise dos dados do Ano Climático de Referência das cidades, inseridos na carta bioclimática de Givoni (1992), através do *software* ANALYSIS BIO (LABEEE, 2007).

#### 4.3.1 Maceió

Das horas inseridas, 29% apresentaram situação de conforto e 71% de desconforto, sendo 70,8% das horas, desconfortáveis por calor (Figura 43). Para estas horas desconfortáveis, as recomendações da Carta foram: Ventilação, Massa Térmica para Resfriamento e Resfriamento Evaporativo, sendo que em 100% das horas desconfortáveis por calor é recomendável o uso da ventilação (Tabela 2).

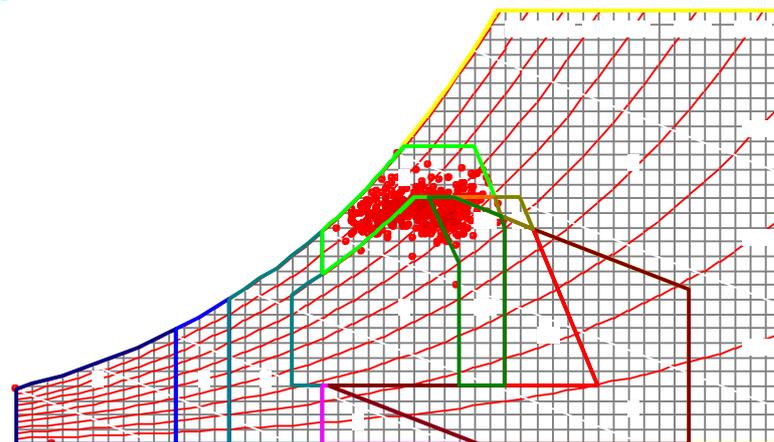


Figura 43: Carta Bioclimática gerada para Maceió contendo dados do ano climático de referência determinado (2000).

Tabela 2: Síntese das estratégias recomendadas para Maceió, segundo a Carta Bioclimática de Givoni.

<b>Conforto</b>			<b>29.0%</b>
<b>Desconforto</b>	Calor	Ventilação	<b>70.8%</b>
		Massa térmica p/ Resfriamento	26.1%
		Resfriamento Evaporativo	23.9%
		Ar-condicionado	0.37%
	Frio	Aquecimento	<b>0.2%</b>
		Artificial	

A partir desta análise, o potencial de aplicação de cada uma das estratégias recomendadas para Maceió, foi avaliado através dos limites sugeridos por Givoni (1992).

Quanto ao aproveitamento da **ventilação natural**, verificou-se que dos 114 dias do período analisado, cerca de 100% apresentaram temperaturas menores que 32°C nos horários entre 20:00h e 9:00h (Gráfico 17).

Nas horas mais quentes, entre 12:00 e 19:00h, a temperatura excede o índice de 32°C em mais de 50% dos dias. Neste período, portanto, a ventilação natural não seria suficiente para amenizar a sensação de desconforto causada pelas altas temperaturas, sendo necessário, estratégias complementares como o uso de ventiladores ou até mesmo aparelhos de condicionamento de ar.

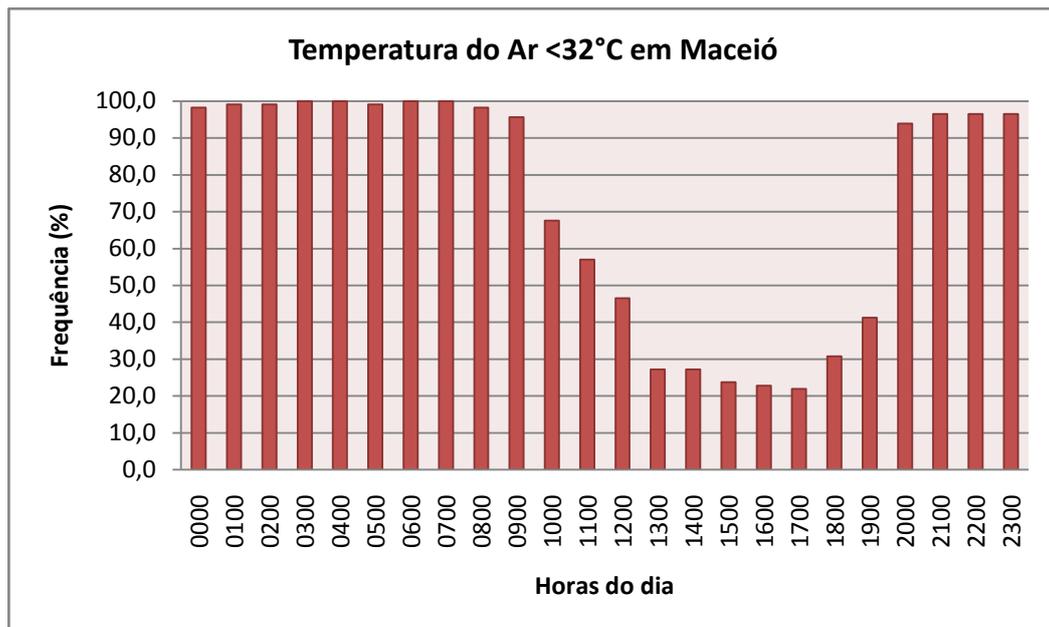


Gráfico 17: Frequência com que a temperatura externa do ar é inferior a 32 °C ao longo das horas em Maceió durante o verão do ano de 2000. Fonte de dados: INMET, 2008.

Por outro lado, o uso da ventilação natural em Maceió, mesmo no período mais quente do ano, quando as temperaturas externas excedem os 32°C, poderia amenizar a sensação de desconforto através da evaporação do suor, já que os valores médios de umidade relativa do ar podem alcançar 83,1% durante o ano.

Além disto, quanto a disponibilidade de ventos, verifica-se que a velocidade média do ar no período analisado é de 3,1 m/s podendo chegar, em determinadas horas, a 8 m/s. Givoni (1992) afirma que os limites de velocidade do ar externo para que se obtenha a sensação de conforto térmico dependem, da temperatura do ar e sugere que, a velocidade do ar interna seja em torno de 2 m/s.

Recomenda-se, portanto, o uso de aberturas que permitam o controle da entrada da ventilação nos ambientes, tais como esquadrias pivotantes, venezianas móveis, que permitem inclusive o direcionamento do vento dentro dos ambientes.

Em síntese, nos meses entre dezembro e março, a ventilação natural é uma estratégia recomendada para o período noturno na cidade, podendo estender-se até o fim

da manhã, quando a temperatura do ar começa a exceder os 32°C. Recomenda-se ainda para este período, o uso de estratégias híbridas como, por exemplo, o uso de circuladores de ar para incrementar a velocidade quando esta estiver abaixo de 2 m/s, principalmente entre as 03:00 e as 10:00h da manhã, quando a velocidade do ar média é 1,3 m/s.

Foi avaliado o potencial de uso da **massa térmica** associado ao uso de ventilação noturna para resfriamento da edificação em Maceió, utilizando o mesmo período de dados horários.

De acordo com os parâmetros sugeridos por Givoni (1992), a massa térmica poderia ser aplicada em 87,7% dos dias analisados, quando as temperaturas máximas durante o dia são inferiores a 36°C. Entretanto, como em Maceió as temperaturas durante a noite estão frequentemente acima de 20°C, a adoção de materiais com elevada resistência e capacidade térmica em Maceió, causaria o aquecimento dos ambientes nesse período, provocando o desconforto térmico dos usuários.

Além disto, observa-se que em Maceió, a amplitude térmica diária é igual a 10,2°C no verão, a mais baixa dentre as cidades. Portanto, não se recomenda o uso da massa térmica para a cidade de Maceió, mas apenas o aproveitamento da ventilação noturna conforme citado anteriormente.

Avaliou-se também o potencial de uso do **resfriamento evaporativo**. Os limites considerados por Givoni (1992) para o uso de resfriamento evaporativo foram que a temperatura de bulbo seco (TBS) máxima e a temperatura de bulbo úmido (TBU) máxima apresentassem valores inferiores a 44°C e 24°C, respectivamente.

Das 2.128 horas analisadas, 49% se mostraram favoráveis ao uso de resfriamento evaporativo. Entretanto, como os valores de umidade relativa média em

Maceió são altos durante todo o ano, variando entre 72,7% e 83,1%, e podendo chegar aos 100%, não se recomenda o uso do resfriamento evaporativo direto visto que sua utilização poderia ocasionar o desconforto dos habitantes por excesso de umidade no ar. O resfriamento evaporativo através de vegetação por outro lado, pode ocasionar o resfriamento sem que haja um aumento da umidade relativa do ar.

#### 4.3.2 Palmeira dos Índios

Para a cidade de Palmeira dos Índios, os resultados mostram uma maior porcentagem de horas em conforto térmico: 35,3%, sendo 63,7% das horas desconfortáveis por calor e 1,01% desconfortável por frio (Figura 44).

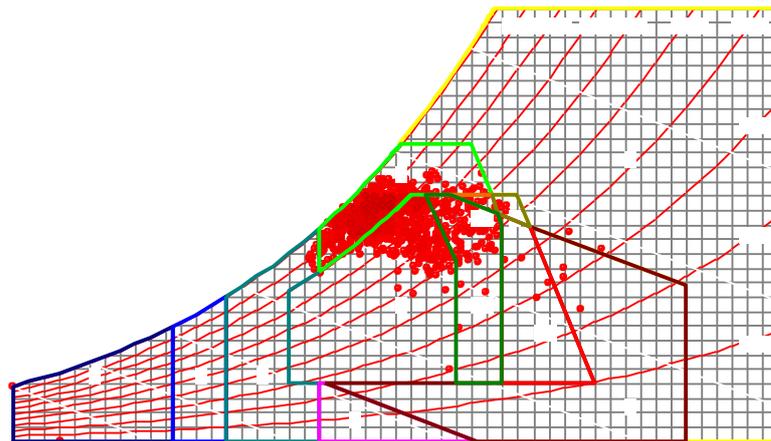


Figura 44: Carta Bioclimática gerada para Palmeira dos Índios contendo dados do ano climático de referência determinado (2002).

Dentre as estratégias recomendadas estão: ventilação natural para 62,1% das horas, massa térmica para resfriamento em 13,6% das horas, resfriamento evaporativo para 12,6% e ar-condicionado para 0,2% das horas, conforme indica a Tabela 3.

Tabela 3: Síntese das estratégias recomendadas para Palmeira dos Índios, segundo a Carta Bioclimática de Givoni.

<b>Conforto</b>		<b>35.3%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>Calor</b>	<b>63.7%</b>
	Ventilação	62.1%
	Massa Térmica p/Resfriamento	13.6%
	Resfriamento Evaporativo	12.6%
	Ar-condicionado	0.2%
<b>Frio</b>		<b>1.01%</b>

Foi verificado o potencial de uso das estratégias recomendadas para a cidade através da Carta Bioclimática de Givoni (1992). Quanto ao potencial de uso de **ventilação**, estratégia recomendada na maior parte das horas inseridas na carta, foram analisados os valores de temperatura do ar (Gráfico 18) e velocidade do ar.

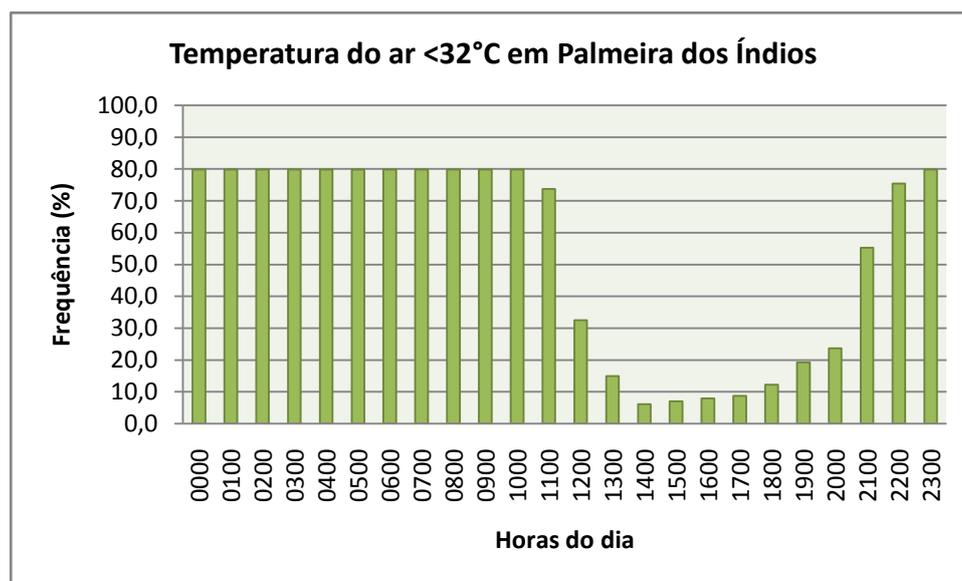


Gráfico 18: Frequência com que a temperatura externa foi inferior a 32 °C ao longo das horas em Palmeira dos Índios durante o verão de 2002. Fonte de dados: INMET, 2008.

Percebe-se que, no período entre 12:00 e 20:00h, a temperatura é maior que 32°C em mais de 60% das horas analisadas. A aplicação da ventilação como estratégia de condicionamento térmico passivo será, portanto, favorável no período entre 21:00h e 11:00h.

Quanto a velocidade do ar na cidade, a média para o período analisado é de 3 m/s, sendo o valor máximo encontrado de 8,3m/s e o mínimo de 0 m/s. Já no intervalo entre 21:00h e 11:00h a velocidade média é de 2,5 m/s.

Sendo assim, a ventilação natural é recomendada, para o período noturno, estendendo-se até aproximadamente as 11:00h da manhã quando as temperaturas são geralmente inferiores a 32°C. As aberturas devem ser, portanto, manipuláveis, permitindo aos usuários fechar as entradas de ar no período da tarde e no período mais quente o uso da ventilação natural não será suficiente para amenizar a sensação de desconforto por calor.

Na avaliação do potencial de uso da **massa térmica** segundo limites sugeridos por Givoni (1992), observou-se que o emprego desta estratégia seria aplicável em 80% das horas analisadas, quando a temperatura máxima não excede 36°C. Como a amplitude térmica diária média a cidade, de acordo com os dados analisados, é igual a 13°C, recomenda-se o uso desta estratégia na cidade, apenas em ambientes de uso diurno, para que à noite, quando o calor armazenado pela estrutura aqueça o ambiente interno, este não esteja sendo utilizado, já que as temperaturas à noite durante o verão geralmente são superiores a 20°C (em torno de 99% das horas em análise).

A análise do potencial de uso do **resfriamento evaporativo** demonstrou que a estratégia pode ser eficaz em Palmeira dos Índios, pois em 99,8% das horas analisadas (período de verão), os valores de TBS foram inferiores a 44°C e de TBU inferiores a 24°C, conforme recomendações de Givoni (1992). Entretanto, assim como em Maceió, os valores de umidade relativa média do ar são altos, variando entre 66,6 e 87,6% e, portanto, o uso desta estratégia pode causar desconforto térmico se for realizada diretamente através da água.

### 4.3.3 Pão de Açúcar

Para a cidade de Pão de Açúcar, os resultados mostraram apenas 13,7% das horas em conforto térmico, sendo 85,9% do ano desconfortável segundo a Carta Bioclimática de Givoni (Figura 45).

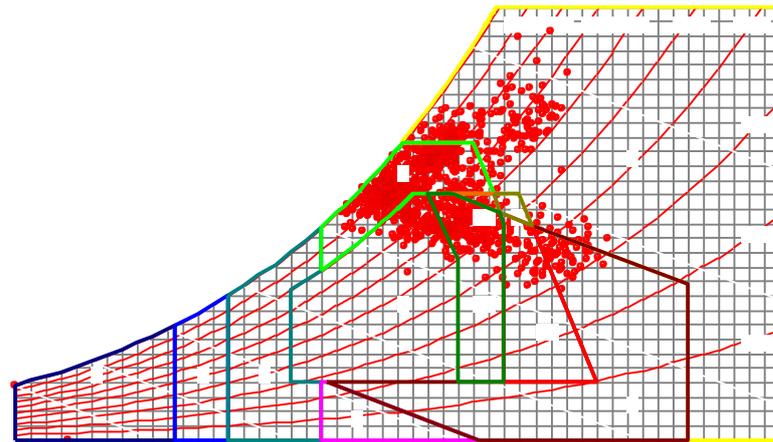


Figura 45: Carta Bioclimática gerada para Pão de Açúcar contendo dados do ano climático de referência determinado (2002).

Para as horas em desconforto as estratégias recomendadas foram: ventilação, para 59,7%, massa térmica para resfriamento em 22,6%, resfriamento evaporativo em 25,8% e ar condicionado em 17,5% das horas inseridas na Carta, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Síntese das estratégias recomendadas para Pão de Açúcar, segundo a Carta Bioclimática de Givoni.

<b>Conforto</b>		<b>13.7%</b>
<b>Desconforto</b>	Calor	Ventilação 59.7%
		Massa térmica p/ Resfriamento 22.6%
	Resfriamento Evaporativo 25.8%	
	Ar-condicionado 17.5%	
Frio		0.09%

Percebe-se que a cidade apresenta menos horas em conforto do que Maceió e Palmeira dos Índios, e em parte das horas consideradas desconfortáveis as estratégias

bioclimáticas não seriam suficientes, sendo necessário o uso de ar-condicionado para minimizar o calor.

Ao analisar o potencial de uso da **ventilação** como estratégia, verificou-se que a temperatura externa do ar é menor que 32°C em mais de 50% das horas analisadas no período entre 21:00 e 13:00h, nos outros horários as temperaturas tendem a exceder os 32°C, conforme mostra o Gráfico 19. O uso da ventilação no período noturno e matutino é recomendável para a cidade de Pão de Açúcar, sendo necessário o uso de outras estratégias de resfriamento à tarde.

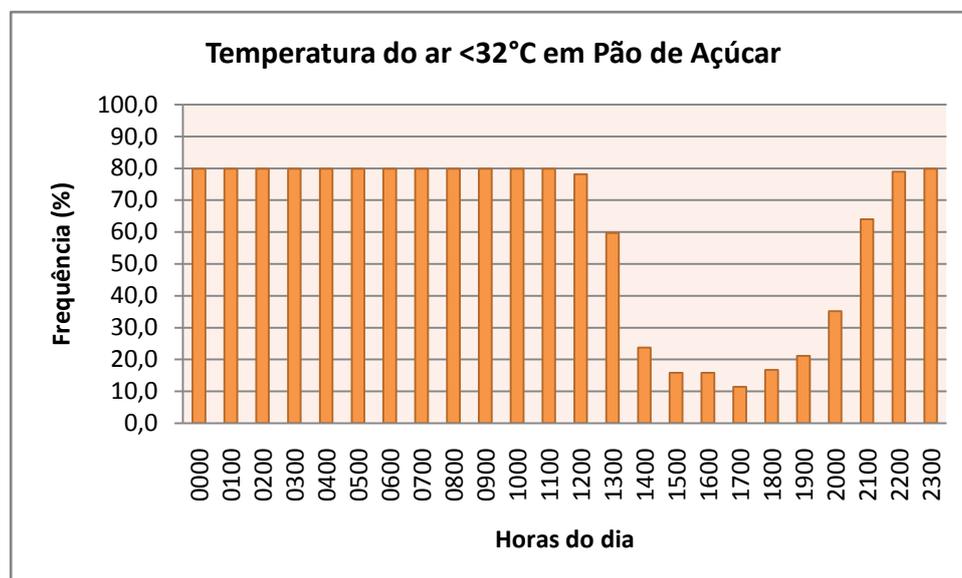


Gráfico 19: Frequência com que a temperatura externa foi inferior a 32 °C ao longo das horas em Pão de Açúcar durante o verão do ano de 2002. Fonte de dados: INMET, 2008.

Por outro lado a velocidade média do ar na cidade, durante o período em análise é de 2,5 m/s, sendo que entre 14:00h e 20:00h, quando as temperaturas do ar excedem os 32°C recomendados por Givoni (1992) a velocidade media do ar é igual a 3,4 m/s. Recomenda-se, portanto, o uso de esquadrias que permitam o controle da entrada de ar por parte dos usuários.

Além disso, tendo em vista os freqüentes períodos de calmaria na cidade verificados na análise estatística dos dados, sugere-se que no verão, sejam incorporadas estratégias híbridas de climatização incluindo o uso da climatização artificial.

Quanto ao uso de **massa térmica**, constatou-se que a temperatura externa máxima é menor que 36°C em 73,6% dos casos, além disto, a amplitude térmica diária média na idade é igual a 13,4°C. Por isso, assim como em Palmeira dos Índios, recomenda-se o uso desta estratégia em ambientes de uso diurno.

Foi avaliado ainda o potencial de uso do **resfriamento evaporativo** como estratégia bioclimática. Do total de 2.179 horas analisadas, o resfriamento evaporativo foi indicado para 91% das horas. Além disto, considera-se que, apesar de ser uma cidade com baixa umidade relativa do ar – 53,6 a 85% – e baixos índices de precipitação – de 13 a 104,1 mm mensais –, a presença do Rio São Francisco é favorável a utilização desta estratégia. Sendo assim, recomenda-se o uso de resfriamento evaporativo para a cidade de Pão de Açúcar.

#### 4.3.4 Síntese das análises

Em geral, percebe-se que o número de horas em conforto térmico ao longo do ano nas cidades analisadas é baixo, correspondendo a menos de 50% do total das horas inseridas na Carta Bioclimática em todas as cidades, confirmando a necessidade da adoção de estratégias bioclimáticas para a obtenção do conforto no Estado sempre que possível.

As horas desconfortáveis por frio não foram representativas dentro do total de horas em nenhuma das cidades, alcançando 1% em Palmeira dos Índios, 0,2% em Maceió e 0,09% em Pão de Açúcar. Sendo assim, as estratégias sugeridas foram

relativas ao calor: ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo.

Observou-se que as estratégias recomendadas para as três cidades através do programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) foram as mesmas, porém em intensidades diferentes para cada uma delas. Assim, a avaliação do potencial de uso de cada estratégia recomendada de acordo com os limites sugeridos por Givoni (1992), foi bastante útil no detalhamento da investigação. Além disto, os resultados da análise estatística dos dados trouxeram informações importantes na discussão das estratégias.

Muito provavelmente a semelhança entre as estratégias recomendadas se deva ao fato de terem sido considerados para análise, os anos climáticos de referência, que são por definição, aqueles onde ocorreram com menor frequência temperaturas médias extremas (altas ou baixas), excluindo-se assim valores que poderiam resultar em uma diferenciação maior entre as cidades.

Vale ressaltar ainda que o sombreamento foi indicado como estratégia em todas as cidades em quase 100% dos casos, devido à necessidade existente nas cidades de proteção contra radiação solar intensa.

#### **4.3.5 Análise das estratégias a partir de Dias Típicos de Projeto**

Foram analisadas também as estratégias recomendadas quando os dias típicos de projeto (nível de frequência 1%) foram inseridos na Carta Bioclimática de Givoni através do programa Analysis Bio (LABEEE, 2007), já que a amplitude térmica diária foi um parâmetro que variou entre as cidades.

Em Maceió, para o dia típico de verão, 20% das horas inseridas foram consideradas confortáveis, 68% foram classificadas como desconfortáveis por calor e 4% das horas desconfortáveis por frio (Figura 46). Para o calor, as recomendações

foram: ventilação, massa térmica e ar-condicionado. Para 4% das horas desconfortáveis foi recomendado o aquecimento artificial (Tabela 5).

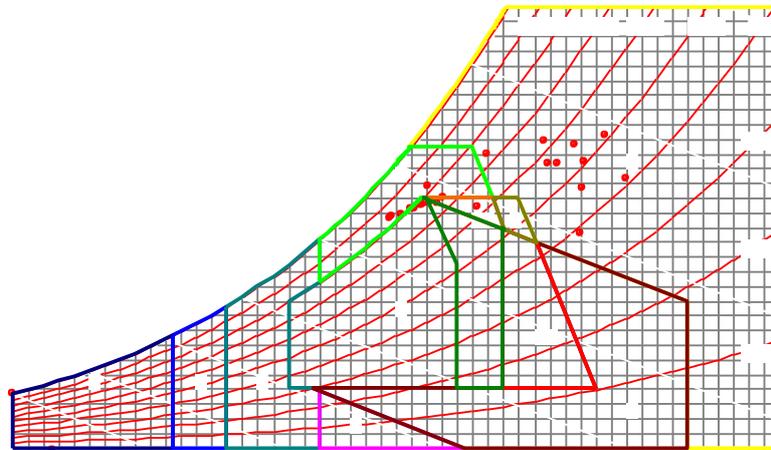


Figura 46: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEENE, 2007) com dados do dia típico de verão, nível de frequência de 1% para a cidade de Maceió.

Tabela 5: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa Analysis Bio para verão em Maceió.

Maceió Dia Típico de Verão nível 1%			
<b>Conforto</b>			<b>20%</b>
<b>Desconforto</b>	Calor	Ventilação	24%
		Massa térmica p/ Resfriamento	4%
	Frio	Resfriamento Evaporativo	0%
		Ar-condicionado	40%
		Aquecimento Artificial	4%

Já para o período de inverno, houve um número maior de horas confortáveis, 33,3%. Do restante das horas inseridas na Carta, 42,1% foram consideradas desconfortáveis por calor e 27,8% desconfortáveis pro frio (Figura 47). As estratégias recomendadas foram: ventilação e massa térmica para o calor e massa térmica com aquecimento solar e aquecimento artificial para o frio (Tabela 6).

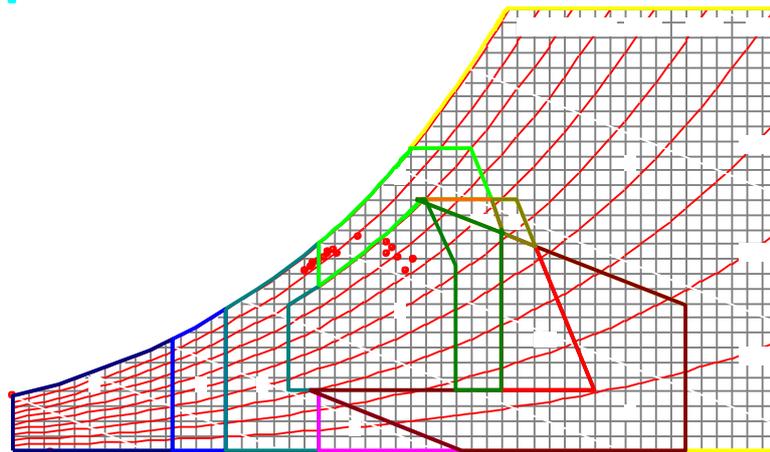


Figura 47: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de inverno, nível de frequência de 1% para a cidade de Maceió

Tabela 6: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa *Analysis Bio* para inverno em Maceió.

Maceió Dia Típico de Inverno nível 1%			
<b>Conforto</b>			<b>33.3%</b>
<b>Desconforto</b>	Calor	Ventilação	38.1%
		Massa térmica p/ Resfriamento	4%
		Resfriamento Evaporativo	0%
		Ar-condicionado	0%
Frio	Aquecimento Artificial	4%	
	Massa Térmica/ Aquec. Solar	23.8%	

Observa-se que as estratégias recomendadas para Maceió, se aproximam da realidade climática local quanto ao desconforto durante o inverno, visto que, mesmo neste período, o índice de desconforto térmico por calor é alto (42,1% das horas inseridas) devido à pequena variação sazonal de temperatura, ou seja, na cidade, o inverno, é marcado principalmente pelo aumento de ocorrência de chuvas.

Para a cidade de Palmeira dos Índios, o programa *Analysis Bio* (LABEEE, 2007) apontou, para o dia típico de verão 48% de horas em conforto, 52% de horas em desconforto térmico por calor e 4% de desconforto por frio (Figura 48). Para as horas em desconforto por calor, recomendou as estratégias massa térmica para resfriamento para 24% das horas e resfriamento evaporativo para 28% das horas. Para 4% das horas desconfortáveis por frio recomendou aquecimento artificial (Tabela 7).

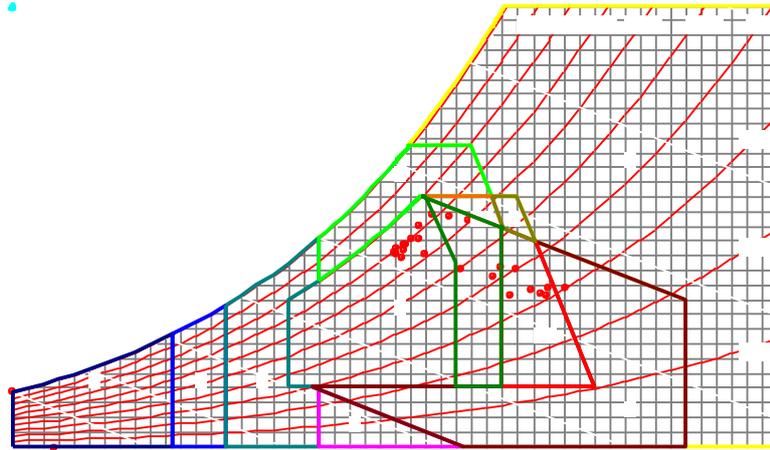


Figura 48: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de verão, nível de frequência de 1% para a cidade de Palmeira dos Índios.

Tabela 7: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa *Analysis Bio* para verão em Palmeira dos Índios.

Palmeira dos Índios Dia Típico de Verão nível 1%			
<b>Conforto</b>			<b>48%</b>
<b>Desconforto</b>	Calor	Ventilação	0%
		Massa térmica p/ Resfriamento	24%
	Resfriamento Evaporativo	28%	
	Frio	Ar-condicionado	0%
		Aquecimento Artificial	4%
Massa Térmica/ Aquec. Solar		0%	

No dia típico de inverno, apenas 4% das horas foram consideradas em conforto, sendo 40% consideradas desconfortáveis por calor, para as quais se recomenda a ventilação e 56% das horas, desconfortáveis por frio, para as quais se recomenda a massa térmica com aquecimento solar e o aquecimento artificial (Figura 49 e Tabela 8).

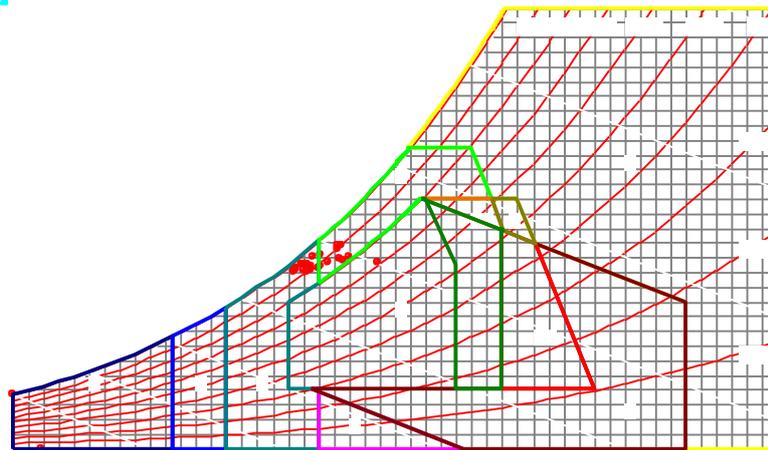


Figura 49: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de inverno, nível de frequência de 1% para a cidade de Palmeira dos Índios.

Tabela 8: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa *Analysis Bio* para inverno em Palmeira dos Índios.

Palmeira dos Índios Dia Típico de Inverno nível 1%			
<b>Conforto</b>			<b>4%</b>
<b>Desconforto</b>	Calor	Ventilação	40%
		Massa térmica p/ Resfriamento	0%
		Resfriamento Evaporativo	0%
		Ar-condicionado	0%
	Frio	Aquecimento Artificial	4%
		Massa Térmica/ Aquec. Solar	52%

Verifica-se, na cidade de Palmeira dos Índios a ocorrência de desconforto térmico por frio, o que não havia sido identificado na análise relativa ao Ano Climático de Referência. Considera-se, portanto, que, a análise do Dia Típico foi importante para identificar que existe uma demanda por utilização de estratégias para verão e para inverno nas cidades, em especial em Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, como será analisado a seguir.

Para a cidade de Pão de Açúcar, no verão, apenas 24% das horas inseridas foram consideradas confortáveis. 4% das horas foram consideradas desconfortáveis por frio, para as quais a Carta Bioclimática indica o uso de aquecimento artificial (Figura 50). Mais de 60% das horas inseridas foram consideradas desconfortáveis por calor, para as

quais se recomenda a ventilação, o uso de massa térmica para resfriamento, o resfriamento evaporativo e o uso de ar-condicionado (Tabela 9).

Verifica-se que apesar do alto índice de desconforto térmico por calor, a ventilação não foi apontada como principal estratégia como ocorreu em Maceió, mas sim o resfriamento evaporativo.

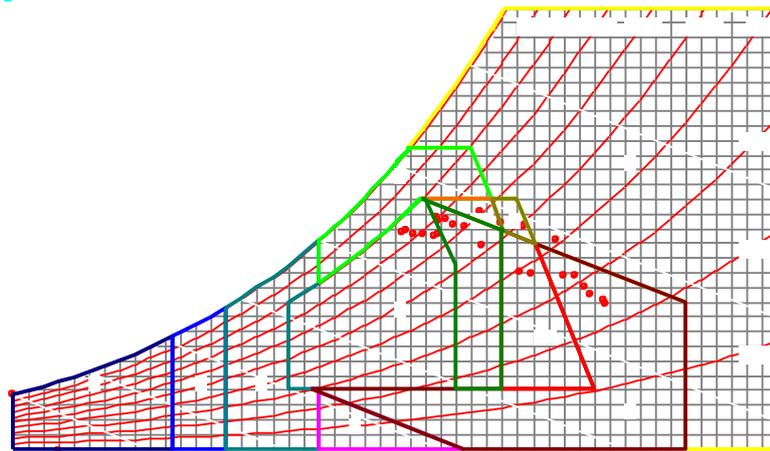


Figura 50: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de verão, nível de frequência de 1% para a cidade de Pão de Açúcar.

Tabela 9: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa *Analysis Bio* para verão em Pão de Açúcar.

Pão de Açúcar Dia Típico de Verão nível 1%			
Conforto			24%
Desconforto	Calor	Ventilação	4%
		Massa térmica p/ Resfriamento	20%
		Resfriamento Evaporativo	32%
		Ar-condicionado	4%
		Aquecimento Artificial	4%
	Frio	Massa Térmica/ Aquec.Solar	0%

Para o período de inverno, na cidade de Pão de Açúcar, 36% das horas foram consideradas confortáveis (Figura 51), 12% desconfortáveis por calor, para as quais se recomenda o uso da ventilação e 52% desconfortáveis por frio, para as quais se recomenda o uso de massa térmica com aquecimento solar e aquecimento artificial (Tabela 10).

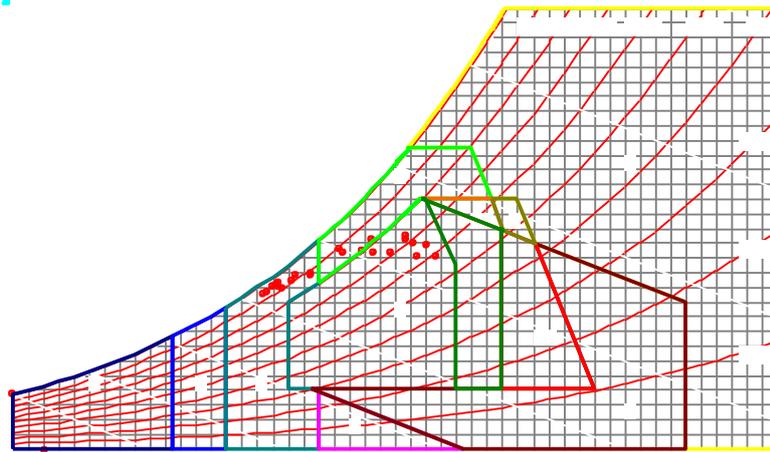


Figura 51: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis Bio (LABEEE, 2007) com dados do dia típico de inverno, nível de frequência de 1% para a cidade de Pão de Açúcar.

Tabela 10: Resumo das Estratégias Bioclimáticas indicadas pelo programa *Analysis Bio* para inverno em Pão de Açúcar.

Pão de Açúcar Dia Típico de Inverno nível 1%			
<b>Conforto</b>			<b>36%</b>
<b>Desconforto</b>	Calor	Ventilação	12%
		Massa térmica p/ Resfriamento	0%
	Frio	Resfriamento Evaporativo	0%
		Ar-condicionado	0%
		Aquecimento Artificial	4%
		Massa Térmica/ Aquec. Solar	48%

#### 4.3.6 Síntese das análises e recomendações

Em geral, as análises a partir do Ano Climático de Referência mostraram que, apesar de ser a principal recomendação para todas as cidades, a ventilação natural pode não surtir o efeito de resfriamento desejado devido às temperaturas acima de 32°C frequentes no verão. Faz-se necessário, portanto, a adoção de estratégias híbridas de resfriamento e quando necessário, o uso de climatização artificial.

Através da análise segundo Givoni (1992), o uso da massa térmica no verão, se mostrou aplicável às cidades, entretanto, como as temperaturas mínimas frequentemente são mais altas que 20°C nas três cidades, recomenda-se esta estratégia apenas para

Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, que apresentaram valores de amplitude térmica diária mais altos, ainda assim, apenas em ambientes de uso diurno.

Em Maceió, o resfriamento evaporativo foi indicado em 25% das horas estudadas e na análise segundo Givoni (1992), foi confirmado para 48,7% dos casos na cidade. Entretanto, observando os dados de umidade relativa média na cidade (72,7% - 83,1%), percebe-se que o resfriamento evaporativo direto causaria um incremento da umidade do ar e conseqüentemente desconforto aos usuários no interior dos ambientes devido a elevados índices de umidade relativa, portanto, recomenda-se o resfriamento evaporativo apenas através da vegetação.

A estratégia de resfriamento evaporativo foi apontada em 25,8% das horas de desconforto em Pão de Açúcar, e em 12,6% das horas em Palmeira dos Índios. Seu potencial de uso foi confirmado para mais de 90% dos casos de verão nas cidades. Entretanto, assim como em Maceió, os índices de umidade relativa média do ar em Palmeira dos Índios são altos, mesmo no verão, variando ao longo do ano entre 87,6% e 65,8%. Como os valores de umidade relativa média do ar podem alcançar 53,6% no verão na cidade de Pão de Açúcar, considera-se o resfriamento evaporativo uma estratégia em potencial para amenizar o desconforto térmico nesta cidade. E em Palmeira dos Índios, recomenda-se o uso de resfriamento evaporativo apenas através da vegetação, assim como para Maceió.

Com base nas análises feitas acima, propõe-se as seguintes estratégias indicadas para cada cidade em estudo:

**Maceió:** Aproveitamento da ventilação natural diurna nos meses de abril a julho, através da adoção de elementos que permitam o controle das aberturas, tais como venezianas móveis, portas e janelas pivotantes, brises, que além de controláveis podem direcionar o fluxo do vento. Aproveitamento da ventilação no período noturno através

de pérgulas no interior das habitações, captadores de vento com aberturas controláveis ou peitoris ventilados. A ventilação predominante durante todo o ano é a sudeste, sendo que nos meses de setembro e outubro há a incidência do vento nordeste e em janeiro e fevereiro, do vento leste. Além disso, as velocidades costumam ser mais altas entre os meses de outubro a março, que corresponde ao período onde ocorrem as temperaturas mais altas. Como os valores de umidade relativa do ar são altos na cidade, o resfriamento evaporativo pode ser realizado através da utilização de vegetação em jardins internos ou coberturas vegetais nas paredes externas. Sombreamento através da coberta (beirais) e elementos externos horizontais e/ou verticais como brises, varandas, cobogós, venezianas ou ainda através de vegetação e proteção contra as chuvas (Figura 52).



Figura 52: Esquemas de estratégias bioclimáticas aplicáveis em Maceió-AL.

**Palmeira dos Índios:** Aproveitamento da ventilação natural durante o dia no período entre abril e agosto. A direção predominante é Leste, durante quase todo o ano. Em janeiro predomina a ventilação Nordeste, sendo a direção Sudeste incidente principalmente em maio e junho, embora com menor frequência que as demais. Assim como em Maceió, as velocidades costumam ser mais altas entre os meses de outubro a março, que corresponde ao período onde ocorrem as temperaturas mais altas. Recomenda-se que as aberturas ofereçam a possibilidade de controle ao usuário e o aproveitamento da ventilação noturna através de captadores de vento, por exemplo, e no verão, utilização de condicionadores de ar no período da tarde. Sombreamento das

aberturas e das superfícies de revestimento, da mesma forma como sugerido para Maceió. Devido a índices de amplitude térmica sazonal de  $6,8^{\circ}\text{C}$  e amplitude térmica diária de  $13,0^{\circ}\text{C}$  recomenda-se o uso de massa térmica em ambientes de uso diurno. O resfriamento evaporativo pode ser realizado através da utilização de vegetação em jardins internos ou coberturas vegetais nas paredes externas. Sugere-se ainda a proteção contra as chuvas através de grandes beirais e varandas (Figura 53).

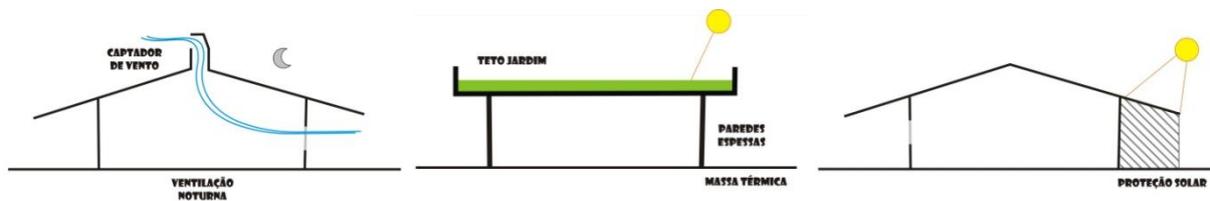


Figura 53: Esquemas de estratégias bioclimáticas aplicáveis em Palmeira dos Índios- AL.

**Pão de Açúcar:** Aproveitamento da ventilação natural no interior dos ambientes mediante a disposição de aberturas para a direção predominante dos ventos (Sudeste), com exceção dos períodos de outubro a março quando as temperaturas externas são maiores que as internas (nestes casos, recomenda-se a utilização de condicionadores de ar no período da tarde). Sombreamento das aberturas e superfícies, utilizando elementos que evitem os ganhos térmicos, tais como beirais, varandas, pérgulas e brises. Além disto, recomenda-se utilizar o resfriamento evaporativo. O resfriamento evaporativo pode ser realizado através da utilização de vegetação em jardins internos, coberturas vegetais, fontes e espelhos d'água e micro aspersão de gotículas de água no ar. Como a amplitude térmica sazonal pode chegar a  $7,5^{\circ}\text{C}$  e a amplitude diária a  $13,4^{\circ}\text{C}$  recomenda-se o uso de massa térmica através de tetos-jardins, por exemplo, em ambientes de uso diurno (Figura 54).

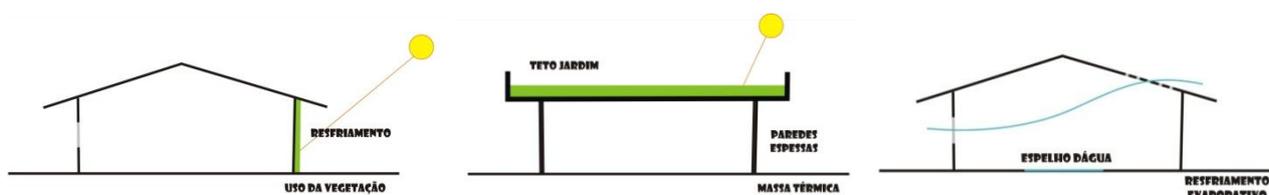
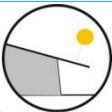
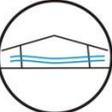
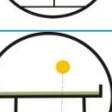


Figura 54: Esquemas de estratégias bioclimáticas aplicáveis em Pão de Açúcar- AL.

As estratégias aqui sugeridas podem ser resumidas no quadro síntese a seguir:

Estratégias	Maceió	Palmeira dos Índios	Pão de Açúcar
<b>Sombreamento</b> 	Todo o ano	Todo o ano	Todo o ano
<b>Proteção contra as chuvas</b> 	Todo o ano	Abril a agosto	Abril a agosto
<b>Ventilação Diurna</b> 	Abril a agosto (SE) regulável	Abril a agosto (LE) regulável	Abril a agosto (SE) regulável
<b>Ventilação Noturna</b> 	Todo o ano (SE) permanente	Outubro a Março (LE) regulável	Outubro a Março (SE) regulável
<b>Massa Térmica para resfriamento</b> 	Não	Em ambientes de uso diurno	Em ambientes de uso diurno
<b>Resfriamento Evaporativo</b> 	Somente através da vegetação	Somente através da vegetação	Sim

Quadro 10: síntese das estratégias bioclimáticas recomendadas para as cidades em estudo.

#### 4.3.7 Parâmetros de Conforto Térmico

Após os estudos de Givoni (1992) sobre a Carta Bioclimática, diversas pesquisas se sucederam na tentativa de buscar parâmetros de conforto térmico para as variadas localidades do globo. Araújo, V (1996) discutiu os limites de conforto para localidades de clima quente e úmido e Araújo, M (2008) investigou limites inferiores de conforto para Maceió, gerando polígonos que representam os limites inseridos na Carta. A seguir, os dados climáticos dos Anos Climáticos de Referência de cada uma das cidades

serão inseridos na Carta de Givoni (1992), juntamente com os polígonos sugeridos pelos estudos supracitados.

A Figura 55 mostra que em Maceió, parte das horas que Givoni (1992) considera como desconfortáveis, estão dentro da zona de conforto de Araújo, V (1996) para regiões de clima quente e úmido, sem que haja a necessidade de ventilação. Além disto, observa-se que a zona proposta por Araújo, M (2008), possui limites inferiores aos de Araújo, V (1996), mostrando que em Maceió, parte das horas consideradas desconfortáveis por Givoni (1992) e Araújo, V (1996), seria considerada confortável, de acordo com os dados climáticos analisados.

## Maceió

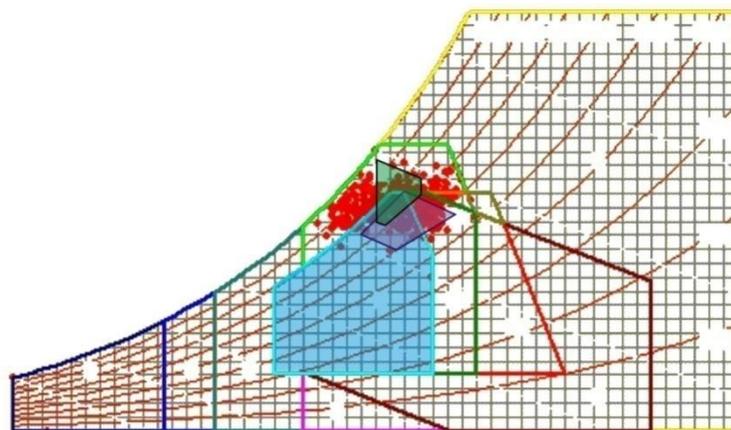


Figura 55: Carta Psicométrica contendo as Zonas de Conforto de Givoni (1992) em azul, Araújo, V (1996) em verde, e Araújo, M (2008) em roxo, para a cidade de Maceió.

Em Palmeira dos Índios (Figura 56), considerando-se a zona proposta por Araújo, V (1996) para regiões de clima quente e úmido, percebe-se que diversas horas do ano estão em desconforto por frio, por apresentarem temperaturas abaixo daquelas consideradas confortáveis pela autora.

## Palmeira dos Índios

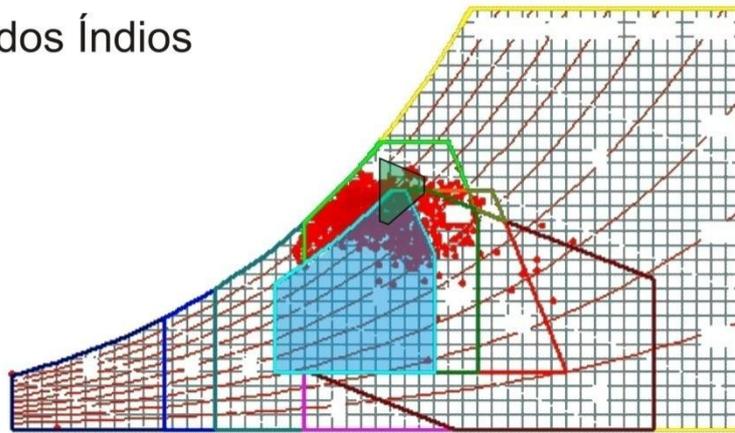


Figura 56: Carta Psicrométrica contendo as Zonas de Conforto de Givoni (1992) em azul e Araújo, V (1996) em verde, para a cidade de Palmeira dos Índios.

Como em Pão de Açúcar houve, dentre as três cidades, a menor porcentagem de horas em situação de conforto (Figura 57), percebe-se que os pontos se apresentaram de forma mais distribuída na carta, inclusive na zona de condicionamento artificial. Entretanto, percebe-se nesta carta e nas cartas de Maceió e Palmeira dos Índios que os polígonos das zonas propostas por Araújo, V (1996) e Araújo, M (2008) estão visualmente mais próximos dos dados inseridos.

## Pão de Açúcar

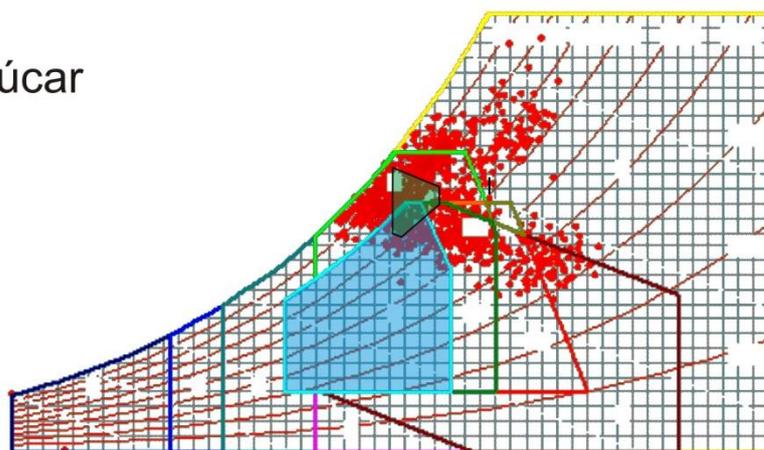


Figura 57: Carta Psicrométrica contendo as Zonas de Conforto de Givoni (1992) em azul e Araújo, V (1996) em verde, para a cidade de Pão de Açúcar.

Tais análises evidenciaram a necessidade de definir parâmetros de conforto térmico mais próximos à realidade dos climas quentes, para que a escolha das estratégias a serem adotadas nos projetos possa ser apoiada numa análise mais segura acerca das preferências térmicas dos usuários.

#### 4.4 Discussão da aplicabilidade da Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) às cidades analisadas

Conforme discutido na Introdução deste trabalho, a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) incorpora em uma mesma zona as cidades em estudo Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar juntamente com outras cidades das regiões Norte e Nordeste do país. Para esta, que é a Zona Bioclimática 8 (Figura 58), a Norma recomenda: aberturas grandes para ventilação (maiores que 40% da área do piso), sombreamento das aberturas, paredes e coberturas leves e refletoras e ventilação cruzada permanente, e acrescenta que o condicionamento térmico passivo será insuficiente nas horas mais quentes.

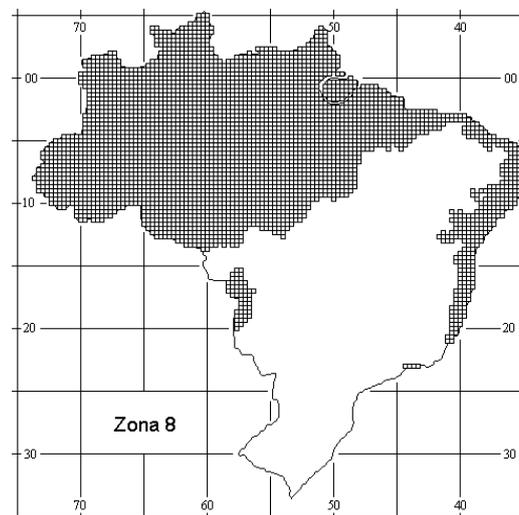


Figura 58: Zona Bioclimática 8. Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

Entretanto, observou-se na análise realizada, que a ventilação, não será a estratégia mais indicada em todos os períodos de desconforto por calor nas cidades. Sendo assim, em uma edificação que seja demasiadamente porosa, a ventilação natural,

poderá provocar o aumento da temperatura do ar interna nos períodos mais quentes, principalmente na cidade de Pão de Açúcar, onde a temperatura média externa pode chegar aos 32,6 °C.

Além disto, verificou-se que a utilização da ventilação diurna como estratégia no verão, pode causar aumento da temperatura do ar interna no período da tarde, enquanto que a ventilação noturna é indicada para resfriamento dos ambientes nas três cidades, durante o verão. Apesar disto, a Norma não traz para a Zona Bioclimática 8 um detalhamento a respeito dos períodos (diurno/noturno, verão/inverno) para utilização da ventilação natural, tampouco quanto a tipologia das aberturas.

O sombreamento das aberturas recomendado pela Norma em questão está de acordo com as análises feitas no presente trabalho, visto que esta foi uma estratégia recomendada na maioria dos casos analisados para as três cidades. Porém, além de sombrear as aberturas, acrescenta-se que devem ser observados os tipos e localização das esquadrias a serem utilizadas.

A Norma traz ainda que “as sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes” (ABNT, 2005, p.11). Entretanto, de acordo com a análise dos dados feita previamente, constata-se que o clima de Pão de Açúcar apresenta, ao longo do ano, valores mínimos de umidade relativa do ar médios de 53%. Nessas condições, a desumidificação do ar é desnecessária na cidade.

Diante desta discussão, considera-se que a Norma traz diretrizes gerais importantes para cada Zona Bioclimática, mas desconsidera especificidades locais que influenciam no desempenho térmico das edificações. Ao generalizar diversas cidades na Zona Bioclimática 8, traz recomendações que não se aplicam à realidade climática local

de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, conforme análise de dados meteorológicos realizada neste trabalho.

## Considerações Finais

Neste capítulo são relacionadas as considerações finais do trabalho, incluindo as conclusões obtidas através dos resultados da pesquisa, as principais dificuldades encontradas e sugestões para trabalhos futuros.

A análise estatística dos dados mostra que há diferenças significativas no comportamento dos elementos climáticos das cidades que podem resultar em diferentes estratégias bioclimáticas para habitação em cada uma delas. Essas diferenças foram verificadas principalmente na análise da temperatura do ar, quanto à amplitude térmica, precipitação e direção dos ventos.

As metodologias de tratamento de dados climáticos Ano Climático de Referência e Dia Típico de Projeto não puderam ser empregadas em sua totalidade devido à carência de uma série histórica de dados climáticos horários, visto que as estações meteorológicas automáticas (que registram dados a cada hora do dia) só foram implantadas em Maceió no ano de 2005 e em Pão de Açúcar e Palmeira dos Índios em 2007. Embora as análises tenham ficado restritas a um total de 544 horas para Maceió, 994 horas para Palmeira dos Índios e 1050 horas para Pão de Açúcar, considera-se que a análise serviu para indicar possíveis estratégias a serem utilizadas no Estado e, portanto, alcançar o objetivo proposto pelo trabalho.

Sugere-se para trabalhos futuros, a análise das estratégias a partir da série de dados climáticos que será gerada nos próximos dez anos, com os dados horários das estações automáticas já implantadas no Estado para elaboração do Ano Climático de Referência e dos Dias Típicos de Projeto em cada cidade e até mesmo em outras cidades do Estado. Estes dados poderão servir, futuramente, para inserção em programas computacionais de simulação de desempenho térmico de edifícios.

Outra sugestão é que sejam investigados os dados de temperatura e velocidade do ar nas cidades, relacionando estas variáveis com as preferências térmicas dos usuários, a fim de encontrar parâmetros que melhor definam as condições de conforto térmico no estado, bem como, as condições propícias à aplicação da ventilação natural como estratégia bioclimática.

Considera-se que a avaliação do potencial de uso das estratégias bioclimáticas segundo Givoni (1992) possibilitou analisar de acordo com as características climáticas das cidades, a aplicação das estratégias indicadas na Carta Bioclimática. Quanto à ventilação natural, por exemplo, verificou-se que embora tenha sido a estratégia mais indicada para as horas em desconforto nas três cidades analisadas, seu potencial de aplicação é baixo no verão, quando os valores de temperatura do ar estão, geralmente acima dos 32°C indicados por Givoni (1992).

Vale analisar que, apesar do limite sugerido por Givoni (1992) para utilização da ventilação natural como estratégia bioclimática ser de 32°C para temperatura externa, observa-se que, em Maceió, mesmo quando as temperaturas excedem este índice é possível promover conforto térmico nos ambientes através da ventilação natural.

Ainda quanto às estratégias discutidas, considera-se que a consciência a respeito de determinadas características peculiares de cada lugar, é essencial para que o arquiteto seja capaz de projetar uma arquitetura coerente com o clima local em cada cidade. A direção predominante dos ventos, a amplitude térmica e os índices de precipitação foram as principais diferenças encontradas.

A análise através do Ano Climático de Referência não evidenciou as diferenças climáticas entre as cidades, visto que a metodologia da escolha de um Ano de Referência prevê a exclusão dos anos em que ocorreram temperaturas extremas, tanto máximas quanto mínimas. Na análise através do Dia Típico essas diferenciações

ficaram mais claras, através dos níveis de desconforto por calor no verão e por frio no inverno, principalmente nas cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, onde as temperaturas no inverno alcançam valores mais baixos.

Na caracterização da arquitetura habitacional das cidades estudadas, verificou-se o potencial para utilização de elementos de adaptação ao clima como pérgulas, captadores de vento, ajustes no tamanho e posicionamento das esquadrias e massa térmica. Além disto, foi possível confirmar a necessidade da aplicação das estratégias recomendadas através de exemplos já existentes nas cidades, como por exemplo, o uso de vegetação para sombreamento e resfriamento evaporativo na cidade de Pão de Açúcar (Figura 39), o uso de varandas e protetores contra radiação direta e chuvas em Maceió (Figura 30) e Palmeira dos Índios (Figura 32 e 33).

Verificou-se a carência de parâmetros de conforto térmico, mais adequados ao clima quente e úmido. Os estudos de Araújo, V (1996) e Araújo, M (2008) confirmam essa necessidade e mostraram-se mais próximos dos dados de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, inseridos sobre os limites propostos.

Na discussão do Zoneamento proposto pela Norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005) verificou-se que há estratégias recomendadas para as cidades de Maceió, Palmeira dos índios e Pão de Açúcar, que não estão de acordo com a análise dos dados feitas neste trabalho, como por exemplo, o tamanho da área das aberturas e a desumidificação do ar, principalmente para a cidade de Pão de Açúcar, onde essa estratégia é desnecessária no verão.

A análise mostrou que A Zona 8 apresentada pela Norma não contempla especificidades climáticas das cidades analisadas. Talvez o fato de que, grande parte dos dados climáticos utilizados tenha sido obtida através de interpolação, devido à carência de dados registrados em todas as cidades, tenha contribuído para esta generalização das

estratégias nas cidades analisadas. A inserção de dados específicos das localidades poderia gerar novas zonas intermediárias de classificação climática.

O trabalho apontou, enfim, estratégias a serem adotadas em Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, mostrando que mesmo num Estado territorialmente pequeno, há diferenças climáticas que podem interferir no projeto arquitetônico para que haja uma melhor adequação climática. Destaca-se ainda, a importância do monitoramento das variáveis ambientais e da disponibilidade de dados tratadas para os projetistas, a fim de proporcionar um melhor desempenho térmico das edificações que vem sendo construídas.

Além disto, o presente trabalho representa uma contribuição para os estudos de dados climáticos aplicados à arquitetura, ainda pouco explorados no Brasil e colabora para a divulgação de dados climáticos úteis ao projeto de arquitetura para as cidades analisadas, tendo em vista a carência deste tipo de informação no estado de Alagoas.

A análise dos dados meteorológicos das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar pode contribuir na melhoria do desempenho térmico de habitações nas cidades ou na implantação de futuros projetos habitacionais no local, visando a obtenção de melhores índices de conforto térmico e adequação ao clima.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a simulação de alternativas de projeto a partir das recomendações feitas neste trabalho, considerando o clima de cada cidade, bem como o estudo aprofundado das características climáticas do Estado para fins de Zoneamento Climático com vistas a Arquitetura e ao Planejamento Urbano.

## Referências

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fulvio; AQUILINO, Marcelo de Mello; BRITO, Thiago Vasconcelos. **Dados climáticos da Cidade de São Paulo: Variações nos Últimos Anos.** In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro-SP, 2001.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio; KAMACIRO, Cristina. **Tratamento Estatístico de Dados climáticos para a Definição dos Períodos de Verão e de Inverno.** In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis-SC, 1993.

ALBENTOSA, L. M. **Climatología dinámica, sinóptica o sintética. Origen y desarrollo.** In: Revista de Geografía. Ano 1976. V. 10. N. 1-2.

**LABEEE.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. ANALYSIS Bio. Versão 2.1.3. UFSC – ECV – NPC – LABEEE, 2007. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>

ARAÚJO, M. R. de O. **Conforto Térmico em salas de aula localizadas em clima quente e úmido: uma avaliação do limite inferior da zona de conforto.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado – DEHA. Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 2008.

ARAÚJO, V. M. D. de; MARTINS, T. L. F. **Tratamento de Dados climáticos para a Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações em Natal – RN.** In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis-SC, 1993.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino.** São Paulo, 179p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1996.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **ASHRAE Handbook of fundamentals.** New York, 1993.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy.** ASHRAE: Atlanta, 2004.

ASSIS, E. S. de. **Método Integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte – MG.** VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro-SP, 2001.

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.

AULICIEMS, A. **Psycho-Physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design.** In: Proc. Of Inter. Biometeorology Congress in Journal of Biometeorology, supplement to vol. 26, 1982.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** 5º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332p.

BARBIRATO, G. M. **Aplicação de Modelo de Balanço de Energia para análise do Ambiente Térmico Urbano de Maceió-AL.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 1998.

BARBOSA, R. V. R. **Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudos em microclimas de Maceió (AL).** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

BASTOS, L. E. G.; BARROSO-KRAUSE, C. ; BECK, L. Estratégias da Ventilação Natural em Edificações de Interesse Social e a Norma ABNT 15220-3 : Zoneamento Bioclimático X Potencial Eólico Brasileiro. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto-MG, 2007.

BATISTA, J. O. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano: Estudos de caso em Santana do Ipanema – AL.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2006.

BITAN, A. The methodology of applied climatology in planning and building. Energy and Buildings. v.11, n.1, p.1-10. 1988.

BITTENCOURT, L. S. **Clima e repertório arquitetônico.** In: PROJETAR 2005- II Seminário sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura: Rebatimentos, Práticas e

Interfaces, 2005, Rio de Janeiro. Anais do II Seminário sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura. Rio de Janeiro : Cristiane Duarte, Paulo Afonso Rheingantz, Laís Bronstein, Gisele Azevedo, 2005. v. 1. p. 1-15.

BITTENCOURT, Leonardo S. **Uso das cartas solares. Diretrizes para arquitetos.** Maceió: EDUFAL, 2004.

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

BITTENCOURT, Leonardo. **Arquitetura e poesia.** Maceió-AL: Universidade Federal de Alagoas, 1989.

BRANDÃO, D. Q. **Tipificação e aspectos morfológicos de arranjos espaciais de apartamentos no âmbito da análise do produto imobiliário brasileiro.** In: Ambiente Construído, v. 3. n. 1. p.35 – 53. Porto Alegre. jan/mar, 2003.

BRASIL, 2008. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/programas-urbanos/programas/programa-de-fortalecimento-da-gestao-municipal-urbana/resultados-e-novos-caminhos-da-campanha-plano-diretor-participativo/?searchterm=plano%20diretor%20obrigatoriedade>. Acesso em: 20 de maio de 2008.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990.** Brasília, DNMET, 1992. 84p.

BRUNTLAND, G.H. (editora). **Our common Future: The world commission on environment and Development.** Oxford. Oxford University Press. 398 pp. 1987.

CABUS, Ricardo Carvalho. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil.** Thesis (Doctor of Philosophy). School of Architectural Studies. University of Sheffield. 2002.

CAMPOS NAVARRO, F. E. **Arquitetura e Clima na Bolívia: uma proposta de Zoneamento Bioclimático.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. UNICAMP. Campinas-SP, agosto de 2007.

CÂNDIDO, Christhina. **Ventilação natural e códigos de obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió-AL.** Dissertação

(Mestrado em Arquitetura - Dinâmicas do Espaço Habitado.) Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2006.193f. : il.

CARVALHO, H. J. M. de. Metodologia Para A Análise das Interações entre a Forma Urbana e o Clima: Aplicação a uma Cidade Brasileira de Clima Litorâneo com Baixa Latitude. Tese (Doutor em Urbanismo). Programa de Pós - Graduação em Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro – RJ, 2006.

CARVALHO, H. M. de; SILVA F. A. G. da. **Utilização do Número de Graus-Dia na Avaliação de Desempenho Termo-Energético de Edificações.** In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Curitiba-PR, 2003.

CAVALCANTI, F. A. de M. S. **Arquitetura bioclimática no clima quente e úmido: uma análise do terminal rodoviário de Maceió.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas. 2007.

CERASI, M. **Muqarnas: na annual on the visual culture of the islamic world.** Brill Academic Publisher: 1998. Disponível em <<http://books.google.com/books>>. Acesso em: 23 de outubro de 2008.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.288p.

DE BOTTON, Alain. **Arquitetura da Felicidade.** Rocco: São Paulo, 2007.

DE LA FLOR, F. J. S.; DOMINGUÉZ, S. A.; FÉLIX, J. L. M.; FALCÓN, R.G. **Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations.** In: Energy and Buildings. V. 40. P. 1984 – 1990. 2008. Disponível em <[www.Elsevier.com/locate/enbuild](http://www.Elsevier.com/locate/enbuild)>. Acesso em 23 de agosto de 2008.

DEMIRBILEK, F. N.; YALÇINER, U. G.; ECEVIT, A.; SAHMALI, E.; INANICI, M. **Analysis of the thermal performance of a building design located at 2465 m: Antalya Saklikent National Observatory guesthouse.** In Building and Environmet 38. 2003. P. 177 – 184. Disponível em <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)> . Acesso em 22 de agosto de 2008.

DORNELLES, KELEN; RORIZ, MAURÍCIO. **Efeitos da Inércia Térmica sobre as Temperaturas Internas de Edificações na cidade de São Carlos, SP.** In: VI Encontro

Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió-AL, 2005.

DUARTE, Denise. **O clima como parâmetro de projeto para a região de Cuiabá.** São Carlos, 1995. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DUARTE, Denise. **Padrões de Ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental.** São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

DUMKE, E.M.S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social.** Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002, 230p.

EMMANUEL, R. *An urban approach to climate sensitive design: strategies for the tropics.* London: SponPress, 2005. 172p.

EMMIT, S. **Architectural Technology.** Blackwell Publishing: Feb 1, 2002. Disponível em: <[http://books.google.com/books?ie=UTF-8&vid=ISBN063206403X&id=K6togH6XBOIC&num=10&dq=TYPOLOGIES+%2B+Architectural+Technology&pg=PR2&pg=PR3&printsec=3&sig=GvrELJWAU\\_0K\\_SOpEwuW8wh4SWs](http://books.google.com/books?ie=UTF-8&vid=ISBN063206403X&id=K6togH6XBOIC&num=10&dq=TYPOLOGIES+%2B+Architectural+Technology&pg=PR2&pg=PR3&printsec=3&sig=GvrELJWAU_0K_SOpEwuW8wh4SWs)> Acesso em: 26 outubro 2008.

ENGIN, N.; VURAL, N.; VURAL, S.; SÜMERKAN, M. R. **Eastern Black Sea Region – A sample of modular design in the vernacular architecture.** In: Building and Environmet. v. 42. pp. 2746-2761. 2007. Disponível em <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)> Acesso em 22 de agosto de 2008.

ERELL, E.; PORTNOV, B.A.; ETZION, Y. **Mapping the potential for climate-conscious design of buildings.** In: Building and Environmet. v. 38. pp. 271-281. 2003. Disponível em <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em 22 de agosto de 2008.

EVANS, J. M. **The Comfort Triangles: A New Tool for Bioclimatic Design.** Tese (Doctor of Philosophy). Technische Universiteit Delft. 2007

FANGER, P. O. **Thermal Comfort.** Malabar – Flórida: Robert E. Krieger Publishing Co, 1982.

- FATHY, Hassan. **Natural Energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to hot arid climates**. Chicago: The University of Chicago Press, 1986.
- FIGUEIREDO, J. O. G. de R.; MOURA, M. A. L.; TENÓRIO, R.S.; QUERINO, C. A. S.; ALBUQUERQUE, J.K. **Aspectos da pluviometria anual, intranual e interanual nas mesorregiões e microrregiões de alagoas**. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002.
- FOSTER, Disponível em <[www.fosterandpartners.com](http://www.fosterandpartners.com)> 2008. Acesso em 11 de setembro de 2008.
- FREIXANET, Victor Armando Fuentes. **Clima y Arquitectura**. 1 ed. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco: México, 2004.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 7.ed. São Paulo: Nobel, 2003.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.
- GIVONI, B. **Comfort climate analysis and building design guidelines**. Energy and Buildings, v.18, n.1, p. 11 – 23, 1992.
- \_\_\_\_\_. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- \_\_\_\_\_. **Climate considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- GOIS, G. de; SOUZA, J. L. de; SILVA, P. R. T. da; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. de. **Caracterização da desertificação no estado de alagoas utilizando variáveis climáticas**. In: Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.3, 301-314, 2005.
- GOLÇALVES, W. B., RIBEIRO, M. A., ASSIS, E. S., ZAMORANO, L. G., TORRES, I. A., BUONICONTRO, L. S., DINIZ, A. S. A. C. **Estudo de Zoneamento Bioclimático para o estado de Minas Gerais com base nas tabelas de Mahoney - considerações sobre a metodologia e resultados preliminares**. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Curitiba, 2003 p. 242.

- GOMES, V. J. F. **O meio ambiente e o risco de apagão no Brasil**. In: II Seminário Internacional de regulação e reestruturação de energia elétrica e gás natural. GESEL, UFRJ, 2007.
- GOULART, S. LAMBERTS, R., FIRMINO, F. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: NPC/UFSC, 1997.
- GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto. **Dados climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações**. In: I Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. 1993.
- GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto. **Dados climáticos para Uso em Cálculos Simplificados de Consumo de Energia**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Gramado-RS, 1995.
- HARRIS, A. L. N. de C.; LABAKI, L. C. **Uma Proposta de Análise Climática Fuzzy Baseada no Método dos Triângulos**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. São Pedro-SP, 2001.
- HERTZ, John B. **Ecotécnicas em arquitetura - Como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. São Paulo: Pioneira, 1998.
- HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.
- HYDE, R.A. **Climate responsive design: a study of buildings in moderate and hot humid climates**. London: Spon Press, 2000. 244 p. il.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal do Brasil** (em formato shapefile). 2005.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Brasil Climas** - escala 1:5.000.000. Disponível em: < <http://mapas.ibge.gov.br/clima/viewer.htm> > . Acesso em 24 de agosto de 2008. 2002.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados horários: temperaturas, umidade relativa, vento e precipitação das estações meteorológicas de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. CD-ROM. (1997-2008). 2008.
- IPCC. Painél Intergovernamental sobre Mudança Climática. **Relatório do IPCC/ONU: Novos Cenários Climáticos**. In: ECOLATINA, Conferência Latino-Americana sobre

Meio Ambiente e Responsabilidade Social. Versão em português: iniciativa da Ecolatina. 2007.

KOENIGSBERGER, O. H. *et al.* **Manual of Tropical housing and building. Part One: Climatic Design.** Longman Group Limited: London, 1974.

KÖPPEN, W. Climatología. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

LAM, J. C.; TSANG, C.L. YANG, L.; DANNY, H. W. Li. Weather data analysis and design implications for different climatic zones in China. *Building and Environmet.* v. 40. p. 277 – 296. 2005. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em 21 de julho de 2008.

LAMBERTS, R.; LOUREIRO, K.; CARLO, J. **Estudos de estratégias bioclimáticas para a cidade de Manaus.** In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, 2002.

LICHTENBERG, A. R. **Alta Qualidade Ambiental Aplicada ao projeto de Reabilitação Residencial Urbana em Clima Tropical Quente Úmido: A EcoHouse Urca.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

LINS, Stefani Brito. (coord.). **ENCICLOPÉDIA MUNICÍPIOS DE ALAGOAS.** Publicação do Instituto Arnon de Melo: Maceió – AL. Maio, 2006.

LOPES, A. M. S. **Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético.** (Tese de Doutorado). Doutorado em Geografia Física. Universidade de Lisboa, 2003.

MACIEL, Alexandra A. **Integração de Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico.** Tese (Doutor em Engenharia Civil)- Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

MACIEL, Alexandra A. **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. 138f.

MALUF, J. R. T.; COSTA, M. S. S. de; ANTÔNIO, M. G.; CAIAFFO, M. R. **Características climáticas da região de dispersão natural de Pau Ferro (Astronium**

- balansae Engl.) no estado do Rio Grande do Sul.** Embrapa, 1999. Disponível em [www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_pa04.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_pa04.htm). Acesso em 15 de setembro de 2008.
- MANIOGLU, G; YILMAZ, Z. **Energy efficient design strategies in the hot dry area of Turkey.** Building and Environment. v.43. p.1301 – 1309. 2008. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Acesso em 12 de agosto de 2008.
- 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.
- MARTÍNEZ, A.C. **Ensaio sobre projeto.** Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2000. 198 p.
- MARTINS, T. A. **Imagens de Pão de Açúcar.** Arquivo gentilmente cedido pela autora. 2008.
- MAZRIA, Edward. **Key to the global thermostat: meeting humanity's greatest.** In: NUTAU 2004 – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo. Anais... São Paulo, 2004.
- MELO, M. A. de. **Traço do Arquiteto.** Pro Livros: São Paulo, 2005.
- MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA I. M. **Climatologia. Noções básicas e Climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- MILLER, A. **Climatología.** Omega: Barcelona, 1975. 4 ed. 379 p.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. de O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro.** In: Revista Brasileira de Meteorologia. V. 17. N. 1. P. 1-10. 2002.
- MONTEIRO, Carlos A. F. **Teoria e Clima Urbano.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1976. Série Teses e Monografias, n. 25.
- MORAIS, C. S. de. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos - SP.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 2004. 106p.

- MOURA, E. **João Filgueiras Lima. Centro de Reabilitação Infantil Sarah-Rio, Riode Janeiro.** In: Revista ProjetoDesign. Ed. 266. Abril, 2002. Disponível em: <www.arcoweb.com.br> Acesso em 4 de setembro de 2008.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: FIBGE, 1989.
- OKE, T. R. **Boundary layer climates.** 2.ed. New York: Routledge,1987. Reimpresso em 1996. 435p.
- OKE, T. R. **Initial Guidance to obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites.** Instruments and Observing Methods. Report No. 81. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. N. 1250. 2006.
- OKTAY, Derya. **Design with the climate in housing environments: an analysis in Northern Cyprus.** Building and Environment. V. 37 p. 1003 – 1012. 2002.
- OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimáticos para Arquitectos e Urbanistas.** Editorial Gustavo Gilli S A , Barcelona, 1998.
- PASSOS, I. C. da S. **Habitação de interesse social e conforto térmico: recomendações para a cidade de Maceió - AL.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas. 2006.
- PEREIRA, I.; ASSIS, E. S. de. **Discussão da Classificação Bioclimática de Belo Horizonte Proposta pelo Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações.** In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió-AL, 2005.
- PEREIRA, S. G. **A historiografia da arquitetura brasileira no século XIX e os conceitos de estilo e tipologia.** In: Estudos Ibero-Americanos. PUCRS, v. XXXI, n. 2. 143-154, dezembro, 2005.
- PIETROBON, C. E.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R. **Tratamento de Elementos Climáticos para a Climatologia das Edificações: o Caso de Maringá – PR.** In: V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza-CE, 1999.
- PORTA-GÁNDARA, M. A.; RUBIO, E.; FERNÁNDEZ, J. L. **Economic feasibility of passive ambient comfort in Baja California dwellings.** Building and Environment. V. 37. p. 993 – 1001. 2002.

- PRATA, A. R.; FROTA, A. B. **Caracterização Climática – Estudo de Caso na Cidade de Santos, São Paulo**. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto-MG, 2007.
- PROCEL. O que você pode fazer. Informativo Eletrobrás do PROCEL. Rio de Janeiro, n.56, maio 2001.
- REIS FILHO, Nestor G. **O Quadro da Arquitetura no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2004.
- 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.
- ROVO, M. K. I.; OLIVEIRA, B. S. **Por um regionalismo eco-eficiente: a obra de Severiano Mário porto no Amazonas**. Arqtextos 047. Texto especial 226, 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arqtextos/arq000/esp226.asp>>. Acesso em 01 de outubro de 2008.
- SAAVEDRA, J. E. C. **Caracterización Climática para el Diseño Bioclimático en la Vivienda. Caso de diez ciudades de Bolivia**. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto-MG, 2007.
- SANTAMOURIS, M. **On the built environment – the urban influence**. In: Energy and climate in the urban built environmet. 2001.
- SATTLER, M. A. **Dias Climáticos Típicos para o Projeto térmico de edificações em Porto Alegre**. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.
- SCHLEE, Andrey Rosenthal. **O clima e a arquitetura brasileira**. In: Ciência e Ambiente. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, v. 22, jan /jun, p. 19-58. 2001.
- SCHMID, A. L. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. 338p.
- SENA, C. B. **Análise Comparativa entre o método de Mahoney tradicional e o método de Mahoney nebuloso para caracterização do clima no projeto arquitetônico**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia da Construção Civil. São Paulo, 2004. 132 p.

- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação**. 3ª edição revisada e atualizada. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121 p.
- SILVA, M. A. da. **Arquitetura moderna: a atitude alagoana**. Maceió: SERGASA, 1991.
- SOUSA, J.; CARPANEDA, L. V.; MACIEL, A. C. P.; GOMES, M. BUSTO ROMERO, M. A. **Caracterização do Clima Para A Cidade De Brasília: Leituras Comparativas**. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto-MG, 2007.
- STAMPER, E. *Weather data*. ASHRAE *journal*, p. 47, fevereiro de 1977.
- TOLEDO, A. M. **O lugar da arquitetura bioclimática no panorama das tendências da arquitetura moderna e contemporânea**. In: V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza – CE, 1999.
- TORRES, Simone C. **Arranjos Construtivos Urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura – Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.
- UBER, L. L. **O ensino e a disposição final das informações climatológicas aplicadas ao ambiente construído**. In: I Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. 1993.
- VIEGAS, W. **Fundamentos Lógicos da Metodologia Científica**. 3ª edição revista. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007. 242 p.
- VITRUVIO, Marco Lucio. **Los Diez Libros de la Arquitectura**. Barcelona: Iberia, 1997.
- 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.

## Apêndices

### Apêndice A – Dias Típicos

A seguir são apresentados os dias típicos estabelecidos de acordo com a metodologia de Sattler (1989) apresentada por Goulart (1993), para as três cidades analisadas. São apresentados dados de TBS – temperatura de bulbo seco, UR – Umidade Relativa do Ar, VV – Velocidade do Vento e DV – Direção predominante do vento. Não foram incluídos dados de nebulosidade.

A metodologia foi aplicada a um período de um ano de dados horários cedidos pelo INMET (INMET, 2008), pois não há dados horários registrados por um período de dez anos. Como não houve grandes variações de um nível de frequência para o outro, foram adotados apenas os níveis de 1% e de 10% para os períodos de verão e inverno.

#### Dias Típicos: Maceió

##### Verão

nível 1%	data de referência: 26/01			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	27,3	76	3,3	57
1	27,0	77	3,0	57
2	26,7	78	3,1	51
3	26,6	78	3,2	50
4	26,2	79	3,5	45
5	26,0	80	3,1	39
6	25,4	81	2,3	23
7	24,8	83	1,9	27
8	24,6	84	1,6	32
9	27,1	82	2,1	50
10	31,0	73	3,5	16
11	34,7	62	5,4	356
12	37,3	50	5,4	36
13	37,2	46	4,9	16
14	40,0	41	4,9	17
15	37,0	39	4,3	48
16	38,7	51	6,1	86
17	36,7	55	7,3	80

18	35,6	55	6,9	82
19	34,9	57	7,1	74
20	30,3	63	7,8	68
21	28,1	74	6,7	66
22	27,7	74	6,9	65
23	27,3	76	3,9	44

nível 5%	data de referência: 25/01			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	25,9	77	1,6	80
1	24,8	81	1,4	15
2	24,7	81	1,3	21
3	24,8	83	1,5	359
4	24,1	84	1,1	24
5	23,2	87	1,2	30
6	22,9	88	0,9	20
7	22,9	88	0,2	16
8	22,6	88	0,9	4
9	28,2	84	0,1	26
10	32,2	76	2,3	10
11	33,7	68	4,3	360
12	33,6	58	3,0	11
13	36,5	48	3,1	11
14	39,8	42	2,5	54
15	37,1	52	4,9	104
16	36,1	55	5,8	110
17	36,9	55	6,1	94
18	36,0	57	6,6	78
19	34,3	61	6,7	74
20	31,3	64	6,6	68
21	28,5	73	5,1	70
22	27,9	76	4,1	69
23	27,6	76	4,1	64

nível 10%	data de referência: 16/02			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	26,9	81	3,0	72
1	26,6	83	2,3	41
2	26,5	84	2,7	42
3	26,2	84	1,6	42
4	25,6	87	1,5	26

5	25,6	87	1,8	39
6	25,0	88	0,9	57
7	25,2	87	1,9	47
8	24,7	88	1,4	35
9	27,6	87	1,9	50
10	31,5	79	2,8	29
11	31,3	67	3,9	43
12	33,6	63	4,4	53
13	35,2	62	4,8	63
14	36,1	57	4,6	76
15	36,7	52	5,8	76
16	36,1	57	6,2	85
17	35,8	56	7,3	80
18	34,5	63	7,5	73
19	31,5	68	6,8	83
20	28,5	73	6,6	72
21	26,8	80	5,5	70
22	26,7	76	2,5	59
23	26,6	77	2,4	58

### Inverno

nível 1%	data de referência: 13/07			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	21,0	91	1,5	232
1	20,7	92	1,8	265
2	20,7	92	2,6	240
3	20,7	91	0,6	234
4	20,4	91	0,8	305
5	19,7	91	1,3	330
6	19,7	92	2,0	2
7	19,6	91	1,4	303
8	19,2	91	1,4	264
9	19,2	91	1,3	279
10	20,0	91	1,2	312
11	21,3	88	1,8	248
12	-	-	-	-
13	22,7	88	1,2	222
14	24,5	73	2,6	198
15	25,7	62	3,3	133
16	26,2	64	3,1	123
17	-	-	-	-
18	26,3	63	3,8	125

19	25,3	68	2,5	129
20	24,9	73	2,1	145
21	24,5	76	1,2	150
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-

nível 5%	data de referência: 25/06			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	23,9	88	0,9	354
1	23,8	90	2,3	100
2	23,7	91	0,4	242
3	23,8	84	3,3	114
4	22,7	92	1,3	63
5	22,2	91	1,6	124
6	21,8	92	1,7	100
7	22,2	93	1,0	57
8	22,2	94	0,4	48
9	22,1	95	1,2	257
10	22,2	95	1,0	350
11	-	-	-	-
12	21,7	88	2,5	142
13	21,9	91	3,5	167
14	22,1	91	2,1	223
15	22,7	92	1,8	233
16	23,0	91	2,7	187
17	23,4	86	2,6	182
18	23,7	85	2,9	158
19	24,1	84	2,4	153
20	23,2	89	2,8	148
21	23,0	92	0,6	119
22	22,6	92	2,0	79
23	22,3	94	2,8	74

nível 10%	data de referência: 23/08			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	22,8	79	0,6	147
1	22,7	82	0,9	234
2	22,4	85	0,4	99
3	22,0	88	0,9	258
4	21,7	89	1,5	266
5	21,4	90	1,7	285

6	21,3	92	1,4	270
7	21,5	92	2,9	159
8	21,6	92	0,8	241
9	21,6	93	1,3	271
10	21,7	94	1,4	222
11	22,1	94	0,8	162
12	22,7	89	1,9	111
13	24,6	83	2,2	214
14	25,4	73	4,6	129
15	-	-	-	-
16	25,9	72	4,6	129
17	-	-	-	-
18	26,5	71	4,7	121
19	23,9	82	3,3	117
20	23,3	91	2,9	95
21	23,4	90	3,6	98
22	23,4	86	3,9	109
23	22,7	86	3,7	122

### Dias Típicos: Palmeira dos Índios

#### Verão

nível 1%	data de referência: 25/02			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	26,6	71	5,1	71
1	26,6	67	5,1	75
2	26,1	69	4,7	64
3	25,8	69	4,2	60
4	25,6	69	3,5	48
5	25,6	67	3,9	42
6	25,5	65	3,5	35
7	25,1	68	2,7	23
8	25,0	69	3,3	29
9	25,1	70	4,3	17
10	27,0	61	2,9	68
11	29,4	49	3,8	40
12	31,5	42	3,0	39
13	32,6	35	3,7	35
14	33,9	34	1,8	28
15	35,1	32	2,5	20
16	36,2	30	2,3	162
17	34,9	31	4,1	104
18	34,6	32	2,8	80
19	33,0	40	6,3	32
20	31,9	43	5,1	56
21	29,8	61	5,3	85

22	28,6	66	5,2	74
23	27,5	71	5,7	50

nível 10%	data de referência: 01/12			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	25,5	73	6	71
1	25,2	73	5,3	80
2	24,6	74	4,5	76
3	24,4	72	3,7	61
4	24,4	71	2,2	36
5	24,1	70	4,4	47
6	24,0	68	1,9	196
7	23,7	70	1,4	300
8	23,6	71	1,9	97
9	24,5	67	2,4	59
10	26,2	58	4,7	31
11	28,3	50	4,3	48
12	29,8	41	2,9	6
13	31,4	36	3,2	14
14	34,5	31	2,1	54
15	35,9	29	2,9	70
16	36,2	27	2,2	63
17	36,8	26	1,9	32
18	35,3	30	2,2	78
19	34,7	32	3,3	107
20	31,4	51	5	107
21	28,4	60	5,5	84
22	27,1	65	5,6	73
23	26,7	66	5	77

## Inverno

nível 1%	data de referência: 18/08			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	19,1	91	1,9	70
1	19,5	89	1,6	40
2	19,5	90	1,5	32
3	19,5	91	0	114
4	19,3	93	0	139
5	18,6	94	0	205
6	18,4	94	0	332
7	18,4	95	0,4	225
8	18,5	95	0,8	173
9	18,9	95	0	30
10	19,1	94	0,4	148
11	19,7	94	1,4	227
12	20,2	92	1,7	163

13	22,0	82	0,8	166
14	21,4	84	0,8	19
15	23,9	71	1,4	83
16	21,3	91	0,8	165
17	20,6	86	5,8	108
18	21,5	89	2,3	84
19	21,3	89	0,3	35
20	21,7	82	1,7	119
21	20,1	88	1	39
22	20,0	87	0,7	40
23	19,3	89	1,1	30

nível 10%	data de referência: 21/07			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	20,0	93	0	336
1	19,8	94	0	336
2	19,4	94	0	7
3	19,4	94	0	302
4	19,5	95	0	245
5	19,6	95	0	65
6	19,3	95	0	33
7	19,0	95	0	212
8	19,2	96	0,2	20
9	19,2	96	0	69
10	19,6	96	0,2	76
11	20,3	95	1,2	90
12	20,9	95	1,6	139
13	22,2	91	2,2	115
14	21,8	91	2,2	104
15	20,8	91	3,4	119
16	21,6	86	2,3	88
17	22,9	85	2,6	125
18	23,3	77	3,8	107
19	23,2	79	2,6	71
20	20,4	91	2,2	43
21	20,2	93	1,8	98
22	20,2	93	0,5	58
23	20,2	94	1,1	30

### Dias Típicos: Pão de Açúcar

#### Verão

nível 1%	data de referência: 25/02			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	29,6	60	4,2	114

1	28,9	63	4,0	115
2	28,3	67	4,0	122
3	27,9	68	2,5	114
4	27,7	70	2,0	126
5	27,6	65	2,5	122
6	26,9	68	1,1	119
7	26,2	71	1,0	115
8	25,5	75	0,6	89
9	25,7	74	0,7	98
10	27,8	65	1,7	137
11	30,7	52	2,4	55
12	33,2	40	1,1	17
13	33,9	38	1,7	169
14	36,1	33	1,3	118
15	36,8	32	2,5	148
16	37,4	29	2,3	186
17	37,8	27	1,3	83
18	38,7	25	1,1	113
19	38,8	24	2,2	95
20	35,6	41	6,2	121
21	33,4	49	4,1	89
22	31,9	54	5,4	121
23	30,6	61	4,5	124

nível 5%	data de referência: 24/02			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	28,4	64	5,3	110
1	27,9	68	4,0	111
2	27,6	70	3,0	112
3	27,1	74	2,6	120
4	26,6	76	1,7	118
5	25,8	77	0,3	90
6	24,9	79	0,6	103
7	24,8	79	0,0	274
8	23,8	81	1,0	43
9	24,7	78	0,0	39
10	27,2	68	0,7	99
11	28,8	62	1,4	160
12	31,5	44	2,3	87
13	34,5	38	1,0	75
14	34,9	35	2,4	216
15	35,9	33	2,1	206
16	36,4	29	1,9	195

17	37,3	27	1,9	141
18	38,2	25	1,4	222
19	38,0	23	1,0	262
20	37,6	23	1,3	251
21	33,3	49	6,3	127
22	31,4	57	5,0	128
23	30,3	61	4,9	123

nível 10%	data de referência: 26/02			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	29,6	60	4,2	114
1	28,9	63	4,0	115
2	28,3	67	4,0	122
3	27,9	68	2,5	114
4	27,7	70	2,0	126
5	27,6	65	2,5	122
6	26,9	68	1,1	119
7	26,2	71	1,0	115
8	25,5	75	0,6	89
9	25,7	74	0,7	98
10	27,8	65	1,7	137
11	30,7	52	2,4	55
12	33,2	40	1,1	17
13	33,9	38	1,7	169
14	36,1	33	1,3	118
15	36,8	32	2,5	148
16	37,4	29	2,3	186
17	37,8	27	1,3	83
18	38,7	25	1,1	113
19	38,8	24	2,2	95
20	35,6	41	6,2	121
21	33,4	49	4,1	89
22	31,9	54	5,4	121
23	30,6	61	4,5	124

**Inverno**

nível 1%	data de referência: 30/06			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	19,6	86	0,0	356
1	18,3	90	0,0	354
2	17,7	90	0,3	40
3	17,4	92	0,0	348
4	17,3	93	0,0	340
5	17,1	93	0,2	2
6	16,7	93	0,0	350
7	16,5	93	0,0	341
8	17,0	94	1,1	355
9	17,4	94	0,2	358
10	18,6	91	1,4	306
11	19,5	88	0,3	117
12	21,4	88	0,9	127
13	23,5	81	1,0	157
14	25,8	71	2,0	111
15	27,7	59	2,5	125
16	25,8	72	1,7	129
17	26,2	68	1,3	93
18	27,1	64	0,8	151
19	26,5	63	1,6	110
20	24,7	71	1,4	99
21	23,6	76	0,7	96
22	22,9	80	1,0	128
23	21,7	85	0,0	49

nível 5%	data de referência: 18/08			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	21,6	92	0,3	95
1	21,5	91	1,7	138
2	21,2	90	1,1	149
3	21,0	90	0,2	83
4	20,9	91	0,0	343
5	20,7	92	0,1	1
6	20,1	93	0,0	348
7	19,8	93	0,0	350
8	19,7	94	0,6	210
9	20,0	94	0,1	46

10	21,9	91	0,5	74
11	22,8	84	1,5	120
12	23,4	76	4,8	136
13	25,8	63	3,2	119
14	20,8	91	3,0	106
15	23,6	76	1,4	129
16	26,7	63	2,4	120
17	21,5	86	2,9	117
18	23,0	82	1,8	140
19	22,3	85	1,8	103
20	22,6	84	0,2	99
21	22,2	82	1,3	109
22	22,0	81	1,8	132
23	21,1	86	0,0	71

nível 10%	data de referência: 19/06			
	TBS(°C)	UR (%)	VV (m/s)	DV (graus)
0	22,2	85	0,8	120
1	21,1	88	0,7	25
2	21,0	90	0,0	224
3	21,3	90	0,0	244
4	21,3	89	0,0	257
5	20,6	90	1,0	295
6	20,0	92	0,9	318
7	19,7	92	0,5	305
8	19,8	92	1,1	287
9	20,0	91	1,3	317
10	20,5	90	0,8	316
11	22,8	81	0,5	317
12	24,6	75	0,9	51
13	26,1	68	2,2	113
14	23,0	87	3,7	157
15	24,9	82	1,8	146
16	24,8	82	2,7	141
17	24,2	83	3,3	148
18	25,6	68	3,5	147
19	24,4	78	3,4	110
20	22,8	83	2,2	112
21	22,2	83	3,1	108
22	21,5	86	2,7	110
23	21,8	84	1,6	109