

## ANÁLISE DE DADOS METEOROLÓGICOS COMO SUBSÍDIO A PROJETOS BIOCLIMÁTICOS EM ALAGOAS

**Isabela Cristina da S. Passos (1); Gianna Melo Barbirato (2)**

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado,  
isabela@ctec.ufal.br

(2) PhD, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, gmb@ctec.ufal.br  
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Grupo de Estudos em Conforto  
Ambiental - GECA, Maceió-AL, 57072-970, Tel.: (82) 3214 1268

### RESUMO

No Brasil, a escassez de dados meteorológicos como ferramenta importante no projeto de edificações ainda é um desafio. Frequentemente, projetistas desconsideram o clima como fator determinante de suas decisões durante o processo projetual ou o adotam de maneira generalista para várias cidades de uma região, nem sempre representando as especificidades microclimáticas locais. Este cenário demanda, portanto, pesquisas que caracterizem o clima das cidades a fim de subsidiar estratégias de projeto mais adequadas. No caso de projetos arquitetônicos de habitações, estratégias bioclimáticas são essenciais para promover condições ambientais internas favoráveis. Sendo assim, o presente trabalho traz uma análise estatística de dados meteorológicos de três cidades alagoanas, a fim de discutir estratégias bioclimáticas para estes locais. Foram analisados e tratados estatisticamente dados das variáveis ambientais: temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, velocidade e direção dos ventos de uma série histórica de dez anos (1997-2006). Os resultados obtidos permitiram identificar diferenças climáticas entre as cidades, principalmente quanto à amplitude térmica sazonal e direção dos ventos. Por fim, foram sugeridas algumas recomendações para cada uma das cidades. O estudo reforça a importância da análise de dados meteorológicos locais e tratamento destes, de modo a se tornarem ferramentas importantes para o projeto de edificações.

Palavras-chave: dados meteorológicos, projeto de arquitetura, 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. This scenario demands more research into this particular topic in order to characterize more accurately microclimatic patterns between cities and therefore more precise design strategies. In terms of household, bioclimatic strategies plays an essential rule in order to provide indoor environments with design passive strategies. This work exposes a statistical analysis of meteorological data for three cities in Alagoas aiming bioclimatic design strategies for households. Local climatic variables of a ten years historical data (1997-2006) including air temperature, relative humidity, precipitation, wind speed and direction had been statistically analyzed. Results identified significant climatic differences between the cities, specially for thermal amplitude and wind direction. Consequently, recommendations for each one of the cities had been suggested specifically for building design. This study emphasizes the local meteorological data analysis importance in order to obtain essential architectural design tools.

Key words: meteorological data, architectural design, Alagoas.

## 1. INTRODUÇÃO

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

Por outro lado, 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 desde o início do projeto. O que ocorre muitas vezes é uma importação de valores inadequados aos 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). Além disso, 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.

Em Alagoas, assim como em outros estados do país, há a carência de uma rede meteorológica que abranja as mais diversas cidades, bem como há 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, as informações climáticas da capital, Maceió, sejam considerados como parâmetro para construção nas demais cidades, ocasionando a generalização das recomendações para projetos de arquitetura e desenho urbano.

Um fato agravante é que, em países em desenvolvimento, os dados meteorológicos existentes não são tratados especificamente para fins de projeto de edificações, mas sim para áreas como a agricultura e a aviação, fazendo com que a climatologia se desenvolva mais em função dessas áreas. Isto explica a localização das estações meteorológicas, bem como a natureza dos parâmetros por elas mensurados (GOULART; FIRMINO; LAMBERTS, 1998).

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo, que se baseia em uma pesquisa de dissertação (PASSOS, 2009), é apresentar a análise de dados meteorológicos de três cidades localizadas em diferentes Mesorregiões Geográficas de Alagoas (IBGE), Maceió (leste), Palmeira dos Índios (agreste) e Pão de Açúcar (sertão), a fim de subsidiar projetos de arquitetura nessas cidades (Figura 1).



Figura 1: Localização das cidades em estudo no estado de Alagoas.

## 3. MÉTODO

Foram obtidos dados meteorológicos de estações convencionais de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade (m/s) e direção dos ventos e precipitação (mm), no período de 1997 a 2006, de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, a fim de caracterizar o perfil climático das cidades em estudo.

A partir do estudo observacional desta série histórica de dados meteorológicos, foi utilizada a Estatística Descritiva 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, os dados foram separados por anos e em seguida por meses em planilhas eletrônicas. Foi feita 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, devido a prováveis falhas no registro das informações.

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):

$$T_{mc} = \frac{t_9 + (2 \times t_{21}) + t_{m\acute{a}x} + t_{m\acute{i}n}}{5} \quad \text{Equação 1}$$

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);
- t min = temperatura mínima do ar (°C).

Partindo dos dados de máxima temperatura absoluta, média máxima, média compensada (calculada pela fórmula acima), 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. A partir de então, foram calculadas as médias mensais e anuais das variáveis e elaborados gráficos de frequência de ocorrência dos dados.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Temperatura do ar

Em Maceió, as temperaturas médias mensais dos anos analisados, variam entre 22,3 °C e 27, 3°C ao longo do ano. Os meses de maio a agosto possuem, em geral, temperaturas médias mensais mais baixas enquanto os meses de setembro a abril possuem médias mensais de temperatura mais altas. A máxima temperatura média do período analisado ocorreu no mês de março em 1998 e em 2006, já a mínima temperatura média mensal ocorreu em agosto de 2002 (Figura 2).

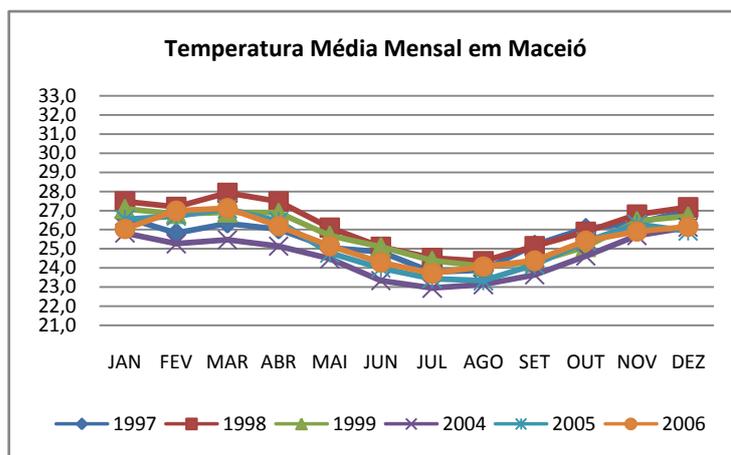


Figura 2: Temperaturas médias em Maceió. Fonte dos dados: INMET, 2008.

Na cidade de Palmeira dos Índios as temperaturas médias mensais, dos anos analisados, variam entre 21,7 °C e 28,5°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 2006 e a mínima temperatura média mensal em agosto de 1999 (Figura 3).

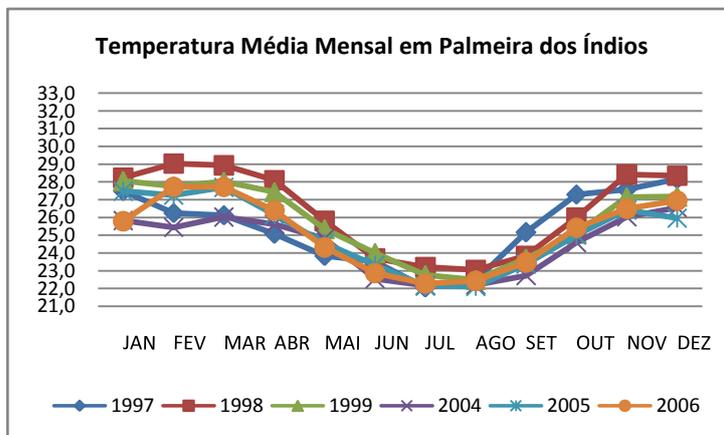


Figura 3: Temperaturas médias em Palmeira dos Índios. Fonte dos dados: INMET, 2008.

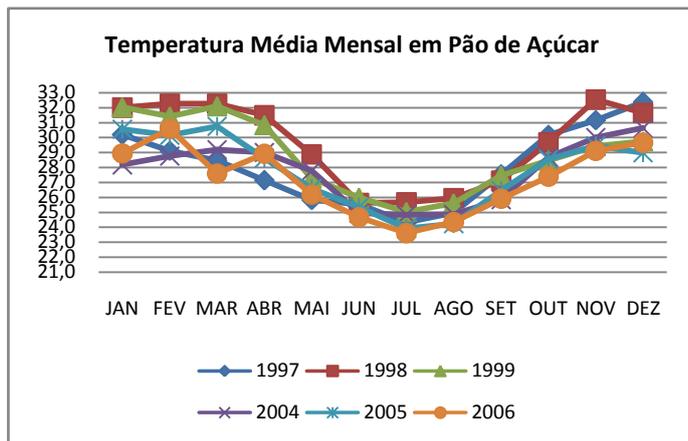


Figura 4: Temperaturas médias em Pão de Açúcar. Fonte dos dados: INMET, 2008.

A cidade de Pão de Açúcar apresentou os maiores valores de temperatura média mensal e a maior amplitude térmica, variando entre 23,9 °C e 31,4°C. Os valores mais baixos de temperatura média foram encontrados nos meses de junho e julho, e os mais altos nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. A máxima temperatura média do período analisado ocorreu no mês de março de 1998 e a mínima temperatura média mensal em julho de 1997 e 1999 (Figura 4).

Analisando-se os três gráficos anteriores 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 máxima de 5°C entre o mês mais frio e o mês mais quente do ano, em Palmeira dos Índios esse valor é de 6,8 °C e em Pão de Açúcar, 7,5 °C.

Foi analisada ainda a amplitude térmica diária ao longo dos meses em cada cidade, para isto, foram utilizados os valores horários mensais de temperatura, obtidos conforme a metodologia adotada no trabalho, elaborando as figuras a seguir. 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.

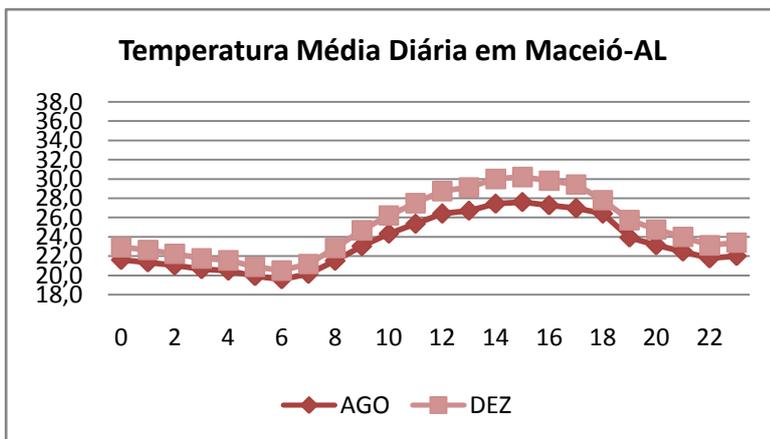


Figura 5: Temperaturas médias horárias ao longo dos meses na cidade de Maceió. Fonte dos dados: INMET, 2008.

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.

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

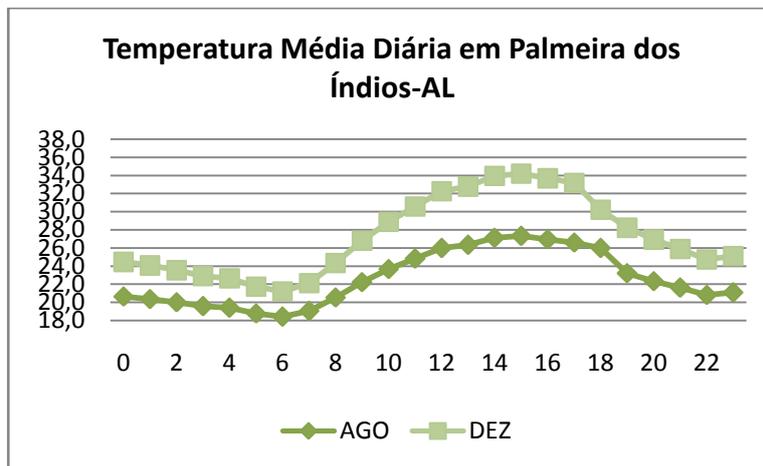


Figura 6: Temperaturas médias horárias ao longo dos meses em Palmeira dos Índios. Fonte dos dados: INMET, 2008.

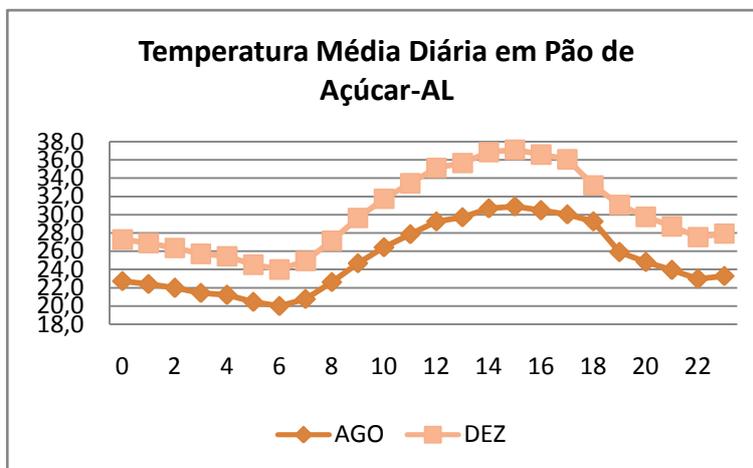


Figura 7: Temperaturas médias horárias ao longo dos meses em Pão de Açúcar. Fonte dos dados: INMET, 2008.

Verifica-se, portanto, que nas cidades de Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar (Figura 6 e Figura 7), há ocorrência de valores de amplitude térmica diária maiores que em Maceió, demandando diferentes estratégias de condicionamento térmico para atingir os níveis de conforto desejados.

## 4.2. 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 alcançou os 312,5 mm no mês de junho enquanto que a máxima média mensal em Palmeira dos Índios foi de 150 mm em junho e em Pão de Açúcar de 100 mm em maio (Figura 8).

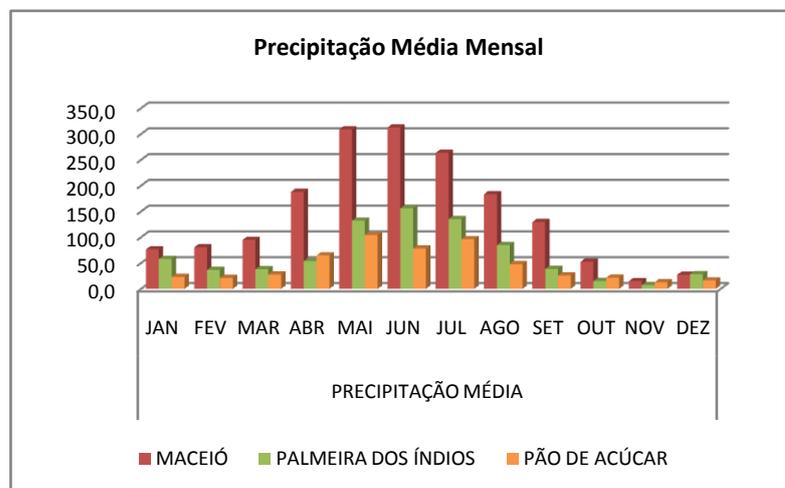


Figura 8: Precipitação média mensal nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte dos dados: INMET, 2008.

A menor média mensal de precipitação ocorre em Palmeira dos Índios no mês de novembro com o valor de 7,2 mm. Em Pão de Açúcar o menor valor mensal médio de precipitação obtido foi de 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.

### 4.3. Umidade Relativa do ar

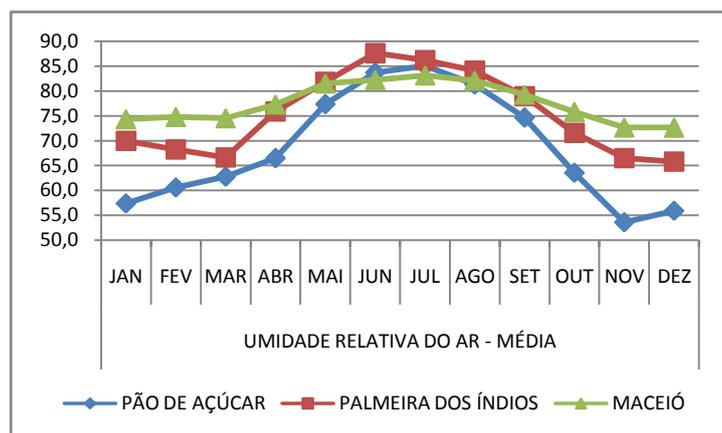


Figura 9: Umidade relativa do ar, valores médios mensais das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte dos dados: INMET, 2008.

Quanto à umidade relativa do ar, os valores médios ao longo do ano tendem a ser mais altos entre os meses de maio a julho e mais baixos no período entre novembro e março, assim como os valores médios de precipitação (Figura 9).

Os valores de umidade relativa do ar se apresentam mais altos nas cidades de Palmeira dos Índios de Pão de Açúcar, sendo que o máximo valor médio encontrado foi de 87,6% em Palmeira dos Índios.

A maior variação sazonal de valores médios de umidade relativa do ar ocorre em Pão de Açúcar, sendo esta variação entre 53,6% em novembro e 85% em julho. E a menor variação sazonal ocorre na cidade de Maceió, onde os valores médios variam entre 72,7% em novembro e 83,1% em julho.

### 4.4. Velocidade dos ventos

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 os valores estão entre 1,7 e 2,9 m/s como mostra a Figura 10.

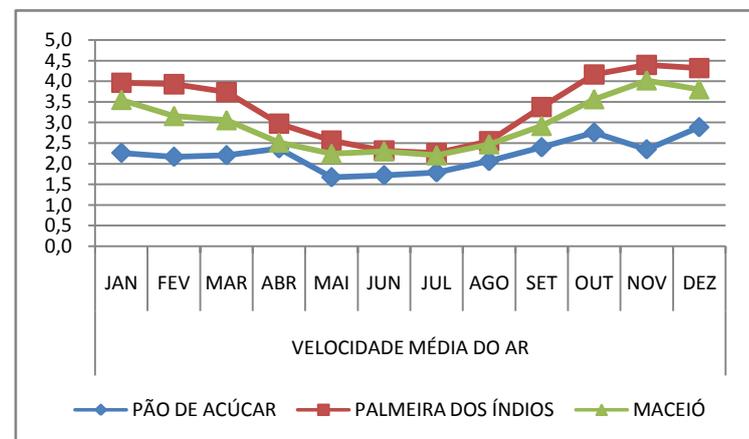


Figura 10: Velocidade do ar, valores médios mensais das cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar. Fonte dos dados: INMET, 2008.

Verifica-se, portanto, que Palmeira dos Índios possui, quanto à velocidade do ar, um maior potencial para a adoção da estratégia de ventilação natural no interior dos ambientes, pois possui valores ligeiramente maiores, em especial no período em que as temperaturas do ar são altas e quando há uma maior necessidade de ventilação para obtenção da sensação de conforto térmico. 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 (Figura 11 Erro! Fonte de referência não encontrada.).

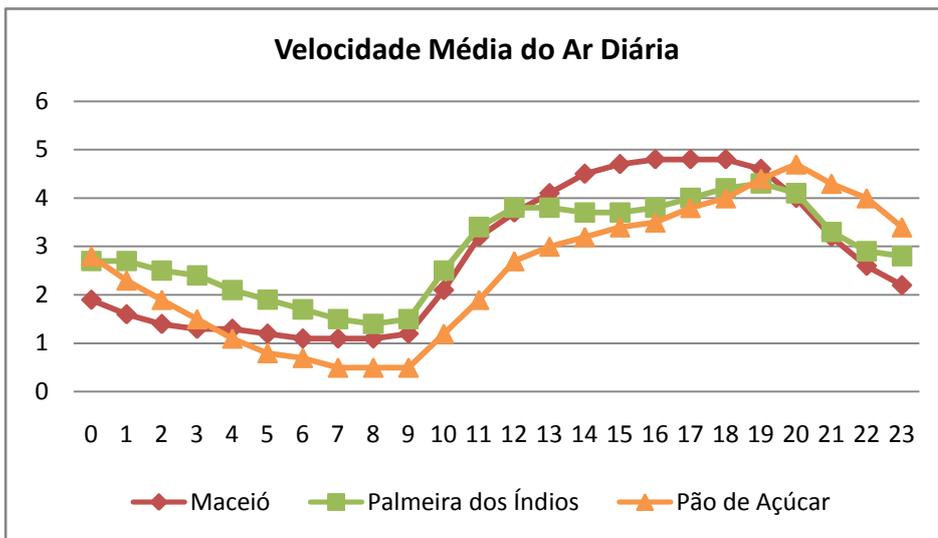


Figura 11: Velocidade Média do Ar diária nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.

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.

#### 4.5. Direção dos ventos

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 (Figura 12; Figura 13).

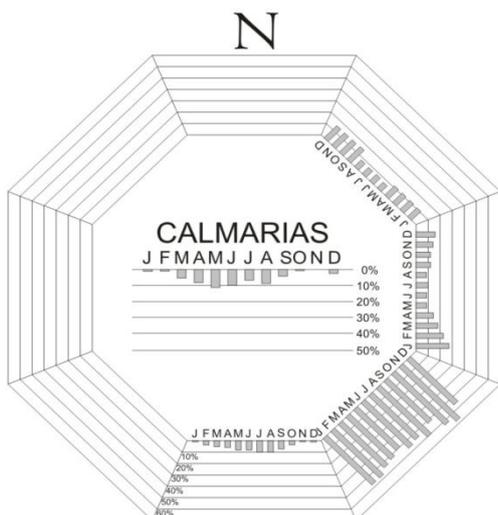


Figura 12: Direção predominante dos ventos em Maceió. Fonte dos dados: INMET, 2008.

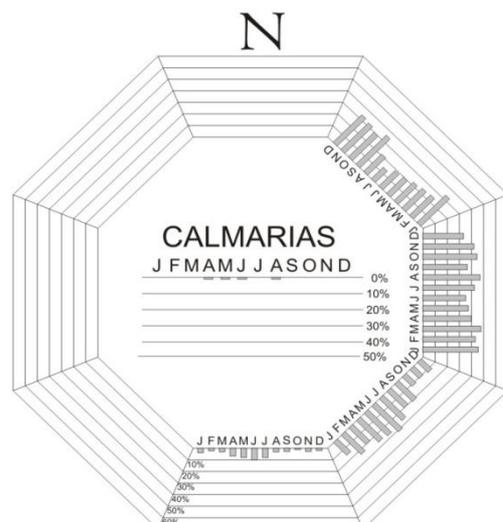
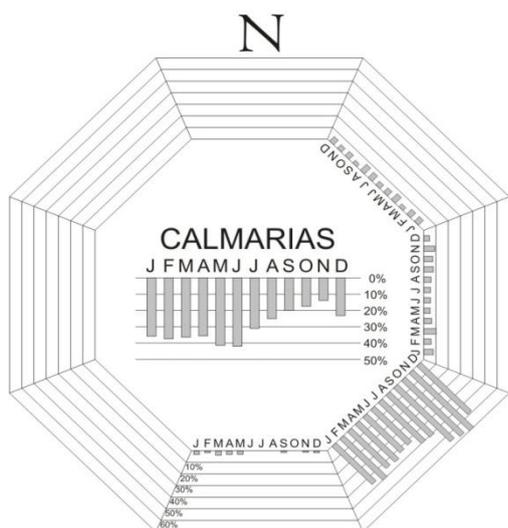


Figura 13: Direção predominante dos ventos em Palmeira dos Índios. Fonte dos dados: INMET, 2008.



Em Pão de Açúcar o vento predominante durante todo o ano é o vento Sudeste, assim como em Maceió, sendo mais freqüente nos meses de julho a novembro (período de inverno). Entretanto, observa-se a ocorrência freqüente dos períodos de calmaria (o que nas outras cidades analisadas não se destaca) principalmente nos meses de janeiro a junho quando as temperaturas são geralmente mais altas, agravando a sensação de desconforto térmico por calor (Figura 14).

Figura 14: Direção predominante dos ventos em Pão de Açúcar.  
Fonte dos dados: INMET, 2008.

#### 4.6. Síntese dos resultados

Por fim, analisando os dados meteorológicos das três cidades, observa-se que há algumas diferenças entre as suas características climáticas, quanto aos aspectos de amplitude térmica sazonal, precipitação e comportamento dos ventos, conforme tabela síntese a seguir. Essas diferenças são importantes na determinação de estratégias diferenciadas para a arquitetura de cada cidade.

Tabela 1: Quadro síntese dos dados meteorológicos das cidades analisadas.

VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	CIDADES		
	Maceió	Palmeira dos Índios	Pão de Açúcar
Temperatura do ar (°C)	22,3 a 27,3	21,7 a 28,5	23,9 a 31,4
Amplitude Térmica Sazonal (°C)	5	6,8	7,5
Amplitude Térmica Diária (°C)	10,2	13	13,4
Precipitação (mm/mensal)	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

#### 4.6. Estratégias Bioclimáticas sugeridas

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

**Maceió:** Aproveitamento da ventilação natural através da adoção de elementos que permitam o controle das aberturas, tais como venezianas móveis, portas e janelas pivotantes, que além de controláveis podem direcionar o fluxo do vento. Aproveitamento da ventilação noturna, por exemplo, 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, existindo nos meses de setembro e outubro a incidência menor 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. Sombreamento através da cobertura (beirais) e elementos externos horizontais e/ou verticais como brises, varandas, cobogós, venezianas ou ainda através de vegetação e proteção contra as chuvas, abundantes na cidade.

**Palmeira dos Índios:** Aproveitamento da ventilação natural. 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. 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°C e amplitude térmica diária de 13,0°C recomenda-se o uso de massa térmica em ambientes de uso diurno. Sugere-se ainda a proteção contra as chuvas através de grandes beirais e varandas.

**Pão de Açúcar:** Promoção de ventilação natural no interior dos ambientes mediante a disposição de aberturas com atenção para a direção predominante (Sudeste), com exceção dos períodos em que as temperaturas externas são maiores que as internas. Recomenda-se o sombreamento das aberturas e superfícies, utilizando elementos para se evitar os ganhos térmicos, tais como beirais, varandas, pérgulas e brises. Como a amplitude térmica sazonal pode chegar a 7,5°C e a amplitude diária a 13,4°C recomenda-se o uso de massa térmica através de tetos-jardins, por exemplo, em ambientes de uso diurno. Além disto, recomenda-se o uso de resfriamento evaporativo, já que a umidade relativa do ar é baixa durante o período mais seco. 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, ou ainda através da cobertura.

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos dados meteorológicos mostra que há diferenças significativas no comportamento dos elementos climáticos das cidades que, por sua vez, exigem diferentes estratégias bioclimáticas para edificações em cada uma delas. Essas diferenças foram verificadas na análise da amplitude térmica e da direção dos ventos, por exemplo.

Esta análise pode contribuir na melhoria do desempenho térmico de edificações nas cidades ou na implantação de futuros projetos 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 análises feitas, considerando o clima de cada cidade.

## 6. REFERÊNCIAS

- ASSIS, E. S. Método integrado para análise climática em arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG In: VI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro. Anais Eletrônicos. Campinas: Roriz, M. e Labaki, L. C, eds, 2001. p. 1-8.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Normais Climatológicas (1961/1990)**. Brasília, Dep. Nacional de Meteorologia, 1992.
- GOULART, S. LAMBERTS, R., FIRMINO, F. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: NPC/UFSC, 1997.
- 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.
- 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.
- PASSOS, I. C. da S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para as cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. (Dissertação de Mestrado). Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió- AL, 2009.
- PASSOS, I. C. S. ; BARBIRATO, G. M. **A climatologia como ferramenta no desenho urbano das cidades: análise comparativa a partir de diferenças climáticas em mesorregiões geográficas de alagoas**. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo, SP. Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.
- 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.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pelos dados meteorológicos cedidos e à CAPES pelo financiamento concedido.