

ANDRÉIA CARDOSO DE OLIVEIRA E SOLANGE MARIA LEDER

Traçando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos

*Mapping climate profile from the TRY: definition of bioclimatic
strategies for architectural projects in municipalities in Paraíba*

Traçando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos

Mapping climate profile from the TRY: definition of bioclimatic strategies for architectural projects in municipalities in Paraíba

Andréia Cardoso de Oliveira é Arquiteta e Urbanista, Mestranda do PPGAU-UFPB. MBA em andamento pela UNIP em Construções Sustentáveis.

E-mail: andrea.folha@gmail.com.

Solange Maria Leder é Arquiteta e Urbanista, Mestrado em Engenharia de Produção e Doutora em Engenharia Civil (UFSC). Atualmente em estágio pós-doutoral no National Research Council, Canada. É docente do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPB, em que coordena o Laboratório de Conforto Ambiental e atua também nos programas de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Engenharia Urbana e Ambiental.

E-mail: solangeleder@yahoo.com.br.

Resumo

A compreensão das variáveis climáticas é de fundamental importância para o controle das características projetuais das habitações e a sua adequação às necessidades humanas de conforto. Apesar de o consenso sobre os benefícios da adequação da arquitetura ao clima, uma das barreiras, frequentemente enfrentada pelos arquitetos, é a dificuldade com os dados climáticos. Problemas como o número reduzido de estações de medições, bem como a dificuldade de acesso a esses dados, foram significativamente amenizados nos últimos anos, porém, mesmo com a disponibilidade de um grande número de dados climáticos constata-se que os profissionais não têm se apropriado dos mesmos. Tendo em conta essa realidade, o objetivo deste artigo foi o desenvolvimento de uma metodologia de análise e caracterização do perfil climático de seis cidades paraibanas a partir de arquivos climáticos no formato Test Reference Year (TRY). A metodologia proposta pode servir de ferramenta para profissionais na área de arquitetura e urbanismo e pode ser aplicada a outras cidades brasileiras. O método foi dividido em duas etapas: (1) tratamento dos dados climáticos de um ano típico de referência e (2) definição das cartas bioclimáticas a partir de dados horários de temperatura e umidade relativa do ar. Os resultados mostram o comportamento das principais variáveis climáticas: temperatura, umidade relativa e ventos, ocorrido no ano típico de cada cidade (TRY) em análise, bem como as principais estratégias bioclimáticas adequadas a cada um dos climas estudados. Foram encontradas diferenças significativas entre os comportamentos das variáveis climáticas em análise, reflexo da existência de climas distintos entre as cidades em estudo – temperaturas elevadas e baixas umidades relativas, assim como climas com temperaturas mais amenas e altos valores de umidade relativa, por exemplo. As diferenças climáticas entre as cidades analisadas podem ser também observadas nas estratégias bioclimáticas recomendadas. Nota-se que, apesar do clima predominantemente quente e úmido, as variações climáticas são significativas.

Palavras-chave: Clima. Conforto. Estratégias bioclimáticas.

Abstract

The understanding of climate variables is very important to support the architectural decisions that impacts building efficiency and human comfort. Despite the consensus on the benefits of climate adapted architecture, the architects still have difficulties with climate data. In the last years the climate measurements stations had been considerably increased in Brazil as also the accessibility to these data, otherwise, the professionals are not familiar with the necessary knowledge to properly use them. The aim of this paper was to develop a methodology for the analysis and characterization of climate of six cities in the state of Paraíba, using data from a Test Reference Year (TRY) climate file. The proposed methodology can be used to support decisions in the field of architecture and urbanism and can be applied to other Brazilian cities. The method was divided into two stages: (1) processing of climatic data from a typical year of reference and (2) definition of bioclimatic charts from hourly data of temperature and relative humidity. The results show the behavior of key climate variables: temperature, relative humidity and winds, occurred in the year typical of each city (TRY) as well as the main bioclimatic strategies appropriate to each of the climates studied. Significant differences were found between the behavior of climate variables in the analysis, reflecting the existence of different climates between the cities studied – high temperatures and low relative humidities, as well as climates with cooler temperatures and high relative humidity values, for example. Climatic differences between the cities analyzed can also be observed in the bioclimatic strategies recommended. We note that, despite the predominantly hot and humid climate, climatic variations are significant.

Keywords: Climate. Comfort. Bioclimatic strategies.

Introdução

Estudos sobre conforto térmico, associados à discussão sobre eficiência no consumo de energia, foram desenvolvidos por Szokolay, Olgay, Givoni, entre outros, que influenciaram normativas e legislações em diversos países. A *American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers* – ASHRAE tem feito contribuições relevantes desde então, inclusive, com recomendações para cidades brasileiras. No Brasil, pesquisas nesta área resultaram no desenvolvimento de diversas normas, entre elas, a norma de Desempenho térmico de edificações NBR 15.220 (ABNT, 2005), que compreende o Zoneamento Bioclimático Brasileiro na parte 3, com diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Esta norma funciona como norteador para a escolha das estratégias passivas na arquitetura, no intuito de reduzir o consumo de energia e permitir uma melhor eficiência do edifício, com critérios específicos para o clima de cada região (GHISI et. al, 2003; ABNT, 2005).

O zoneamento bioclimático foi definido a partir do tratamento de dados climáticos de apenas 330 municípios, por falta de dados suficientes, na época em que foi publicado, o que tem gerado diversas críticas à sua contribuição por falta de exatidão. O avanço no estudo do conforto térmico pelo grupo de pesquisadores da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC resultou em duas publicações de Roriz em 2012, que podem ser encontradas no site do LABEE-UFSC, com propostas de atualização dos dados climáticos e de novas divisões do zoneamento, com um número maior de zonas bioclimáticas no intuito de obter diretrizes construtivas mais coerentes com o clima de cada cidade (RORIZ, 2012a).

A compreensão das variáveis climáticas é de fundamental importância para o controle das características projetuais das habitações e a sua adequação às necessidades humanas de conforto térmico. Cabe, portanto, aos arquitetos entender a interação das diversas variáveis climáticas de uma região para poder adequar eficientemente o seu projeto arquitetônico na direção do conforto ambiental. O objetivo deste artigo foi desenvolver uma metodologia de análise e caracterização do perfil climático de seis cidades paraibanas a partir de arquivos climáticos TRY, de forma a servir de ferramenta para profissionais na área de arquitetura e urbanismo no planejamento espacial público e privado, e ser aplicada a outras cidades brasileiras.

O estudo dos dados climáticos de um dado local permite identificar os períodos de maior probabilidade de desconforto térmico, e, conseqüentemente, definir as estratégias que devem ser incluídas no desenho o edifício para compensar essas condições. A aplicação de dados climáticos na arquitetura depende, dentre outras, de uma avaliação estatística dos dados climatológicos registrados por um dado período ou métodos específicos que transformem a grande quantidade de informações em um instrumento que traduza as condições climáticas do local, por exemplo, o ano típico de referência – TRY.

Ano típico de referência

O TRY é um método de tratamento que reúne uma série de dados de 8.760 horas do ano com variáveis meteorológicas que representam um período de referência climática para um dado local. Segundo Carlo (2005), o Ano Climático de Referência é o ano real que mais se aproxima da Normal Climatológica. O arquivo compreende as seguintes variáveis: Temperatura de bulbo seco; Temperatura de bulbo úmido; Umidade relativa do ar; Direção e velocidade dos ventos; Nebulosidade; Pressão barométrica e Radiação Solar.

O uso do TRY como instrumento de simulação de desempenho no Brasil foi impulsionado por Goulart (1993), e mais tarde gerou a publicação Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 cidades brasileiras apoiado pela Eletrobrás. A metodologia aplicada por Goulart (1993) foi baseada na eliminação progressiva de anos com temperaturas extremas sobre um conjunto de 10 anos. Um estudo mais específico sobre o método de formatação do TRY foi desenvolvido por Carlo (2005), que atualizou os TRY's determinados por Goulart, Lamberts e Firmino (1998) e fez uma análise comparativa entre dois métodos de estimativa de radiação solar. Carlo (2005) estudou os seguintes métodos: o método Kasten, descrito em Thevenard e Brunger, e o método LabEEE, desenvolvido por Pitta. O último demonstrou-se mais adequado por ter sido adaptado às condições de céu do Brasil. (CARLO, 2005).

O arquivo TRY é o método mais utilizado atualmente para uso em simulação computacional, principalmente, para avaliação de desempenho energético, mas também, pode ser utilizado para outros fins no campo da eficiência energética por ser um modelo representativo de um período de no mínimo 10 anos.

Método

O método foi dividido em duas etapas: (1) tratamento dos dados e (2) definição das cartas bioclimáticas. Na fase de tratamento dos dados foi utilizada a análise estatística descritiva dos dados horários do Ano Climático de Referência para caracterização do perfil climático de cada cidade, pois de acordo com Lamberts e Naranjo (2011), o TRY mostrou ser uma base de dados para análise da adequação da edificação ao clima, além de permitir a simulação horária anual do consumo de energia para a edificação.

Segundo Goulart (1993), a análise estatística descritiva é apenas um dos métodos de tratamento de dados, que tem o objetivo de transformar os dados climáticos disponíveis em informações de mais fácil leitura e interpretação. Foram utilizados dados horários das seguintes variáveis: temperatura de bulbo seco, velocidade e direção dos ventos, umidade relativa e precipitação, extraídos dos Anos Típicos de Referência – TRY formatadas pelo grupo da ANTAC (RORIZ, 2012c).

Nesta fase, foram aplicados métodos de análise de graus-hora de calor e graus-hora de frio, que consiste em somar o excedente dos graus da temperatura do ar horária em relação a uma temperatura base, assim como a avaliação do percentual de horas de desconforto por calor e por frio, a partir de uma temperatura base. O percentual de horas de desconforto quantifica o número de vezes que a temperatura ultrapassou o limite da temperatura base.

Para o tratamento dos ventos, foi elaborado um modelo gráfico denominado rosa dos ventos para avaliar o comportamento da direção e velocidade predominante. Foi utilizado o programa WRPLOT View, desenvolvido pela Lakes Environmental, que está disponível no site <<http://www.weblakes.com>> para download.

A partir do estudo inicial do perfil climático de cada cidade, foram criadas as cartas bioclimáticas, com base na carta psicrométrica de Givoni, utilizada na norma 15.220 (ABNT, 2005). As cartas de cada cidade determinam as principais estratégias de condicionamento passivo para cada tipo de clima. A construção das cartas bioclimáticas foi elaborada em um programa específico que ajusta o modelo adaptado para norma a partir da carta de Givoni para países em desenvolvimento. O Programa CB15220 foi desenvolvido pelo prof. Maurício Roriz, em contribuição a este estudo.

Discussões e resultados

Foram escolhidos seis municípios do Estado da Paraíba: João Pessoa, Campina Grande, Areia, Monteiro, Cabaceiras e Patos. A escolha das cidades se deu pelo fato das mesmas representarem, em suas características físicas, a diversidade geomorfológica e climática encontrada ao longo do estado e já possuem anos típicos de referências tratados.

João Pessoa

A cidade de João Pessoa é a capital do Estado da Paraíba e possui 723.515 habitantes. Com latitude de 7,11° sul e longitude de 34,86° oeste, a cidade está situada a 40 m acima do nível do mar. Com 211 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 3.421,30 hab./km². João Pessoa está localizada no litoral paraibano e inserida na mesorregião da mata paraibana (AESA, 2009; IBGE, 2010).

A seguir estão detalhados os comportamentos das variáveis observadas a partir do Ano Típico de João Pessoa – 2008 (RORIZ, 2012c). A temperatura média anual foi de 26,02°C, com mínima de 23,39°C e máxima de 28,98°C. A umidade média anual foi de 76,51% e o nível pluviométrico anual foi de 2.142,40 mm. Os meses mais chuvosos foram os meses de maio e junho e os mais secos foram os de novembro e fevereiro.

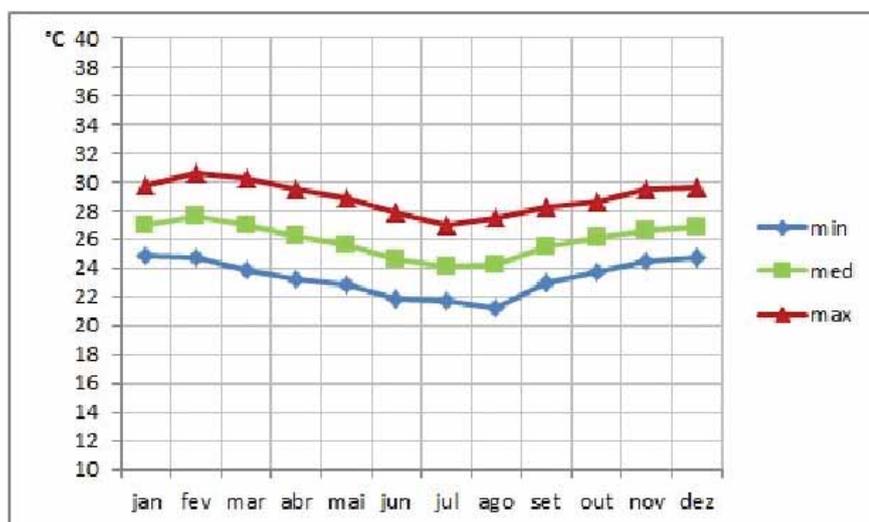
Comportamento da temperatura

O comportamento da temperatura de bulbo seco demonstra os valores de médias mensais entre 24°C e 28°C. As mínimas ocorrem entre os meses de junho, julho e agosto, chegando a 21°C. As médias mensais das temperaturas máximas ocorreram entre 27°C e 31°C, sendo fevereiro o mês mais quente. Observa-se que o comportamento das curvas das médias, mínimas e máximas é semelhante, com uma baixa defasagem entre elas, demonstrando a baixa amplitude térmica da cidade (Figura 1).

Figura 1

Comportamento da Temperatura de bulbo seco (TBS) em João Pessoa.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



Dentre as cidades estudadas, João Pessoa possui a menor amplitude térmica, com um intervalo médio 5°C entre as temperaturas mínimas e máximas, constante por todo o ano, como pode ser observado abaixo. Destacam-se a mínima absoluta de 19,60° C em junho e agosto, e a máxima absoluta de 31,80° C em fevereiro.

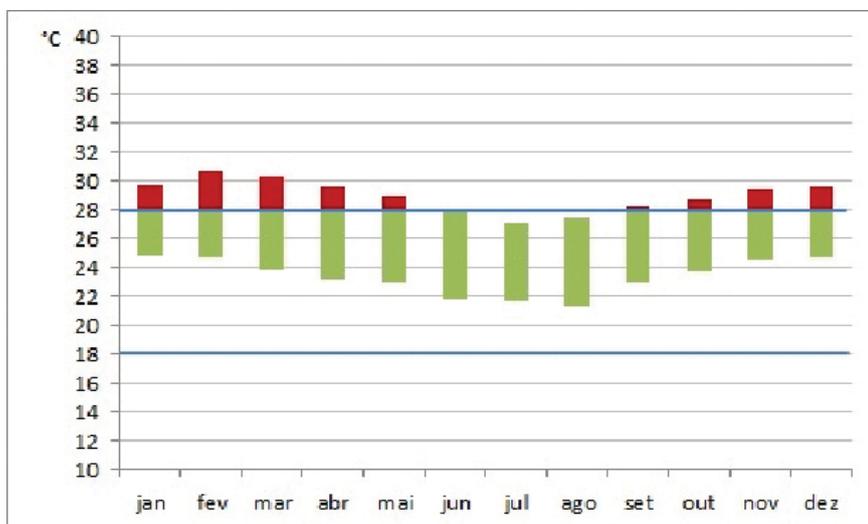
A seguir, a demonstração da relação entre o comportamento das amplitudes médias, determinadas pelas médias das temperaturas mínimas e máximas, e a zona de conforto de Givoni. Observam-se valores de temperatura que causam desconforto por calor, acima do limite de 28°C na maior parte do ano (oito meses). Com temperaturas mínimas a partir de 21°C, não foram observados valores que caracterizam desconforto por frio (Figura 2).

A partir da análise dos dados horários de temperatura do ar, pôde-se verificar um percentual de 50% de horas de desconforto por calor. O somatório do

Figura 2

Comportamento da Amplitude térmica de João Pessoa.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



valor excedente da temperatura do ar (Tar) em relação à temperatura base foi de 7.953,20. Em relação à temperatura mínima aceitável, não foi constatado desconforto por frio.

$$\text{GhC João Pessoa} = \sum (\text{Tar} - 26^\circ\text{C}) = 7.953,20$$

Comportamento da umidade relativa do ar

O comportamento da umidade relativa do ar demonstra os valores de médias mensais em torno de 70% e 80%. As mínimas ocorrem entre os meses de dezembro e fevereiro, chegando a 56%. As médias mensais das umidades máximas ocorreram em torno de 80% e 93%, entre os meses de abril e julho. As curvas possuem um comportamento semelhante com poucas variações, destacando diferenças em fevereiro, quando os valores diminuem, e em agosto, quando os valores tendem a subir (Figura 3).

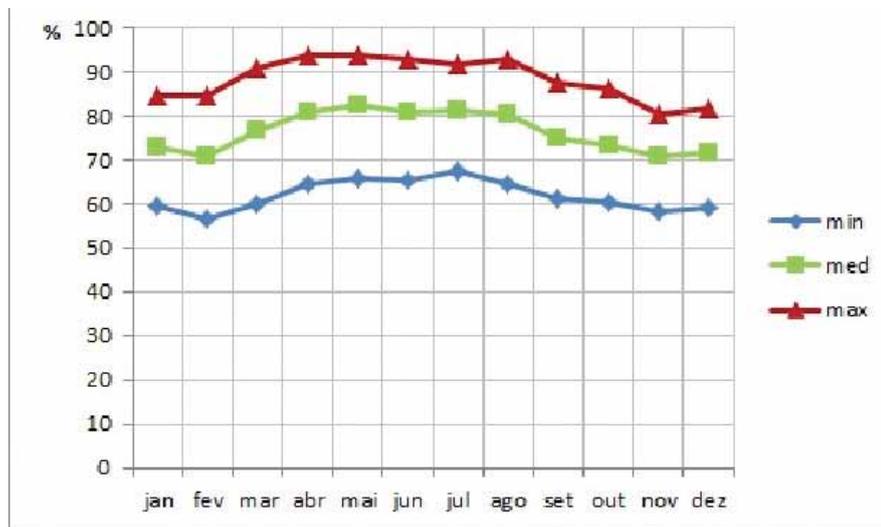
Associando os valores de temperatura de bulbo seco com os valores de umidade relativa do ar, pôde-se observar que o clima se caracteriza como quente e úmido, com baixo nível de amplitude térmica e umidade predominante acima de 70% em todo o ano. Vale destacar que a proximidade com o mar contribui para a redução das amplitudes térmicas e o aumento da umidade relativa do ar.

Traçando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos

Mapping climate profile from the TRY: definition of bioclimatic strategies for architectural projects in municipalities in Paraíba

Figura 3

Comportamento da Umidade Relativa de João Pessoa.
 Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.

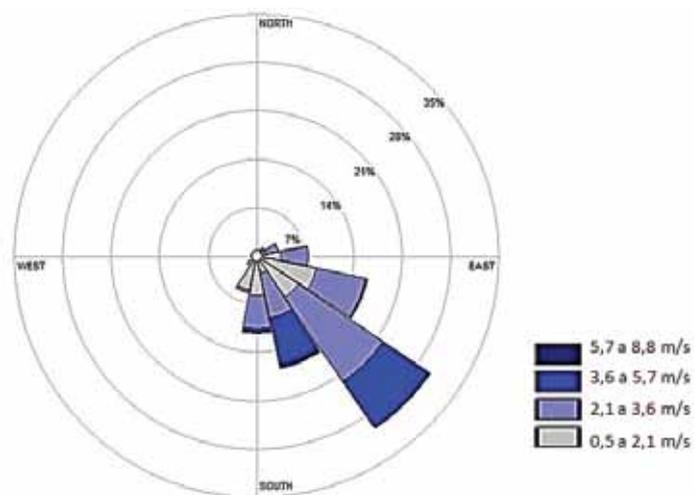


Comportamento dos ventos

Na Rosa dos ventos gerada para o município de João Pessoa, observou-se que a maior frequência dos ventos vem da direção sudeste, com ângulo azimute de aproximadamente 135°. A velocidade predominante variou entre 2,1 e 3,6 m/s (Figura 4).

Figura 4

Rosa dos ventos de João Pessoa.
 Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



Carta Bioclimática

A carta bioclimática de João Pessoa indicou apenas três estratégias, sendo a necessidade de ventilação o maior percentual com 39,59% das horas.

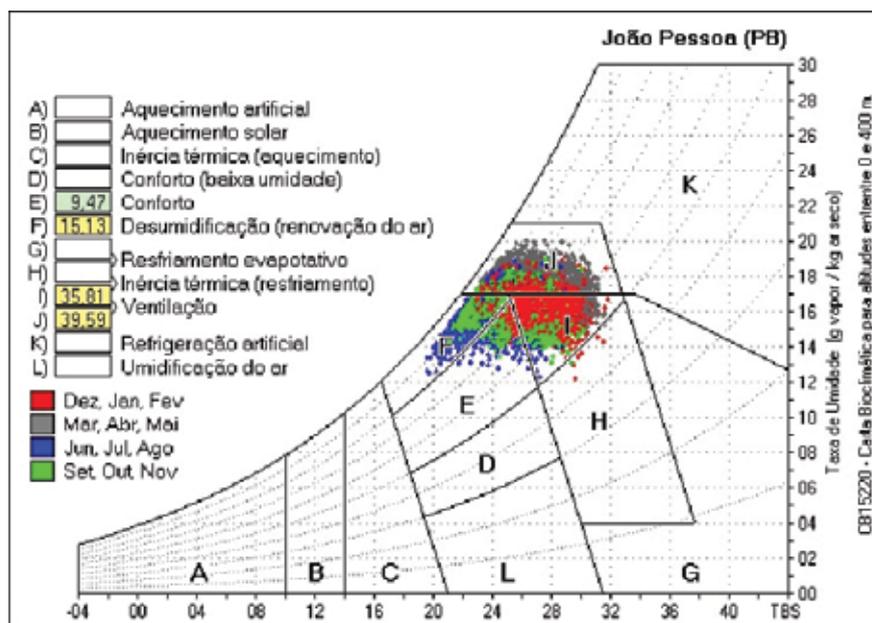
A zona de conforto apresentou apenas 9,47% das horas, sendo formados predominantemente por valores de junho, julho e agosto e o período de setembro a novembro. Foi sugerida, ainda, a inércia térmica para resfriamento, com o percentual de 35,81% das horas (Figura 5).

A estratégia ventilação concentrou a maioria dos dados horários dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, quando as temperaturas estão mais altas e a umidade média varia entre 70% e 75%. A estratégia de resfriamento por inércia térmica complementa a ventilação no mesmo período, representado pela cor vermelha.

Figura 5

Carta bioclimática de João Pessoa.

Fonte: Programa CB15220 (RORIZ, 2012b).



Campina Grande

A cidade de Campina Grande está situada a 130 km da capital do estado e possui 385.213 habitantes. Com latitude de 7,23° sul e longitude de 35,88° oeste, a cidade está situada a 551 m acima do nível do mar. Com 594 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 648,31 hab./km² (IBGE, 2010). Campina Grande está localizada na mesorregião do agreste paraibano e inserida na unidade geoambiental do Planalto da Borborema (AES, 2009). O ano típico de referência é 2009 (RORIZ, 2012c), que apresentou temperatura média anual de 23,62°C, com mínima de 20,56°C e máxima de 28,46°C. A umidade média foi de 78,16% e o nível pluviométrico anual foi de 896,10 mm, com os meses mais secos de setembro a dezembro.

Comportamento da temperatura

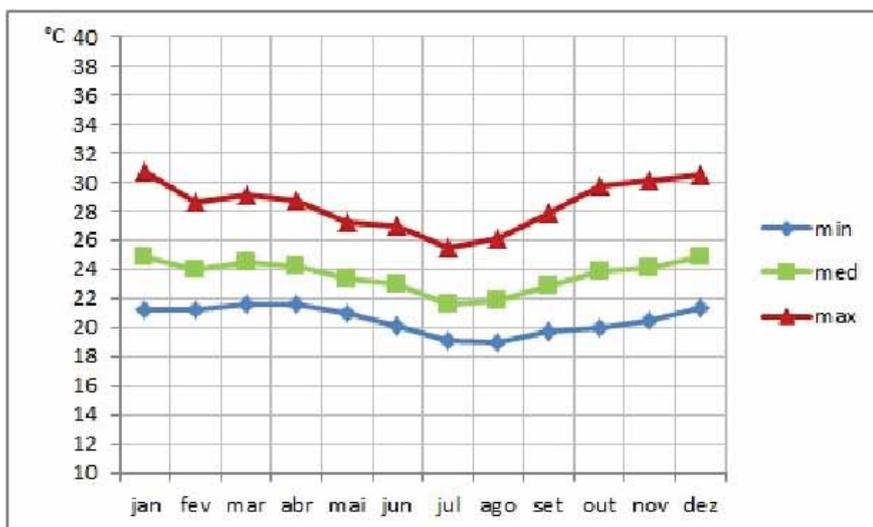
Pode-se observar que as médias mensais de temperatura apresentam valores entre 22°C a 25°C no decorrer do ano. As mínimas ocorrem entre os meses de julho e agosto, chegando a 19°C. As médias mensais das temperaturas máximas ocorreram entre 25°C e 31°C, sendo janeiro e dezembro os meses mais quentes. Observa-se uma distribuição mais irregular no comportamento, principalmente nas temperaturas máximas, que crescem nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 6).

Constata-se, ainda, a proximidade entre as curvas das temperaturas mínimas e das temperaturas médias, que possuem comportamentos mais próximos. Apesar de um intervalo maior entre as médias e as máximas, a frequência de ocorrência dos dados tendem para valores mais baixos, mesmo nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 6).

Figura 6

Comportamento da Temperatura de bulbo seco (TBS) em Campina Grande.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.

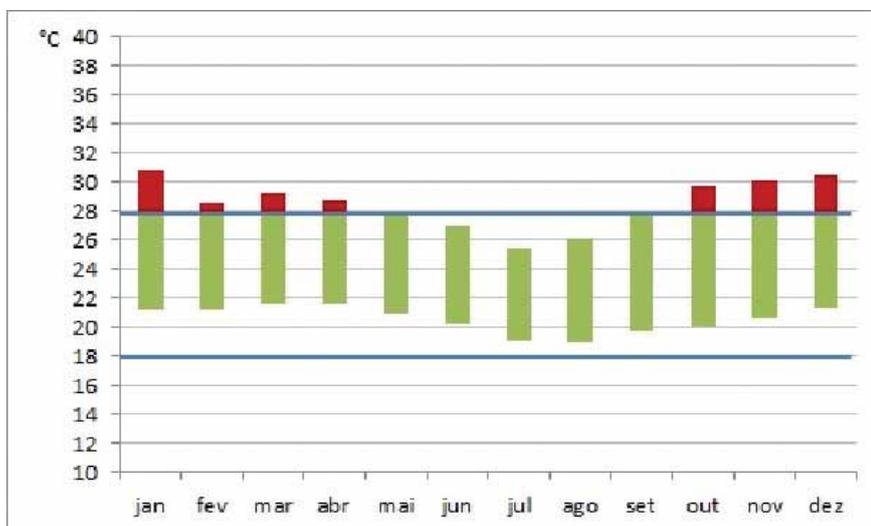


Observa-se o comportamento das médias das temperaturas mínimas e máximas correlacionado com os índices de conforto de Givoni, o que demonstra um percentual baixo de valores de desconforto por calor. Com temperaturas mínimas a partir de 19°C, nos meses mais frios (julho e agosto), não foram observados valores abaixo da zona de conforto (Figura 7).

Figura 7

Comportamento da Amplitude Térmica de Campina Grande.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



A partir da diferença entre as médias mensais das temperaturas máximas e mínimas de cada mês, pôde-se verificar que a amplitude térmica variou num intervalo médio de 9°C nos meses mais quentes. No entanto, entre os meses de maio e setembro, a amplitude variou num intervalo menor de 6°C. Destacam-se a mínima absoluta de 16,60° C em março, maio e setembro, e a máxima absoluta de 32,90° C em maio e dezembro.

A partir da análise dos dados horários do ano típico 2009, pôde-se verificar o percentual de 23% de horas de desconforto por calor. O somatório dos valores excedentes da temperatura do ar (Tar) em relação à temperatura base de 26°C foi correspondente a um valor de graus-hora de calor de 4.566,30, conforme equação abaixo.

$$\text{GhC Campina Grande} = \sum (\text{Tar} - 26^\circ\text{C}) = 4.566,30$$

$$\text{GhF Campina Grande} = \sum (18^\circ\text{C} - \text{Tar}) = 19,30$$

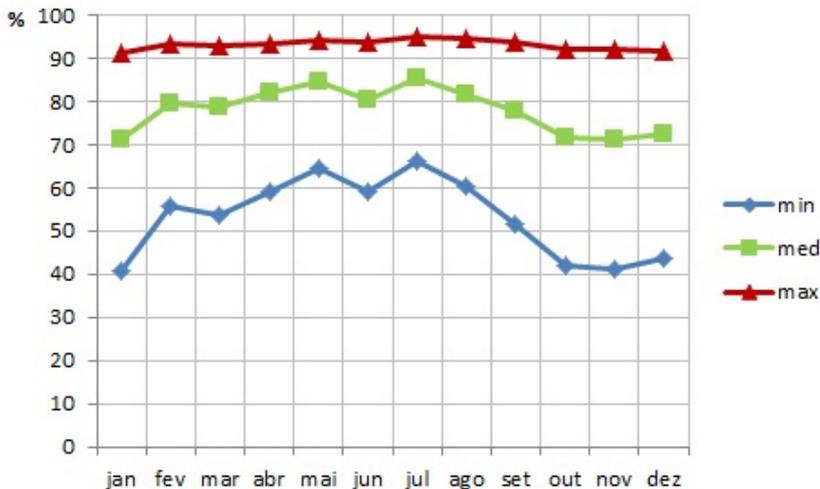
O valor de graus-hora de frio, correspondente ao somatório dos valores excedentes da temperatura do ar em relação à temperatura base de 18°C foi de 19,30. O percentual de horas de desconforto por frio resultou em 0,30%.

Comportamento da umidade relativa do ar

O comportamento da umidade relativa do ar demonstra os valores de médias mensais em torno de 70% e 85%. As mínimas ocorrem entre os meses de outubro e dezembro, chegando a 41%, nos meses mais quentes. A maior variação entre o comportamento das curvas ocorre pela distribuição particular das médias de temperaturas máximas, representadas pela cor vermelha. A defasagem entre a curva da média e da máxima apresenta grande diferença ao ser comparada com a defasagem entre a curva da média e a curva da mínima (Figura 8).

Figura 8

Comportamento da Umidade relativa de Campina Grande.
 Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.

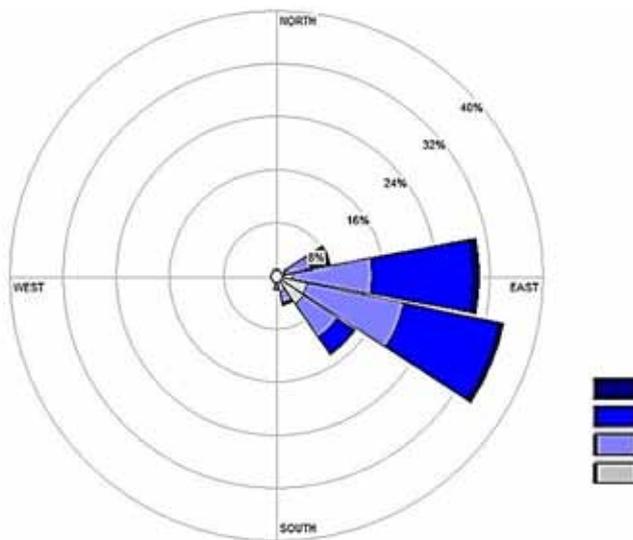


Comportamento dos ventos

Analisando a rosa dos ventos gerada para Campina Grande, observa-se que os ventos predominantes vem da direção sudeste com ângulo azimute de aproximadamente 110°, enquanto que a velocidade predominante varia entre 3,6 e 5,7m/s (Figura 9).

Figura 9

Rosa dos ventos de Campina Grande.
 Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.

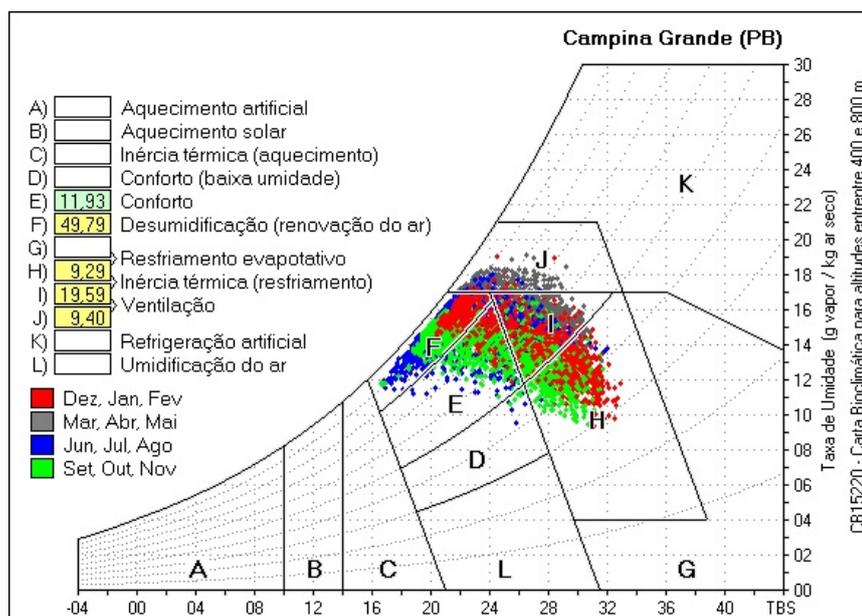


Carta Bioclimática

A carta bioclimática de Campina Grande indicou quatro estratégias, sendo a necessidade de renovação de ar por desumidificação o maior percentual, com aproximadamente 50% das horas. Este resultado se deu em função dos altos níveis de umidade relativa do ar no período da noite, como observado anteriormente (Figura 10).

Figura 10

Carta bioclimática de Campina Grande.
Fonte: Programa CB15220 (RORIZ, 2012b).



A carta apresentou aproximadamente 12% das horas na zona de conforto, sendo formados por valores de todas as estações bem distribuídas. As estratégias sugeridas também foram: a inércia térmica para resfriamento, com 19,59% junto com o resfriamento evaporativo, com 9,29% e a ventilação, com 9,40% (Figura 10).

Areia

A cidade de Areia está localizada a 126 km da capital do estado, e possui 23.829 habitantes. Com latitude de 6.96° sul e longitude de 35.69° oeste, a cidade está situada a 623m de altitude. Com 473 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 88,42 hab./km².

O município de Areia está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros. O relevo é geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. A vegetação desta unidade é formada por *Florestas Subcaducifólica e Caducifólica*, próprias das áreas agrestes. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro (MME, 2005).

Comportamento da temperatura

A Figura 11 mostra que o comportamento da temperatura de bulbo seco apresenta os valores de temperatura máxima entre 24°C e 29°C. Areia, cujo relevo é acidentado, tem sua condição térmica influenciada pela topografia. Como observa Barbirato, Souza e Torres (2007, p.28):

A topografia influencia na redução de temperatura, quando ocorrem mudanças na elevação e orientação do sítio, devido à diferença de radiação solar incidente. Um relevo acidentado pode, também, atuar como barreira à ventilação, modificando, muitas vezes, as condições de umidade e de temperatura do ar em escala regional.

Figura 11
Comportamento da
Temperatura de bulbo seco
(TBS) em Areia.
Fonte: Elaborado pelas
próprias autoras.



O gráfico do comportamento de amplitude térmica mostra que Areia é a cidade com mais meses dentro da zona de conforto, a partir dos índices de conforto de Givoni. Com médias de temperatura mínima a partir de 19°C, não foram observados meses com desconforto por frio. Os meses mais quentes foram janeiro, novembro e dezembro, com valores acima do limite de 28°C (Figura 12).

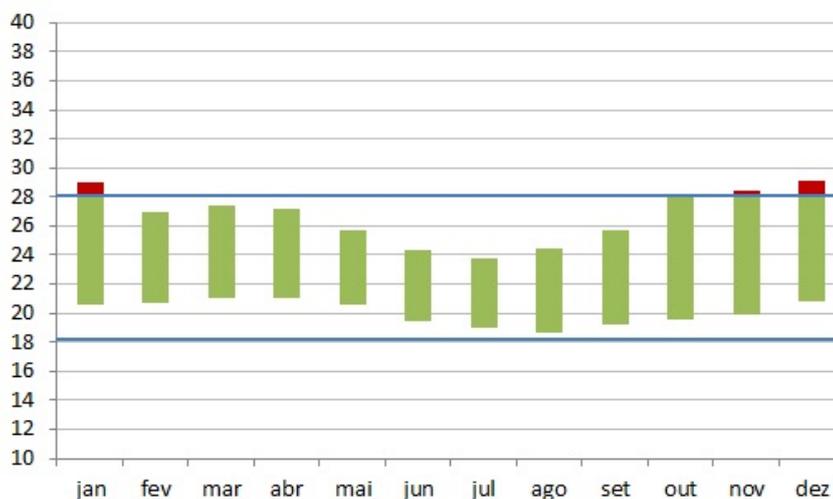
Traçando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos

Mapping climate profile from the TRY: definition of bioclimatic strategies for architectural projects in municipalities in Paraíba

Figura 12

Comportamento da Amplitude térmica de Areia.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



Areia demonstrou o melhor desempenho com relação ao percentual de horas de desconforto, com 12% de horas acima da temperatura base. O somatório dos graus-hora de calor foi de 4.566,30, conforme equação abaixo.

$$\text{GhC Areia} = \sum (\text{Tar} - 26^{\circ}\text{C}) = 1.725,40$$

$$\text{GhF Areia} = \sum (18^{\circ}\text{C} - \text{Tar}) = 9,8$$

O valor de graus-hora de frio, em relação à temperatura base de 18°C foi de 9,8. O percentual de horas de desconforto por frio resultou em 0,34%.

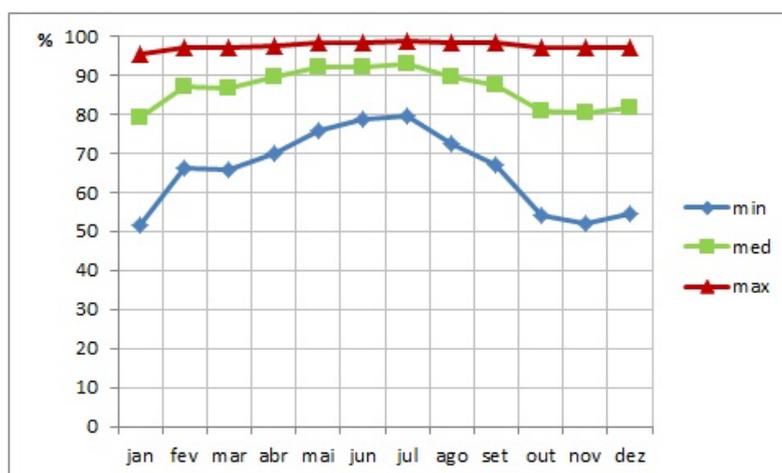
Comportamento da umidade relativa do ar

Ao observar o comportamento da umidade relativa do ar, percebe-se que as mínimas ocorrem entre os meses de outubro a dezembro. As três curvas apresentaram comportamentos e defasagens distintas. As médias das umidades relativas máximas mensais apresentaram uma curva constante acima dos 90%. E a curva das mínimas demonstrou maior oscilação, com valores de 50% a 80% (Figura 13)

Figura 13

Comportamento da Umidade relativa em Areia.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



As principais estratégias sugeridas pela carta são: desumidificação, com 56,97% das horas em função dos altos valores de umidade relativa; a ventilação, com 18,63% e a inércia térmica para resfriamento, com 15,29% (Figura 15).

Monteiro

A cidade de Monteiro está localizada a 319 km da capital do estado, e possui 30.852 habitantes. Com latitude de 7.88° sul e longitude de 37.11° oeste, o município está situado a 602m de altitude. Com 986,351 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 31,28 hab./Km² (IBGE, 2010).

A cidade de Monteiro está localizada na mesorregião da Borborema, na microrregião do Cariri Ocidental e inserida na unidade geoambiental do Planalto da Borborema (AESAs, 2009).

Comportamento da temperatura

Pôde-se observar que a temperatura máxima de bulbo seco apresenta valores que variam de 26°C a 32°C. Enquanto a temperatura mínima varia de 17°C a 21°C. Com comportamentos semelhantes, as três curvas demonstraram as maiores defasagens de temperatura, o que caracteriza uma amplitude térmica de 15°C, a maior amplitude apresentadas entre todas as cidades estudadas (Figura 16).

Figura 16
Comportamento
Temperatura de bulbo seco
(TBS) em Monteiro.
Fonte: Elaborado pelas
próprias autoras.

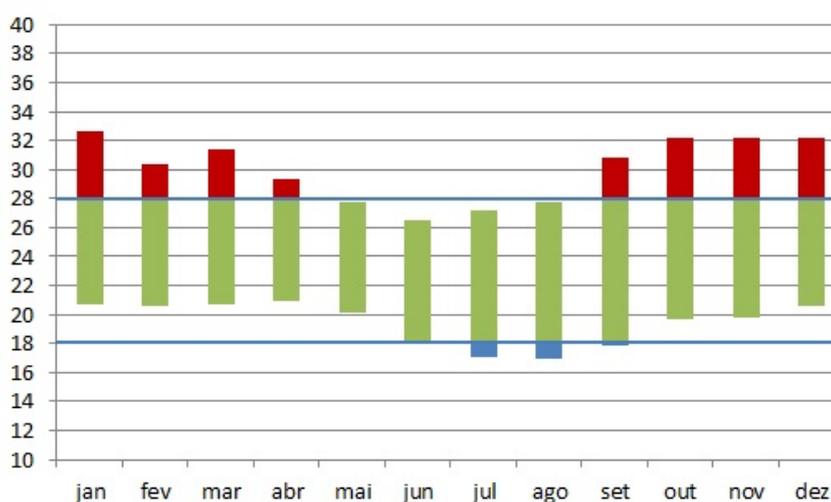


As altas amplitudes térmicas são explicadas pela continentalidade e características das regiões do cariri paraibano, no entanto, a cidade de Monteiro por apresentar a maior altitude entre as cidades estudadas (602 m), possui temperaturas mais amenas que Patos e Cabaceiras, que estão a 249m e 385m de altitude, respectivamente. A elevada altitude e aridez do local também pode explicar o fato dessa cidade apresentar as menores temperaturas mínimas entre as cidades estudadas e somente nesse caso são encontradas temperaturas abaixo da zona de conforto (18°C), de acordo com os índices de conforto de Givoni (Figura 17).

Figura 17

Comportamento da Amplitude térmica de Monteiro.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



O percentual de desconforto por calor na cidade de Monteiro resultou em 12% de horas acima da temperatura base. O somatório dos de graus-hora de calor foi de 8.877,40, conforme equação abaixo.

$$\text{GhC Monteiro} = \sum (\text{Tar} - 26^\circ\text{C}) = 8.877,40 \quad (6)$$

$$\text{GhF Monteiro} = \sum (18^\circ\text{C} - \text{Tar}) = 429,70 \quad (7)$$

O valor de graus-hora de frio correspondente ao somatório dos valores excedentes da temperatura do ar em relação à temperatura base de 18°C foi o maior entre as cidades, com 429,7 graus-hora de frio. O percentual de horas de desconforto por frio resultou em 3,35%.

Comportamento da umidade

A partir da Figura 18, percebe-se que as três curvas de umidade relativa mínima, média e máxima, apresentaram comportamentos e defasagens distintas. As médias das umidades relativas máximas mensais apresentaram uma curva constante acima dos 90%. A curva das mínimas demonstrou maior oscilação, com valores de 20% a 60%.

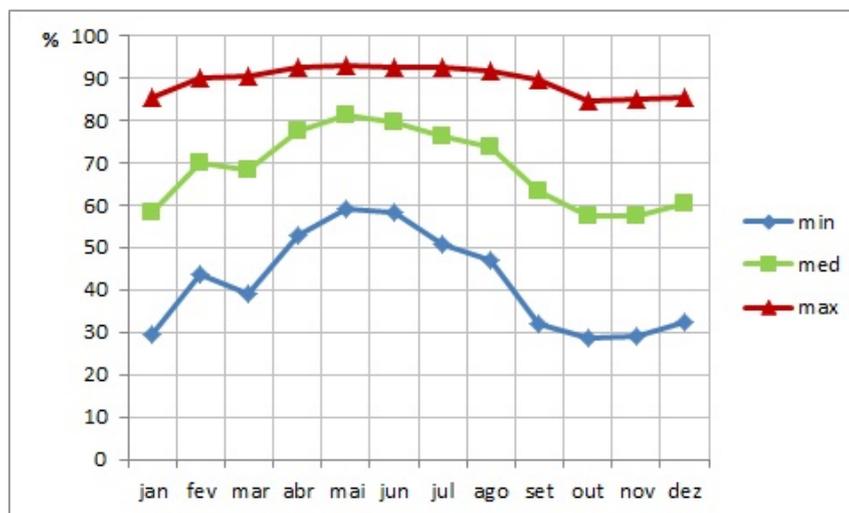
Traçando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos

Mapping climate profile from the TRY: definition of bioclimatic strategies for architectural projects in municipalities in Paraíba

Figura 18

Comportamento da Umidade relativa de Monteiro.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



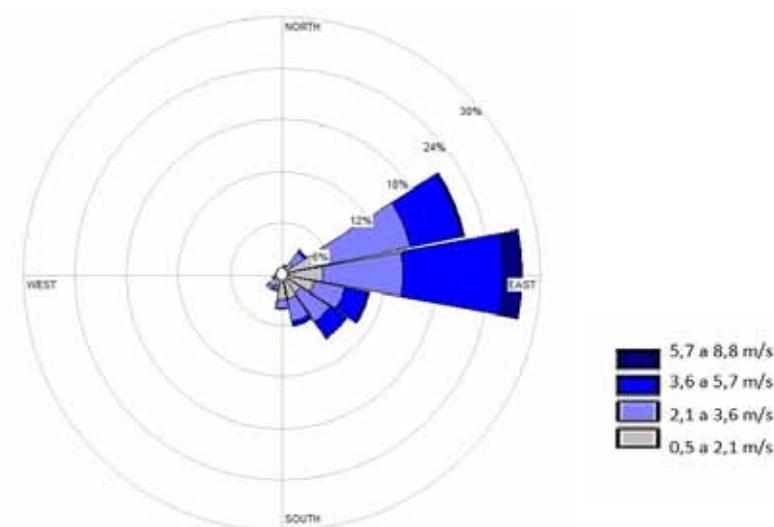
Comportamento dos ventos

Analisando a rosa dos ventos gerada para Monteiro, observa-se que os ventos predominantes vêm da direção leste com velocidades que variam entre 3,6 e 5,7m/s (Figura 19).

Figura 19

Rosa dos ventos de Monteiro.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



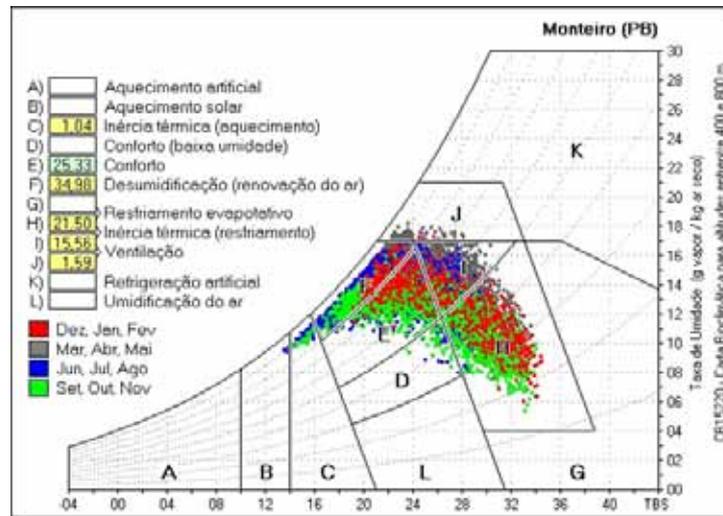
Carta Bioclimática

A carta bioclimática de Monteiro resultou em seis estratégias de condicionamento passivo. A alta amplitude significou uma distribuição maior dos dados horários em um número maior de zonas, representando a necessidade de mais estratégias para controlar essas diferenças na temperatura do ar e na umidade. O maior percentual resultou em desumidificação por renovação de ar, com 34,98% das horas (Figura 20).

Figura 20

Carta bioclimática de Monteiro

Fonte: Programa CB15220 (RORIZ, 2012b).



Monteiro foi o único município estudado que indicou inércia térmica para aquecimento em sua Carta Bioclimática. Este fator pode ser explicado pelo valor significativo de 429 graus-hora de frio e pelos altos intervalos de temperatura do ar, que resultaram na maior amplitude entre as cidades estudadas (Figura 20).

Cabaceiras

A cidade de Cabaceiras está localizada a 180 km da capital do estado, e possui 5.035 habitantes. Com latitude de 7,48° sul e longitude de 36,28° oeste, a cidade está situada a 385m acima do nível do mar. Com 452,920 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 11,12 hab./km².

Segundo o relatório do Ministério de Minas e Energia, a morfologia de Cabaceiras é formada por superfícies suave-onduladas a onduladas, com textura argilosa e fertilidade natural média a alta. Ocorrem ainda afloramentos de rochas em grande parte da área, o que explica o fato de Cabaceiras ser reconhecida por seu lajedo: O lajedo de Pai Mateus, que faz desta área um ponto de turismo ecológico, conhecido internacionalmente (BRASIL, 2005).

Comportamento da temperatura

A Figura 21 mostra que as médias de temperatura máxima variam entre 28°C a 34°C, enquanto as médias de temperatura mínima variam de 19°C a 22°C, apresentando uma amplitude térmica de 10°C. Apesar da proximidade com Campina Grande, as temperaturas apresentaram valores bem mais altos, que podem ser explicados pela altitude mais baixa e pelo tipo de solo.

Traçando o perfil climático a partir do TRY: definição de estratégias bioclimáticas para projetos de arquitetura em municípios paraibanos

Mapping climate profile from the TRY: definition of bioclimatic strategies for architectural projects in municipalities in Paraíba

Figura 21

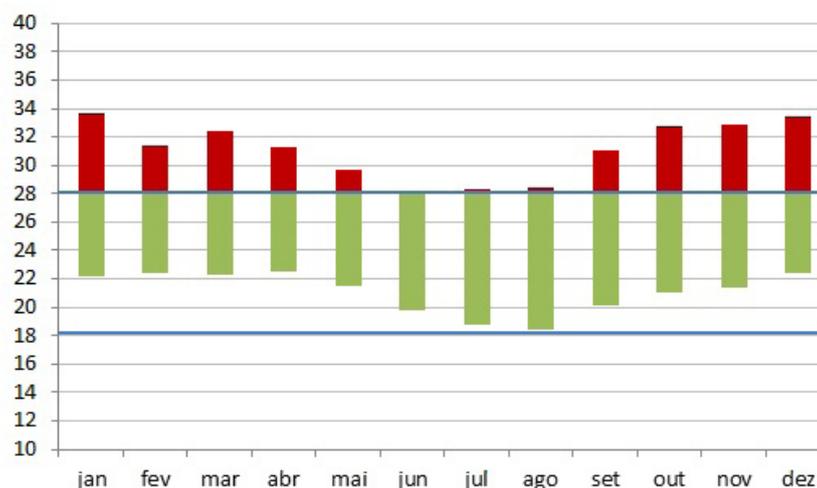
Comportamento
Temperatura de bulbo seco
(TBS) em Cabaceiras.
Fonte: Elaborado pelas
próprias autoras.



A partir do comportamento das amplitudes mensais em relação à zona de conforto, percebe-se que a maior parte do ano possui valores significativos acima do limite admissível de 28°C. Os meses com melhores condições de conforto são junho, julho e agosto. Não foram observados valores abaixo do limite de desconforto por frio (Figura 22).

Figura 22

Comportamento da
Amplitude térmica de
Cabaceiras.
Fonte: Elaborado pelas
próprias autoras.



A partir da análise do percentual de horas de desconforto por calor, verificou-se que a temperatura do ar da cidade de Cabaceiras resultou em 37% de horas acima de 26°C. O somatório dos valores excedentes da temperatura do ar (Tar) em relação à temperatura base resultou em 11.587,90, conforme equação abaixo.

$$\text{GhC Cabaceiras} = \sum (\text{Tar} - 26^\circ\text{C}) = 11.587,90$$

$$\text{GhF Campina Grande} = \sum (18^\circ\text{C} - \text{Tar}) = 19,30$$

O valor de graus-hora de frio correspondente ao somatório dos valores excedentes da temperatura do ar em relação à temperatura base de 18°C foi de 19,30. O percentual de horas de desconforto por frio resultou em 0,30%.

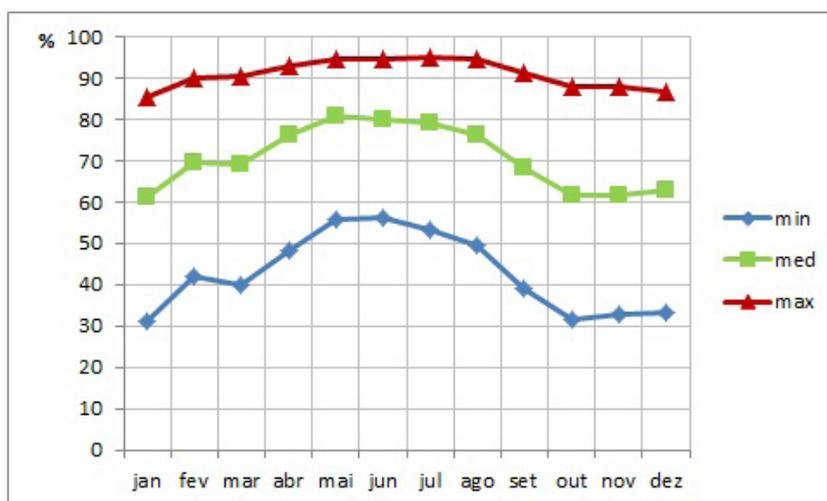
Comportamento da umidade relativa

O Comportamento da umidade relativa do ar demonstrou médias entre 60% e 80%, com valores mais baixos nos meses de outubro a dezembro. As médias das umidades relativas máximas mensais apresentaram uma curva com pouca oscilação, com valores entre 80% e 90%. A curva das mínimas demonstrou maior variação, com valores de 30% a 55% (Figura 23).

Figura 23

Comportamento da Umidade relativa de Cabaceiras.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



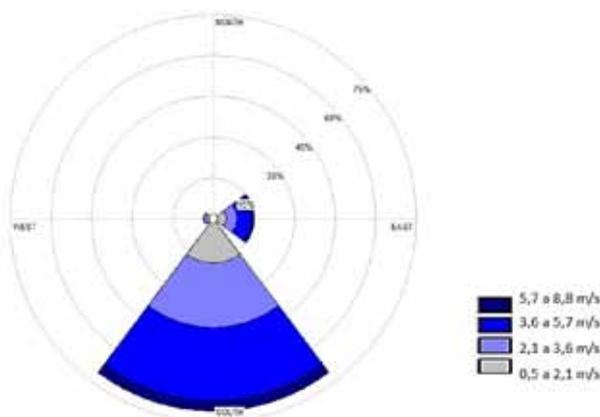
Comportamento dos ventos

A rosa dos ventos de Cabaceiras mostrou-se diferente das demais cidades da Paraíba, com a predominância significativa de direção sul. Outra direção que aparece na rosa dos ventos é leste, com 15% de frequência. A velocidade variou entre três intervalos, não caracterizando uma predominância em nenhum deles (Figura 24).

Figura 24

Rosa dos ventos de Cabaceiras.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



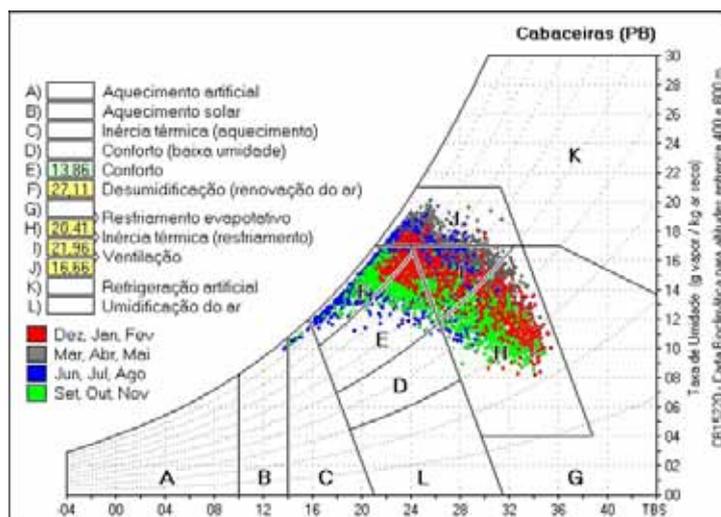
Carta Bioclimática

Utilizando os valores horários de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, pôde-se observar a relação dessas variáveis e verificar quais estratégias passivas de concepção projetual são sugeridas para este município.

Figura 25

Carta bioclimática de Cabaceiras.

Fonte: Programa CB15220 (RORIZ, 2012b).



A carta bioclimática indicou necessidade de desumidificação por renovação do ar, com 27,11% das horas. Duas estratégias obtiveram percentuais semelhantes: resfriamento evaporativo com 20,41%, e inércia térmica para resfriamento com 21,96%. A ventilação também é uma estratégia resultante com 16,66% dos dados horários (Figura 25).

Patos

A cidade de Patos está localizada a 307 km da capital do estado, e possui 100.674 habitantes. Com latitude de 7,02° sul e longitude de 37,27° oeste, a cidade está situada a 249m de altitude e está inserida no Polígono das Secas. Com 473 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 212,82 hab./km² (IBGE, 2010). Patos está inserida no semiárido brasileiro, conforme Ministério da Integração Nacional (2005). A vegetação é do tipo Caatinga. A topografia varia entre 240 e 580 metros. O ano típico é 2009, com temperatura média anual de 27,24°C, com mínima de 22,71°C e máxima de 32,93°C. A umidade média foi de 62,04% e o nível pluviométrico anual foi de 1.603,20 mm.

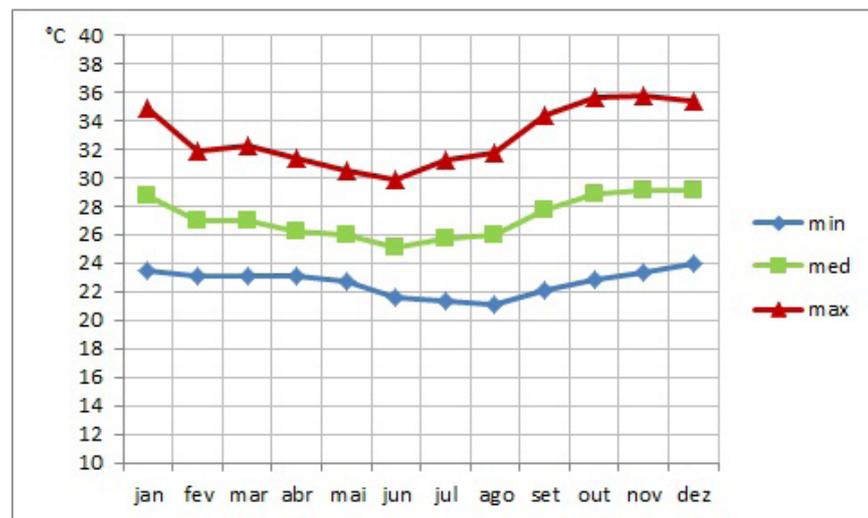
Comportamento da temperatura

Pôde-se observar que o comportamento da temperatura do ar apresentou as maiores médias de temperatura máxima entre as cidades estudadas, com valores entre 30°C e 36°C. Conhecida por suas altas temperaturas, Patos reflete no comportamento desta variável, a relação com suas características

geomorfológicas, que caracteriza a região árida do sertão paraibano. Percebe-se que as médias mensais de temperatura apresentam valores entre 25°C a 29°C. As médias mensais das temperaturas máximas ocorreram entre 30°C e 36°C, sendo outubro, novembro e dezembro os meses mais quentes. Há variações significativas na defasagem entre as curvas de temperaturas médias e máximas, principalmente a partir do mês de setembro a dezembro (Figura 26).

Figura 26

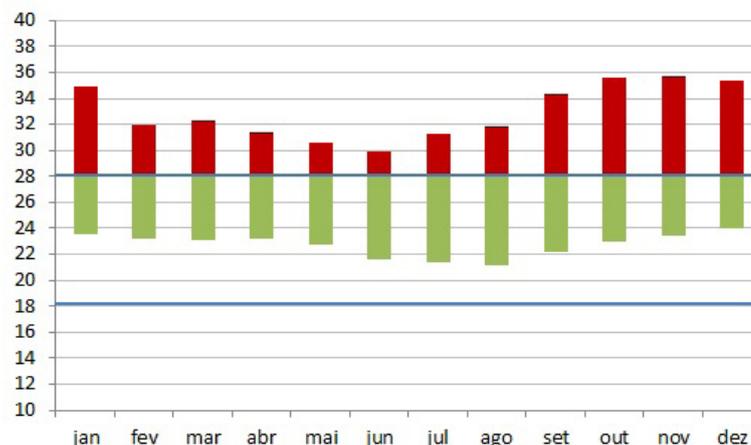
Comportamento da Temperatura de bulbo seco (TBS) em Patos.
Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



Dentre as cidades estudadas, Patos possui a maior amplitude térmica, com um intervalo médio de 12°C entre as temperaturas mínimas e máximas, nos meses mais quentes. Observam-se valores de temperatura que causam desconforto por calor em todos os meses do ano. Com temperaturas mínimas a partir de 21°C em julho e agosto, não foram observados valores que caracterizam desconforto por frio. Destacam-se a mínima absoluta de 18,80° C em março, maio e julho, e a máxima absoluta de 37,70° C em janeiro, maio e novembro (Figura 27).

Figura 27

Comportamento da Amplitude térmica de Patos.
Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



A partir da análise dos dados horários do ano típico 2009, pôde-se verificar o percentual de 52,7% de horas de desconforto por calor. O somatório do valor excedente da temperatura do ar em relação à temperatura base de 26°C foi correspondente a um valor de graus-hora de calor de 19.492,50.

$$\text{GhC para Patos} = \sum (\text{Tar} - 26^\circ\text{C}) = 19.492,50$$

Apesar de o percentual de horas de desconforto ter se aproximado do valor de João Pessoa, ressalta-se que o valor de Graus-hora de calor resulta em um número aproximadamente três vezes maior, por se tratarem de temperaturas mais elevadas. Em relação à temperatura mínima aceitável não foi constatado desconforto por frio.

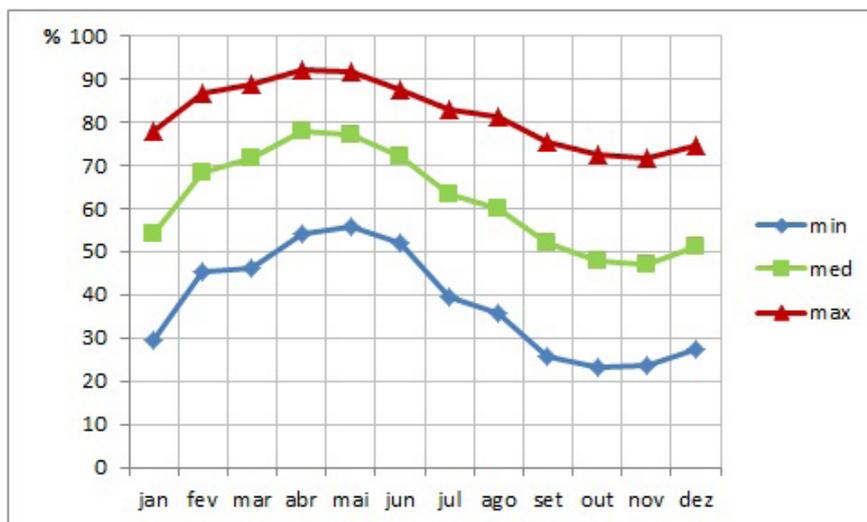
Comportamento da umidade relativa

O comportamento da umidade relativa do ar demonstra os valores de médias mensais em torno de 47% e 77%. As mínimas ocorrem entre os meses de outubro a dezembro, chegando a 23%. As médias mensais das umidades máximas ocorreram entre 71% e 92%, com máximas entre os meses de abril e maio. Observa-se o comportamento semelhante entre as curvas das mínimas, médias e máximas, com poucas diferenças na curva das mínimas (Figura 28).

Figura 28

Comportamento da Umidade relativa de Patos.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



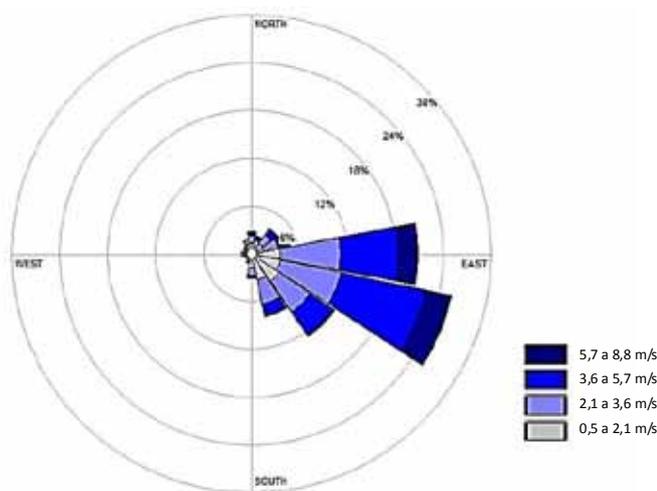
Comportamento dos ventos

Ao analisar a rosa dos ventos deste município, observou-se que a maior frequência dos ventos vem da direção sudeste, com 24% da frequência com ângulo azimute de aproximadamente 110° e aproximadamente 20%, com ângulo azimute de aproximadamente 90°. A velocidade predominante variou entre 3,6 e 5,7 m/s (Figura 29).

Figura 29

Rosa dos ventos de Patos.

Fonte: Elaborado pelas próprias autoras.



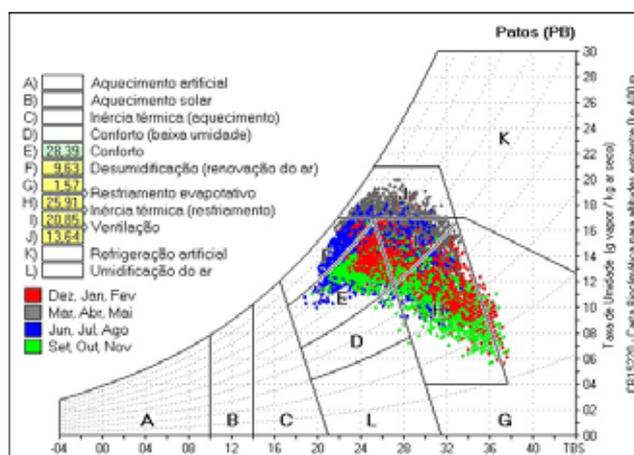
Carta Bioclimática

A carta bioclimática de Patos apresentou o maior número de estratégias entre as cidades estudadas. A zona de conforto também apresentou o maior valor com 28,39% das horas. As estratégias sugeridas foram: a inércia térmica para resfriamento, com 20,85% junto com o resfriamento evaporativo, com 25,91% (H) e 1,57% (G). A ventilação resultou em 13,64% e a renovação de ar por desumidificação em 9,63% das horas (Figura 30).

Figura 30

Carta bioclimática de Patos.

Fonte: Programa CB15220 (RORIZ, 2012b).



Considerações Finais

A concepção projetual adequada às condições do sítio e do clima local é uma qualidade inerente à Arquitetura. Nesse contexto, o desempenho termoenergético das edificações é uma necessidade que tem sido discutida e estudada intensamente nos últimos anos, em nível nacional e internacional. Contudo, apesar de o consenso sobre a necessidade da adequação da arquitetura ao clima, uma das barreiras, frequentemente enfrentada pelos arquitetos, é a dificuldade na manipulação dos dados climáticos. Embora o número de estações de medições, bem como a disponibilidade desses dados, terem sido ampliadas nos últimos anos, ainda assim, os profissionais encontram dificuldades em lidar com esses dados: a começar pela escolha da metodologia mais adequada de análise e interpretação desses dados. Tendo como meta contribuir para a diminuição dessa barreira, este trabalho teve como objetivo apresentar uma metodologia de tratamento e conformação de um conjunto de dados climáticos de seis cidades no estado da Paraíba. A caracterização climática resultante, do conjunto de cidades em análise, foi correlacionada com as estratégias bioclimáticas adequadas para o clima em estudo, bem como os dados climáticos apresentados se constituem em uma base de dados que pode auxiliar no desenvolvimento do projeto, por exemplo, a caracterização do comportamento da ventilação – direção, frequência e intensidade. A metodologia desenvolvida neste trabalho pode ser aplicada a outras cidades, a partir do arquivo climático TRY. As ferramentas utilizadas estão disponíveis gratuitamente, bem como o arquivo TRY. Ressaltam-se, ainda, limitações desta abordagem – dados de iluminância, luminância e caracterização da tipologia de céu predominante, entre outras, são variáveis não abordadas neste trabalho e recomendadas para trabalhos futuros.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa de Mestrado, e ao Prof. Dr. Maurício Roriz, pelo apoio e atualização do programa CB15220 em contribuição ao desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

AESA. **Relatório final do Plano estadual de Recursos Hídricos**. Governo do estado da Paraíba: 2009. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh>>. Acesso em: out. 2012.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade – a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: Edufal, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto de cadastro de fontes subterrâneas. **Diagnóstico dos municípios da Paraíba**. Recife, 2005.

CARLO, J. C. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. Laboratório de Eficiência energética em Edificações - Labeee. Florianópolis, 2005.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. Londres: Applied Science Publishers LTD, 1976. 499 p.

GHISI, E. et al. Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. **Coletânea Habitar ANTAC**, Porto Alegre, 2003.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. UFSC (Dissertação de Mestrado). Florianópolis: 1993.

_____; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 cidades brasileiras**. Eletrobrás: Florianópolis, 1998.

IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. **@cidades**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/@cidades/default.shtm>>. Acesso em: outubro 2012.

LAKES ENVIRONMENTAL. **Programa WRPLOT View**. Disponível em: <<http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>>. Acesso em: out. 2012.

LAMBERTS, R.; NARANJO, A. **Desempenho Térmico das Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina (Apostila de disciplina ECV 5161). Florianópolis. 2011.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado de Paraíba**. 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/AREI015.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2012.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. ANTAC. São Carlos, 2012a.

_____. **Programa CB15220**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC: São Carlos, 2012b.

_____. **Base de dados climáticos**. Disponível em: <<http://www.roriz.eng.br>>. Acesso em: nov. 2012c.