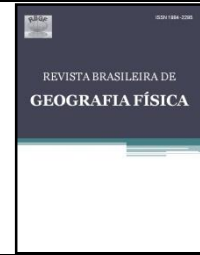




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na Região Amazônica

Antonio Carlos Lôla da Costa¹ João de Athaydes Silva Junior², Alan Cavalcanti da Cunha³, João Roberto Pinto Feitosa⁴, Bruno Takeshi Tanaka Portela⁵, Glauber Guimarães Cirino da Silva⁵, Rafael Ferreira da Costa⁶

¹Meteorologista, Professor Associado da Universidade Federal do Pará, da Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências, Rua Augusto Correa, nº01, Guamá, CEP 66075-110 Belém, PA, Brasil. E-mail: lola@ufpa.br.
²Meteorologista da Secretaria de Estado de Meio Ambiente da Diretoria de Recursos Hídricos, Travessa Lomas Valentinas nº 2717, Marco, CEP 66095-770, Belém, PA, Brasil. E-mail: athaydes@ymail.com.
³Engenheiro Civil, Professor Adjunto da Universidade Federal do Amapá do Departamento de Ciências Ambientais, Rod. Juscelino Kubitschek, km 2, Jardim Marco Zero, CEP 68.903-419, Macapá, AP, Brasil. E-mail: alancunha@unifap.br.
⁴Meteorologista, Professor Adjunto da Universidade Federal do Oeste do Pará, Rua Vera Paz, s/n, Bairro Salé, CEP 68035-110, Santarém, PA, Brasil. E-mail: jrpfeitosa@ufpa.br.
⁵Meteorologistas, Alunos de Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Av. André Araújo, nº 2.936, Petrópolis, CEP 69067-375, Manaus, AM, Brasil. E-mail: brunotakeshi@gmail.com, guimaraescirino@yahoo.com.br.
⁶Meteorologista, Professor Adjunto da Universidade Federal Rural da Amazônia do Centro Universitário de Parauapebas, Rua A, CEP 68515-000, Parauapebas, PA, Brasil. E-mail: rfgcosta@ymail.com

Artigo recebido em 08/04/2013 e aceite em 10/06/2013

RESUMO

O objetivo desta investigação foi quantificar a variabilidade média horária do conforto térmico em quatro cidades de diferentes dimensões e localizações na Amazônia Brasileira (Belém-PA, Manaus-AM, Macapá-AP e Santarém-PA). Na quantificação do conforto térmico foi utilizado o Índice de Calor (IC) que considera somente a temperatura e a umidade relativa do ar. A metodologia de investigação consistiu na coleta de dados médios horários de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente para os meses de março (chuvoso) e setembro (seco) para os anos de 2009 a 2012. Estações meteorológicas automáticas foram instaladas nos centros urbanos destas cidades. As séries mensais obtidas das variáveis foram comparadas com o objetivo verificar suas variações médias no tempo (Kruskal-Wallis, $p < 0,005$). Os resultados indicaram que tais diferenças foram significativas no período seco ($H(95;0,05) = 8,133$), e $p = 0,043$), contudo não ocorrendo significância no período chuvoso ($H(95;0,05) = 2,54$, e $p = 0,466$). Tais resultados sugerem que as cidades mais próximas de grandes corpos d'água tendem a apresentar menores ICs, independente de suas dimensões, podendo estar associadas a efeitos de brisas predominantes. Em relação ao efeito sazonal, estatisticamente os resultados dos ICs foram semelhantes no período chuvoso e significativamente distintos no período seco. Conclui-se que o IC tende a ser mais afetado pelas interferências urbanas durante o período seco, não ocorrendo o mesmo no período chuvoso. Durante a época chuvosa, acredita-se que a presença de sistemas meteorológicos de grande escala tende a homogeneizar as condições meteorológicas predominantes nestes locais.

Palavras-chave: conforto térmico, Amazônia, clima urbano.

Thermal comfort indices and their seasonal variations in cities of different sizes in the Amazon region

ABSTRACT

The aim of this study was to quantify the variability in mean hourly thermal comfort in four cities of different sizes and locations in the Brazilian Amazon (Belém - PA, Manaus - AM, Macapá - AP and Santarém - PA). The Heat Index (HI) which considers only the temperature and relative humidity was used to quantify thermal comfort. The research methodology consisted of collecting hourly average temperature and relative humidity data for the months of March (wet season) and September (dry season) for the years 2009-2012. Automatic weather stations have been installed in the urban centers of these cities. The monthly time series of weather variables were compared in order to verify their mean changes over time (Kruskal-Wallis test, $p < 0.005$). The results indicated that these differences were significant in the dry period

($H(95, 0.05)=8.133$), $p=0.043$), but not in the rainy season ($H(95, 0.05)=2.54$, $p=0.466$). These results suggest that cities closer to large bodies of water tend to have smaller HIs, regardless of their size, and this may be associated with the effects of prevailing breezes. In terms of seasonality, our HI results show little difference in the wet season but considerable differences during the dry season. We conclude that the HI tends to be more affected by urban interferences during the dry season, which does not happen during the rainy season. During rainy season, it is believed that the presence of large scale meteorological systems tends to homogenize the weather conditions prevailing at these locations.

Keywords: thermal comfort, Amazon, urban climate.

Introdução

A Amazônia ou Amazônia Continental ou ainda Pan-Amazônia, compreende uma área total de 7.584.421 Km², abrangendo os seguintes países: Peru, Colômbia, Equador, Venezuela, Guiana Francesa, Bolívia e Brasil. A Amazônia brasileira tem uma área de 5.033.072 km², que representa 66% da área geográfica do país. Esta região abriga um dos biomas mais importantes do nosso planeta, o bioma amazônico, ao qual está contida a maior bacia hidrográfica do mundo, a do rio Amazonas, drenando aproximadamente 25% da superfície da América do Sul (Siolo, 1984). A Amazônia Continental é considerada como a região de maior diversidade do planeta. Acredita-se que nessa região, que representa apenas 5% da superfície terrestre, esteja ¼ de todas as espécies de vida.

Dentre as diversas atividades humanas potencialmente capazes de provocar alteração meteorológica de pequena e média escala, a urbanização apresenta-se como uma das mais impactantes (Maitelli, 1991; Goldreich, 1992; Jáuregui, 1992). As alterações provocadas pelo processo de urbanização modificam significativamente as características ecológicas do meio urbano, principalmente, nas cidades onde o crescimento se processa de maneira desordenada e sem um planejamento adequado (Santos et al., 2012; Gartland, 2010).

A principal consequência desses processos modificadores são as marcantes variações "microclimáticas" provocadas pelo aumento da absorção de energia por estas construções, quando comparadas ao seu entorno rural adjacente. Este fenômeno é conhecido como "ilha de calor urbana" (Costa, 1998, Gartland, 2010). Normalmente, as alterações térmicas no ambiente urbano são causadas pela substituição de superfícies vegetadas por outros tipos de superfícies de características distintas do complexo urbano (Lowry, 1967, Costa, 1998, Gartland, 2010).

Apesar de se discutir sobre as variações do clima urbano, verifica-se que grande parte destas vem sendo desenvolvidas em cidades de latitudes médias, sendo ainda reduzidas as pesquisas em latitudes altas e baixas (Oke, 1982, Santos et al., 2012).

Algumas cidades localizadas na Amazônia Brasileira, nas últimas décadas, vêm apresentando um grande crescimento urbano, caracterizado pela verticalização e expansão horizontal indiscriminada, onde as superfícies naturais são substituídas por construções e outros tipos de superfícies artificiais (Santos et al., 2012). Considerando-se a reduzida quantidade de estudos desenvolvidos sobre este tema na Amazônia, justifica-se o desenvolvimento desta investigação, cujo objetivo foi analisar a variação sazonal média horária do conforto térmico em quatro cidades de diferentes dimensões e localizações geográficas. Este entendimento da variabilidade do conforto térmico, por exemplo, poderá proporcionar subsídio ao efetivo planejamento urbano, que por sua vez, implicará na consequente melhoria da qualidade de vida das populações afetadas pelos processos artificiais higrótérmicos modificadores destes ambientes.

O crescimento desordenado das áreas urbanas pode levar a alterações nos padrões climáticos dessas regiões devido às alterações ambientais, principalmente, pelas mudanças das características da cobertura do solo, o que pode proporcionar o surgimento de microrregiões termicamente desconfortáveis (Oke, 1987; Maitelli et. al., 1991; Goldreich, 1992; Jáuregui, 1992, Santos et. al. 2012). A identificação e quantificação dos fenômenos climáticos urbanos e das características térmicas de uma cidade, assim como, a sua correlação com diversos outros fatores, mostra-se de grande importância no sentido de dar subsídio a projetos de planejamento

urbano, favorecendo a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes (Oke, 1975).

Vários estudos sobre o clima urbano vêm sendo desenvolvidos, principalmente, em países desenvolvidos, desde o estudo pioneiro de Luke Howard (1818), citado por (Mitchell, 1961), sobre o clima de Londres, o qual publicou dados indicando uma maior temperatura do ar no centro da cidade, em relação ao seu entorno rural. A partir deste estudo pioneiro, e com adicionais conhecimentos proporcionados por pesquisas realizadas posteriormente, constatou-se que o fenômeno da ilha de calor urbana é proporcional ao crescimento das cidades e de suas populações, sendo mais intensa durante os dias da semana, quando as atividades urbanas são máximas, e mínima no final da semana, quando a “máquina urbana” apresenta-se praticamente parada (Chandler, 1962).

Estudos realizados por Camargo e Tavares (1985) sobre a formação da ilha de calor urbana em Rio Claro-SP, constataram a existência de uma tendência das temperaturas mais elevadas ocorrerem no centro da cidade, diminuindo em direção à periferia e área rural. Este fato foi atribuído ao efeito da urbanização. Lombardo (1985), estudando o fenômeno da ilha de calor urbana na cidade de São Paulo, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, verificou grandes diferenças horizontais na temperatura do ar entre o centro da cidade e a área rural adjacente, sendo estas maiores em condições de céu claro e vento calmo. Maitelli et. al., (1991) estudando a ilha de calor em Cuiabá-MT, também constataram a configuração clássica, onde as maiores temperaturas do ar foram observadas no centro comercial da cidade. Assis (1991) estudando o comportamento da ilha de calor urbana na cidade de Belo Horizonte, mostrou que as variações das temperaturas do ar estão relacionadas com a tipologia de uso e ocupação do solo.

A energia térmica produzida pelo organismo humano advém de reações químicas internas, sendo que as mais importantes são a combinação do carbono, introduzido no organismo sob a forma de alimentos, com o oxigênio, extraído do ar pela respiração. Esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos é

denominado metabolismo. Tanto o calor produzido como o dissipado depende da atividade que o indivíduo desenvolve. Quando as condições ambientais proporcionam perdas ou ganhos de calor do corpo além das necessárias para a manutenção de sua temperatura interna constante, o organismo reage por meio de seus mecanismos automáticos, ajustando os processos de suas combustões internas.

Segundo a Norma ISO 7330 (1994), conforto térmico é a condição em que o corpo humano expressa satisfação com o ambiente térmico. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo humano for nulo e a temperatura da pele estiver dentro de certos limites, diz-se que o conforto térmico está estabelecido (Pezzuto, 2007). As condições do conforto térmico são funções das atividades desenvolvidas pelo indivíduo, das suas vestimentas e das variáveis ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente (Fanger, 1972). Portanto, o conforto humano está relacionado diretamente com a capacidade de manter a temperatura do corpo em um nível ideal. Os índices de conforto térmico procuram integrar o efeito conjunto das atividades exercidas com as variáveis ambientais as quais, o indivíduo pode ser submetido (Frota e Schiffer, 2001).

Material e Métodos

2.1 Descrição da Área de Estudo – Este estudo foi desenvolvido na região Amazônica Brasileira, notadamente em quatro cidades de diferentes dimensões e localizações (Belém – PA, Santarém – PA, Macapá - AP e Manaus - AM). A cidade de Belém (01°23'S e 048°29'W), capital do Estado do Pará, encontra-se distante cerca de 100 km do Oceano Atlântico, apresentando uma topografia praticamente plana, sendo que aproximadamente 60% de suas terras encontram-se abaixo da cota de 4,0 metros acima do nível do mar. Belém é conhecida como a cidade das mangueiras, por apresentar em algumas avenidas verdadeiros túneis "verdes". Contudo, nas últimas décadas, a cidade de Belém vem apresentando um rápido crescimento urbano, transformando bruscamente sua paisagem original. A cidade

possui área de 1.065 km² e população de 1.393.399 habitantes (IBGE, 2010).

Quanto aos aspectos climáticos, a temperatura média anual do ar é de 26,0°C, com máximas e mínimas variando entre 31,5 e 22,0°C durante o ano, respectivamente (INMET, 1992). As precipitações ocorrem em duas estações distintas: a chuvosa, que se estende de dezembro a maio, e a seca, entre junho a novembro, sendo a média anual de 2.858,7 mm, com 71,2% do total anual ocorrendo no período chuvoso (INMET, 1992). A média da umidade relativa do ar é de 85,8%, enquanto que a nebulosidade média anual é de 6/10 (INMET, 1992). A cidade de Belém pode ser classificada climaticamente, segundo Köppen, como de clima tropical chuvoso, com baixa amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm, ou seja, tipo Afi.

A cidade de Manaus (03°08'S e 060°18'W) encontra-se distante cerca de 1.600 km do Oceano Atlântico. A capital do Estado do Amazonas também sofreu um processo de industrialização regional, sendo que sua população no período de 1960 a 1996 apresentou crescimento notável, passando de 152.432 para 1.108.162 habitantes. Atualmente a população residente em Manaus é de 1.802.014 habitantes e uma área de 11.401,0 (IBGE, 2010).

Quanto aos aspectos climáticos a cidade de Manaus possui clima do tipo equatorial úmido, com temperatura média anual de 26,7°C, variando entre 23,3°C e 31,4°C os valores mínimos e máximos, respectivamente. A média da precipitação anual é de 2.286 mm e a umidade relativa do ar oscila em torno de 80%. A região possui duas estações distintas: a chuvosa, que se estende de dezembro a maio e a seca, entre junho a novembro. A cidade de Manaus pode ser classificada climaticamente, segundo Köppen, como de clima tropical chuvoso, com baixa amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm, ou seja, tipo Ami.

A cidade de Santarém (02°25'S e 054°42'W) encontra-se distante, em linha reta de Belém, aproximadamente 750 km. Apresenta uma topografia bastante variada, estando à sede municipal, a 29 metros acima do nível do mar. A cidade possui área de

22.887,0 km² e população de 294.580 habitantes (IBGE, 2010).

Quanto aos aspectos climáticos, a temperatura do ar é sempre elevada, com média anual de 25,6°C e valores médios máximos e mínimos de 31,0°C e 22,5°C, respectivamente. A umidade relativa do ar apresenta valores superiores a 80% em quase todos os meses do ano. O total pluviométrico médio anual é de 2.000 mm, porém, com certa irregularidade durante todo o ano. As estações chuvosas coincidem com os meses de dezembro a junho e as menos chuvosas, com os meses de julho a novembro. A cidade de Santarém pode ser classificada climaticamente, segundo Köppen, como de clima tropical chuvoso, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm, ou seja, tipo Ami.

A cidade de Macapá (00° 05'N e 051° 04'W) está localizada no Nordeste da Amazônia, com uma área de 6.562,4 km² e população de 398.204 habitantes (IBGE, 2010). O clima predominante em Macapá é quente e úmido, com temperaturas médias anuais de 26,6°C, com as temperaturas do ar mínima e máxima de 23,3°C e 30,7°C, respectivamente. O total anual da precipitação pluvial é de aproximadamente 2.570 mm, sendo o período mais chuvoso compreendido entre os meses de janeiro a julho. A média anual da umidade relativa do ar é de 83%. A maior parte do Estado do Amapá, cerca de 73% do total, que corresponde a aproximadamente 97.000 km², está coberta pela Floresta Amazônica. A cidade de Macapá pode ser classificada climaticamente, segundo Köppen, como de clima tropical chuvoso, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm, ou seja, tipo Ami.

2.2 Dados Utilizados - Foram utilizados dados dos valores médios horários do índice de calor (IC), obtidos indiretamente por intermédio de estações meteorológicas automáticas da Campbell Scientific, dotadas de datalogger modelo CR1000. As estações de coletas foram instaladas em locais estratégicos do ambiente urbano das cidades estudadas e localizadas, normalmente em zonas intensamente urbanizadas e com mínima porcentagem de cobertura vegetal.

A finalidade foi representar fielmente as características da estrutura do ambiente urbano. Foram considerados os valores médios horários dos meses de março (chuvoso) e setembro (seco) dos anos de 2009 a 2012. Após a coleta dos dados, estes passaram por uma rigorosa análise de consistência, para posteriores análises através de testes estatísticos de hipóteses.

2.3 Índices de Conforto Térmico – Neste estudo, como índice de conforto térmico, foi utilizado o Índice de Calor (IC), derivado do índice humidex, desenvolvido por Winterling em 1978 e posteriormente adaptado com base

nos trabalhos de Steadman (1979). O IC foi elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para determinados valores de temperatura e umidade relativa do ar, quando em situações que as temperaturas estão elevadas, com indivíduo à sombra e em condições de vento fraco. Este índice foi testado para a cidade de Belém por Silva Junior et. al. (2011), tendo o mesmo apresentado uma boa correlação com a percepção térmica dos indivíduos entrevistados. A formulação do IC é dada através da Equação 01. Os níveis de alerta e suas consequências à saúde humana estão ilustradas na Tabela 1.

$$\begin{aligned}
 IC = & -42,379 + 2,04901523 \times T + 10,14333127 \times UR - 0,22475541 \times T \times UR \\
 & - 6,83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5,481717 \times 10^{-2} \times UR^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times UR \\
 & + 8,5282 \times 10^{-4} \times T \times UR^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \times UR^2
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 01}$$

Onde, T é a temperatura do bulbo seco (°F) e UR é a umidade relativa (%).

Tabela 1. Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do IC.

Nível de Alerta	Índice de Calor	Sintomas
Perigo Extremo	54,0°C ou mais	Insolação; risco de acidente vascular cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1°C – 54,0°C	Câimbras, insolação, esgotamento físico. Possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela Extrema	32,1°C – 41,0°C	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1°C – 32,0°C	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas.
Não há alerta	Menor que 27,0°C	Não há problemas

Fonte: Adaptado de National Weather Service, Weather Forecast Office, NOAA e Fundacentro.

Resultados e Discussão

3.1. Avaliações estatísticas

Um teste de normalidade de Shapiro-Wilk (R Core-Team, 2012) foi realizado para avaliar se as distribuições dos ICs eram normais. Os resultados indicaram que a distribuição de todas as frequências do referido

índice (IC) não eram normais ($p > 0,05$), mesmo após um processo de transformação.

Para aplicar um teste de hipótese entre os tratamentos (cidades e sazonalidade) utilizou-se um teste não-paramétrico utilizando-se às variáveis originais como as independentes. Neste caso, teste não-

paramétrico é aquele em que não há pressuposto sobre modelo de distribuição nem quanto aos parâmetros, não se aplicando aos mesmos o Teorema do Limite Central (R Core Team, 2012; Ayres et al., 2005). Aplicou-se então o teste de Kruskal-Wallis, conhecido como teste H. Na presente análise, $H = 39,95$ ($p < 0,000$).

Posteriormente, aplicou-se o método de Dunn (Ayres et al., 2005), o qual é considerado conservador, pois retifica o nível de significância conforme o número de amostras. O teste de Kruskal-Wallis compara k amostras (independentes do mesmo tamanho ou desiguais), cujos escores devem ser mensurados, pelo menos, em nível ordinal. Este teste é comparado à ANOVA de um critério.

Todas as distribuições resultaram não normais: a) Belém seco ($W = 0.8931$, p -value = 0.01539); b) Belém chuvoso ($W = 0.8812$, p -value = 0.008805); c) Macapá seco ($W = 0.8931$, p -value = 0.01539); d) Macapá chuvoso ($W = 0.8883$, p -value = 0.01225); e) Santarém seco ($W = 0.8863$, p -value = 0.01116); f) Santarém chuvoso ($W = 0.9155$, p -value = 0.04659); g) Manaus seco ($W = 0.9145$, p -value = 0.04418); h) Manaus chuvoso ($W = 0.8987$, p -value = 0.02022).

Após a aplicação do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,001$) e método de Dunn (Ayres et al., 2005) para comparações entre os tratamentos (cidades e períodos seco e chuvoso), observou-se que somente aconteceram diferenças significativas entre os períodos e cidades seguintes: Belém e Macapá (seco), Santarém (seco) e Belém (chuvoso), Belém (chuvoso) e Manaus (seco) e Belém e Manaus (chuvoso). Para todas as outras situações as diferenças não foram significativas.

3.2 Variabilidade média horária do IC para o período chuvoso

Na Figura 1 temos a variabilidade média horária do IC para as quatro cidades estudadas durante o mês de março (período chuvoso da região). Observou-se um padrão de comportamento do IC muito próximo para todas as cidades, sendo que os menores valores ocorreram por volta das 7 horas, enquanto que os máximos foram observados por volta das 15

horas ($H = 2,5498$, $p = 0,4664$). Durante o período chuvoso houve homogeneização dos valores de IC, sendo as diferenças encontradas entre as cidades não significativas.

Este comportamento pode estar associado com os efeitos das precipitações de grande escala, como a ITCZ, por exemplo, que durante esta época do ano tende a tornar as cidades mais homogêneas termicamente (Santos et al., 2012). Deste modo, os efeitos térmicos proporcionados pela estrutura urbana não são tão perceptíveis nesta época do ano por seus habitantes.

A cidade de Santarém foi a que apresentou os maiores valores noturnos do IC, enquanto que os menores ocorreram na cidade de Belém. As cidades de Macapá e Manaus apresentaram valores próximos, sendo maiores do que os de Belém e inferiores a Santarém. A partir das 9 horas ocorreu aumento gradativo do IC para todas as cidades, sendo que os maiores valores foram observados em Belém e Macapá, por volta das 14 horas. Contudo, em Santarém e Manaus, estes máximos sofreram um pequeno retardo em relação aos primeiros, em torno das 16 horas.

Os valores médios diários do IC neste período foram respectivamente de 28,5°C, 29,6°C, 29,1°C e 28,6°C para Belém, Santarém, Macapá e Manaus. Apesar de pequenas diferenças observadas entre as amplitudes do IC, os maiores valores foram observados nas cidades de Belém e Macapá, sendo estes de 8,6°C e 9,1°C, respectivamente, enquanto que os menores ocorreram em Santarém e Manaus, com 7,9°C e 7,1°C, respectivamente. Este comportamento pode estar também associado com a localização geográfica destas cidades, ao invés das suas dimensões estruturais urbanas, provavelmente devido aos efeitos das brisas fluviais no resfriamento noturno destas cidades.

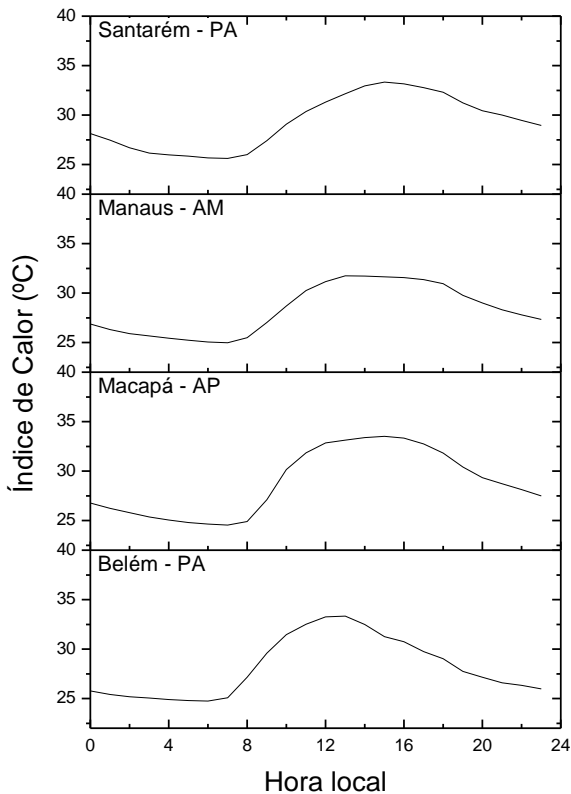


Figura 1. Variabilidade média horária do índice de calor durante a época chuvosa da região.

3.3 Variabilidade média horária do IC para o período seco

Na Figura 2 temos a variabilidade média horária do IC para as cidades estudadas durante o mês de setembro (período seco). Ficou evidente que durante o período seco a estrutura urbana influencia decisivamente nas variações térmicas destas cidades, embora tenham mantido os mesmos padrões de variações horárias. Assim, os valores do IC apresentaram-se sempre maiores que aqueles observados durante período chuvoso, em todas as cidades estudadas ($H = 8,433$, $p = 0,0433$).

Por outro lado, é importante ressaltar que as maiores diferenças estatísticas neste período foram observadas entre Belém e Santarém. Por outro lado, durante o período seco, predominam os efeitos convectivos locais e não de sistemas meteorológicos de grande escala. Em todas as cidades estudadas os menores valores do IC também ocorreram por volta das 7 horas. Entretanto suas amplitudes foram bem mais acentuadas, sendo que a cidade de Santarém novamente apresentou os maiores valores noturnos de IC,

enquanto que os menores ocorreram na cidade de Belém.

As cidades de Macapá e Manaus apresentaram valores intermediários, sendo maiores do que Belém e inferiores a Santarém. A partir de 8 horas ocorreu aumento gradativo do IC para todas as cidades, sendo este aumento mais acentuado nas cidades de Belém e Macapá, tendo esta última, apresentado os maiores valores de todas as demais localidades estudadas, com valor médio na ordem de $36,0^{\circ}\text{C}$, por volta das 15 horas, caracterizando uma zona de “cautela extrema”. Estes extremos de temperatura podem representar riscos à saúde de seus habitantes nestas condições.

As demais cidades apresentaram comportamento próximos entre 11 e 17 horas, mas com valores também elevados. Os valores médios diários do IC neste período foram de $29,8^{\circ}\text{C}$, $32,9^{\circ}\text{C}$, $32,0^{\circ}\text{C}$ e $31,8^{\circ}\text{C}$ para Belém, Santarém, Macapá e Manaus, respectivamente.

As maiores amplitudes do IC foram observadas nas cidades de Belém e Macapá, com valores de $10,7^{\circ}\text{C}$ e $12,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente, enquanto que os menores ocorreram em Santarém e Manaus, com $4,6^{\circ}\text{C}$ e $7,4^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Neste caso, o comportamento parece refletir uma potencial associação entre os efeitos urbanos e geográficos, embora ambos possam apresentar significativa influência nas amplitudes e valores noturnos do IC que, por outro lado, deve estar associado aos efeitos das brisas marítimas experimentadas por estas cidades litorâneas.

3.4 Total diário de sensação de conforto térmico segundo o índice de calor

Na Figura 3 dispõe-se de dados da sazonalidade média horária do IC para as cidades estudadas. Observou-se que os menores valores de desconforto sempre ocorreram durante o período chuvoso, certamente associada com as condições de umidade do solo proporcionado pelas chuvas durante esta época do ano.

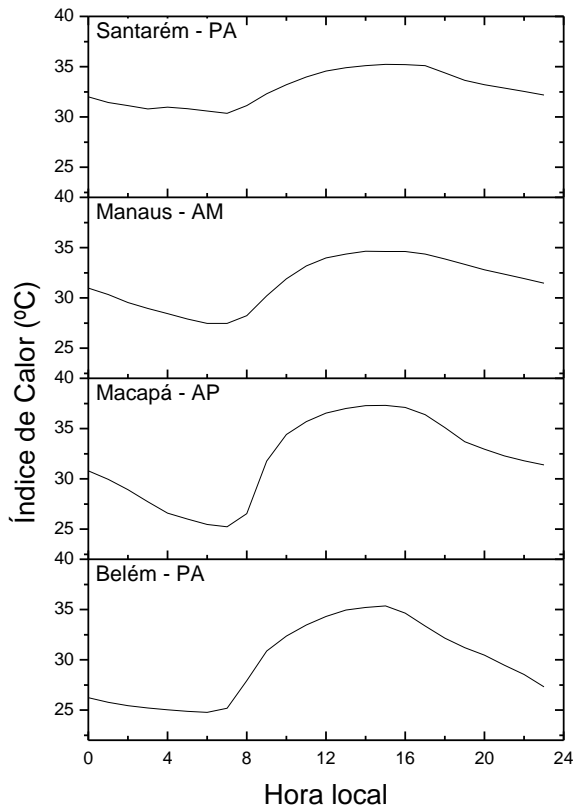


Figura 2. Variabilidade média horária do índice de calor durante a época seca da região.

Tais efeitos parecem ter minimizado as influências das diferentes tipologias de uso e ocupação do solo, tornando os IC das cidades mais homogêneos termicamente, o que corrobora com os estudos de Silva Junior et al., (2012).

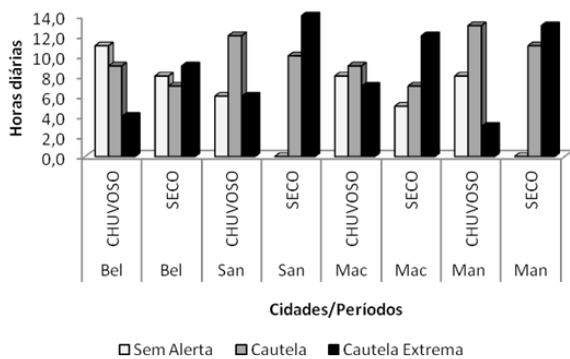


Figura 3. Variabilidade sazonal do número de horas diárias do Índice de calor nas cidades estudadas (Bel:Belém; San:Santarém; Mac:Macapá; Man:Manaus).

Analisando o IC durante o período seco para estas cidades, observou-se em todos os casos um aumento da sensação de desconforto térmico nas horas de ocorrência de cautela extrema, em detrimento da redução das horas sem alerta. Contudo, as cidades de Santarém e

Manaus, durante esta época do ano, apresentaram, ao longo do dia, somente situações de cautela e cautela extrema.

Esta situação anterior foi bem distinta das condições observadas nas cidades de Belém e Macapá, que em algumas horas do dia apresentou situação “sem alerta” em relação ao conforto térmico. Tal diferença acredita-se estar mais relacionada com a proximidade do litoral do que com a própria estrutura urbana, uma vez que, tanto as cidades de médias, como as de grandes dimensões, apresentam características urbanas relativamente semelhantes. Deste modo, atribuem-se estas diferenças de conforto térmico nestas cidades aos efeitos das brisas fluviais, que proporcionam um maior resfriamento local.

Durante o período chuvoso da região, nas cidades de Belém, Macapá e Manaus, nos horários de 0 a 9 horas, não houve nível de alerta, caracterizando este período como confortável termicamente. Para Belém e Manaus a situação de cautela extrema foi verificada apenas no período de 13 a 15 horas, enquanto que para as cidades de Santarém e Macapá esta situação ocorreu no período de 13 a 18 horas.

Quando analisado o período seco da região, observou-se que somente na cidade de Belém, no horário de 0 a 6 horas, e na cidade de Macapá no período de 4 a 6 horas não houve nível de alerta, caracterizando estes períodos como confortáveis termicamente. Nas cidades de Manaus e Santarém, no período de 22 a 9 horas predominou o nível de cautela, sendo que nos demais horários ocorreu a situação de cautela extrema, com riscos de ocorrências de câimbras, esgotamento físico e insolação por exposições prolongadas e atividades físicas.

Em todas as cidades foi verificada a situação de cautela extrema entre 10 e 21 horas nesta época do ano. Estas características de situações térmicas mais amenas nas cidades de Belém e Macapá, certamente podem estar associadas aos efeitos da proximidade do litoral.

Conclusões

Podemos concluir que o índice de calor (IC) apresentou significativa variabilidade espacial e sazonal, com ênfase no período seco. Portanto, as maiores diferenças observadas

ocorreram durante o período seco devido à perda de força dos grandes sistemas meteorológicos (como a ITCZ) que tendem a homogeneizar e amortecer os efeitos locais da temperatura. Por outro lado, as menores diferenças entre os IC ocorreram durante o período chuvoso regional, devido aos efeitos de nebulosidade e, portanto, maiores precipitações, as quais proporcionam uma redução nas temperaturas do ar nesta época do ano.

Destaque entre todas as combinações possíveis, Santarém, no período seco, apresentou IC médios com diferenças mais significativas em relação às demais cidades e períodos estudados, sugerindo comportamento diferenciado provavelmente devido à sua localização, condições de altitude e dimensões geográficas, além do atual nível de desenvolvimento urbano em relação às demais cidades estudadas.

Embora as cidades estudadas apresentem características urbanas diferenciadas, se observou, com poucas exceções, a predominância de situações de extremo de desconforto térmico na maioria delas, associadas, provavelmente, com as características climáticas locais, bem como elevadas temperaturas e umidade do ar durante todo o ano na região Amazônica.

Em relação à variabilidade do IC entre as cidades estudadas, observou-se que as localizadas próximas ao litoral apresentaram melhores condições de conforto térmico, quando comparadas com as localizadas no interior do continente, fato este associado, certamente, aos efeitos das brisas locais. Este padrão parece confirmar a hipótese básica da influência tanto das brisas fluviais no IC, mas que ainda pode sofrer restrições quando o processo de verticalização urbana é significativo como ocorre em Belém e Manaus.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento desta pesquisa e bolsa produtividade. Ao INMET pela disponibilização dos dados climatológicos.

Referências

Assis, E. S. (1991). Avaliação da influência do uso e ocupação do solo sobre a formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Porto Alegre, 1991. Anais, Porto Alegre, p. 53-57.

Ayres, M.; Ayres, M. J.; Ayres, D. L.; Santos, S. A. Bioestat 4.0: aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Bio-Médicas. Belém: Mamirauá/CNPq, 2005. 364 p.

Camargo, J. C. G.; Tavares, A. C. (1985). A influência da cidade de Rio Claro na temperatura e na umidade do ar. Geografia, v. 10, n. 20, p. 149-168.

Chandler, T. J. (1962). Temperature and humidity traverses across London. Weather, n. 17, p. 235-242.

Costa, A. C. L. (1998). Estudo de Variações Termo-Higrométricas de Cidade Equatorial devido ao Processo de Urbanização. O caso de Belém – PA, EESC-USP. São Carlos, SP. 232p.

Fanger, P. O. (1972). Thermal Comfort. McGraw-Hill, New York.

Frota, A. B.; Schiffer, S. R. (2001). Manual de Conforto Térmico. 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel. São Paulo: Studio Nobel, 243p.

Gartland, L. (2010). Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo-SP, Ed. Oficina de Textos, p.248

Goldreich, Y. (1992). Urban climate studies in Johannesburg, A sub-Tropical city located on a ridge - A review. Atmospheric Environment, v. 26B, n. 3, p. 407-420.

Howard. L. (1818). The Climate of London - Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighborhood of Metropolis. Ed. W. Phil., Londres.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Cidades, (2010). <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acessado em: 07/01/2013.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. (1992). Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990.

Jaureguí, O. E. (1992). Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico. *Atmospheric Environment*, v.26B, n.3, p. 391-396.

Lombardo, M. A. (1985). A ilha de calor nas metrópoles - O exemplo de São Paulo. Ed. Huciteck, p. 245.

Lowry, W. P. (1967). The climate of cities. *Scientific American*, v.217, nº 2, p.15-23.

Maitelli, G. T.; Zamparoni, C. A. P. G.; Lombardo, M. A. (1991). Ilha de calor em Cuiabá-MT: Uma abordagem de clima urbano. In: Encontro Nacional de Estudos sobre Meio Ambiente, 3, Londrina-PR, comunicações, p.561-571, 1991, Londrina - PR.

Mitchel, J. M. (1961). The temperature of cities. *Weatherwise*, v.14, n.6, p. 224-229.

Oke, T. R.; MAXWELL, G. B. (1975). Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver, *Atmospheric Environment*, 9, p.191-200.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island," *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, v.108, p.1-24.

Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates*. 2nd Ed. 460p.

Pezzuto, C. C. Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP, (2007). Doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas, Campinas-SP, 197p.

R Development Core Team. (2012). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.

Santos, K. P. C; Cunha, A. C; Costa, A. C. L; e Souza, E. B. (2012). Índices de tendências climáticas associadas à "ilha de calor" em Macapá (1968-2010). *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v.19, n.3, p.325-336.

Silva Júnior, J. A. et. al., (2011). Estudo do Conforto Térmico e o Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Belém-PA durante o ano de 2010. In: Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa. ANAIS - IV SIC.

Silva Júnior, J. A. et. al. (2012). Relações entre as percepções térmicas e índices de conforto térmico dos habitantes de uma cidade tropical na Amazônia Oriental. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, v. 3, n. 2, p. 395-407.

Siole, H. (1984). The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses and rivers types. In *The Amazon: Limmology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin*. p.127-165.

Steadman, R. G. (1979). The Assessment of Sultriness. Part I: A temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*, v.18, 861-873p.