

## VARIAÇÕES SAZONAIS DO ÍNDICE DE TEMPERATURA EFETIVA (ITE) E ÍNDICE DE CALOR (IC) COM O USO DO SOLO EM ZONA URBANA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

**Pedro Hugo Oliveira Moreira**

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP  
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Macapá, AP, Brasil  
[pedrohugo.moreira@gmail.com](mailto:pedrohugo.moreira@gmail.com)

**Antonio Carlos Lola da Costa**

Universidade Federal do Pará – UFPA  
Prof. aposentado do Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, PA, Brasil  
[lola@ufpa.br](mailto:lola@ufpa.br)

**João de Athaydes Silva Júnior**

Universidade Federal do Pará – UFPA  
Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, PA, Brasil  
[athaydes@ufpa.br](mailto:athaydes@ufpa.br)

**Alan Cavalcanti da Cunha**

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP  
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Macapá, AP, Brasil  
[alancunha@unifap.br](mailto:alancunha@unifap.br)

### RESUMO

Recentes estudos na Amazônia demonstram que a urbanização é o fator mais impactante dos padrões microclimáticos, contrastando com a redução da cobertura vegetal, o elemento mais relevante para a manutenção do conforto térmico. O objetivo da investigação é analisar a variação do índice de conforto térmico na cidade de Macapá-AP sob influência do uso e ocupação do solo, especialmente em relação à redução da cobertura vegetal. A metodologia de investigação consistiu na análise do índice de temperatura efetiva e Índice de calor como fatores preditivos do conforto térmico durante três períodos sazonais distintos: chuvoso (abril/2018), seca (novembro/2018) e de transição (junho/2019). Com esse propósito foram escolhidos estrategicamente cinco sítios urbanos geográfica e criteriosamente distribuídos ao longo dos eixos Nordeste-Sudoeste e Oeste-Leste da cidade, usando a técnica de classificação supervisionada e monitoramento de séries temporais da temperatura média e umidade relativa do ar. Os resultados sugerem que as áreas mais vegetadas evitam a extrapolação dos limites dos índices de conforto térmico ( $p < 0,05$ ), ratificando resultados similares da literatura registrados em outras cidades amazônicas. Assim, o Índice de Temperatura Efetiva variou entre confortável e desconfortável e o Índice de Calor variou entre confortável e cautelosa, apresentando amplitude espaço-sazonal térmica considerável.

**Palavras-Chave:** Vegetação. Urbanização. Conforto térmico. Macapá.

### SEASONAL VARIATIONS IN EFFECTIVE TEMPERATURE (ETI) AND HEAT (HI) INDICES DUE TO LAND USE IN AN URBAN AREA IN EASTERN AMAZONIAN REGION

#### ABSTRACT

Recent studies in the Amazon area show that urbanization is the most impacting factor in microclimatic patterns, contrasting with the reduction of vegetation cover, the most relevant element for maintaining thermal comfort. The objective of the investigation is to analyze the variation of the thermal comfort index in the city of Macapá-AP under the influence of land use and occupation, especially in relation to the reduction of vegetation cover. The investigation methodology consisted of the analysis of the effective temperature index and the heat index as predictive factors of thermal comfort during three distinct seasonal periods: rainy (April/2018), dry (November/2018) and transition (June/2019). For this purpose, five urban sites were strategically chosen and carefully distributed along the Northeast-Southwest and West-East axes of the city, using the technique of supervised classification and monitoring of time series of average temperature and relative humidity. The results suggest that the most vegetated areas avoid the extrapolation of the limits of the thermal comfort indices ( $p < 0.05$ ), confirming similar results in the literature recorded in other Amazonian cities. Thus, the Effective Temperature Index ranged between comfortable and uncomfortable and the Heat

Index ranged between comfortable and cautious, presenting considerable space-seasonal thermal amplitude.

**Keywords:** Vegetation. Urbanization. Thermal comfort. Macapá.

## INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos sobre conforto térmico datam do século XIX, na Europa, cujo objetivo era melhorar as condições de trabalho nas indústrias têxteis e metalúrgicas e devido às consequências de enfermidades ligadas às temperaturas elevadas (SILVA JUNIOR et al., 2012b). Atualmente, os ambientes artificialmente alterados continuam ocasionando intensa liberação de calor antropogênico para a atmosfera, o que tem produzido ambientes termicamente desconfortáveis em populações urbanas no mundo todo (FERNANDES E MASIERO, 2020).

Em geral, as variações de conforto térmico ocorrem frequentemente em função de atividades antrópicas, principalmente por influência de variáveis ambientais que influenciam as trocas de calor entre um corpo e o ambiente (FANGER, 1972). Temperaturas extremas podem prejudicar o uso dos espaços públicos nas cidades, onde o estresse causado pelo calor ameaça o bem-estar dos seus habitantes, bem como a saúde humana (FOSHAG et al., 2020). Por exemplo, o corpo humano geralmente se resfria pela transpiração, quando a água do suor evapora e retira calor do corpo. Assim, o calor perdido pelo corpo ocorre em uma taxa mais baixa, mantendo mais calor no corpo do que o mesmo teria numa situação de ar seco (SILVA JÚNIOR et al., 2012a).

No entanto, Fante; Dubreuil; Sant'anna Neto (2017) afirmam que há pouco consenso sobre as diferentes metodologias de aferição do conforto térmico, variando convenientemente com o objetivo de cada pesquisa. Por outro lado, os Índices de Conforto Térmico (ICT), traduzidos pelo Índice de Temperatura Efetiva (ITE) e o Índice de Calor (IC), podem ser considerados como bons indicadores de resposta às trocas térmicas na região amazônica (SILVA JUNIOR et al., 2012a; COSTA et al., 2013), apesar de atualmente haver poucos estudos nessa área. Por exemplo, ITE correlaciona os valores de temperatura de bulbo seco com os valores de temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. Esse índice é utilizado como base para os métodos de análise de conforto térmico como as medições de temperatura de globo negro, o qual pode também ser correlacionado com uma faixa de conforto correspondente. Tal conceito foi proposto em 1972 pela American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers (ASHRAE). Dessa forma, são considerados um dos mais adequados para aferição do ICT para as condições climáticas brasileiras (SILVA JUNIOR et al., 2012b).

O IC é derivado do índice Humidex e foi desenvolvido por George Winterling em 1978. Posteriormente foi adaptado por Steadman (1979), com base em medidas subjetivas de quanto calor cada pessoa sente de acordo com as variações de Temperatura média (Tar) e umidade relativa do ar (UR) medidos em campo. Esse indicador se destaca quanto maior for a temperatura, tanto na sombra quanto em condições de vento fraco. O índice Humidex é definido como uma combinação do efeito do calor e da umidade, mormente representando a sensação térmica de uma pessoa comum. Assim, a equação de estimativa de IC considera as dimensões do corpo humano, pressão de vapor, velocidade eficaz do vento e radiação (STEADMAN, 1979; HIRASHIMA, ASSIS, NIKOLOPOULOU, 2016).

Em geral, os índices ITE e IC variam na faixa de conforto térmico com mais frequência no período úmido, em virtude da maior UR e menor incidência de energia térmica. Isso tende a conferir maior homogeneidade térmica entre sítios amostrais. Por exemplo, no período seco, devido a maior incidência de energia e redução da UR, ocasionada pela redução da interferência dos fatores de macroescala (Zona de Convergência Intertropical, por exemplo), há a tendência da maximização das diferenças sazonais entre diferentes sítios geográficos, refletindo potenciais diferenças de uso do solo (BARBOSA et al., 2015; SILVA et al., 2020). Nesse sentido, quanto maior UR menor é a taxa de evaporação de água devido à redução de remoção de calor do corpo. Por outro lado, no período seco, ocorre um aumento na remoção de calor do corpo, resultante do aumento da Tar e redução da UR (SILVA JÚNIOR et al., 2012a).

É importante frisar que estudos recentes sugerem que as árvores e os espaços verdes favorecem termicamente a sensação e a qualidade de vida urbana, tornando as cidades mais confortáveis (KONG et al., 2017). Todavia, essa hipótese nunca foi testada considerando três períodos sazonais em zona urbana de cidade típica de médio porte na Amazônia. Com esse propósito, tanto ITE quanto IC foram testados em função do uso e ocupação do solo nesses três períodos (úmido, seco e transição) na cidade de Macapá, isto é, para compreender se tais respostas de ICT, em função de UR e Tar, são dependentes de fatores fundamentais como a arborização e uso e ocupação do solo. A hipótese da pesquisa é que os sítios amostrais que apresentam maior percentual de arborização e/ou menor percentual de urbanização, apresentam melhores ICT em relação aos locais mais urbanizados e/ou menos arborizados, incluindo-se potenciais efeitos térmicos advindos da presença de corpos d'água e de brisas fluviais, mas essa dependência é sensível nos três períodos sazonais, incluindo-se o de transição.

Para testar essas hipóteses, avaliamos a variação espaço-sazonal de ICT (ITE e IC) considerando-se diferentes usos e ocupação do solo, especialmente devido à influência do percentual de arborização.

É relevante frisar que, no contexto amazônico ainda há poucos estudos de ICT considerando variações sazonais de períodos de transição (MOREIRA et al., 2020), sendo este um estudo inédito. Assim, até onde é do nosso conhecimento, as variações de ICT nunca foram testadas incluindo-se simultaneamente períodos úmido, seco e transição, visando as suas variações espaço-sazonais e potenciais correlações com o uso do solo e cobertura vegetal.

## **METODOLOGIA**

### ***Área e Período de Estudo***

A cidade de Macapá é considerada como uma zona urbana de médio porte e está localizada na região sudeste do Estado do Amapá, com área de 6.503,458 km<sup>2</sup>. O índice de arborização de vias públicas é de 66%, correspondente a uma restrita área da bacia hidrográfica composta por grandes corpos d'água, como o rio Amazonas, que interligam afluentes menores às áreas de ressaca (IBGE, 2010; ABREU et al., 2020; DA CUNHA et al., 2021).

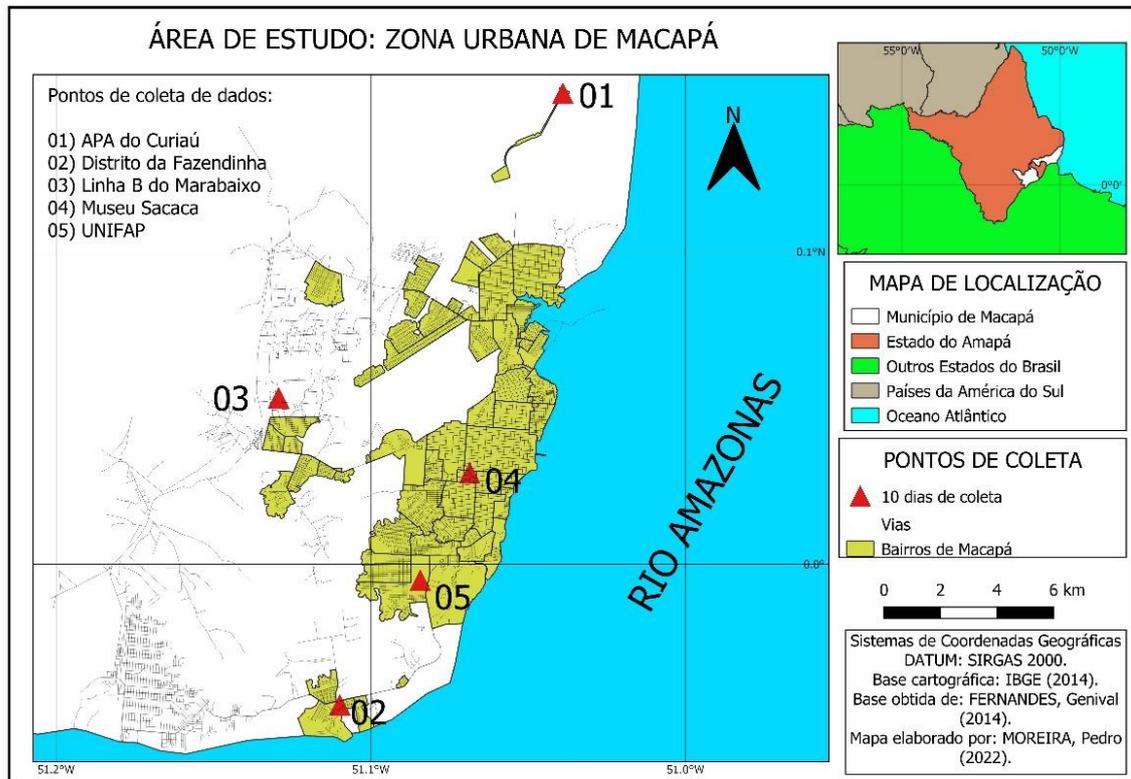
O clima predominante em Macapá é quente e úmido, sendo classificada climaticamente (Koppen) como de clima tropical chuvoso, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm. Ou seja, tipo Ami, com temperatura média anual de 26,6°C, cujas mínimas e máximas são de 23,3 °C e 30,7 °C, respectivamente (COSTA et al., 2013). A Tar no período chuvoso varia entre 26,20 e 26,70 °C, no período seco de 27,50 e 28,50 °C e no período de transição, com média de 26,70 °C (INMET, 2018).

O total anual de precipitação é de aproximadamente 2.570 mm. O período chuvoso abrange os meses de janeiro a julho. A precipitação média de período chuvoso varia entre 330 e 410 mm. Na estação seca varia entre 40 e 60 mm e no período de transição varia na média de 190 e 245 mm (COSTA et al., 2013, INMET, 2018).

Dessa forma, os dados coletados dos elementos meteorológicos foram Tar e UR, obtidos durante três experimentos que representam as variações climatológicas da região: abril/2018 (chuvoso), novembro/2018 (seco) e junho/2019 (transição). As séries de dados foram utilizadas para estimar o ICT em função dos parâmetros estimados ITE e IC.

Os sítios amostrais foram definidos de modo a maximizar a variação do ICT, considerando o sentido preferencial do vento (Nordeste-NE e Leste-E). Assim, os seguintes pontos de coleta foram especializados: APA do Curiaú, Distrito da Fazendinha, Linha B do Marabaixo, Museu Sacaca e UNIFAP. Cada estação coletou os dados a cada quinze minutos, durante dez dias seguidos e ao longo de três campanhas sazonais. A segurança do equipamento também foi um requisito para escolha desses sítios. Os locais de coleta de dados meteorológicos são mostrados na Figura 1 e na Tabela 1.

Figura 1 - Macapá (AP): Área de estudo e pontos de coleta, 2018.



Fonte - Os autores (2021).

Microloggers do modelo *Hobo™ Data Logger U10-003* foram utilizados em quase todos os sítios amostrais, com exceção do sítio UNIFAP, no qual foi utilizado o sensor *UX100-023*.

Os sensores foram instalados em abrigos meteorológicos, posicionados a 1,5m do solo, com ventilação lateral natural e programados para registrar dados a cada quinze minutos, conforme recomendação da Organização Meteorológica Internacional (WMO, 2012). Os modelos *U10-003* e *UX100-023* foram utilizados em trabalhos anteriores, apresentando amplitude térmica confiável no intervalo entre -20°C até 70°C e para UR entre 25% até 95% (SILVA JUNIOR et al., 2012b; SILVA, 2016; JUSTI et al., 2019).

Diante da falta de microloggers específicos para a realização da pesquisa pela Universidade Federal do Amapá, os aparelhos foram fornecidos pela Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde os sensores são aferidos anualmente no Laboratório Estação Meteorológica para as atividades de campo na instituição. Diante da impossibilidade de ter um laboratório adequado e creditado para se realizar uma calibração de tais instrumentos em Macapá, foi possível apenas fazer uma nova aferição dos valores registrados.

Antes da realização da pesquisa em campo, os nove aparelhos foram colocados em um recipiente cúbico por horas, sem circulação de ar, antes de serem utilizados em campo, sendo feita a medição e registro da Tar e UR a cada 15 minutos. Posteriormente, os dados foram coletados por meio do software *Hoboware* e analisados com o software de planilha eletrônica, em que se obteve as tendências semelhantes.

Os Abrigos Meteorológicos Alternativos (AMA) (Figura 02), utilizados não permitem a entrada de água e da radiação solar direta em nenhum momento do dia, devido a superposição entre os anéis (inferior e superior). O AMA mantém o mesmo padrão de confiabilidade do abrigo meteorológico padrão, modelo da empresa *Campbell Sci™*, o 41003-510 *Plate Gill Radiation Shield*. (SILVA, 2016).

Figura 2 - Macapá (AP): Abrigo Meteorológico Alternativo (AMA), 2018.



Fonte - Os autores (2018).

### Métodos Estatísticos de Análise

Os dados de Tar e UR obtidos nos três experimentos de campo foram processados com o uso do software *Hoboware Graphing & Analysis*®. O formato de saída dos dados também permitiu o cálculo por meio do aplicativo *Excel*® e a elaboração de gráficos de saída no aplicativo *R*®. Esse último aplicativo teve como finalidade executar a análise estatística sazonal dos elementos meteorológicos de curto prazo nos cinco sítios amostrais.

O uso de imagens de satélite, obtidas no aplicativo *Google Earth*®, é referente ao ano de 2017. As imagens foram produzidas a partir das informações do uso do solo com a aplicação da técnica de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança (MAXVER). Para isso, foi utilizado o aplicativo *PCI Geomatics*® *Free Trial*, que consiste em atribuir assinaturas multiespectrais aos alvos em superfície, baseado em informações inseridas pelo usuário, ou seja, o usuário associa pontos (pixels) que considera possuir a mesma assinatura espectral, formando um conjunto de classes.

Essa técnica teve o objetivo de obter, de cada sítio analisado, as porcentagens de cobertura do solo: vegetação, urbanização, solo exposto e superfície de água. Tais classes foram atribuídas pelos autores da pesquisa, de modo a correlacioná-las posteriormente com a variável resposta ICT. Na Tabela 1 está indicada a caracterização dos locais analisados, bem como sua localização:

Tabela 1 - Macapá (AP): Caracterização dos sítios analisados, 2019.

Pto.	Local	Caracterização da área/Critério da escolha dos pontos
01	APA do Curiaú	Ponto mais setentrional da pesquisa, localizado em área rural do município, com grande presença de vegetação, baixa circulação de pessoas e veículos. (0° 9' 3.00" N - 51° 2' 20.37" O).
02	Distrito da Fazendinha	Ponto mais meridional das amostras, localizado entre a região central dos municípios de Macapá e Santana, tem circulação de veículos baixa, pouca vegetação, muito solo exposto. A área antropizada é moderada, porém crescente a cada ano. (0° 2' 42.32" S - 51° 6' 35.49" O).
03	Linha B do Bairro Marabaixo	É uma região com grande área de solo exposto, um dos pontos menos urbanizados e o mais ocidental dentre os analisados. A área escolhida é parcialmente coberta por grama, árvores frutíferas de pequeno porte, por toda a extensão do terreno, mas há densidade de vegetação ao fundo do terreno. (0° 3' 11.74" N - 51° 7' 45.43" O).
04	Museu Sacaca	Área muito arborizada, com corpos hídricos e próxima ao canal de drenagem Beírol/Pedrinhas. Tem um entorno muito urbanizado, localizada na parte central de Macapá. Esse sítio serve para analisar a influência de uma zona arborizada em área urbana consolidada. (0° 1' 45.23" N - 51° 4' 7.00" O).
05	Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)	Localizada próxima de pequena área florestada, em campo aberto, propício para coleta de dados. No seu entorno há presença de superfície cimentícia e asfaltada (passarelas e vias dos blocos). (0° 0' 18.60" S - 51° 5' 3.46" O).

Fonte - Os autores (2021).

Na Figura 3 estão indicadas as imagens de satélite dos sítios amostrais, considerando 100 m de raio da área de estudo. Os sensores foram convenientemente localizados no centro de cada círculo. As fisionomias detalhadas no círculo representam as porcentagens obtidas para as classes “vegetação”, “solo exposto”, “área urbana” e “água”. O objetivo dessa caracterização é analisar o ITE e o IC com relação à variação da Tar e UR. Na Tabela 2, após MAXVER realizada, é apresentado o percentual de área urbana, vegetação, solo exposto e superfície de água em 2017, ano mais recente em que foi possível obter todas as imagens em alta resolução no Google Earth, dos sítios analisados, embora os trabalhos de campo tenham sido realizados em 2018 e 2019.

Figura 3 - Macapá (AP): Imagens de satélite dos pontos de coleta de dados, 2019. A: APA do Curiaú, B: Distrito da Fazendinha, C: Linha B do Marabaixo, D: Museu Sacaca, E: UNIFAP.



Fonte - Os autores (2020)

Tabela 2 - Classes de uso e ocupação do solo verificadas por meio da MAXVER em imagem de satélite de 2017 em Macapá, Amapá.

CLASSE (%)	APA do Curiaú	Fazendinha	Marabaixo	Museu Sacaca	UNIFAP
Área Urbana	16,53	37,63	1,68	54,41	47,74
Vegetação	54,36	13,76	17,56	33,41	16,85
Solo exposto	15,08	48,54	80,60	2,68	35,38
Superfície de Água	14,01	0,05	0,16	9,49	0,02

Fonte - Os autores (2020).

Para a escolha dos índices alguns critérios foram levados em consideração, adaptados do estudo de Fonte; Dubreuil; Sant’anna Neto (2017): 1) Escolha de índices apropriados à realidade tropical; 2) Escolha de índices acessíveis em base de dados disponíveis na base do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e/ou obtidos em campo, evitando-se lacunas na geração dos índices; 3) Exclusão de séries de índices incompletos, com ausência de dados de campo ou no INMET, especialmente valores de radiação e insolação; 4) Índices que se apliquem à análise de ambientes externos; 5) índices que usam diferentes variáveis climatológicas na formulação, a fim de obter maior precisão, embora a ausência de consenso entre as diferentes metodologias seja utilizada; 6) Escolha de índices que possam ser aplicados em ambientes quentes, considerando as particularidades locais e de dimensões geográficas de Macapá.

Considerando a simplicidade e a obtenção de dados de Tar e UR, bem como a obtenção da temperatura do bulbo úmido, foram selecionados na análise do conforto térmico em Macapá, o ITE e o IC. Na Tabela

3 está classificada a proposta ASHRAE para analisar o ITE e na equação 01 está definido o cálculo do Índice.

Tabela 3 - Sensação do conforto térmico, relacionado com o ITE, segundo a ASHRAE (1972).

ITE (°C)	Faixa de conforto
35,0 – 40,0	Muito desconfortável
28,0 – 34,9	Desconfortável
26,0 – 27,9	Ligeiramente Desconfortável
23,0 – 25,9	Confortável
20,0 – 22,9	Ligeiramente Confortável
15,0 – 19,9	Ligeiramente Desconfortável
10,0 – 14,9	Desconfortável

Fonte - SILVA JUNIOR et al. (2012a, p. 402).

$$ITE = 0,4 * (Tar + Tw) + 4,8 \quad (01)$$

Onde: Tar é a temperatura do ar e Tw é a temperatura do bulbo úmido.

O IC é calculado empiricamente, conforme indicado na equação 02.

$$IC = -42,379 + 2,04901523 * T + 10,14333127 * UR - 0,22475541 * T * UR - 6,83783 * 10^3 * T^2 - 5,481717 * 10^{-2} * UR^2 + 1,22874 * 10^{-3} * T^2 * UR + 8,5282 * 10^{-4} * T * UR^2 - 1,99 * 10^{-6} * UR^2 \quad (02)$$

Na Tabela 4 constam os níveis de alerta do IC e suas consequências à saúde humana.

Tabela 4 - Níveis de alerta do IC e suas prováveis consequências à saúde humana.

Nível de alerta	IC (°C)	Sintomas
Perigo extremo	54,1 ou maior	Insolação, risco de acidente vascular cerebral (AVC).
Perigo	41,1 – 54,0	Câimbras, insolação, esgotamento físico, possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1 – 41,0	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1 – 32,0	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas.
Não há alerta	27,0 ou menor	Não há problemas.

Fonte - COSTA et al. (2013, p. 482).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Varição temporal e espacial dos Índices de Temperatura Efetiva (ITE) e de Calor (IC)*

Com base nos resultados obtidos na tabela 2, verifica-se que a variação percentual pode ser convenientemente destacada por classes de uso e ocupação do solo verificadas por meio da MAXVER. Os sítios que apresentam maiores percentuais de urbanização são o Museu Sacaca (54,41%) e a UNIFAP (47,74%). Por sua vez, os sítios com maior cobertura de vegetação são APA do Curiaú (54,36%) e o Museu Sacaca (33,41%), considerados respectivamente, como área vegetada e entorno urbano consolidado. Os sítios menos arborizados foram Linha B do Marabaixo (17,56%), UNIFAP (16,85%) e Distrito da Fazendinha (13,76%).

Destacam-se ainda os sítios que apresentam composição acentuada de solo exposto, sendo elas a Linha B do Marabaixo (80,60%), o Distrito da Fazendinha (48,54%) e UNIFAP (35,38%). Na classe superfície de água destacam-se: a APA do Curiaú (14,01%) e o Museu Sacaca (9,49%), em que os demais sítios apresentam porcentagens não significantes (<1%), correlacionadas com a presença de piscinas artificiais. Na tabela 5, estão contidos os resultados de ITE nos três períodos sazonais.

Tabela 5 - Macapá (AP): Resultados do ITE em (°C) nos três períodos sazonais, 2019. (Valores em amarelo claro indicam faixa levemente desconfortável e os em amarelo escuro a faixa desconfortável).

			Índice de Temperatura Efetiva – ITE (°C)								
Local de coleta	Período/Hora		00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-00:00	
APA do Curiaú	Úmido		24,1	23,9	24,2	25,6	25,0	26,1	25,0	24,3	
	Transição		25,2	24,9	24,8	26,6	27,7	26,8	25,7	25,2	
	Seco		24,3	24,8	27,8	27,9	28,0	26,5	25,6	24,7	
Distrito da Fazendinha	Úmido		24,0	23,7	23,9	26,2	27,3	27,1	25,1	24,6	
	Transição		25,1	24,8	24,6	26,7	28,1	27,8	25,7	25,6	
	Seco		24,9	24,8	27,7	28,7	28,8	27,3	26,4	26,1	
Linha B do Marabaixo	Úmido		24,0	23,7	24,0	26,1	25,9	25,5	24,1	24,1	
	Transição		24,5	24,0	24,5	26,4	28,0	27,1	25,3	24,6	
	Seco		24,2	25,2	27,7	28,8	27,9	26,0	25,4	24,7	
Museu Sacaca	Úmido		24,4	24,1	24,2	25,8	26,8	26,2	25,2	24,7	
	Transição		25,6	25,0	25,0	26,3	27,2	26,8	26,2	25,8	
	Seco		25,2	25,8	28,0	28,1	28,0	27,2	26,6	25,6	
UNIFAP	Úmido		24,0	23,9	24,2	25,4	26,7	26,6	24,6	24,3	
	Transição		25,0	24,7	24,7	26,9	28,0	27,1	26,4	25,9	
	Seco		25,4	25,4	28,2	28,3	28,3	27,2	26,6	25,9	

Fonte - Os autores (2021).

No período úmido, as menores variações de ITE ocorreram no Curiaú: 2,2 °C, Distrito da Fazendinha: 3,6 °C; Linha B do Marabaixo: 2,4 °C, Museu Sacaca: 2,7°C e UNIFAP: 2,8. Por sua vez, em relação a sazonalidade, as variações maiores ocorreram no período seco em quase todos os sítios, exceto na UNIFAP: Curiaú: 3,7 °C, Distrito da Fazendinha: 4,0 °C, Linha B do Marabaixo: 4,6 °C, Museu Sacaca: 2,9 °C.

Essa diferença ocorre devido, no período úmido, haver um maior processo de resfriamento local, menor incidência de energia térmica e a atuação de sistemas de macro e mesoescala, como a Zona de Convergência Intertropical e as brisas fluviais do Rio Amazonas (COSTA et al., 2013). Por sua vez, com a maior incidência de energia, associada à redução da UR, os sistemas de macroescala tendem a perder força durante o período seco, havendo um aumento da influência das características locais (Tabelas 5 e 6), exacerbando diferenças entre sítios mais vegetados e sítios mais urbanizados (SILVA JUNIOR, 2012b, BARBOSA et al., 2015).

Tabela 6 - Macapá (AP): Resultados obtidos no IC em (°C) nos três períodos sazonais, 2019. (Em amarelo são indicados faixa de cautela).

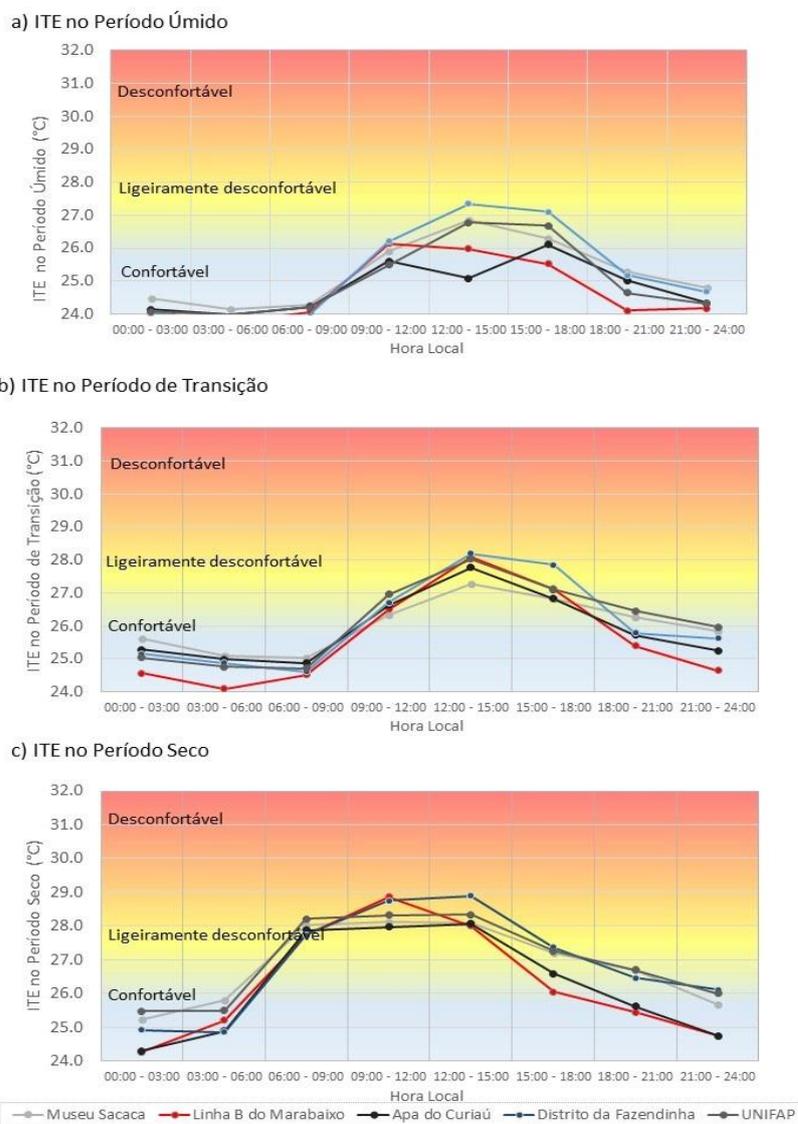
		Índice de Calor – IC (°C)								
Sítio	Período/Hora		00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-00:00
APA do Curiaú	Úmido		25,7	25,8	25,9	26,1	25,2	26,6	25,7	25,2
	Transição		26,5	26,5	26,5	27,5	29,3	28,1	26,0	26,0
	Seco		25,1	25,9	29,2	30,2	30,3	28,0	26,4	24,7
Distrito da Fazendinha	Úmido		24,8	24,8	25,2	26,8	28,9	28,3	25,5	25,0
	Transição		25,5	25,7	25,6	27,5	30,1	29,7	26,5	25,9
	Seco		25,1	25,2	29,2	31,0	31,2	29,1	27,6	27,0
Linha B do Marabaixo	Úmido		25,9	25,8	26,0	27,1	26,9	26,0	25,4	25,9
	Transição		26,1	26,2	26,7	27,5	30,1	29,3	25,7	25,1
	Seco		24,6	25,3	29,7	31,8	30,8	27,6	26,3	25,0
Museu Sacaca	Úmido		26,7	26,5	26,5	26,1	27,7	26,9	25,7	25,9
	Transição		26,2	26,3	26,7	26,6	28,4	27,9	26,7	26,1
	Seco		25,4	26,1	29,2	29,8	29,9	28,6	27,7	26,1
UNIFAP	Úmido		26,2	26,3	26,4	25,7	27,4	27,1	25,9	26,1
	Transição		25,8	26,1	26,1	27,5	29,2	28,2	26,8	26,2
	Seco		25,8	25,7	29,2	29,9	30,1	28,5	27,6	26,5

Fonte - os autores (2021).

Por exemplo, o Distrito da Fazendinha apresenta maiores índices de ITE (28,8 °C), mas também tal variabilidade foi verificada em outras localidades da cidade, classificadas na faixa de conforto térmico desconfortável. Por outro lado, uma análise de ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ ,  $p\text{-valor} < 0,01$  mostra que tanto ITE quanto IC apresentam variações significativas entre sítios e ao longo dos horários durante as 24h.

Considerando a variação espaço-sazonal dos índices, os picos de ITE ocorreram justamente nos pontos mais significativamente urbanizados, como Distrito da Fazendinha (períodos seco e úmido), Museu Sacaca e UNIFAP (transição). Albuquerque e Lopes (2016) justificam essa variabilidade, porque na estação seca é mais evidente a piora de ICT (figura 3c), em decorrência da redução da UR e do aumento da Tar. Assim, os fatores de uso do solo têm maior influência térmica, sendo que os pontos mais urbanizados e constituídos por materiais que armazenam mais energia, tendem a aumentar a diferença do ICT em relação aos pontos circunvizinhos mais arborizados. A representação gráfica da Figura 4 é o resultado da análise de ITE para a presente pesquisa.

Figura 4 - Macapá (AP): Sazonalidade do ITE nas três campanhas experimentais, 2019 (úmido, transição e seco).

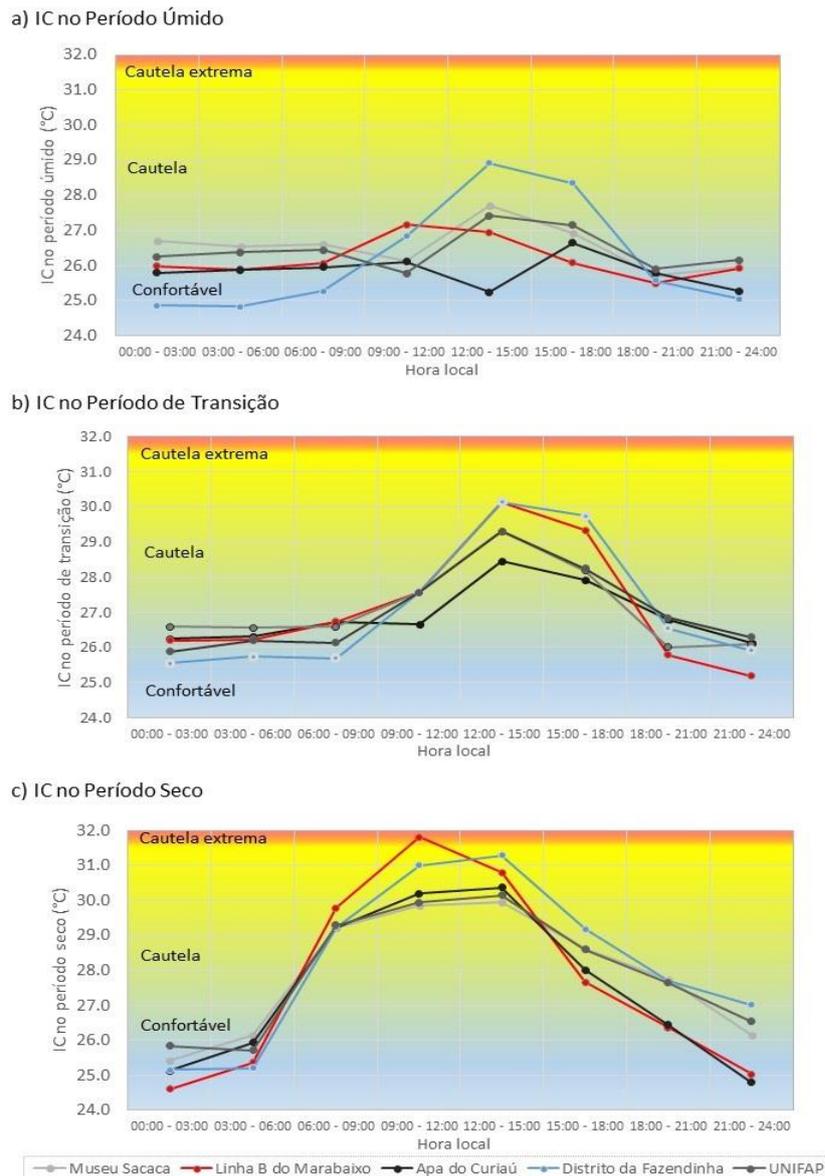


Fonte - Os autores (2021).

É possível compreender que o sítio mais vegetado, a APA do Curiaú, apresenta melhores ICT, sendo mais frequente a faixa de conforto térmico entre todos os cinco pontos analisados. Esse padrão pode

ser explicado pela maior porcentagem de vegetação e presença de corpos d'água e menos alterações antrópicas. Os piores IC ocorreram nas áreas do Distrito da Fazendinha e na UNIFAP, com menor frequência da vegetação, elevada porcentagem de solo exposto e altas taxas de modificações espaciais (ou antropização), principalmente o Distrito da Fazendinha (Figura 5). Em seguida, consta as particularidades específicas de cada sítio em 2019.

Figura 5 - Macapá (AP): Índices de calor encontrados nas três campanhas experimentais, 2019 (úmido, transição e seco).



Fonte - Os autores (2021).

### Caracterização física das áreas e informações obtidas de ICT em 2019.

Antes de citar as particularidades de cada sítio, será lembrado que os percentuais da cobertura dos sítios são de 2017, devido ser esse o último ano em que foram possíveis obter as imagens em alta resolução do Google Earth® para todos os sítios e sua posterior plotagem no aplicativo PCI Geomatics® Free Trial, embora os trabalhos de campo em que foram extraídos dados de Tar e Ur, tenham ocorridos em 2018 e 2019, simultaneamente em todos os sítios.

### **APA do Curiaú**

Este sítio apresenta um elevado percentual de arborização (54,36%) e baixo percentual de urbanização (16,53%) e circulação de veículos comparado com os outros sítios. Em consequência dessas características, esse sítio apresentou os melhores ICT. Assim, no período úmido o IC se manteve na faixa de conforto térmico durante todo o dia.

Apenas no período de transição e seco, nos horários de maior incidência solar, entre 10:00 e 18:00, não se manteve na faixa de conforto térmico. Durante a noite e a madrugada, ficou na faixa de conforto térmico em todos os experimentos realizados tanto para ITE (23,97-25,72°C) quanto IC (23,05-26,43°C).

Apresentou ICT mais elevados em relação a outros pontos, mas apenas em períodos de menor incidência térmica, quando tais diferenças são muito menores e ainda dentro da faixa de conforto térmico. As variações de ITE e IC tenderam a ser menores em relação aos outros pontos (para ITE: 2,2 °C no úmido, 2,9°C transição e 3,7 °C no período seco; para IC: 1,4 °C no úmido, 3,3°C transição e 5,6 °C no período seco).

Para ITE, esteve fora da faixa de conforto térmico durante a manhã e tarde no período seco (1,06 °C acima), de 15:00-18:00 no período úmido (26,10 °C em média) e de 09:00-18:00 (variando entre 26,62-26,83 °C). Para IC, esteve na faixa de cautela nos períodos de transição entre 09:00-18:00 (27,57-29,30 °C) e seco entre 06:00-18:00 (28,01-30,37 °C).

### **Distrito da Fazendinha**

Este sítio apresenta significativo percentual de solo exposto (48,54%) e áreas antropizadas (37,63%), agravado pelo baixo índice de vegetação (13,76%).

As características acima permitiram identificar que somente entre 00:00-06:00 estiveram na faixa de conforto térmico para todos os experimentos, e apenas no período úmido e de transição para ITE. Por outro lado, o ITE se manteve na faixa de conforto térmico durante a noite. Esse sítio teve o ITE e IC mais elevados dentre todos, para todos os experimentos, entre 12:00-18:00 (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ .*p-valor* <0,01), indicando variações significativas entre sítios e ao longo dos horários durante as 24h.

Pelo baixo índice de vegetação, o sítio da Fazendinha mostrou-se mais sensível à incidência de energia térmica, refletindo o pior ICT, alcançando inclusive a faixa desconfortável no período seco e de transição, mantendo-se fora da faixa de conforto térmico à noite no período seco (26,11-26,45°C para ITE e 27,01-27,68°C para IC) e variações acentuadas (para ITE: 2,4 °C úmido, 4°C transição, 4,6°C seco; para IC: Úmido: 1,7 °C, Transição: 5 °C e seco 7,2 °C) (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ .*p-valor* <0,01).

Para ITE, apresentou-se fora da faixa de conforto térmico, principalmente entre 12:00-18:00, em todos os experimentos realizados (27,37 °C-28,89°C no período seco, 27,10-27,34 °C no período úmido e 27,85 °C- 28,19 °C no de transição). Para IC, além da faixa de 12:00-18:00, esteve na faixa de cautela entre 09:00-18:00 no período úmido. No período seco para IC, exceto durante a madrugada, esteve na faixa de cautela.

### **Linha B do Marabaixo**

Sítio com elevada porcentagem de solo exposto (80,60%), tornando o solo mais sensível às significativas mudanças de Tar e UR em comparação com áreas vegetadas, o que favorece maior variabilidade da energia térmica.

Houve, portanto, significativa variabilidade para ITE e IC, especialmente no período seco, havendo uma elevação rápida de temperatura entre 06:00-15:00 (25,20-28,87 °C para ITE) e uma posterior queda brusca de ITE e IC, entre 15:00-21:00. Para ITE seco (variação 27,99-25,44 °C, ITE úmido (25,98-24,11 °C) e ITE transição (28,07-25,39 °C)). Para IC seco (27,66-26,36 °C), IC úmido (26,07-25,48 °C) e IC transição (29,34 °C- 25,77 °C).

Esse local apresentou os piores índices de conforto térmico para ITE entre 09:00-12:00 em todos os experimentos (28,87 °C no seco, 26,14 °C no úmido e 26,49 °C transição). Durante a noite, com a

menor incidência térmica, esteve sempre na faixa de conforto térmico para ITE (24,27-25,20 °C no seco, 23,78-24,03 °C úmido e, 24,08-24,57 °C transição) (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ . *p*-valor <0,01).

### **Museu Sacaca**

Sítio mais arborizado (33,41%), porém com alto percentual de urbanização (54,41%). Apesar de ser o mais urbanizado e também apresenta elevada circulação de veículos, em várias faixas de horário e períodos sazonais. O ICT apresentou menores valores que em outros sítios antropizados (para no período de transição entre 09:00-18:00 teve o menor ITE, entre 26,34-27,36 °C).

Apesar de em alguns períodos e faixas do dia ter os maiores ITE e IC durante a noite, em especial no período seco, a significativa arborização colaborou para a melhora dos ICT, comprovada pela obtenção de índices mais suaves no período noturno (para ITE, entre 24,16-25,29 °C no período úmido; 25,21-26,68 °C no período seco; 25,09-26,26 °C no período de transição) (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ . *p*-valor <0,01) variações significativas entre sítios e ao longo dos horários durante as 24h).

### **UNIFAP**

Este sítio apresenta heterogeneidade no uso do solo, com predominância de solos expostos áreas antropizadas (blocos, prédios e vias da universidade, com 47,74%), com médio percentual de vegetação (16,85%) na amostra analisada. Embora parte do *campus* seja vegetado, sua distribuição não é homogênea.

A baixa arborização, contribuiu para a piora do conforto térmico em vários períodos analisados nos três experimentos, inclusive sendo o sítio com maior ITE e IC em vários períodos do dia, especialmente entre 18:00-21:00 para ITE (no período seco média de 26,69 °C, na transição 26,45 °C e no úmido 24,64 °C).

Esse sítio fica fora da faixa de Conforto térmico para ITE e IC, entre 06:00-18:00, em especial nos períodos seco (ITE variando entre 26,68-28,12 °C; e IC entre 27,65-29,28 °C) e de transição (ITE variando entre 24,70-28,03 °C; e IC entre 26,83 °C-29,29 °C).

Somente esteve na faixa de conforto térmico para ambos os índices entre 21:00-06:00 (ITE variando entre 25,47-25,99 °C no seco; 23,97-24,32 °C no úmido e 24,75-25,96 °C na transição). Para IC entre 25,71-26,53 °C no seco; 26,15-26,38 °C no úmido e 25,88-26,28°C na transição (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ . *p*-valor <0,01).

### **Comparativo com outros estudos**

Alguns resultados da presente pesquisa obtiveram similaridade com estudos na literatura. Por exemplo, dentre os sítios analisados, a áreas com melhor ICT em Macapá, possui características semelhantes às obtidas por Silva Júnior et al. (2012b) no Bairro Curió-Utinga, em Belém-PA, haja vista que ambos são locais com alta arborização (Curiaú com 54,36% e Curió-Utinga 79,65%) e baixa urbanização (Curiaú 16,53% e Curió-Utinga 17,61%) e circulação de veículos.

Nesse sentido, Souza et al. (2019) também detectaram, em uma região de São Paulo-SP, que um percentual alto de 37,37% de árvores bem distribuídas, contribuiu para a melhora do conforto térmico, em virtude do efeito da interceptação, absorção e reflexão da radiação solar que impactam na redução da Tar do ambiente urbano. A APA do Curiaú, seguindo esse exemplo, torna evidente esses efeitos pela relativamente alta porcentagem de vegetação (54,36%), mantendo-se nos três experimentos e ao longo do dia dentro da faixa de conforto térmico.

Justi et al. (2019), em um estudo no Parque Estadual Zé Bolo Flô, na zona urbana de Cuiabá-MT, utilizando método semelhante de monitoramento dessa pesquisa, detectou reduções de Tar de 5,2 °C e aumento de até 10% da UR em relação a áreas mais urbanizadas. A influência positiva da presença de áreas verdes em zonas urbanas consolidadas, é similar a evidenciada pelo sítio Museu Sacaca. O Museu Sacaca em Macapá, além da taxa elevada de arborização (33,41%), também apresenta 9,49% de superfície de água no entorno, o que o torna o mais termicamente confortável em determinadas faixas horárias do dia, por auxiliar o arrefecimento do calor devido a evapotranspiração, conforme destacado por Yang et al. (2016).

Barros e Lombardo (2016), em estudo relacionado a ilha de calor urbana na cidade de São Paulo-SP, identificaram que maciços vegetais podem criar zonas de ilhas de frescor em zonas de urbanização consolidada (como é o caso do Museu Sacaca), identificando redução de 8°C entre zonas mais (Serra da Cantareira e Parque do Carmo e menos arborizadas (Aricanduva e Brás).

O Distrito da Fazendinha, com crescimento urbano recente, é um sítio que deverá ser analisado em trabalhos futuros, por causa da significativa porcentagem de solos expostos e áreas antropizadas parecem ter refletido os piores ICT nos diferentes períodos sazonais, inclusive a noite (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ .*p-valor* <0,01), com variações significativas entre sítios e ao longo dos horários durante as 24h. Silva (2016) alerta que essa região atualmente é considerada como o terceiro eixo de crescimento urbano da cidade, pelo crescimento urbano e pela redução da arborização, que tende a trazer agravos de ICT e, conseqüentemente, para a população local. Quantitativamente, em pesquisa anterior, Moreira et al (2020), usando análises de regressão simples concluíram que em Macapá cada unidade percentual de arborização reduz em 1,96 °C da Tar. Por outro lado, o incremento de cobertura artificial do solo ocasiona o aumento de 1,74 °C na temperatura média do ar (Tar) da cidade, com balanço positivo da redução da temperatura em 0,26 °C (ou em favor do resfriamento) para cada incremento de área arborizada em detrimento da área antropizada ou exposta. Esse diferencial de 0,26 °C pode servir como parâmetro básico de planejamento na arborização urbana em Macapá e cidades similares da Amazônia.

Santiago, Gomes, Ferreira (2019) estudaram diferenças térmicas entre as cidades de Timon-MA e Teresina-PI, mostrando diferenças de até 9 °C entre sítios mais e menos urbanizados, detectando também um proporcional aumento do desconforto térmico (ITE) ao longo de um período de 12 anos de estudo. Os referidos autores destacaram, no entanto, que para o aumento do desconforto térmico está associado também a baixa intensidade dos ventos, alcançando ITE de 34 °C (desconfortável). No caso do Distrito da Fazendinha, por sua vez, a vantagem térmica pode estar também associada com a influência das brisas fluviais (mais fortes no período seco) do Rio Amazonas (ABREU et al., 2020; DA CUNHA et al., 2021). Assim, é possível inferir, caso essa não ocorresse em Macapá, em ITE provavelmente na faixa desconfortável ou pior, na faixa muito desconfortável.

A variabilidade na piora e melhora dos ICT para a Linha B do Marabaixo, segue os padrões encontrados por Moreira et al. (2020), para avaliação da Ilha de Calor Urbana. Tal fato pode ser explicado pela predominância de superfície do solo exposto, que intensifica as trocas de energia térmica mais rapidamente. Esse efeito é agravado pela vegetação reduzida e quase inexistência de corpos hídricos (YANG et al., 2016). Durante os períodos de maior incidência de energia térmica, como no período seco, esse sítio foi considerado desconfortável, na faixa de cautela para IC, e levemente desconfortável ou desconfortável para ITE (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ .*p-valor* <0,01), com variações significativas entre sítios e ao longo dos horários durante as 24h.

O sítio da UNIFAP também apresentou piora nos ICT expressivos, inclusive a noite, talvez em decorrência das superfícies mistas, pois parte da Universidade é arborizada. No entanto, há muitas áreas com solos expostos ou antropizadas, que podem explicar os altos índices de desconforto térmico. Borges et al. (2018), afirmaram que além da quantidade de árvores, uma melhor distribuição (não necessariamente igual), considerando a densidade por km de rua, consolida e potencializa a melhora nos ICT. Além disso, para áreas com vegetação esparsa, como ocorre em algumas regiões da UNIFAP, árvores sombreadas podem também ter um efeito “positivo” na Tar local, reduzindo o estresse térmico (FOSHAG et al., 2020).

### **Comparativo entre ITE e IC**

Inicialmente, ambos os índices possuem, respectivamente, menor e maior variabilidade, no período úmido e seco. Tais efeitos tendem a ocorrer principalmente do início da manhã até o final da tarde, com valores mais elevados encontrados entre 09:00-15:00h, períodos de maior incidência térmica de períodos seco e transição. Justamente quando esses efeitos são mais evidentes em sítios mais urbanizados. Desse modo, IC apresentou valores mais elevados que o ITE em todos os experimentos, apresentando variabilidade similar ao descrito por Barbosa et al. (2015). (Figura 5) (ANOVA Two Way,  $F_{GL=14,7}$ .*p-valor* <0,01) variações significativas entre sítios e ao longo dos horários durante as 24h).

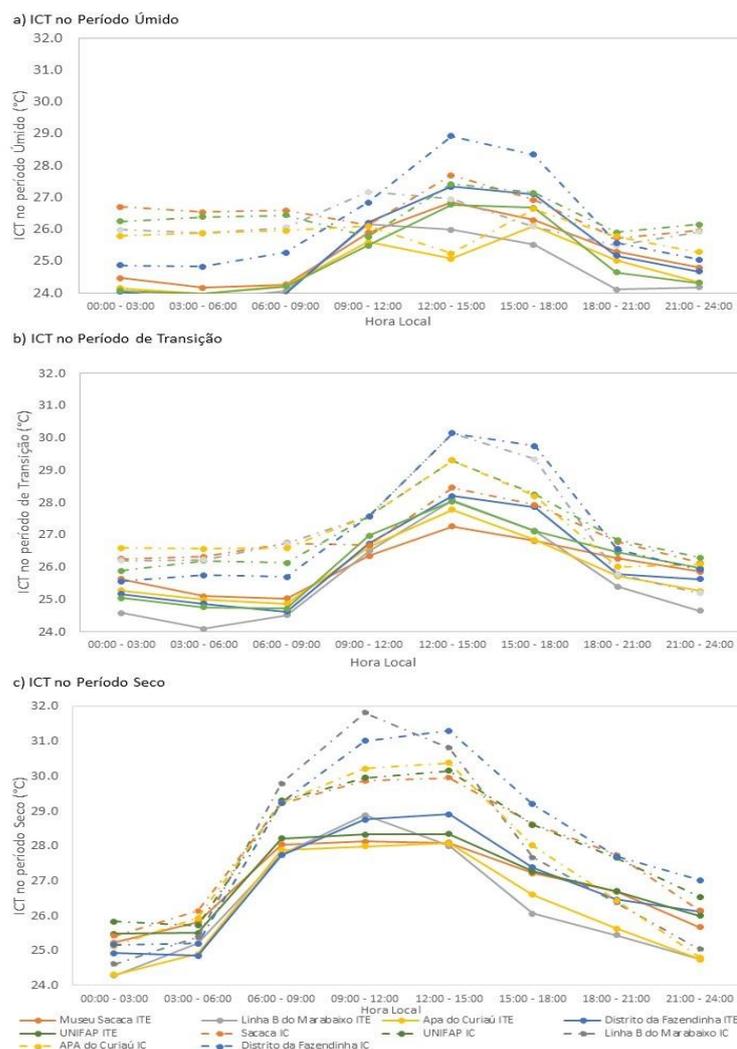
Detecta-se, na presente pesquisa, que IC é mais impreciso em relação a ITE, até porque em seu cálculo considera uma média padrão de corpo físico, estimando o calor que seus habitantes podem sentir para determinadas Tar e UR, embora nem todos os habitantes de uma região apresentam um mesmo padrão corporal (STEADMAN, 1979). Nesse sentido, considerando os aspectos subjetivos, alguns estudos

sugerem que a imprecisão é mais evidente para temperaturas mais elevadas, haja vista que a população estudada era mais tolerante psicologicamente para o aumento de temperatura do que para sua redução (BARUTI e JOHANSSON, 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

Com base na figura 6 o IC, parece ser mais sensível na aferição do conforto térmico do que em relação a ITE. Isso quer dizer que há necessidade de menor incidência de energia em IC para que determinado sítio apresente maior variabilidade no conforto térmico. Outro aspecto relevante é que o ITE oscila menos que o IC, por considerar valores mais estáveis em sua análise, tais como a temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido (UR), sem levar em conta aspectos mais subjetivos, presentes em IC. No entanto, isso não reduz a importância de IC, que, dependendo da metodologia, pode ter uma utilização vantajosa (COSTA et al., 2013; BARBOSA et al., 2015; FANTE, DUBREIL e SANT'ANNA NETO, 2017). Silva Júnior et al. (2012a) apresentaram em seu estudo realizado em Belém-PA resultados comparados confiáveis para ambos os índices.

Conforme encontrado na Figura 6, Costa et al. (2013) também sugerem que a influência de sistemas meteorológicos de grande escala de período úmido (Zona de Convergência Intertropical) tende a homogeneizar as condições meteorológicas locais, como ITE e IC. Por outro lado, no período seco, a redução da influência desses sistemas meteorológicos tende a intensificar a resposta térmica do uso do solo. Os referidos autores, ao comparar quatro cidades amazônicas, consideraram Belém e Macapá as que possuem melhor conforto térmico, possivelmente por serem mais próximas do estuário do Rio Amazonas, dotado de moderadas brisas fluviais do que Santarém e Manaus. Por outro lado, o processo de verticalização urbana tende a piorar estes mesmos índices, tornando mais frequente a tendência de predominância de extremos de desconforto térmico.

Figura 6 - Macapá (AP): Comparativo entre valores de IC e ITE, 2019.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No período chuvoso foi observado que os sítios amostrais monitorados apresentaram maior homogeneidade dos parâmetros ITE e IC. Isto é, ambos foram mais similares, mantendo-se próximos do intervalo de conforto térmico, influenciados principalmente por maior UR e menor Tar, **reduzindo a influência da vegetação e da urbanização** sobre ICT.

Nos períodos de transição e, especialmente próximos do período seco, houve a redução da UR e o aumento da incidência de energia, onde ocorrem os mais elevados índices de urbanização. Isto é, mais próximos das faixas de desconforto térmico, tanto para ITE quanto IC, incluindo-se os períodos noturnos. Essas características são indícios do fenômeno de formação da Ilha de Calor Urbana, onde seus efeitos deletérios são ambientalmente mais perceptíveis, aumentando a vulnerabilidade da saúde da população urbana em Macapá, a qual pode se deteriorar nos períodos secos.

Os índices IC e ITE no período de transição se apresentaram com maiores índices e o úmido com os menores valores de IC e ITE. No entanto, foi possível identificar semelhanças nas curvas de variabilidade entre o período de transição e o período seco, indicando significativa influência de fatores de mesoescala (brisas fluviais do Rio Amazonas), algo já evidenciado em BARBOSA et al. (2015) e COSTA et al. (2013).

Confirma-se a hipótese da importância da arborização na amenização dos efeitos do desconforto térmico em Macapá, de acordo com sua taxa de urbanização, fenômeno que ocorre em outras cidades amazônicas (Belém-PA, Santarém-PA, Boa Vista-RR, Porto Velho-RO e Manaus-AM). Assim, é verdadeira a ocorrência a variação sazonal do ITE e do IC na zona urbana de Macapá (cidade de médio porte da Amazônia Oriental), e confirma que esses índices estão intrinsecamente associados ao uso e ocupação do solo, mas principalmente à redução percentual da vegetação.

Por fim, é importante frisar que novas pesquisas detalhem a influência das brisas fluviais como fatores amenizadores do efeito térmico, como é o caso do Rio Amazonas, sobre o microclima local (ICT), considerando a experiência de trabalhos anteriores que detectaram a suavização do fenômeno da Ilha de Calor Urbana associada à existência de tais brisas. Conclui-se também que essa metodologia, pode ser replicada a outras cidades amazônicas, particularmente àquelas com características microclimáticas tropicais (tamanho médio) e inserir as informações sobre as variações desses parâmetros na proposição de políticas públicas de planejamento urbano na região.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LQSMSA/UNIFAP, CNPq Processo No. 314830/2021-9. Ao Laboratório Estação Meteorológica, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará por disponibilizar os microloggers, bem como os abrigos meteorológicos alternativos para a realização dos três trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. H. M.; BARROS, M. L. C.; BRITO, D. C., TEIXEIRA, M. R.; CUNHA, A. C. Hydrodynamic modeling and simulation of water residence time in the estuary of the lower amazon river, **Water**, Brasília, 12, 660, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12030660>.

ALBUQUERQUE, M. M.; LOPES, W. G. R. Influência da vegetação em variáveis climáticas: Estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí, Curitiba, **Ra'ega: O espaço geográfico em análise**. v. 36, p. 38-68, 2016.

BARBOSA, P. H. D.; COSTA, A. C. L.; CUNHA, A. C. L.; SILVA JUNIOR, J. A. Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia Brasileira, **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 17, p. 98-118, 2015.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A.; A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo – SP, **Geousp**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.

BARUTI, M. M.; JOHANSSON, E. Urbanities thermal perception in informal settlements of warm-humid Dar es Salaan, Tanzania, **Urban Climate**, Netherlands, 31 (2020) 100564, 2020.

- BORGES, D. A. B.; LIMA, E. R. V.; SANTOS, J. S.; CUNHA, M. C. L.; CASTRO, A. A. B. C. Análise da arborização urbana na cidade de Patos-PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 04, p. 1343-1359, 2018. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1343-1359>.
- COSTA, A. C. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; CUNHA, A. C.; FEITOSA, J. R. P.; PORTELA, B. T. T.; SILVA, G. G. C.; COSTA, R. F. Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na Região Amazônica, **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, n. 03, p. 478-487, 2013. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.3.p478-487>.
- DA CUNHA, A. C.; CRIZANTO, J. L. P.; ABREU, C. H. M.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, A. U.; PEREIRA, N. N. Modeling and simulation of pollutant dispersion scenarios in high-risk zones of vessel accidents in the Lower Amazon River. **Marine Pollution Bulletin**. V. 168, July 2021, 112404. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112404>.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York: McGraw-Hill, 1972. 244 p.
- FANTE, K. P.; DUBREIUL, V.; SANT'ANNA NETO, J. L. Avaliação comparativa entre metodologias de identificação de situações de conforto térmico humano aplicado ao contexto tropical, Presidente Prudente/Brasil, **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, p. 588-612, 2017.
- FERNANDES, M. E.; MASIEIRO, E. Relação entre conforto térmico urbano e zonas climáticas locais. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, 12, e20190247, 2020.
- FOSHAG, K.; AESCHBACH, N.; HÖFLE, B.; WINKLER, R.; SIEGMUND, A.; AESCHBACH, W. Viability of public spaces in cities under increasing heat: A transdisciplinary approach, **Sustainable Cities and Society**, Netherlands, v. 59 (2020) 102215, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102215>.
- HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S.; NIKOLOPOULOU, M. Daytime thermal comfort in urban spaces: a field study in Brazil, **Building and Environment**, United Kingdom, v. 107, p. 245-253, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.006>.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**, 2010.
- JUSTI, A. C. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SANTOS, F. M. M.; MUSIS, C. R. M.; NOGUEIRA, J. S. Impacto da morfologia de parque urbano no microclima e no conforto térmico de Cuiabá-Brasil, **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 24, p. 20-38, 2019.
- KONG, L.; LAU, K. K. L.; YUAN, C.; CHEN, Y.; XU, Y.; REN, C.; NG, E. Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong, **Sustainable Cities and Society**, netherlands, v. 31, p. 12-25, 2017. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.018>.
- MOREIRA, P. H. O.; CUNHA, A. C.; SILVA JR, J. A.; COSTA, A.C.L. Variação Microclimática em Sítios Urbanos com Diferentes Níveis de Cobertura Vegetal Como Subsídio à Formação de Ilha de Calor, **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, nº 07, p. 3254-3274, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3254-3274>.
- OLIVEIRA, J. V.; COHEN, J. C. P.; PIMENTEL, M.; TOURINHO, H. L. Z.; LÔBO, M. A.; SODRÉ, G.; ABDALA, A. Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. **Urban Climate**, Netherlands, 31, (2020) 100579, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100579>.
- SANTIAGO, D. B.; GOMES, H. B.; FERREIRA, L. S. Ilha de Calor e a Influência no Conforto Térmico da Região Integrada de Desenvolvimento Da Grande Teresina (Ride). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, nº 01, p; 213-225, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p213-225>.
- SILVA, A. P. N. **Ilha de calor urbana: diagnóstico e impactos no microclima da região metropolitana de Macapá – AP**, Tese (Doutorado em Meteorologia) – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p. 129, 2016.
- SILVA, E. M.; BARBOZA, E. N.; MORAIS, J. M. P.; SOUZA, J. H. A.; OLIVEIRA, B. B. Análise de sensação térmica no município de Barbalha, Ceará, **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 7, e98973795, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3795>.

SILVA JUNIOR, J. DE A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; SOUZA, E. B. 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*, Ituiutaba, v. 3, n. 2, p. 395-407, jul/dec, 2012a.

SILVA JUNIOR, J. DE A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso, *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 02, 218-232, 2012b. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i2.232777>.

SOUZA, C. M.; LEITE, L. P.; PERINI, P.; KARMIERCZAK, L. A vegetação urbana a serviço do conforto térmico: uma proposta para um bairro metropolitano de São Paulo, Brasil, *Labor e engenho*, Campinas, v. 13, p. 1-11, 2019. <http://dx.doi.org/10.20396/labore.v.13i0.8654619>.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science, *Journal of applied meteorology*, Boston, v. 18(7), p. 861-873, 1979.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. Guide to meteorological instruments and methods of observation, **WMO**, Geneva, 8ª ed, 2012.

YANG, L.; QUIAN, F.; SONG, D. X.; ZHENG, K. J. Research on urban Heat-island effect. *Procedia engineering*, Netherlands, v. 169, pp. 11-18, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.002>.

---

Recebido em: 07/05/2022

Aceito para publicação em: 23/06/2022