

Calçadas urbanas: influência de espécimes arbóreas no microclima e conforto térmico de pedestres em clima tropical

Urban sidewalks: influence of tree specimens on the microclimate and thermal comfort of pedestrians in a tropical climate

Ivan Julio Apolonio Callejas

Professor Doutor, UFMT, Brasil
ivanallejas1973@gmail.com

Anne Gabrielly Santos Pécora de Oliveira

Graduando de Arquitetura e Urbanismo, UFMT, Brasil
annepecora10@gmail.com

Raphael Silvestre de Castro

Graduando de Arquitetura e Urbanismo, UFMT, Brasil
raphaelsdecastro@outlook.com

Maria Fernanda Araujo Mattoso

Graduando de Arquitetura e Urbanismo, UFMT, Brasil
mattosomariafernanda@gmail.com

Kamilly Nauanny Daniel Salgado

Graduando de Arquitetura e Urbanismo, UFMT, Brasil
kamillynauanny@gmail.com

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência de diferentes espécies arbóreas no microclima e no conforto térmico de pedestres em calçadas urbanas, localizadas em região de clima tropical. A metodologia consistiu na análise de oito pontos situados no entorno da praça do restaurante universitário da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), utilizando instrumentos meteorológicos portáteis e aplicação de questionários aos pedestres voluntários. O índice mPET (Temperatura Fisiológica Equivalente Modificado) foi calculado para mensurar a sensação térmica dos pedestres nos pontos de parada do transecto. A originalidade da pesquisa reside na combinação de medições técnicas, percepção subjetiva dos usuários e caracterização morfológica dos espaços analisados, revelando a importância da arborização para o planejamento urbano sustentável. Os pontos com maior densidade e porte arbóreo (como P5, P6 e P8) apresentaram menores níveis de estresse térmico e menor percepção térmica e proporcionaram bem-estar aos voluntários. Em contraste, as áreas pouco arborizadas (P1 e P3), onde a sensação de calor é mais intensa. O estudo evidencia a importância do tipo arbóreo e do posicionamento estratégico da vegetação urbana para a mitigação do desconforto térmico, promovendo ambientes urbanos mais habitáveis e resilientes.

PALAVRAS-CHAVE: Sensação Térmica. Passeio Público. Medições Meteorológicas. Voto de sensação térmica.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the influence of different tree species on the microclimate and thermal comfort of pedestrians on urban sidewalks in a tropical climate region. The methodology consisted of analyzing eight points around the square near the university restaurant of the Federal University of Mato Grosso (UFMT), using portable meteorological instruments, and conducting questionnaires with volunteer pedestrians. The mPET index (Modified Physiological Equivalent Temperature) was calculated to measure pedestrians' thermal sensation at the stopping points along the transect. The originality of the research lies in the combination of technical measurements, subjective user perceptions, and morphological characterization of the analyzed spaces, revealing the importance of urban tree planting for sustainable urban planning. The points with higher tree density and size (such as P5, P6, and P8) exhibited lower levels of heat stress while reducing thermal perception, while also promoting the well-being of volunteers. In contrast, areas with little tree coverage (P1 and P3) had a more intense heat sensation. The study highlights the importance of the arboreal type and the strategic positioning of urban greenery for mitigating thermal discomfort, and promoting more livable and resilient urban environments.

KEYWORDS: Thermal Sensation. Sidewalk. Meteorological Measurements. Thermal sensation vote.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e o avanço da urbanização têm agravado os desafios relacionados ao conforto térmico nas cidades, especialmente em regiões tropicais com altas temperaturas e forte exposição solar. Em espaços públicos como calçadas, esses fatores impactam diretamente na qualidade de vida da população, dificultando a mobilidade urbana e o uso pleno dos espaços de convivência (Souza; Mendes, 2019).

A arborização urbana é uma estratégia eficaz para amenizar os efeitos climáticos adversos. Árvores em vias públicas reduzem a temperatura ambiente, elevam a umidade relativa do ar, filtram poluentes e promovem o bem-estar dos usuários. (Silva; Xavier; Alvarez, 2015; CEMIG, 2011). Além disso, o sombreamento das copas, por sua vez, contribui para a formação de microclimas mais agradáveis, especialmente nas estações mais quentes. Estudos apontam que a sombra adequada contribui diretamente para a redução do desconforto térmico, enquanto, no inverno, sua menor presença pode ser benéfica ao permitir maior incidência solar (Callejas; Kruger, 2022; Hwang; Lin; Matzarakis, 2011).

As calçadas, enquanto elementos do espaço urbano, desempenham papel importante na configuração microclimática local. Superfícies pavimentadas de forma inadequada podem intensificar o efeito de ilhas de calor, dificultar a infiltração da água no solo e comprometer o conforto térmico. A escolha dos materiais, a presença de arborização adequada e o planejamento do mobiliário urbano influenciam a ventilação e a sensação térmica nas áreas de circulação. Assim, o projeto e a manutenção das calçadas devem ser pensados como estratégias para melhorar o microclima urbano (Santos; Oliveira, 2021).

O Índice de Área Foliar (IAF) e o índice térmico mPET (Temperatura Fisiológica Equivalente Modificada) se configuram como recursos amplamente utilizados para quantificar a eficácia da vegetação urbana em termos de conforto térmico em microescala. O IAF permite avaliar a densidade do dossel e sua capacidade de sombreamento. Já o mPET é um índice térmico que considera variáveis ambientais que considera variáveis ambientais como temperatura do ar, umidade, radiação solar e velocidade do vento para estimar a sensação térmica percebida por um indivíduo (Matzarakis *et al.*, 1999). Os pedestres, ao caminhar pelas calçadas, estão sujeitos a diferentes exposições térmicas devido à presença de espécimes arbóreos, em especial, devido a configuração da vegetação implantada.

Neste contexto, torna-se essencial compreender como a arborização influencia na experiência térmica dos pedestres. Por isso, este estudo busca investigar a influência de distintas espécies arbóreas no microclima de calçadas urbanas em uma região de clima tropical semiúmido. A pesquisa foi realizada no entorno da praça do restaurante universitário da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), em Cuiabá-MT. A partir da combinação de medições microclimáticas, análise da percepção dos usuários e avaliação das condições morfológicas dos espaços, pretende-se contribuir para o planejamento urbano sustentável e resiliente, com foco na promoção de ambientes públicos mais confortáveis e habitáveis.

2 OBJETIVO

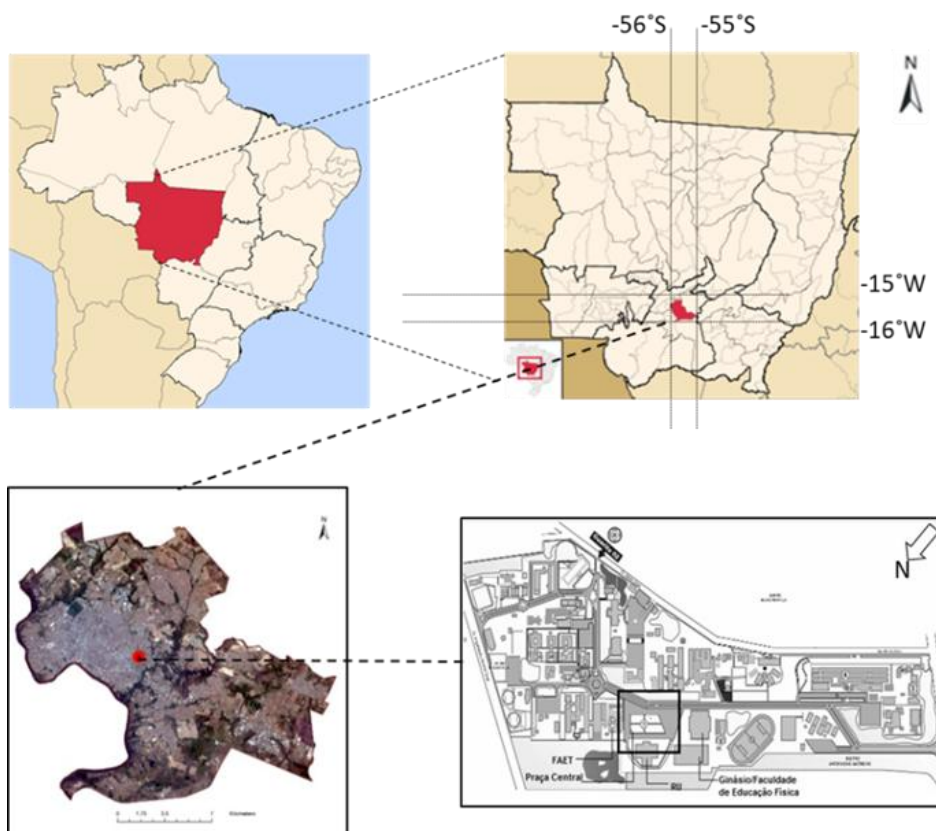
Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o microclima e o conforto térmico de calçadas em região de clima tropical com distintas configurações de implantação de espécimes arbóreas por meio de medições ambientais e de questionários de percepção térmica aos pedestres.

3 METODOLOGIA

3.1 Localização da Área de Estudo

A pesquisa é realizada no município de Cuiabá ($15^{\circ}36'36''S$; $56^{\circ}11'04''W$), capital do Estado de Mato Grosso, Centro-Oeste do Brasil, dentro do campus da Universidade Federal de Mato Grosso (Figura 1). A região é caracterizada por um clima Tropical Semiúmido ou Tropical de Savana (Köppen-Geiger Aw), com duas estações distintas: uma estação chuvosa (quente e úmida, de outubro a abril) e uma estação seca (quente e seca, de maio a setembro). As temperaturas médias anual, mínima e máxima são de $27,9^{\circ}C$, $23^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$, respectivamente. A umidade relativa do ar e a precipitação média anual são de 71,6% e 1372,2 mm, respectivamente (Callejas *et al.*, 2019).

Figura 1 – Localização da área de estudo em Cuiabá, no Estado de Mato Grosso e no Brasil.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

3.2 Definição dos pontos de coleta na calçada para realização de transecto móvel

Em razão de sua composição paisagística em termos de espécimes arbóreos, definiu-se como local para a realização da pesquisa um calçamento localizado no entorno da praça do restaurante universitário. A escolha do percurso considerou existência de fluxos ativos de pedestres no calçamento, enquanto a definição dos pontos de coleta de dados tomou como referência a posição e os diferentes tipos de arborização existentes no calçamento, bem como a presença de áreas com alta, média e baixa densidade arbórea, uma vez que se busca investigar de que forma os espécimes arbóreos, e seus respectivos sombreamentos, influenciam o conforto térmico do pedestre (Figura 2). No que se refere ao uso e à ocupação do solo, esta área do campus se caracteriza por presença de passeios públicos e vias, áreas livres não edificadas, como praças. Além disso, o entorno é caracterizado pela presença de edificações de caráter institucional educacional, tais como o bloco FAET, o ginásio e o restaurante universitário.











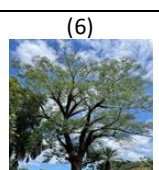



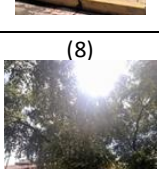

Figura 2 - Localização dos Pontos no entorno da praça do restaurante universitário da UFMT.



Fonte:Acervo Pessoal, 2025

Os pontos selecionados (P1 a P8) foram caracterizados considerando a tipo de revestimento/ permeabilidade do solo, espécime de arbóreo implantado, altura média das árvores/arbustos, largura da copa, em caso da presença de arborização e a altura média dos edifícios no entorno (Quadro 1) conforme proposto por Callejas *et al.* (2014). Para melhor ilustração deles, elaborou-se a máscara de sombra dos pontos, com auxílio de uma lente do tipo 'Olho de Peixe'. Cabe destacar que os pontos 1 e 7 se caracterizam por não apresentarem sombreamento pela ausência de vegetação arbórea. Por sua vez, os demais pontos selecionados apresentam distintos níveis de sombreamento em razão dos diferentes tipos de arborização e também devido ao espaçamento com que estes espécimes foram plantados no calçamento.

Quadro 1 - Características morfológicas dos pontos pesquisados

PONTO	CARACTERÍSTICAS	MORFOLOGIA	MÁSCARA SOMBRA
(1) 	Revestimento/Permeabilidade Solo	Concreto/ Impermeável	
	Espécie arbórea	Não se aplica	
	Altura das árvores	Não se aplica	
	Largura média da copa	Não se aplica	
	Altura média dos edifícios no entorno	25m	
(2) 	Revestimento/Permeabilidade Solo	Concreto/ Impermeável	
	Espécie arbórea	Oiti (<i>Licania tomentosa</i>)	
	Altura das árvores	5m	
	Largura média da copa	5m	
	Altura média dos edifícios no entorno	25m	
(3) 	Revestimento/Permeabilidade Solo	Concreto/ Impermeável	
	Espécie arbórea	Pé de Ata (<i>Annona squamosa</i>)	
	Altura das árvores	2m	
	Largura média da copa	2m	
	Altura média dos edifícios no entorno	Não se aplica	
(4) 	Revestimento/Permeabilidade Solo	Concreto/ Impermeável	
	Espécie arbórea	Capororoca (<i>Rapanea ferrugínea</i>)	
	Altura das árvores	15m	
	Largura média da copa	4m	
	Altura média dos edifícios no entorno	9m	
(5) 	Revestimento/Permeabilidade Solo	Concreto/ Impermeável	
	Espécie arbórea	Palmeira Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	
	Altura das árvores	5m	
	Largura média da copa	4m	
	Altura média dos edifícios no entorno	9m	
(6) 	Revestimento/Permeabilidade Solo	Concreto/ Impermeável	
	Espécie arbórea	Paineira (<i>Chorisia speciosa</i>)	
	Altura das árvores	20m	
	Largura média da copa	10m	
	Altura média dos edifícios no entorno	15m	
(7) 	Revestimento/Permeabilidade Solo	Concreto/ Impermeável	
	Espécie arbórea	Não se aplica	
	Altura das árvores	Não se aplica	
	Largura média da copa	Não se aplica	
	Altura média dos edifícios no entorno	15m	
(8) 	Permeabilidade do Solo	Impermeável	
	Espécie arbórea	Oiti (<i>Licania tomentosa</i>)	
	Altura das árvores/arbustos	15m	
	Largura média da copa	5m	
	Altura média dos edifícios no entorno	15m	

Fonte: Acervo Pessoal, 2025

3.3 Coleta dos dados microclimáticos

A avaliação das condições térmicas dos pontos do calçamento foi conduzida de forma simultânea através de medições microclimáticas e de entrevistas de conforto térmico. Para a primeira etapa, utilizou-se uma estação meteorológica móvel (marca OnsetComp, modelo Hobo U-30) que foi posicionada nos pontos para registrar a radiação solar incidente (R_g), a temperatura do ar (T_a) e umidade relativa do ar (UR), bem como a velocidade do ar (V_a) e temperatura de globo (T_g) (Figura 3). Estes dados foram usados para derivar a sensação térmica objetiva a partir do índice térmico PET, descrito mais à frente. Para derivação da temperatura radiante média (T_{mrt}), utilizou-se a equação da ISO 7726 (ISO, 1998) para convecção forçada transcrita na Equação 1 em que T_g representa a temperatura de globo, T_a a temperatura do ar, V_a a velocidade do ar, sendo ϵ_g e D respectivamente a emissividade (0,95) e o diâmetro do globo (0,063cm) utilizado na pesquisa.

$$T_{mrt} = \left\{ (T_g + 273)^4 + \left[\frac{(1.1 \times 10^8 \times V_a^{0.6})}{(\epsilon_g \times D^{0.4})} \right] \times (T_g - T_a) \right\}^{1/4} - 273 \quad \text{Equação (1)}$$

Figura 3 – Estação meteorológica móvel para registrar as variáveis ambientais.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

3.4 Aplicação de questionário de conforto térmico

Paralelamente às medições, oito voluntários do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMT foram convidados a percorrer um transecto a pé e a responder questionários com vistas a captar a percepção subjetiva dos pontos pesquisados em termos térmicos conforme proposto pela ISO 10551 (ISO, 1995) e em relação a capacidade que a arborização em termos de porte (altura e largura da copa) e espaçamento tem em proporcionar conforto térmico e bem-estar nos pontos do calçamento (Quadro 2). Cabe destacar que no início do transecto, os participantes da pesquisa responderam um questionário inicial visando obter informações gerais no que se refere ao seu sexo, idade, altura, peso, tempo de residência em Cuiabá, bem como sobre o nível de isolamento térmico usado durante o transecto de acordo com a tabela da ISO 9920 (ISO, 2007).

O transecto móvel percorrido a pé foi realizado em um dia quente-úmido de verão (21/02/2025) das 10h45min às 11h35min, com os voluntários permanecendo parados em pé em cada ponto por cerca de cinco minutos, com os questionários de percepção sendo respondidos no minuto final deste período.

Quadro 2 - Questionário de Percepção térmica, das características e percepção de conforto térmico/ bem-estar proporcionado pelos espécimes arbóreos implantados nos pontos pesquisados.

a) Percepção Térmica						
Neste exato momento, como você está se sentindo em relação ao ambiente térmico?						
Escala de Intensidade						
Muito frio	Frio	Um pouco de frio	Nem frio, nem calor	Um pouco de calor	Calor	Muito calor
-3	-2	-1	0	1	2	3
Em relação ao microclima deste local, como você está se sentindo?						
Confortável		Um pouco desconfortável		Desconfortável		Muito desconfortável
0		1		2		3
Nesse momento, em relação ao microclima deste local, como você preferiria que estivesse?						
Muito mais frio	Mais frio	Um pouco mais de frio	Sem mudanças	Um pouco mais de calor	Mais calor	Muito mais calor
-3	-2	-1	0	1	2	3
Com relação às condições climáticas, em sua opinião, estar neste local é:						
Facilmente tolerável		Tolerável		Difícilmente tolerável		Intolerável
0		1		2		3
b) Percepção do espécime arbóreo no ponto da calçada.						
Em relação ao tipo arbóreo adjacente presente neste ponto, você o considera:						
Muito desagradável	Desagradável	Nem desagradável, nem agradável	Agradável	Muito agradável		
-2	-1	0	1	2		
Em relação ao porte da arborização (altura da árvore e largura da copa) nesse ponto, você o considera:						
Muito insuficiente	Insuficiente	Nem insuficiente, nem suficiente	Suficiente	Muito suficiente		
-2	-1	0	1	2		
Em relação ao bem estar nesse ponto proporcionado pelo ambiente do calçamento, você o considera:						
Muito mais desagradável	Desagradável	Nem desagradável, nem agradável	Agradável	Muito mais agradável		
-2	-1	0	1	2		

Fonte: Acervo Pessoal, 2025

3.5 Procedimento para derivação da Sensação Térmica Predita por meio do Índice de Temperatura Equivalente Fisiológica modificado (mPET)

Utilizou-se o índice de temperatura fisiologicamente equivalente modificado (mPET), que tem como base o índice PET original, com principal diferença de que o primeiro foi aperfeiçoado com vistas a poder ser aplicado em diferentes zonas climáticas uma vez que o segundo subestimava a influência da pressão de vapor em ambientes quentes e úmidos e considerava apenas uma condição de modelo de vestimenta padrão (0,9clo). O mPET se baseia na condição de equilíbrio de fluxo de energia semi-instável do corpo humano, mantendo a mesma condição do ambiente virtual interno de referência do PET ($T_a = 20^\circ\text{C}$, $VP = 12 \text{ hPa}$, $v_a = 0,1 \text{ m/s}$ e $T_{mrt} = T_a$) (Chen; Matzarakis, 2018).

A derivação da sensação térmica pelo Índice mPET foi feita por meio do programa Rayman Pro (disponível em <https://www.urbanclimate.net/rayman/>). Os dados de entrada são as variáveis climáticas (T_a , UR, v_a , T_{mrt}) e taxa metabólica (100 W/m^2 , pessoa em pé). Os dados pessoais utilizados no cálculo do índice foram os valores de altura, peso e idade, referentes ao

homem médio e à mulher média estabelecidos pela norma ISO 8896 (ISO, 2004). O isolamento da vestimenta adotada considerou o valor médio trajado pelos voluntários no momento da entrevista, obtido visualmente por meio da tabela da ISO 9920 (ISO, 2007). Os níveis de estresse térmico foram categorizados conforme classes propostas por Callejas *et al.* (2020): 26 a 30,6°C – conforto térmico; 30,6 a 37,1°C moderado estresse térmico ao calor; 37,1 a 43,6°C - forte estresse térmico ao calor; e, acima de 43,6°C - muito forte estresse térmico ao calor.

4 RESULTADOS

As características antropométricas são apresentadas no Quadro 3, indicando maior presença de voluntários do sexo biológico feminino durante a caminhada do transecto, e preponderância de jovens de até 25 anos. Dados calculados do Índice de Massa Corporal - IMC indicam que a maioria se enquadra como saudáveis, apesar da presença de estudantes com sobrepeso e obeso. O isolamento térmico das roupas apresentou roupas típicas usadas em dias típicos de verão (média de 0,49 clo).

Quadro 3 - Dados antropométricos das campanhas de verão

Parâmetro	Categoria	Número de respondentes	Porcentagem (%)
Sexo Biológico	Masculino	3	37,50%
	Feminino	5	62,50%
Idade	Até 25 anos (jovem)	8	100%
	De 25 e 64 anos (adulto)	0	0,0%
	Acima 64 anos (idoso)	0	0,0%
Índice de Massa Corpórea (IMC = peso/altura ²)	Abaixo do peso	0	0,0%
	Saudável	6	75%
	Sobrepeso	1	12,5%
	Obeso	1	12,5%

Os dados climáticos agrupados para todos os pontos do transecto estão representados no Quadro 4. Estão consistentes com os padrões sinóticos observados na região em dias quentes de verão no horário que a campanha foi realizada.

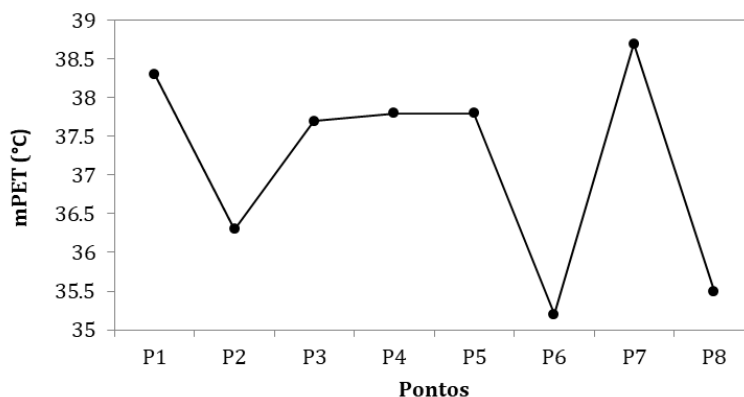
Quadro 4 - Características gerais dos dados medidos durante o transecto

Variáveis	Verão		
	Min	Max	Média
Temperatura do ar (°C)	33.2	34.6	33.7
Umidade Relativa (%)	55.6	61.6	58.9
Temperatura de globo (°C)	35.2	37.0	36.1
Temperatura média radiante (°C)	36.2	42.7	39.5
Velocidade do ar (m/s)	0.0	0.4	0.3

O índice mPET determinado nos pontos do transecto estão indicados na Figura 4. Os pontos P1 e P7, expostos ao sol, estavam sob influência de forte estresse térmico (37,1 a 43,6°C). Por sua vez, os pontos P2, P6 e P8, sob a copa de espécimes arbóreos com elevado índice de área foliar, o nível de estresse se apresentava com estresse moderado (37,1 a 43,6°C). Já os pontos P3, P4 e P5, com baixo índice de área foliar, apresentam condições intermediárias de nível de estresse, mas ainda assim sob influência de forte estresse térmico. Evidencia-se, portanto, que o sombreamento arbóreo guarda relação com a estrutura da arborização e é um

fator capaz de impactar na sensação térmica dos pedestres. Portanto, a definição de uma adequada arborização nos passeios se faz necessária visando reduzir o nível de estresse térmico dos transeuntes.

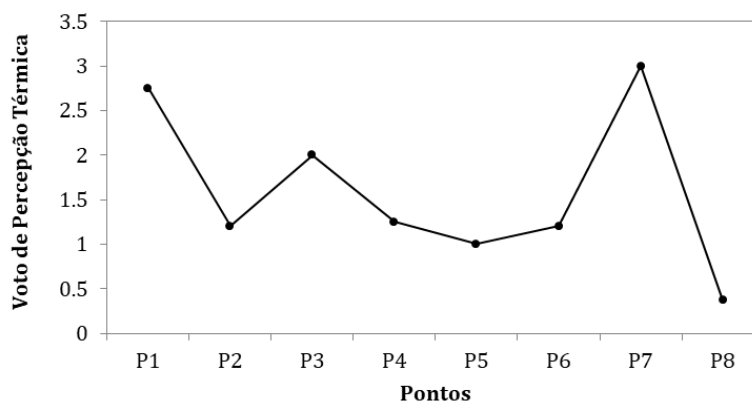
Figura 4 – Índice mPET nos pontos pesquisados.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Na Figura 5 é possível observar os votos médios de percepção térmica declarados pelos voluntários que acompanharam a caminhada. De forma similar ao observado no índice térmico, nos Pontos P1 e P7 registraram-se as maiores percepções térmicas, que variaram entre calor a muito calor (2,75 e 3,0, respectivamente).

Figura 5 – Média da percepção térmica dos voluntários nos pontos analisados.

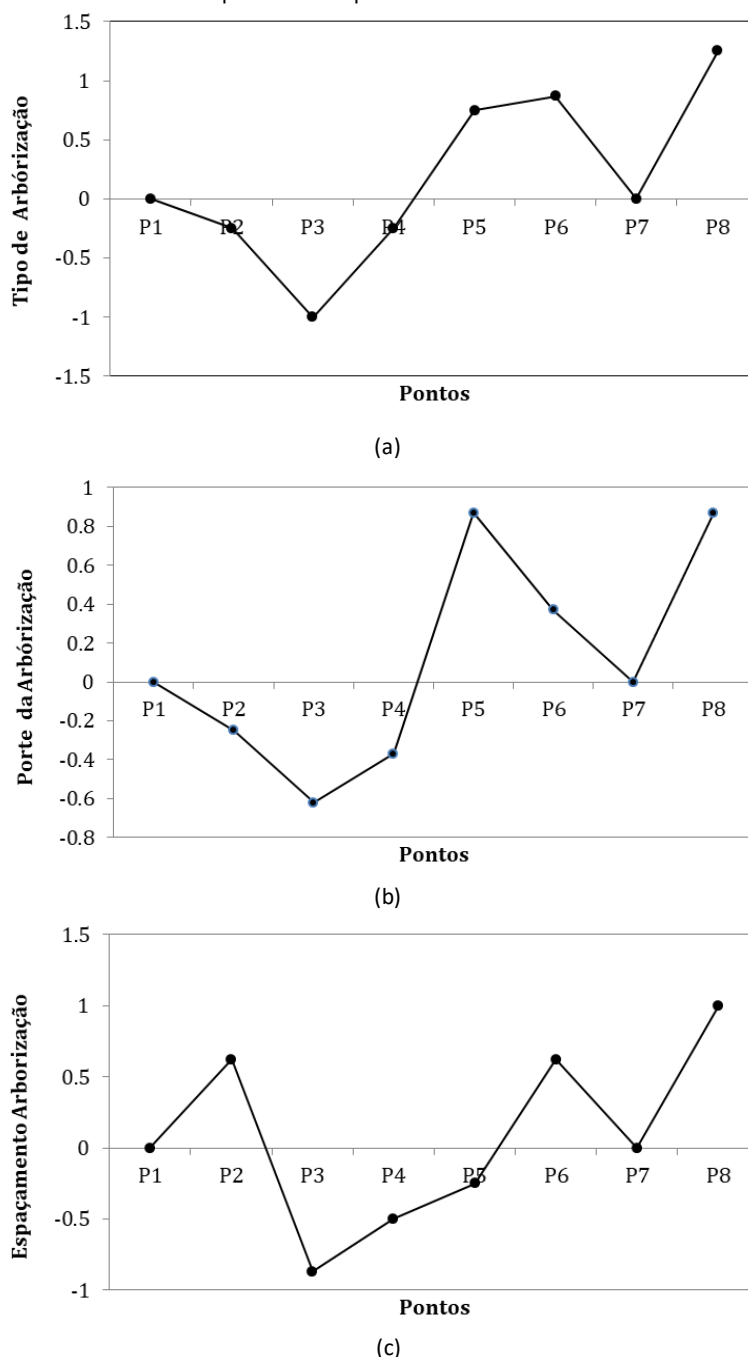


Fonte: Acervo Pessoal, 2025

Por outro lado, os demais pontos, com exceção do ponto P8, no qual sensação térmica foi percebida como de quase conforto térmico (0,37), os voluntários relataram sensação térmica entre ‘um pouco de calor’ e ‘calor’ (valores entre 1,0 e 1,25). Esses dados indicam que há correlação entre as condições de exposição e o desconforto percebido, conforme evidenciado pelo índice mPET. Regiões com maior incidência solar e baixa arborização tendem a apresentar piores condições térmicas. Em contrapartida, pontos com vegetação densa mostraram-se mais confortáveis aos participantes, em razão do menor nível de insolação e do maior nível de sombreamento devido a estrutura das copas.

Com vistas a captar a percepção da estrutura da arborização, os voluntários foram solicitados a declarar a sua percepção quanto ao tipo, ao porte e ao espaçamento da arborização presente no calçamento (Figura 6).

Figura 6 – Voto de percepção dos voluntários quanto ao (a) tipo, (b) porte e (c) espaçamento da arborização presente nos pontos do transecto.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

De uma maneira geral, é possível constatar pelas respostas que os espécimes arbóreos implantados nos pontos P5, P6 e P8 foram aqueles que passaram a impressão de serem agradáveis, terem porte (altura) suficiente e apresentarem espaçamento adequado aos

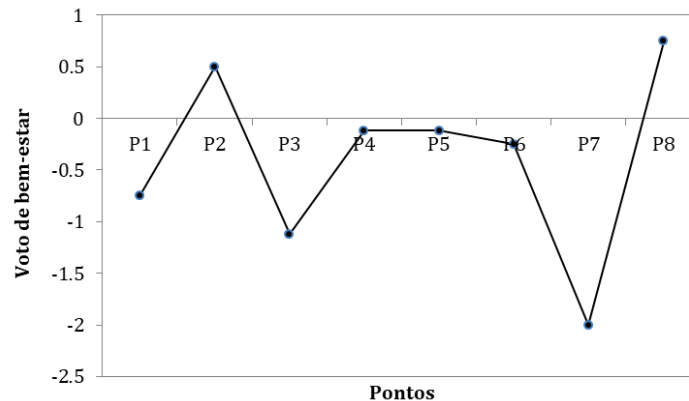
voluntários durante a caminhada no calçamento. No Ponto 5 existe implantado uma palmeira já em fase adulta, com crescimento e desenvolvimento completos. É um espécime que se caracteriza por apresentar médio índice de área foliar, proporcionando já um adequado sombreamento sob sua copa. O mesmo ocorre para os espécimes implantados nos Pontos 6 e 8, com presença no primeiro de espécime de Capororoca (*Rapanea ferrugínea*) e no segundo de um conjunto de Oitis (*Licania tomentosa*), ambos na fase adulta, com desenvolvimento completo de suas folhagens e elevado índice de área foliar. São espécimes frondosas, que proporcionam sombras que se estendem para além do calçamento. O Ponto 2, apesar de também apresentar Oiti proporcionando sombreamento no calçamento, em razão do menor porte, e por estarem em fase de desenvolvimento, não conseguiu passar a mesma impressão aos voluntários que aqueles implantados no Ponto 8. O Ponto 3, com espécime frutífera Ata (*Annona squamosa*) em estágio inicial de desenvolvimento, com baixa altura, em pouco proporciona sombreamento, o que pode ter comprometido o julgamento dos voluntários. Já o Ponto 4, com presença de uma Paineira (*Chorisia speciosa*), apesar de ser uma arbórea adulta, em razão da estrutura da folhagem na copa, com baixo índice de área foliar, não consegue proporcionar um adequado sombreamento aos transeuntes, muito provavelmente afetando julgamento dos voluntários.

Pela análise do voto de percepção quanto ao bem-estar (Figura 7), é possível notar que os Pontos 1 e 7, sem presença de arborização, foram aqueles que proporcionaram pior impressão aos voluntários em razão do microclima existente, expostos à radiação solar. O Ponto 3 também foi considerado desagradável em razão do tipo e porte da arborização implantada, ineficaz em criar um microclima agradável aos pedestres. Já os Pontos 4, 5 e 6, foram percebidos como indiferentes (nem desagradável ou agradável), apesar da arborização já estar na fase adulta. Nos Pontos 4 e 5, este fato pode ser explicado ao formato da copa e sua densidade de área foliar, com limitada extensão sobre a calçada, com pouca capacidade de atenuação da radiação solar. O ponto 6, apesar de ser um ponto com adequada estrutura e tipo de vegetação, com elevado índice de área foliar, porque devido ao porte e ao formato das copas demasiadamente grandes, o microclima desse ponto torna-se suscetível às condições do entorno. Por fim, os Pontos 2 e 8, com presença de Oitis, foram aqueles que mais induziram bem-estar aos voluntários.

Evidencia-se, portanto, que espécimes com copas frondosas e com adequado índice de área foliar, como nos Oitis do calçamento, quando agrupados, foram eficazes em influenciar o microclima sob suas copas e, conseqüentemente, influenciar a percepção dos voluntários. No estudo conduzido por Callejas *et al.* (2011) demonstrou-se que o sombreamento promovido pela arborização é um importante elemento atenuador da temperatura, umidade e sensação térmica. Na pesquisa, os Oitis implantados em grupo dentro do pátio de uma escola foram capazes de reduzir a temperatura do ar em 1,6°C, elevar a umidade em 5,7% e reduzir a sensação térmica expressa pelo índice PET em 5,9°C, em relação às variáveis coletadas na condição de exposição ao sol. Tal comportamento corrobora com o que foi observado no Ponto 8 onde existe um agrupamento de Oitis, no qual se identificou com uma das menores condições térmicas durante o transecto, além de ser percebido como menor percepção térmica declarada e de proporcionar melhor bem-estar declarado aos voluntários durante a campanha. Portanto, a implantação deste espécime arbórea com adequado espaçamento nas calçadas das cidades de

clima tropical se configura como uma importante estratégia visando melhorar as condições de exposição térmica e proporcionar bem-estar aos pedestres.

Figura 7 – Voto de percepção dos voluntários quanto ao bem-estar proporcionado nos pontos do calçamento.



Fonte: Acervo Pessoal, 2025

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados obtidos neste estudo evidenciam a influência significativa da arborização na percepção térmica dos pedestres, destacando a relevância das áreas verdes no conforto ambiental dos espaços urbanos. Observou-se que o Ponto 8, caracterizado pela maior cobertura arbórea, copa mais densa e espaçamento adequado, apresentou as condições térmicas mais favoráveis, evidenciando a eficácia da vegetação na regulação da sensação térmica e na criação de espaços mais agradáveis para os pedestres.

Entre as espécies analisadas, destacou-se o Oiti (*Licania tomentosa*) o qual proporcionou maior percepção de bem-estar aos pedestres, devido ao seu porte, densidade de copa e sombreamento eficiente. Essa espécie demonstrou ser especialmente eficaz para proporcionar microclimas mais amenos, o que a torna uma alternativa ideal para o sombreamento de calçadas urbanas em regiões de clima tropical.

Em contrapartida, os Pontos 1, 3 e 7 proporcionaram as piores condições de bem-estar aos pedestres, onde a ausência total ou parcial de cobertura vegetal contribuiu para a elevação do desconforto térmico. Esses dados reforçam a necessidade de intervenções específicas nessas áreas, com ampliação da arborização e readequação dos espaços públicos, visando aperfeiçoar a qualidade ambiental.

Os dados analisados demonstram que a distribuição e a densidade da vegetação são fatores determinantes na mitigação do desconforto térmico urbano. A presença de árvores não apenas proporciona sombreamento, reduzindo a incidência direta da radiação solar, como também influencia a circulação do ar e a umidade, criando espaços de convívio em vez de simples áreas de passagem. Dessa forma, a arborização urbana deve ser planejada estrategicamente, considerando aspectos como espaçamento, porte das espécies e interação com o entorno.

REFERÊNCIAS

- CALLEJAS, I. J. A. et al. Estudo do sombreamento arbóreo, atenuação da radiação solar e microclima dos pátios escolares: elementos para se pensar a sustentabilidade urbana. In: IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2011, Vitória. **Anais [...]**. Vitória, 2011.
- CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; OLIVEIRA, A. S. de; NOQUEIRA, M. C. de J. A. Diversity arboreal and vegetation indices in environment school. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 454–466, 2014. DOI: 10.5902/2236117012537. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117012537>.
- CALLEJAS, I. J. A.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; DURANTE, L. C.; DE ALMEIDA LOBO, F. Patterns of energy exchange for tropical urban and rural ecosystems located in Brazil central. **Journal of Urban & Environmental Engineering**, v. 13, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4090/juee.2019.v13n1.69-79>.
- CALLEJAS, I. J. A.; KRÜGER, E. Microclimate and thermal perception in courtyards located in a tropical savannah climate. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, p. 1877–1890, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02329-8>.
- CEMIG. **Manual de arborização**. Belo Horizonte: Cemig/Fundação Biodiversitas, 2011.
- CHEN, Y.; MATZARAKIS, A. Modified physiologically equivalent temperature—basics and applications for western European climate. **Theor Appl Climatol.**, v. 132, p.1275–1289, 2018.
- HWANG, R. L.; LIN, T. P.; MATZARAKIS, A. Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. **Building and Environment**, v. 46, n. 4. p.863–870, 2011. DOI: [10.1016/j.buildenv.2010.10.017](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.017)
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 10551**: Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève: ISO, 1995.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environments: Instruments and methods for measuring physical quantities. Genève: ISO, 2007.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9920**: Ergonomics of the thermal environment— estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genebra: 2007.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8896**: ergonomics of the thermal environments: determination of thermal metabolic rate. Genebra, 2004.
- MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. Applications of a universal thermal index: Physiological Equivalent Temperature (PET). **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76–84, 1999.
- SANTOS, J.; OLIVEIRA, M. A influência das calçadas no microclima urbano. **Revista Brasileira de Urbanismo**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 45–62, jul./dez. 2021.
- SILVA, B. A.; XAVIER, T. C.; ALVAREZ, C. E. A influência da vegetação no conforto térmico para a condição microclimática de Vitória (ES). **Cidades Verdes**, v. 3, n. 8, p. 1–15, 2015.
- SOUZA, A. P. N. de; MENDES, C. S. Arborização urbana: importância e benefícios no planejamento ambiental das cidades. In: Seminário Internacional de Educação do Mercosul (16: 2014: Cruz Alta). **Anais []** do XVI Seminário Internacional de Educação do Mercosul, XIII Seminário Interinstitucional, IV Cursos de Práticas Socioculturais Interdisciplinares, III Encontro Estadual de formação de professores e I Mostra de Trabalhos Científicos PIBID de 25 a 27 de agosto de 2014 – Cruz Alta: UNICRUZ, 2014.