

## Benefícios microclimáticos e de conforto térmico proporcionado pela vegetação arbórea na região tombada do Centro Histórico

### Microclimatic and thermal comfort benefits offered by tree vegetation in the designated area of the Historic Center

<sup>1</sup>Gustavo Magalhães Morais de Souza, <sup>2</sup>Ivan Julio Apolonio Callejas, <sup>3</sup>Luciane Cleonice Durante, <sup>4</sup>Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, <sup>5</sup>Gabriela Kehrwald Nunes, <sup>6</sup>Luciana Pelaes Mascaro, <sup>7</sup>Jakson Paulo Bonaldo

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia Civil na Universidade Federal de Mato Grosso (gustavomega4@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor Doutor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo -Universidade Federal de Mato Grosso (ivancallejas1973@gmail.com)

<sup>3</sup>Professora Doutora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo–Universidade Federal de Mato Grosso (luciane.durante@hotmail.com)

<sup>4</sup>Professora Doutora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo–Universidade Federal de Mato Grosso (karynarossetti@gmail.com)

<sup>5</sup>Discente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo–Universidade Federal de Mato Grosso (gabriela.kehrwald@outlook.com)

<sup>6</sup>Professora Doutora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo–Universidade Federal de Mato Grosso (mascaro.luciana@gmail.com)

<sup>7</sup>Professor Doutor do Departamento de Engenharia Elétrica–Universidade Federal de Mato Grosso (jakson.bonaldo@ufmt.br)

**RESUMO:** A vegetação confere beleza à paisagem urbana e pode trazer benefícios para o conforto térmico e bem-estar das pessoas em regiões onde a temperatura é elevada. Este estudo se desenvolve no Centro Histórico de Cuiabá/MT, região de clima tropical continental, tombado em nível nacional e cuja configuração urbana se caracteriza por ruas e calçadas estreitas, o que limita a adoção de vegetação arbórea. Esta pesquisa objetiva avaliar os impactos no microclima e no conforto térmico dos pedestres decorrentes da simulação de implantação de vegetação arbórea na região do Centro Histórico de Cuiabá/MT. Empregou-se uma abordagem baseada em simulações computacionais utilizando o *software* ENVI-met, no qual a região foi modelada com a atual (9%) e com uma taxa de arborização projetada (20%), focando em analisar as variáveis ambientais de temperatura, umidade e velocidade do ar e temperatura radiante, nas calçadas e vias. No cenário projetado com maior quantidade de vegetação arbórea ocorreu elevação na temperatura do ar e redução da umidade relativa do ar no horário mais crítico do dia (14h). Por sua vez, devido ao efeito de reflexão e sombreamento proporcionado pelas folhas das copas, houve redução da temperatura média radiante e na velocidade do ar. Como consequência, o impacto na sensação térmica se deu mais sob as copas e com pouca extensividade ao redor dos espécimes arbóreos. Desta forma, um adequado posicionamento e espaçamento da arborização nas vias devem ser considerados ao se pensar a ambiência térmica dos pedestres dentro do centro histórico. Diante dos achados, aponta-se para debate sobre a perda da arborização existente nos espaços públicos e privados, a reflorestação e a conservação do patrimônio no perímetro de tombamento, cujas temáticas se caracterizam por serem inerentemente interligadas, devendo assim serem abordadas de forma coletiva.

**Palavras Chave:** Vegetação Urbana; Microclima Urbano; ENVI-met. Reflorestação de Centro Histórico.

**ABSTRACT:** *Vegetation enhances the beauty of urban landscapes and provides benefits for thermal comfort and the well-being of people in areas with elevated temperatures. This study focuses on the Historic Center of Cuiabá, MT, which has a tropical continental climate and is nationally protected. Its urban layout is characterized by narrow streets and sidewalks, limiting the introduction of tree vegetation. This research aims to assess the impacts on the microclimate and thermal comfort of pedestrians resulting from simulations of tree planting in the Historic Center of Cuiabá. A computational simulation approach was employed using the ENVI-met software, modeling the area with its current tree coverage (9%) and projected coverage (20%). The analysis focused on environmental variables such as temperature, humidity, air velocity, and radiant temperature on sidewalks and roadways. In the scenario with increased tree coverage, air temperature rose while relative*

*humidity decreased during the most critical time of day (2 PM). Meanwhile, due to the effects of reflection and shading from the tree canopies, average radiant temperature and air velocity were reduced. Consequently, the impact on thermal sensation was more pronounced directly under the canopies, with minimal effects extending around the tree specimens. Thus, proper positioning and spacing of trees along the streets should be considered when considering the thermal environment for pedestrians in the historic center. Given these findings, there is a need to discuss the loss of existing tree cover in public and private spaces, reforestation, and preserving heritage within the protected area. These topics are inherently interconnected and should be addressed collectively.*

**Keywords:** Urban Vegetation; Urban Microclimate; ENVI-met; Historic center reforestation

---

## 1. INTRODUÇÃO

Os impactos das mudanças climáticas é uma das atuais preocupações da sociedade e dos líderes mundiais. Em especial nas cidades, que sofrem com elevadas taxas de impermeabilização e déficit de áreas verdes, propícias a fenômenos como ondas de calor e alagamentos, dentre outros, é relevante buscar alternativas para mitigar os efeitos causados pelas alterações climáticas.

Na maioria das cidades brasileiras, o processo de crescimento acelerado ocorre acompanhado de intensa transformação do meio natural, sem adequado planejamento e enfoque na sustentabilidade urbana, o que tem desencadeado diversos impactos ambientais, dentre eles, a alteração do clima urbano, um importante efeito das atividades antrópicas sobre o ambiente (NASCIMENTO, 2011; CALLEJAS et al., 2011).

De acordo com Gartland (2010) e Mascaró e Mascaró (2005), o crescimento e adensamento das cidades resultam na supressão das áreas verdes, tendo como consequência a redução das taxas de evapotranspiração e de infiltração de água no solo, o que traz impactos para a ambiência urbana, tais como elevadas taxas de escoamento superficial, que acabam provocando enchentes. Também em razão da escassa presença de vegetação, as cidades tornam-se suscetíveis aos efeitos de ilhas de calor, fenômeno que agrava o desconforto térmico por calor, com consequências negativas para a população, tanto para a saúde humana e convivência em espaços fechados ou públicos, quanto para o consumo de energia (SOUZA; NERY, 2010).

É reconhecido que a vegetação promove melhoria das condições térmicas ambientais dos ambientes urbanos, em climas quentes. Regiões urbanas com alta densidade arbórea apresentam temperaturas mais baixas, umidade relativa do ar mais elevada e propiciam menores condições de desconforto térmico por calor, em comparação com áreas urbanas sem cobertura vegetal significativa (KARDAN et al., 2016). Segundo Wassouf (2014), a vegetação não influencia somente na redução de temperatura e elevação da umidade, mas, também, diminui a incidência solar e a poluição, tornando o clima mais agradável e o ambiente construído mais sustentável. Vários estudos demonstram que a presença de vegetação urbana é importante para controlar variações térmicas ambientais, principalmente em regiões tropicais (ALVES et. al., 2017; BARBOSA, 2016; PINHEIRO e SOUZA, 2017).

Em se tratando de estudos do comportamento dos núcleos urbanos tombados pelo patrimônio histórico frente às mudanças climáticas, identifica-se uma área de fronteira de conhecimento atual, que está prestes a ganhar ainda mais importância, tendo em vista que têm sido registrados eventos extremos, repentinos e localizados cada vez mais frequentes, que colocam o patrimônio cultural em risco (FATORIC E SEEKAMP, 2017), provocam efeitos cumulativos sobre os materiais, estruturas, processos de decomposição e de perda de integridade (BLAVIER et al. 2023). Quesada-Ganuza, Garmendia e Gandini (2021) apontam para a necessidade de estudos sobre medidas para promover a resiliência do patrimônio cultural urbano, destacando que a maioria dos estudos existentes focam em inundações,

porém, pesquisas são necessárias para outros riscos relevantes, como ondas de calor e frio, que contribuem para uma perspectiva holística.

Para além dos efeitos no ambiente construído, os efeitos das mudanças climáticas nos núcleos urbanos tombados podem afetar a dinâmica social, reduzindo o uso de espaços públicos e sistemas de transporte coletivo, limitando a vida social, gerando condições generalizadas de desconforto na vida cotidiana e produzindo efeitos adversos no turismo e na economia produtiva das cidades (NICOLINI, 2024).

Este estudo se desenvolve no Centro Histórico de Cuiabá, Mato Grosso, cuja escolha foi decorrente de especificidades presentes na região, que é a mais antiga da cidade. Trata-se de uma região à qual muitos valores são atribuídos, incluindo valores históricos e culturais. Nesse sentido, faz parte da memória coletiva, termos como “quintais cuiabanos” e “cidade verde”. Tais imagens remontam à época dos viajantes dos séculos XVIII e XIX, como Hercule Florence, que “desembarcou no Porto de Cuiabá em 30 de janeiro de 1827” (Martins, 2022, p. 35), e descreveu os quintais cuiabanos como espaços onde não havia jardinagem, como entendiam os franceses, mas, em contrapartida, estavam cheios de laranjeiras, tamarineiros e bananeiras (MARTINS, 2022, p. 39). De fato, muitos quintais situados atualmente em perímetro de tombamento se caracterizam pela presença de muitas árvores e de vegetação e, por isso, constam na Instrução Normativa (IPHAN, 1994) como aspecto a ser preservado.

Contudo, o crescimento desordenado da cidade trouxe consequências, dentre as quais os desmembramentos e adensamento dos terrenos, consequentemente alterando o balanço de energia dentro das cidades (CALLEJAS et al., 2016). O tombamento federal da área central da cidade e as políticas de preservação do patrimônio não puderam evitar a eliminação de árvores, a impermeabilização do solo em áreas públicas e privadas, a ocupação dos tradicionais quintais por edificações que, não raro, ocupam maior parcela do terreno do que a permitida pelas leis vigentes, a saber, Lei Complementar n° 389 (CUIABÁ, 2015) e Instrução Normativa (IPHAN, 1994). Um dos exemplos pós-tombamento da erradicação de uma quantidade importante de árvores, inclusive da região central da cidade, foram os cortes efetuados no trajeto do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), por ocasião das obras para a Copa do Mundo de 2014. Segundo Latorraca e Ugeda Júnior (2020, p. 39), “para implantação do traçado, aproximadamente 1.330 indivíduos arbóreos seriam retirados da área, no entanto, com o impasse e atrasos para a conclusão da obra, esse número não foi alcançado”.

Nesse contexto do Centro Histórico de Cuiabá e das dificuldades operacionais que podem surgir no planejamento de medidas de adaptação climática em sítios urbano-paisagísticos de elevado valor cultural, o objetivo desta pesquisa é avaliar os benefícios proporcionados pela implantação de vegetação arbórea ao microclima e, consequentemente, ao conforto térmico, na área tombada do Centro Histórico de Cuiabá-MT, localizada em clima tropical. A região é caracterizada por baixa taxa de vegetação em seu interior devido ao traçado e malha urbana de características coloniais e, em razão das constantes supressões da vegetação arbórea que ocorreram ao longo do processo de ocupação. Neste contexto, as contribuições deste artigo se enquadram dentro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, em especial a ODS n.º 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e a ODS n.º 13 (ação climática) (ONU, 2015).

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Definição da área de estudo

A cidade de Cuiabá, selecionada como local de estudo, é a capital do estado de Mato Grosso. Situa-se na região Centro Oeste do Brasil, nas coordenadas geográficas 15.3556°S e 56.0601 O (Figura 1). A altitude varia de 154 a 235 m. Em 1980, a população do município

era de 212.980 habitantes e em 2021 alcançou 623.614 habitantes (IBGE, 2021), o que conduziu a um crescimento populacional de quase 200%.

O clima da região é do tipo tropical de savana, caracterizado por altas temperaturas durante o ano todo. A precipitação média anual é de 1.350 mm e a temperatura média na região é em torno de 26°C. Durante 5 a 6 meses do ano, ocorre a estação seca e quente, com máximas ultrapassando em média os 35°C nos meses mais quentes (setembro e outubro) (<https://portal.inmet.gov.br/normais>). Essas condições climáticas impactam de forma significativa o conforto térmico dos habitantes, havendo, portanto, a necessidade de se pensar a resiliência do ambiente construído, por meio de estratégias de adaptação (CALLEJAS et al., 2022).

Á área de estudo consiste no conjunto arquitetônico, urbanístico e paisagístico no Centro Histórico de Cuiabá, protegida pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) através da inscrição nos livros do Tombo Histórico, de Belas Artes e Arqueológico, Etnográfico e Paisagístico, pela Portaria nº 10 de 04 de novembro de 1992 (BRASIL, 1992), por enquadramento no Decreto-Lei nº 25 (Brasil, 1937). A escolha desta região foi motivada pela significativa perda de vegetação ocorrida ao longo do processo de urbanização e pela necessidade de debate que suscita.

No zoneamento urbano da Lei Complementar nº 389 de 03 de novembro de 2015 (CUIABÁ, 2015), que disciplina o Uso e Ocupação do município de Cuiabá, a área é uma Zona Urbana Especial (ZUE), subcategorizada como Zona de Interesse Histórico. Essa subcategoria possui índices urbanísticos especificados na Tabela 1. Entretanto, há uma contradição entre as legislações que incidem na área, uma vez que, a Instrução Normativa do Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico da Cidade de Cuiabá (IPHAN, 1994), Artigo 6º, parágrafo 1º cita: “a taxa máxima de ocupação dos terrenos tem como limite o índice que for menor: ou a média das taxas constantes do cadastro municipal, ou 75% da área do terreno”, diferentemente do que indica a legislação municipal (80%). Sendo a Instrução Normativa do IPHAN mais restritiva, esta prevalece sobre a legislação municipal.

Tabela 1: Índices Urbanísticos da Zona de Interesse Histórico

<b>Coefficiente de Ocupação (CO)</b>	<b>Cobertura vegetal paisagística (CVP)</b>	<b>Cobertura Vegetal Arbórea (CVA)</b>	<b>Coefficiente de Permeabilidade (CP)</b>	<b>Potencial Construtivo (PC)</b>	<b>Limite de Adensamento (LA)</b>
0,80	0,20	-	0,20	3,00	3,00

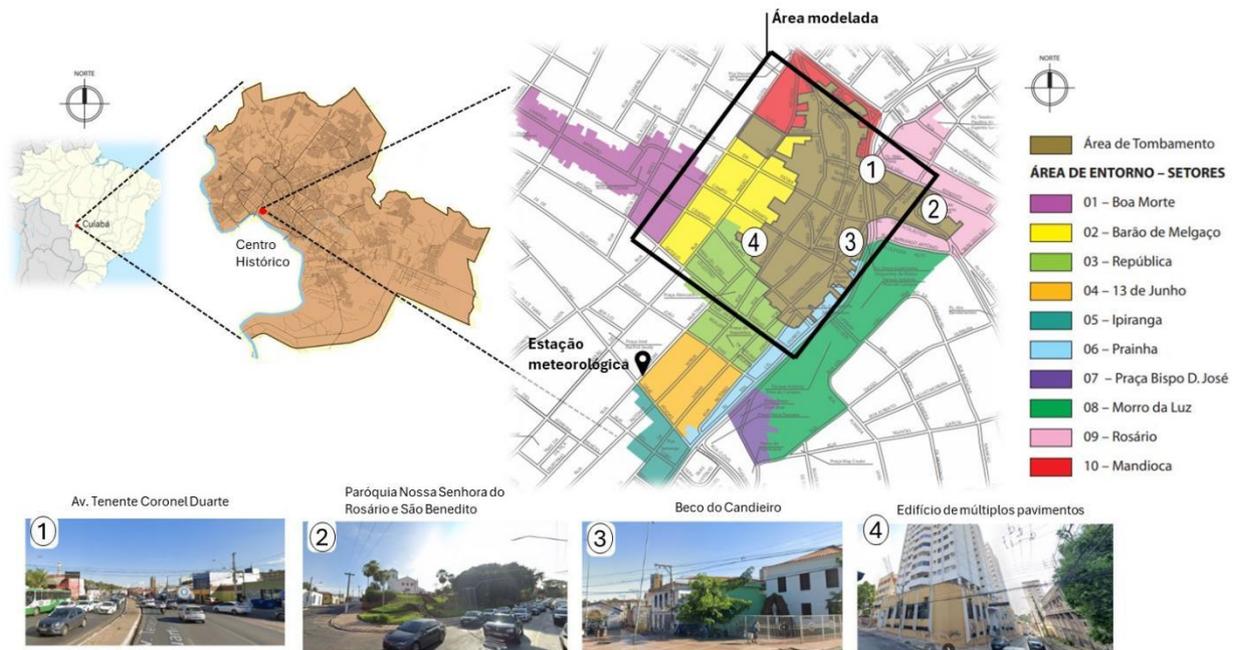
Fonte: Lei Complementar nº 389 (CUIABÁ, 2015)

Para o presente estudo, como já mencionado, optou-se por estudar um recorte da área, considerada de maior relevância para avaliar o impacto da vegetação, em razão das supressões de vegetação arbórea que ocorreram ao longo de décadas. Também foi considerada na definição desse recorte as limitações do *software*, a fim de evitar uma escala excessivamente ampla, que comprometeria a representação adequada do cenário e seus elementos constitutivos. A Figura 1 exibe o perímetro da área considerado na investigação, que abrange quase a totalidade da área tombada e pequenas porções do entorno dos setores do Rosário, da República, Barão de Melgaço e Prainha.

Na Figura 1 também se apresentam alguns elementos constituintes, eixos visuais e pontos nodais marcantes da área modelada. O perímetro abrange um trecho urbano que integra diferentes tipos de uso e ocupação do solo, variando entre áreas residenciais, comerciais e institucionais, com predominância de edificações baixas, como as casas coloniais implantadas em lotes estreitos e longos. A Avenida Tenente Coronel Duarte (1) é uma via estrutural da cidade. A Paróquia Nossa Senhora do Rosário e São Benedito (2) é um marco cultural e religioso local. O Beco do Candeeiro (3) é uma das primeiras ruas da cidade,

carregada de significado histórico. Também há presença de edifícios com andares múltiplos no entorno (4), que se destacam em meio ao cenário, rompendo com os tipos de ocupação dos lotes e com o gabarito de alturas tradicionais e criando um contraste com a arquitetura dos séculos XVIII, XIX e início do XX, evidenciando uma diversidade de elementos constituintes.

Figura 1 – Localização do Centro Histórico e seu entorno, com destaque para a área modelada e para o local da estação meteorológica.



Fonte: Adaptado de IPDU (CUIABÁ, 2010) e Google Earth and Street View

A vegetação no local é diversificada e escassa ao mesmo tempo, uma vez que há árvores de grande porte em alguns locais, especialmente nas áreas residenciais que preservam a forma original dos lotes. Apesar da presença dessas áreas verdes residuais, a realidade é marcada pelo processo de adensamento populacional e desmembramento de lotes, o que resultou em redução das áreas vegetadas. Os tradicionais “quintais cuiabanos”, que antes abrigavam maciços arbóreos e contribuía para o microclima da região, foram progressivamente substituídos por construções que ocuparam quase a totalidade dos lotes. Isso não só reduziu a quantidade de vegetação arbórea, como também ultrapassou os limites de coeficiente de permeabilidade estabelecido para esta zona da cidade. A identificação do uso do solo na área modelada representa o uso do solo em toda a região do Centro Histórico, na qual, atualmente, verifica-se reduzida quantidade de vegetação arbórea associada a uma elevada taxa de impermeabilização (superior ao estabelecido no plano diretor da cidade), o que corrobora para agravar as condições de ambiência térmica da região (Tabela 2). Evidencia-se, assim, o processo de adensamento que ocorreu nessa região da cidade.

Tabela 2: Uso do solo na área modelada

Parâmetros	Área	%
Área de projeção das copas das árvores	17.738,66 m <sup>2</sup>	8,90%
Área permeável	20.224,27 m <sup>2</sup>	10,15%
Área impermeável	179.060,69 m <sup>2</sup>	89,85%
Área modelada	199.284,96 m <sup>2</sup>	100,00%

Fonte: Os autores

## 2.2 Coleta de dados

A coleta de dados consistiu em adquirir as informações meteorológicas necessárias para a composição da base de informações necessárias a realização de simulações computacionais por meio do software ENVI-met, conforme sugerido por Yang et al. (2023) e Callejas et al. (2022). Dessa forma, a aquisição dos dados meteorológicos foi realizada in loco, por meio de medições com uma estação meteorológica automática instalada no entorno da área modelada (Figura 1), da marca OnsetComp, modelo HOBO U-13, instalada à 14m do solo, na cobertura do Edifício do Palácio da Instrução (Figura 2). Os sensores foram configurados para coletar dados horários de temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%), no período de junho de 2019 a dezembro de 2020.

Figura 2 – Estação meteorológica instalada na cobertura do edifício Palácio da Instrução



Fonte: Os autores

## 2.3 Modelagem e simulação de cenários

O software ENVI-met (Versão 5.1) exige a inserção dos modelos a serem simulados e comparados quanto as variáveis selecionadas. Neste estudo foram modelados dois cenários, o Atual (com a vegetação arbórea identificada no ano de 2024) e o Mais Verde (com adição de vegetação arbórea alcançando 20%, visando atender o índice urbanístico mínimo previsto na legislação).

Dessa maneira, a partir de levantamento *in loco*, modelou-se o Cenário Atual, inserindo a latitude, a longitude, a orientação solar (norte geográfico), o uso do solo (categorizado como solo nu, asfalto nas vias e concreto nas calçadas), vegetação (gramíneas, arbustos e árvores), materiais das coberturas (telhas cerâmicas) e materiais das vedações verticais (consideradas como paredes de terra – adobe ou taipa). As propriedades termofísicas desses materiais e as resistências térmicas dos sistemas de vedações verticais e de cobertura foram adotados conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2022).

Com o objetivo de abranger a influência microclimática em toda a área, foi estabelecida uma malha (grid) de 176x245 células, com dimensões de modelagem de 352x490 metros, com módulo unitário de 2x2x2 (X, Y, Z) metros para representar tridimensionalmente as edificações e as superfícies presentes na área modelada.

O modelo do Cenário Atual compõe-se de um total de 428 indivíduos arbóreos identificados em campo, representando uma cobertura arbórea de 8,9% da área modelada (Figura 3, arborização existente em verde). Por sua vez, o cenário hipotético idealizado inclui 672 unidades de árvores, correspondendo a uma cobertura arbórea de 20%. Assim, a quantidade de vegetação arbórea implantada no cenário hipotético apresenta 244 unidades a mais do que no Cenário Atual, o que representa elevação de 11,1% em relação ao primeiro (Figura 3, arborização adicionada em magenta), atendendo o índice urbanístico Cobertura vegetal paisagística (CVP) mínimo recomendado para a Zona de Interesse Histórico.

A distribuição de árvores não seguiu um padrão uniforme. A maior parte delas foi inserida em locais que se caracterizam por largos, na perspectiva de se respeitar a Instrução

Normativa IPHAN (1994) que impõe restrições quanto ao uso do solo, visando à preservação do patrimônio cultural. Procurou-se, assim, seguir os critérios da paisagem original, a qual se caracteriza por ruas e calçadas estreitas, nas quais nunca houve vegetação implementada. No entanto, com o objetivo de se alcançar a taxa mínima estabelecida para a zona da cidade (20%), para fins de simulação computacional no software Envi-met versão 5.1, considerou-se a possibilidade da implantação de árvores ao longo de vias tombadas que a apresentassem gabarito suficiente para comportá-las, apesar do que se estabelece na referida instrução normativa:

**“Artigo 3º** - Para os efeitos desta Instrução Normativa serão preservados dentro da área de Tombamento federal:

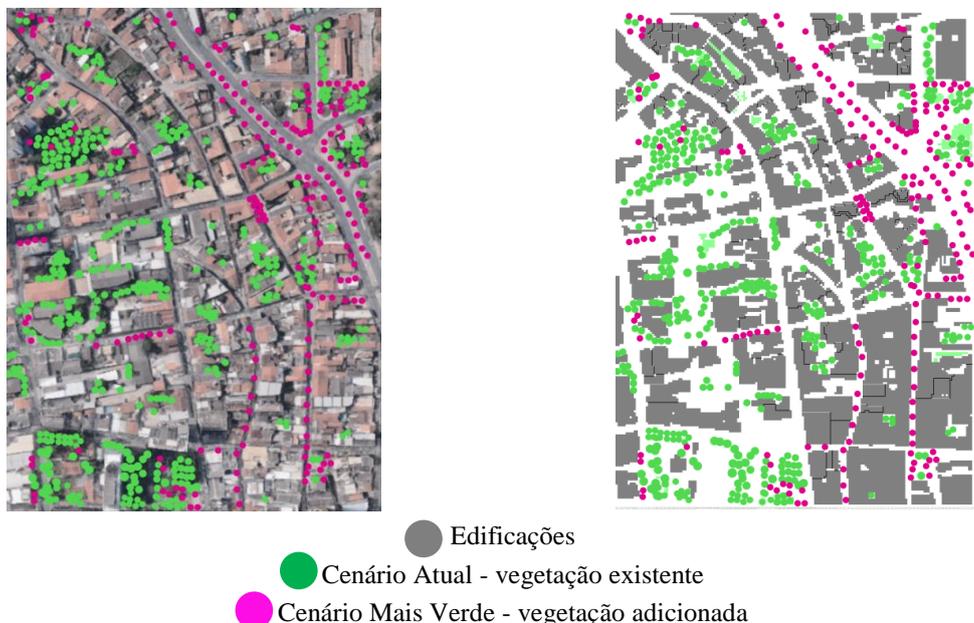
[...] **Parágrafo 3º** - As edificações em sua integridade, compreendidos os elementos de composição arquitetônica, tais como fachadas, telhados, paredes, pisos, técnicas construtivas e implantação no terreno;

**Parágrafo 4º** - As áreas privadas e não edificadas, ou *non aedificandi*, compreendidos os quintais e jardins de uso privado ou controlado, que deverão ser preservados em suas características presentes, inclusive as espécies vegetais de grande porte.”

**Parágrafo 5º** - Os logradouros - ruas, praças, jardins públicos, becos e demais espaços livres, públicos ou *non aedificandi*, deverão ser preservados em sua feição tradicional;

**Parágrafo 6º** - A integridade visual dos espaços de uso público, referenciados pela soma das fachadas ou limites das propriedades com os logradouros.

Figura 3 – Modelos no ENVI-met - Cenário Atual com vegetação existente (em verde) e Cenário Mais Verde com vegetação adicionada (em magenta).



Obs.: Árvores colocadas no eixo das vias são apenas para efeitos de simulação no software Envi-met  
Fonte: Google Earth and Envi-met V. 5.1

Além disso, as vias do Centro Histórico não seguem o Padrão Geométrico Mínimo (PGM) estabelecido pela atual legislação de Uso e Ocupação do Solo (CUIABÁ, 2015) para vias locais, um conceito utilizado em projetos das atuais vias com vistas a garantir dimensões

mínimas para as ruas ou calçadas de acordo com o porte da via. As ruas do Centro Histórico receberam a denominação de classe Especial, onde é possível encontrar larguras de via com largura de quatro metros. Outro aspecto incidente na área é o estabelecido pela Lei Complementar nº 389 (CUIABÁ, 2015) que restringe a implementação da arborização no afastamento frontal mínimo - distância mínima entre a projeção de uma edificação e o eixo geométrico da via lindeira ao lote edificado, bem como o estabelecido no Código de Obras Municipal - Lei Complementar nº 516 (CUIABÁ, 2022) que estabelece o recuo mínimo de testada das fachadas das edificações. Diante disso, a vegetação arbórea foi implantada de forma restrita, apenas em locais onde sua inserção permitisse e não comprometesse a caminhabilidade dos pedestres nos passeios ou, ainda, não prejudicasse as fachadas das edificações existentes, em termos visuais da paisagem e de impactos no patrimônio.

Para o espaçamento e disposição dos espécimes arbóreos, seguiram-se as recomendações apresentadas no Artigo 2, item IV, que se referem às espécies a serem utilizadas na arborização viária definidas pelo Decreto nº 5.144 de 15 de fevereiro de 2012 (Cuiabá, 2012).

A caracterização da vegetação atualmente existente inserida no modelo do Cenário Atual foi feita por meio de levantamento *in loco*, considerando as suas características dendométricas e de densidade de área foliar. Seguiram-se os procedimentos propostos por Rosseti et al. (2019), classificando-se os indivíduos arbóreos em três categorias, segundo a densidade de área foliar (DAF): baixa ( $DAF \leq 3.45 \text{ m}^2\text{m}^{-3}$ ), média ( $3.5 \text{ m}^2\text{m}^{-3} < DAF \leq 4.9 \text{ m}^2\text{m}^{-3}$ ) e alta densidade ( $DAF > 4.9 \text{ m}^2\text{m}^{-3}$ ). Para os espécimes a serem implantados na região (Figura 3), optou-se por considerar no Cenário Mais Verde uma única espécie arbórea (genérica), com diâmetro, altura da copa e DAF de alta densidade, representando um espécime na condição adulta (Tabela 3). O DAF foi considerado homogêneo na copa, calculado pela divisão do IAF pela altura da copa do espécime arbóreo na condição adulta.

Tabela 3: Parâmetros de modelagem da espécie arbórea genérica utilizada como referência.

Espécie Arbórea	Altura	Diâmetro da Copa	Índice de Área Foliar - IAF	DAF (homogêneo na altura)
Genérica	8 m	9 m	6,3 $\text{m}^2/\text{m}^2$	1,26 $\text{m}^2/\text{m}^3$

Fonte: Os autores

#### 2.4 Método para a simulação

Para a simulação, considerou-se os dados registrados entre os dias 11 e 12/07/2019 na estação meteorológica implantada nas imediações do centro histórico (Figura 2). O processo foi conduzido por meio do recurso das abas “Metereology: basic settings” e “Metereology: Simple Forcing” no software Envi-Met. Na primeira, são introduzidas as configurações iniciais de tempo atmosférico para o dia que antecede a data da simulação, no caso dia 11/07/2019 (Tabela 4), representando o período quente-seco na região. Esse dia foi selecionado em virtude de apresentar condições sinópticas padrões para o período pesquisado, com céu aberto, sem interferências de nebulosidade. Na segunda, usada quando se pretende realizar o procedimento de calibração do modelo, onde no caso do “Simple Forcing”, são introduzidos dados meteorológicos de temperatura e da umidade do ar coletados *in loco*.

Tabela 4: Parâmetros de entrada no programa Envi-met.

Parâmetros	Valor
Data de início da simulação	11/07/2019
Hora de início da simulação	20hr00min0s
Duração total	28 horas
Intervalo de registro	60 min
Velocidade do vento a 10m	1,94 m/s
Direção do vento	317°
Rugosidade z0 no ponto de referência	0,1
Temperatura inicial da atmosfera	27,24°C
Umidade específica a 2500m	7,36 g/kg
Umidade relativa a 2m	40%

Fonte: Os autores

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar simulados pelo software ENVI-met medidos na estação meteorológica foram validados com os simulados, por meio de indicadores estatísticos, sendo eles: Erro Absoluto Médio (EAM) (Equação 1), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) (Equação 2) e Índice de Concordância “d” (Equação 3).

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{N} \quad (\text{Equação 1})$$

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}) + |O_i - \bar{O}|^2} \right] \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:  $P_i$ : é o valor simulado (denominado previsto);  $O_i$ : é o valor medido observado;  $\bar{O}$ : é o valor médio medido observado obtido no intervalo de calibração (no caso 24h, dados a cada 1h);  $N$ : é o número de medições realizadas; EAM: é a média absoluta entre os dados medidos e simulados; REQM: é a média quadrática dos erros gerados no procedimento de calibração entre os dados medidos e simulados.

Segundo Willmot (1982), quanto menor forem essas estatísticas, mais os dados simulados se aproximam dos dados medidos. Já o Índice de Concordância “d” (adimensional) mede o grau com o qual os valores estimados na simulação estão livres de erro. Os valores encontrados variam de 0, que significa discordância total entre os dados simulados e os medidos, a 1, que significa concordância completa entre os dados.

## 2.6 O uso do índice UTCI para avaliação do conforto térmico

Parâmetros ambientais tradicionais analisados de forma isolada, como temperatura do ar e umidade relativa, podem não ser suficientes para descrever o estresse térmico que ambientes externos causam no corpo humano, pois não levam em conta o balanço de calor e as características individuais. O UTCI (Índice Universal de Clima Térmico) supera essas limitações ao utilizar um modelo termofisiológico avançado, acoplado a um modelo de vestimenta de última geração (BLAZEJCZYK et al., 2012). O UTCI é definido como a temperatura ambiente equivalente (°C) em um ambiente de referência, sendo um indicador amplamente utilizado para avaliar o conforto térmico em ambientes externos, uma vez que é considera a combinação de variáveis climáticas (vento, radiação, umidade e temperatura do ar) (BLAZEJCZYK et al., 2012). Os intervalos do UTCI considerados neste estudo, aplicados

à cidade de Cuiabá, constam da Tabela 5 (HÖPPE, 1999). Mapas cromáticos com os valores de UTCI foram obtidos através do módulo BIO-met do *software* de simulação ENVI-met.

Tabela 5: Intervalos para análise do UTCI

Faixa de UTCI (°C)	Categoria de Estresse
Acima de +46	Estresse de calor extremo
+38 a +46	Estresse de calor muito forte
+32 a +38	Estresse de calor forte
+26 a +32	Estresse de calor moderado
+9 a +26	Nenhum estresse
+9 a 0	Estresse de frio leve
0 a -13	Estresse de frio moderado

Fonte: Adaptado de Höppe (1999)

### 2.7 Avaliação do impacto da implantação de espécimes arbóreos no ambiente termo higrométrico da área tombada

Os dados das simulações foram utilizados para quantificar os impactos (benefícios) da implantação de espécimes arbóreas nas variáveis microclimáticas (temperatura e umidade do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante), avaliados ao nível do pedestre (1,5m de altura nos cenários). Mapas temáticos (cromáticos) das diferenças das simulações das variáveis pesquisadas ao nível dos pedestres foram confeccionados para permitir avaliações quantitativa e qualitativa das diferenças observadas, identificando a extensão espacial da influência do acréscimo da vegetação arbórea. Os horários e frequências das observações microclimáticas selecionadas para a produção dos mapas seguiram aqueles prescritos pela Organização Meteorológica Mundial, adaptados para a hora local (OMS, 2008), ou seja, às 6h, 14h e 20h. As escalas dos mapas, materializadas por meio de cores, representam quantitativamente as diferenças encontradas entre os cenários com implantação de maior quantidade de espécimes e aquele com as condições atuais de vegetação.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

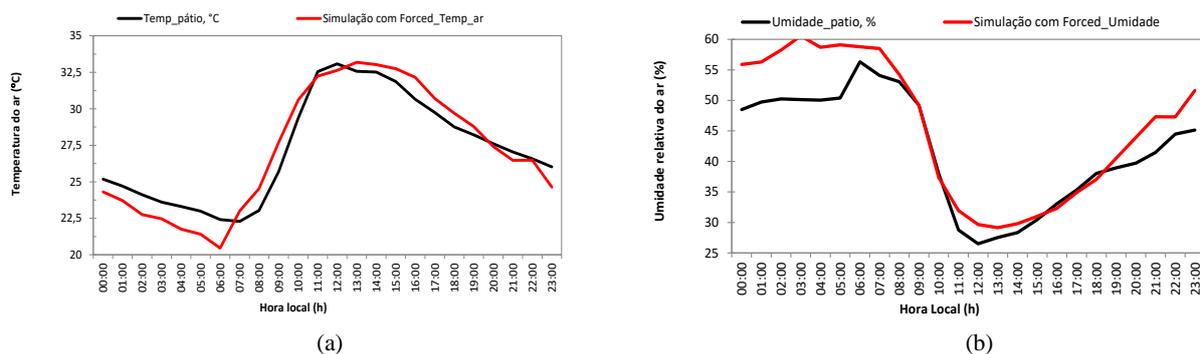
### 3.1 Validação dos dados simulados

A Figura 4 ilustra o curso diário dos dados medidos na estação localizada no Palácio da Instrução e os dados simulados pelo software ENVI-met.

Os dados simulados de temperaturas do ar apresentaram uma tendência de serem mais elevados que os medidos e os de umidade relativa do ar, mais baixos, durante o período diurno (das 7 às 18h). Durante o período noturno, há inversão desse comportamento. Apesar das variações, pode-se notar que as curvas guardam similaridade entre si, evidenciada pela diferença média estimada pelo erro médio quadrático de  $-0,85^{\circ}\text{C}$  e  $+3,18\%$  para as temperaturas do ar umidades relativas do ar, com diferenças máximas de  $-1,14^{\circ}\text{C}$  e  $7,32\%$ , respectivamente, registradas às 6h.

Os valores obtidos para o Índice de Willmott, do EAM/REQM e do Índice de Concordância entre as curvas são apresentados na Tabela 6. Constata-se que a simulação no ENVI-met apresentou aceitável precisão, similarmente ao que foi observado em outros estudos com a utilização dessa ferramenta de simulação (HASEHZADEH HASEH et al., 2018; GHAFARIANHOSEINI et al., 2015). Assim, o modelo idealizado no ENVI-met reproduz com adequada precisão o microclima do local de estudo, possibilitando simulações com cenários hipotéticos.

Figura 4 – (a) Dados horários de temperatura do ar (°C) e (b) umidade relativa do ar (%) medidos e simulados



Fonte: Os autores

Tabela 6 – Estatística entre os dados medidos e simulados de temperatura e umidade do ar.

Variável	Amostra	Erro Absoluto Médio (EAM)	Raiz Erro Quadrático Médio (REQM)	Índice de Concordância (d)
Temperatura do ar (°C)	24 pontos	0,68	0,84	0,97
Umidade relativa do ar (%)	24 pontos	2,53	3,13	0,97

Fonte: Os autores

### 3.2 Análise comparativa entre a modelagem com vegetação e sem vegetação

#### 3.2.1 Temperatura do Ar ( $T_a$ ) e Umidade Relativa do Ar (UR)

A análise espacial da diferença da temperatura e umidade do ar evidencia que a presença de vegetação influenciou positivamente na regulação térmica do ambiente pesquisado, em decorrência dos efeitos de sombreamento e evapotranspiração proporcionados pela arborização (Figura 5).

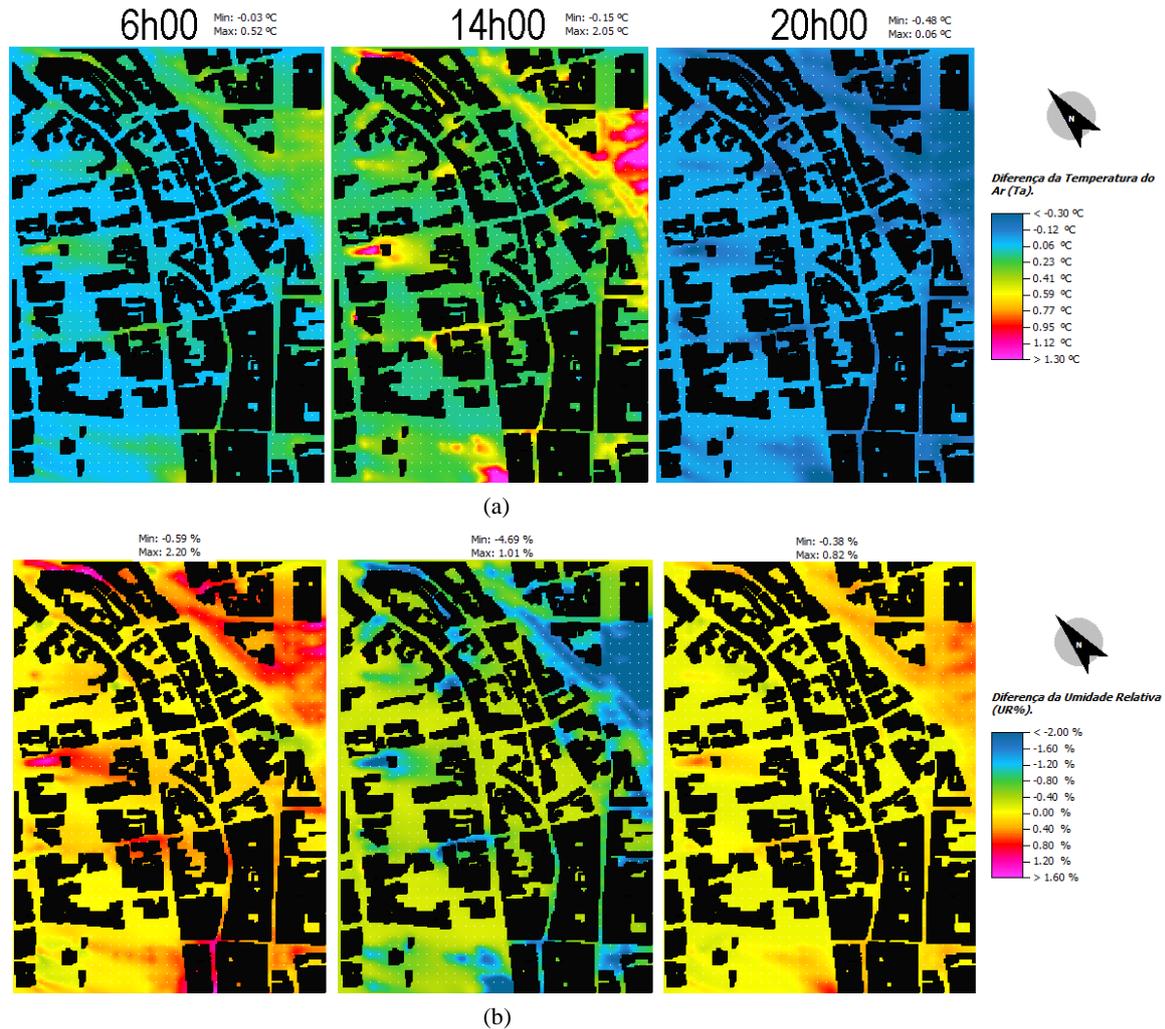
Às 20h e às 6h, observam-se atenuações na temperatura do ar acompanhadas de incrementos de umidade do ar que chegam a até 0,48°C e 2,20%, respectivamente, nas regiões localizadas principalmente à leste da área modelada, onde efetivamente foi possível implementar maior quantidade de elementos arbóreos. Ao sul e sudoeste, também são observadas reduções similares na temperatura do ar e elevações na umidade relativa do ar, só que devido a menor quantidade de espécimes implantadas, o seu efeito não é tão extensivo, localizando-se mais pontualmente.

Já as 14h, observa-se efeito contrário, com elevações na temperatura do ar superando 1,30°C nas áreas onde se propôs a implementação de vegetação, enquanto a umidade relativa do ar se reduz em até 2%, proporcionado assim ambientes menos umidificados nesse período. Porém, há tendência de impacto praticamente nulo nessas variáveis nos locais onde houve pouca implementação de arborização. Esse comportamento é decorrente do efeito guarda-chuva proporcionado pelo dossel das copas das árvores (GHAFARIANHOSEINI et al., 2015), que retém o ar quente entre a superfície e a copa durante o período diurno, mantendo estas regiões sobreaquecidas. Este mesmo efeito age também restringindo a dissipação de ondas longas no período noturno sob a copa das árvores, como será explicado mais adiante.

Apesar desse sobreaquecimento sob as copas, a vegetação desempenha um papel importante na mitigação do calor uma vez que a sombra proporcionada pelo seu dossel restringe a incidência de radiação solar, reduzindo os ganhos térmicos e o armazenamento de calor nas superfícies urbanizadas. Destaca-se que, o próprio processo de evapotranspiração realizado pela arborização também ajuda a introduzir água na atmosfera, proporcionando efeito de resfriamento evaporativo para o ambiente onde estão implantadas, apesar desse

efeito não ter sido observado nos horários mais críticos, nos quais há maior incidência de radiação solar.

Figura 5 – Mapas cromáticos da diferença de (a) Temperatura do ar ( $T_a$ ) e (b) Umidade relativa do ar (UR) às 6h, 14h e 20h entre o Cenário Mais Verde e o Cenário Atual

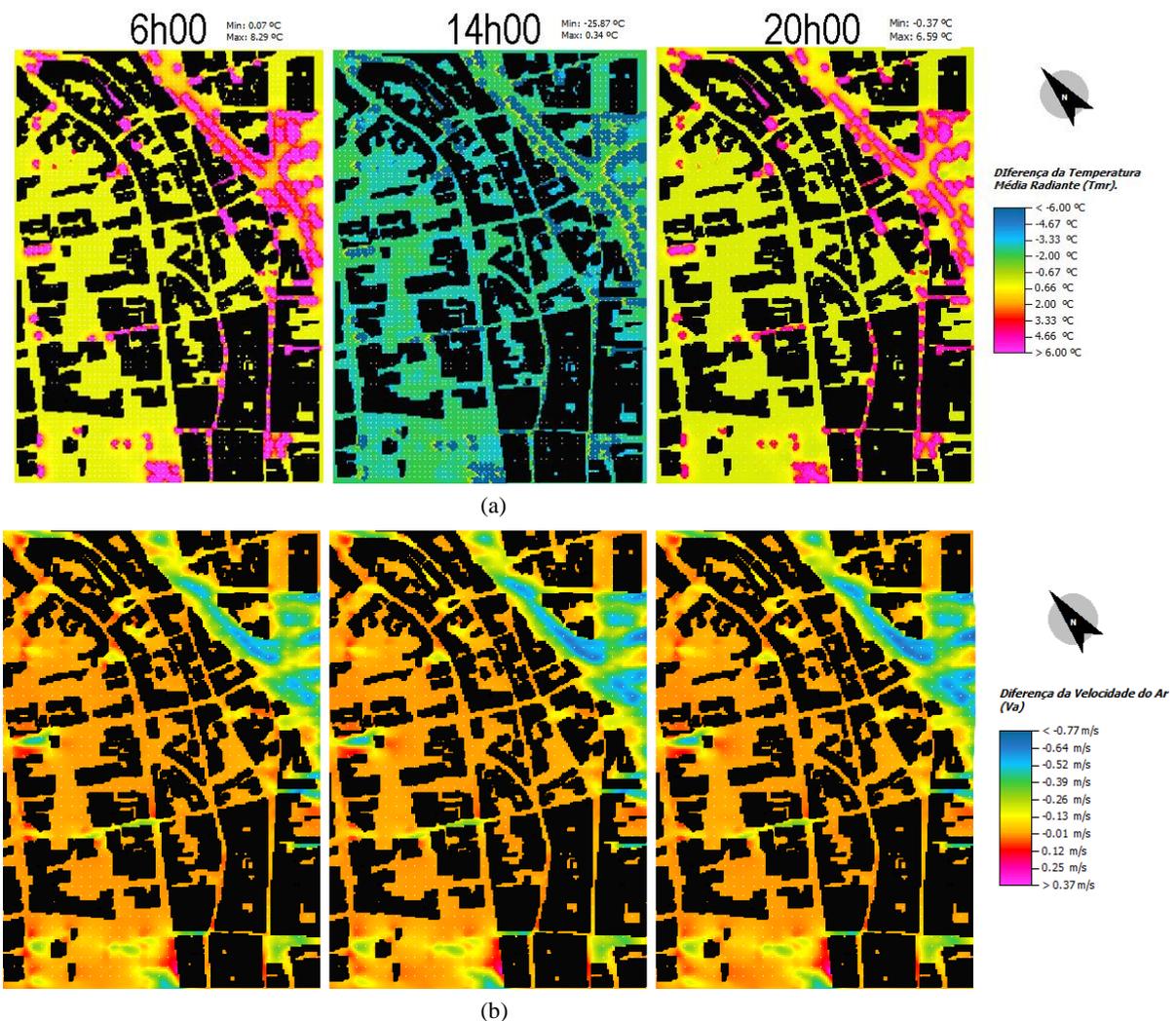


### 3.2.2 Temperatura Média Radiante ( $T_{mr}$ ) e Velocidade do ar ( $v_a$ )

A análise dos mapas das diferenças de temperatura média radiante ( $T_{mr}$ ) nos horários pesquisados permite observar que existem padrões distintos entre os períodos noturno e diurno (Figura 6a). No primeiro, das 20h até o início da manhã às 6h, observa-se elevação na temperatura média radiante entre o cenário com implantação e o com condições atuais de vegetação, com diferença alcançando valores superiores a  $8,29^{\circ}\text{C}$ . Nota-se que estas elevações são pontuais, sob as copas dos espécimes arbóreos implantados e, por isso, são mais visíveis à leste da área tombada, em razão da maior disponibilidade de área de implantação vegetação. Essa elevação decorre do efeito guarda-chuva, no qual a copa das árvores intercepta e aprisiona a radiação de ondas longas irradiada pelas superfícies sob elas, impedindo que estas se resfriem mais rapidamente do que aquelas sem a presença de espécimes arbóreos. Isso implica em agravamento das condições térmicas sob o dossel das copas das árvores em termos de temperatura média radiante, o que pode a princípio, comprometer o conforto dos pedestres.

Por sua vez, no segundo, às 14h, o efeito observado é o contrário, com temperaturas médias radiantes alcançando diferenças entre os cenários de até  $-6,0^{\circ}\text{C}$  nas regiões onde a vegetação arbórea foi implantada. Esse efeito é atribuído principalmente à capacidade de reflexão e sombreamento fornecido pelas folhas das copas das árvores, que reduz drasticamente a incidência de radiação solar sob as mesmas. Por sua vez, o efeito de resfriamento evaporativo devido aos maiores níveis de transpiração em decorrência da maior quantidade de espécimes arbóreos na área em pouco contribui na redução da temperatura radiante, uma vez que se nota redução da umidade relativa do ar nesse período, conforme descrito anteriormente. Nota-se também certa influência nas regiões adjacentes aos locais onde foi possível adicionar os espécimes arbóreos, com impactos na temperatura média radiante mais constante e da ordem de  $3,33^{\circ}\text{C}$ . Como a temperatura média radiante é uma das variáveis que mais influenciam o conforto térmico, é de se esperar que durante o período diurno, apesar da elevação da temperatura do ar observada anteriormente, que a implantação favoreça o conforto térmico das pessoas que trafegam nessas regiões, especialmente devido aos elevados níveis de radiação solar observados nas regiões de clima tropical.

Figura 6 – Mapas cromáticos da diferença da (a) Temperatura média radiante ( $T_{mr}$ ) e (b) Velocidade do ar ( $v_a$ ) às 6h, 14h e 20h entre o Cenário Mais Verde e o Cenário Atual



Fonte: Autoria Própria

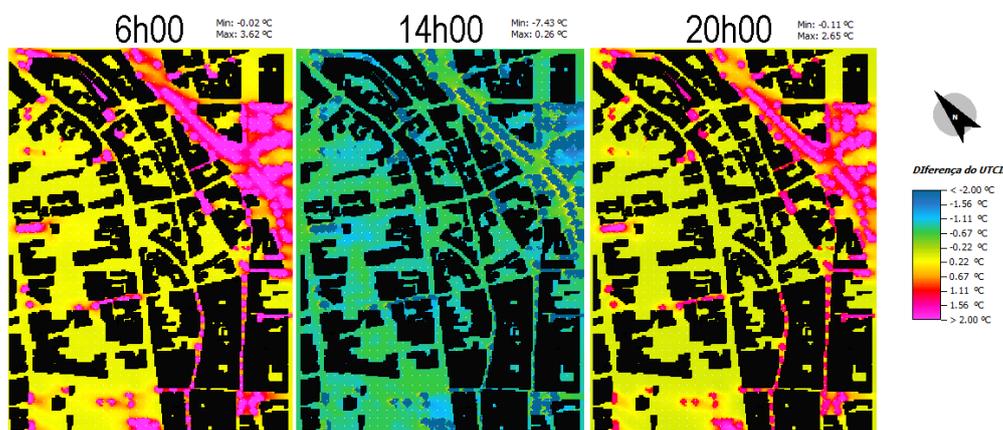
Devido a elevação da rugosidade superficial proporcionada pela estrutura da arborização (densidade de folhas e galhos e a presença do tronco), nota-se nos três horários pesquisados (6h, 14h e 20h) que a velocidade do ar se reduziu (Figura 6b). As diferenças entre os cenários são mais ou menos constantes, principalmente na região leste, com maior quantidade de espécimes implantados, na ordem 0,77m/s. Nos locais onde não houve implantação, as diferenças são praticamente nulas. A presença de árvores e vegetação, em geral, cria uma barreira física que interage com o fluxo do ar (LECHNER, 1990), com efeito dependente da morfologia da vegetação, especialmente relacionada à flexibilidade das folhas e galhos, entre outros parâmetros (CHAPMAN et al., 2015). Este fenômeno, conhecido como efeito de resistência ao vento, se manifesta quando o ar encontra obstáculos no seu percurso, levando a redução na velocidade do ar sob a copa das árvores (WARDOYO, SUPRANTI E WEDININGSIH, 2012). Porém, conforme constatado por Vogt e Oke (2003), esse efeito é apenas parcial. Em condições de baixa velocidade do vento, as correntes de ar conseguem penetrar através das copas. Por sua vez, quando a velocidade do vento aumenta significativamente, ocorre uma tendência de contorno do fluxo de ar ao redor das mesmas. O ar circulando por entre o corpo das pessoas é capaz de promover trocas térmicas convectivas, retirando calor e aliviando a sensação térmica. Nesse contexto, a redução observada pode comprometer o conforto térmico das pessoas que caminham sob as copas das árvores implantadas, apesar do impacto positivo observado na redução da temperatura média radiante.

### 3.2.3 Índice UTCI

Os mapas da Figura 8 representam a diferença entre as sensações térmicas estimadas por meio do índice UTCI para o Cenário Mais Verde e o Cenário Atual.

Durante o período noturno, observa-se que sensação térmica é mais influenciada pelas variáveis ambientais, uma vez que há a ausência de radiação solar direta. Às 20h e às 6h, nota-se elevação na sensação térmica estimada pelo UTCI, com valores superiores a 2°C no Cenário Mais Verde, principalmente à leste, demonstrado que nelas, configuram-se ambientes mais quentes do que no Cenário Atual. Esse comportamento indica que, devido a estrutura das copas das árvores (efeito guarda-chuva), o resfriamento radiativo noturno é menos pronunciado no Cenário Mais Verde, contribuindo para a elevação da sensação térmica por calor dos pedestres. Nos locais onde não se propôs implantações de novas arborizações, a diferença no UTCI é mínima, com diferenças próximas de zero, demonstrando que a influência da vegetação não se estende para além dos arredores das árvores. Nota-se que este comportamento está relacionado com aquele observado no mapa da diferença de temperatura média radiante, o que indica que o UTCI sofre influência direta dessa variável.

Figura 9 – Mapas cromáticos da diferença do Universal Thermal Climate Index (UTCI) às 6h, 14h e 20h entre cenário com implantação de espécimes e aquele com as condições atuais de vegetação.



Fonte: Autoria Própria

Por sua vez, às 14h, observa-se inversão de comportamento relatado para o noturno, em razão dos ganhos térmicos causados pela incidência de radiação solar sobre as superfícies. Assim, a reflexão e bloqueio da radiação solar devido à presença das folhas nas copas das árvores, apesar de elevar a temperatura do ar ambiente conforme constatado anteriormente, proporcionam sombreamento sob as copas, reduzindo a temperatura média radiante, e influenciam a sensação térmica, que se reduz em até 7,43°C se comparada a aquela sem a presença dos espécimes arbóreos. Esse comportamento ocorre mesmo com a estrutura das folhas e galhos bloqueando e reduzindo o fluxo de ar ao redor da arborização devido a maior rugosidade superficial, o que indica que a velocidade do ar tem impacto menos expressivo do que a temperatura média radiante na sensação térmica dos pedestres que estão sob a proteção das copas das árvores. Reduções menos expressivas na sensação térmica de até 0,67°C são observadas nas regiões ao redor dos espécimes arbóreos, decorrentes da diminuição da temperatura média radiante. Nesse sentido, apesar do pouco impacto na redução da sensação térmica e extensividade ao redor dos espécimes arbóreos, estes achados sugerem que um adequado posicionamento e espaçamento da arborização nas vias podem corroborar para a ambiência térmica dos pedestres quando estes se deslocam sob e entre as copas das árvores. Cabe destacar os edifícios podem também causar sombreamento, no entanto, como não houve modificação no gabarito dos edifícios entre os cenários pesquisados, os impactos são apenas decorrentes da implantação da arborização.

Cabe destacar que configuração proposta serve como um referencial a ser seguido (não sendo impositiva), podendo a gestão municipal, posteriormente, considerar outros espécimes como aquelas indicadas no Decreto nº 5.144 (CUIABÁ, 2012), uma vez que é benéfico se ter variedade de espécies arbóreas nos ambientes urbanos, principalmente as nativas. Caso as características dessas espécies sejam similares ao espécime genericamente considerado na simulação, os resultados desse estudo podem ser mantidos.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que a Instrução Normativa (IPHAN, 1994), em seu artigo 3º, visa manter as características e a ambiência da cidade colonial, vetando a inserção ou eliminação de qualquer elemento que altere a percepção do espaço tal como foi construído em tempos antigos - pois a esta espacialidade estão associados valores culturais -, sabe-se que a inserção de árvores em passeio público não seria permitida. Neste sentido, faz-se as seguintes considerações:

i) a simulação aqui proposta, referente ao cenário Mais Verde, distribuiu árvores ao longo das vias no perímetro de tombamento apenas como uma simulação, pois o software Envi-met v. 5.1 exige a locação dos indivíduos arbóreos nas áreas simuladas. Além disso, foi necessário simular um cenário com maior quantidade de árvores justamente para se comparar qual é a diferença, nesta região, entre a situação atual e uma situação com 11,1% a mais de árvores, que corresponde ao índice urbanístico mínimo previsto na legislação, para se ter clareza sobre o que foi perdido em termos de conforto térmico;

ii) a simulação proposta, através do cenário Mais Verde, levanta o debate que deve ser encarado e que, por vezes, surge para questionar o próprio tombamento federal: em tempos de emergência climática, é mais importante reflorestar ou conservar o patrimônio cultural em áreas de tombamento?

Colocada de tal forma, a questão se constitui como um falso dilema. É notório que um processo equivocado de uso e de ocupação do centro histórico vem colaborando para piorar o rigor climático de Cuiabá. Porém, é necessário que o debate considere possibilidades que podem contribuir para frear o aumento das temperaturas, como a desocupação e a

(re)permeabilização de partes de terrenos do centro, através de uma política de fiscalização eficiente sobre a percentagem de terreno permeável disposta em lei. Além disso, também é necessário que se traga para o debate a possibilidade de retirar a pavimentação asfáltica, conhecida por armazenar grande quantidade do calor que recebe, e restaurar, quando possível, a pavimentação antiga, em pedras, mais adequada ao clima e permeável; ou, ainda a utilização de pavimentação nova, adequada às necessidades de diminuição da temperatura, permeabilidade e compatibilidade com a conservação do patrimônio cultural, a exemplo dos pavimentos de blocos de concreto permeáveis (CALLEJAS et al., 2023). Dessa forma, evita-se que o desenvolvimento equivocado da cidade conduza a outra ação equivocada, que seria a descaracterização do espaço urbano de tradição colonial com a plantação de árvores em locais inadequados, como as vias públicas.

Diante disso, a implantação de espécimes arbóreas no interior do recorte de área inserida no Centro Histórico de Cuiabá-MT se mostrou bastante desafiadora em razão das restrições legais e urbanísticas impostas à esta região. Devido às características coloniais do tecido urbano e de suas dimensões de vias, que não atendem ao padrão geométrico mínimo estipulado pelo atual plano diretor da cidade, a disposição dos espécimes nas calçadas ficou restrita a locais onde a implantação não prejudicasse as características urbanas e os valores culturais do perímetro de tombamento nem a caminhabilidade dos pedestres. Também, devido as dimensões de copa do espécime arbóreo genérico selecionado para promover um adequado sombreamento nas calçadas, vários locais não puderam receber a arborização devido a interferência que ocasionariam nas edificações, em decorrência de seus gabaritos (mais de dois pavimentos). Esta realidade indica que a estratégia de esverdeamento do Centro Histórico pode não ser de simples implementação como se pensava quando se idealizou a pesquisa.

Apesar das dificuldades enfrentadas na disposição da arborização, a estratégia se mostrou benéfica para a região durante o período diurno em termos de redução na sensação térmica de calor para os pedestres, apesar das elevações na temperatura e decréscimos de umidade relativa do ar observado. O sombreamento proporcionado pelas copas das árvores tem expressivo impacto na temperatura média radiante, influenciando não só a sensação térmica abaixo, mas também ao redor das copas das árvores implantadas. Como consequência, notaram-se reduções de até  $7,5^{\circ}\text{C}$  de UTCI, o que equivale em reduzir a sensação térmica em quase uma classe na escala proposta para este índice, como por exemplo, de muito calor para calor, simplesmente por estar sob a copa das árvores nos horários mais críticos do dia. Por outro lado, durante o período noturno, a implementação dificulta a dissipação de ondas longas abaixo e no entorno imediato das copas, agravando a sensação térmica de calor para os pedestres em até  $2,65^{\circ}\text{C}$  de UTCI. Este fato pode comprometer o consumo de energia nas edificações adjacentes.

Como o impacto na sensação térmica se dá mais sob as copas e com pouca extensividade ao redor dos espécimes arbóreos, um adequado posicionamento e espaçamento da arborização nas vias devem ser idealizados e testados com vistas a aperfeiçoar a ambiência térmica dos pedestres quando estes se deslocam sob e entre as copas das árvores. Além disso, uma adequada seleção da arborização deve ser conduzida, dando preferência para espécies nativas com índice de área foliar capazes de refletir e bloquear a radiação solar e reduzir ao máximo possível a carga radiativa sobre o corpo humano, principal causa do desconforto térmico por calor.

É importante, ainda, ressaltar que os achados desta pesquisa são específicos para as condições do Centro Histórico de Cuiabá-MT e devem ser interpretados no contexto do estudo realizado. Outros fatores, como a densidade e o arranjo das espécies vegetais, a topografia local e a sazonalidade, também podem influenciar os padrões observados. Portanto, recomenda-se cautela ao generalizar os resultados encontrados para outras áreas ou situações.

No entanto, as descobertas apresentadas são relevantes para o entendimento do microclima urbano e podem subsidiar estratégias para um planejamento urbano sustentável e para adaptação às mudanças ao clima nas regiões de clima tropical.

Finalmente, numa discussão mais ampliada, vale a pena ressaltar que não existe incompatibilidade entre reflorestar e conservar o patrimônio cultural no perímetro de tombamento de Cuiabá. Antes de se colocar o debate em termos de opções dicotômicas e excludentes, é necessário que se reflita sobre a necessidade de desocupar e (re)permeabilizar partes de terrenos privados do centro histórico para se chegar às taxas previstas em lei, de substituir a pavimentação asfáltica por outro tipo permeável - seja recuperando a pavimentação antiga, quando possível, seja utilizando outro tipo de pavimentação adequada - e de identificar espaços públicos para a implantação de árvores na região tombada, de modo que não entrem em conflito com a conservação do patrimônio cultural.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à FAPEMAT pelo financiamento ao LAMINE (Laboratório Multiusuário de Inovação em Engenharia) por meio do Edital FAPEMAT N°. 009/2022 - Laboratórios Multiusuários de Mato Grosso (Processo: FAPEMAT.0001047/2022) e ao CNPq pela concessão de Bolsa de Iniciação Científica por meio da Universidade Federal de Mato Grosso.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES, A. K. et al. Avaliação do Conforto Urbano Sob a Influência da Vegetação na Cidade de Cuiabá-MT. *E&S Engineering and Science*, v. 6, n. 1, p. 106-121, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações - Partes 2: Componentes e Elementos Construtivos das Edificações – Resistência e Transmitância Térmica – Métodos de Cálculo**. Rio de Janeiro, 2022.

BARBOSA, E. C. **Influência da Vegetação nas Condições Microclimáticas em Ambientes Urbanos - Estudo de Caso Ilha do Fundão**, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/17306>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BLAZEJCZYK K., EPSTEIN Y., JENDRITZKY G., STAIGER H., TINZ B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *Int J Biometeorol*, v. 56, n. 3, p. 515–535, 2012.

BLAVIER, C. C. S., HUERTO-CARDENAS, H. E., ASTE, N., DEL PERO, C., LEONFORTE, F., DELLA TORRE, S. Adaptive measures for preserving heritage buildings in the face of climate change: A review. *Building and Environment*, v. 245, 2023, p. 110832. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110832>.

BRASIL. Decreto-lei n° 25, de 30 de novembro de 1937. **Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional**. Disponível em: <https://encurtador.com.br/blJCv>. Acesso em: 31 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Cultura. Portaria n° 10 de novembro de 1992. Disponível em: <https://encurtador.com.br/ThMZL>. Acesso em: 28 ago. 2024.

**BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Disponível em: <https://encurtador.com.br/EPtAG>. Acesso em: 24 jan. 2023.**

**BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm). Acesso em: 24 jan. 2023.**

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Uso do solo e temperatura superficial em área urbana. *Mercator*, v. 10, n. 23, p. 207-223, set./dez. 2011. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/579>. Acesso em: 31 mai. de 2024.

CALLEJAS, I. J. A., NOGUEIRA, M. C. J. A., BIUDES, M. S., DURANTE, L. C. Seasonal variation of surface energy balance of a central Brazil city. *Mercator*, v. 15, p. 85-106, 2016. <https://doi:10.4215/RM2016.1503.0006>.

CALLEJAS, I. J. A. et. al. Impacto da vegetação no microclima de pátios localizados em clima tropical. *Arquitextos*, São Paulo, ano 22, n. 263.05, Vitruvius, 2022.

CALLEJAS, I. J. A., KRÜGER, E. Microclimate and thermal perception in courtyards located in a tropical savannah climate. *Int J Biometeorol*, v.66, p.1877–1890, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02329-8>

CALLEJAS, I. J. A., KRÜGER, E., DURANTE, L. C. et al. Hygrothermal performance of traditional and pervious concrete pavements used in sidewalks: field experiments in the tropics. *Theor Appl Climatol*, v.154, p. 219–233, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04551-9>

CHAPMAN, J. A.; WILSON, B. N.; GULLIVER, J. S. Drag force parameters of rigid and flexible vegetal elements. *Water Resour Res*, v. 51, p. 3292–3302, 2015. <https://doi.org/10.1002/2014WR015436>

DI NAPOLI, C., MESSERI, A., NOVÁK, M., RIO, J., WIECZOREK, J., MORABITO, M., SILVA, P., CRISCI, A., PAPPENBERGER, F. The Universal Thermal Climate Index as an operational forecasting tool of human biometeorological conditions in Europe. In: Krüger E. L. (eds) *Applications of the Universal Thermal Climate Index UTCI in biometeorology. Biometeorol*, v. 4, p.193–208, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-76716-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-76716-7_10).

ENVI\_MET, 2022. Disponível em: <https://www.envi-met.com/>. Acesso em: 16 dez 2022.

FATORÍĆ, S., SEEKAMP, E. Are cultural heritage and resources threatened by climate change? A systematic literature review. *Climatic Change*, v. 142, p. 227-254, 2017. DOI: 10.1007/s10584-017-1929-9.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução: Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficinas de Textos, 2010. 248p.

GHAFFARIANHOSEINI, A., BERARDI, U., GHAFFARIANHOSEINI, A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates, **Building and Environment**, v. 87, p.154-168, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>

HASEHZADEH HASEH, R., KHAKZAND, M., OJAGHLOU, M. Optimal Thermal Characteristics of the Courtyard in the Hot and Arid Climate of Isfahan. **Buildings**, n. 8, p. 1-22, 2018.

HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **Int J Biometeorol**, n. 43, p.71–75, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Brasileiro de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO URBANO – IPDU. Patrimônio Histórico de Cuiabá. Disponível em: <https://encurtador.com.br/VOnU8>. Acesso em: 25 ago. 2024.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN. Instrução Normativa, de 1994. Regulamenta e estabelece normas para o Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico da Cidade de Cuiabá. Disponível em: <https://encurtador.com.br/U8OKt>.

KARDAN, O. et al. Neighborhood greenspace and health in a large urban center. **Scientific reports**, v. 5, n. 1, p. 11610, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep11610>.

LATORRACA NETTO, A., UGEDA JÚNIOR, J. C. O contexto ambiental e político da implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) na Cuiabá Cidade Verde: a retirada da vegetação do trecho para o projeto do VLT em Cuiabá, Mato Grosso (2.014). **Revista Contexto Geográfico**, v. 4, n. 8, p. 27–44, 2020. <https://doi.org/10.28998/contegeo.4i8.8944>.

LECHNER, N. **Heating, cooling, lighting: design methods for architects**. 2ª ed. Canadá: John Willey & Sons, 1990. 648 p.

MARTINS, D. P. Revisitando a Cuiabá nos encantos de Hercule Florence (1827). In: **História, Literatura e Sociedade: políticas, reflexões e memórias em pesquisa**. v. 1. p. 34. Editora Científica Digital, 2022.

MASCARÓ, L., MASCARÓ, J. L. **Vegetação Urbana**. 3ª. edição, Porto Alegre: Masquatro. 2005. 212 p.

NASCIMENTO, D. T. F., OLIVEIRA, I. J. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 113-127, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030>.

PINHEIRO, C. B., SOUZA, D. D. A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 67-82, 2017.

PREFEITURA DE CUIABÁ. Lei Complementar nº 516, de 18 de julho de 2022. **Dispõe sobre o Código de Obras do Município de Cuiabá**. Diário Oficial do Município de Cuiabá, Cuiabá, MT, 18 jun. 2022.

PREFEITURA DE CUIABÁ. Lei Complementar nº 389, de 03 de novembro 2015. **Disciplina o Uso e Ocupação do Solo no Município de Cuiabá**. Diário Oficial do Município de Cuiabá, Cuiabá, MT, 03 nov. 2015.

PREFEITURA DE CUIABÁ. Decreto nº 5144, de 12 de fevereiro de 2012. **Dispõe sobre a arborização pública na área urbana do município de Cuiabá-MT**. Diário Oficial do Município, Cuiabá, MT, 12 fev. 2012.

QUESADA-GANUZA, L., GARMENDIA, L., GANDINI, A. Do we know how urban heritage is being endangered by climate change? A systematic and critical review. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 65, 2021, p. 102551. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102551>.

ROSSETI, K. A. C., SCAFFI, M. H., CALLEJAS, I. J. A., DURANTE, L. C. Proposta metodológica para levantamento e configuração de Densidade de Área Foliar (DAF) para aplicação no software ENVI-met. **E&S Engineering and Science**, v. 8, n. 2, p. 35-46, 2019.

SOUZA, D. M., NERY, J. T. Análise da Temperatura, da Umidade e do Conforto Térmico no Município de Ourinhos. In: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 9, 2010, Fortaleza/CE. **Anais...** Ourinhos (CE): Universidade Estadual Paulista, 2010.

VOGT, J. A., OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climate. **Remote Sensing Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.

WASSOUF, M. **Da casa Passiva à norma PASSIVHAUS: A arquitetura passiva em climas quentes**. Tradução: Carla Zollinger. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014. 708p.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Lancaster, v. 63, n.11, p.1309-1313, 1982.

Souza, G. M. M.; Callejas, I. J. A.; Durante, L. C.; et al., Benefícios microclimáticos e de conforto térmico proporcionados pela implantação de vegetação arbórea na região tombada do centro histórico de Cuiabá-MT. *ES Engineering and Science*, 2024, 13:2.

WARDOYO, J., SUPRAPTI, A., WEDININGSIH, H. Vegetation Configuration as Microclimate Control Strategy in Hot Humid Tropic Urban Park. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 8, n.11, p. 5306-5310, 2012.

YANG, J. et al. The impact of tree species and planting location on outdoor thermal comfort of a semi-outdoor space. **Int J Biometeorol**, v. 67, p. 1689–1701, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02532-1>



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.