



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Uso da geotecnologia na dinâmica da vegetação do Parque Mãe Bonifácia em Cuiabá-MT

Denise Canedo Meira Vieira¹, Victor Hugo de Moraes Danelichen², Jonathan Willian Zangeski Novais³, Celso De Arruda Souza⁴

¹Universidade de Cuiabá, e-mail: canedodenise@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2781-2163> ²Universidade de Cuiabá - Unic, e-mail: danelichen@fisica.ufmt.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4791-3301> ³Programa de Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá (UNIC), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 78005-3004 ⁴Universidade de Cuiabá - Unic, e-mail: celso.arruda@unemat.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1161-9242>

Artigo recebido em 11/02/2023 e aceito em 12/03/2025

RESUMO

Diante da necessidade de obtenção de informações relacionadas ao microclima e a influência da vegetação dentro de um perímetro urbano na qualidade de vida dos seus habitantes, definimos como parâmetro biofísico a ser estudado nessa pesquisa o Leaf Area Index (IAF). Considerando que o Sensoriamento Remoto é uma tecnologia de baixo custo e de fácil aquisição, podendo ser obtidas gratuitamente via banco de dados disponíveis na Internet, verificamos se o sensoriamento pode ser utilizado como fonte confiável para o levantamento do Índice de Área Foliar (IAF). Este estudo tem como objetivo analisar a dinâmica da vegetação dentro de um parque urbano fazendo uso de dados gerados por sensoriamento remoto para analisar o IAF de modo a possibilitar a preservação e planejamento da vegetação nos espaços urbanos. Para tal, optou-se pelo uso de imagens Landsat-8, cujo alvo na superfície terrestre foi o Parque Mãe Bonifácia em Cuiabá-MT. Como parâmetro de comparação, utilizou-se dados de índice de área foliar coletados em campo em 30 pontos georreferenciados dentro do Parque Mãe Bonifácia no período de outubro de 2014 à setembro de 2015. A partir dos dados analisados, foi possível concluir que o ambiente vem sofrendo alterações constantes pela ação antrópica.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Espaços Urbanos; IAF.

Use of geotechnology in the dynamics of vegetation within a Mãe Bonifácia park in Cuiabá-MT

ABSTRACT

Given the need to obtain information related to the microclimate and the influence of vegetation within an urban perimeter on the quality of life of its inhabitants, we defined the Leaf Area Index (IAF) as the biophysical parameter to be studied in this research. Considering that Remote Sensing is a low-cost and easy-to-acquire technology, which can be obtained free of charge via databases available on the Internet, we will verify whether sensing can be used as a reliable source for surveying the Leaf Area Index (LAI). This study aims to analyze the dynamics of vegetation within an urban park using data generated by remote sensing to analyze the IAF to enable the preservation and planning of vegetation in urban spaces. To this end, it was decided to use Landsat-8 images, whose target on the Earth's surface was the Mãe Bonifácia Park in Cuiabá-MT. As a comparison parameter, leaf area index data collected in the field at 30 georeferenced points within Parque Mãe Bonifácia between October 2014 and September 2015 were used. From the data analyzed, it was possible to conclude that the environment has been undergoing constant changes due to human action.

Keywords: Remote sensing; Urban Spaces; IAF.

Introdução

O acelerado processo de crescimento urbano, a consequente alteração da paisagem e das características ambientais, principalmente nas grandes cidades, têm gerado uma série de problemas que se relacionam diretamente com a qualidade

ambiental e a qualidade de vida da população local (Santos et al., 2024; Tavares et al., 2021). Além disso, o aumento do número de pessoas nas áreas urbanas têm ameaçado os ecossistemas, pois a urbanização é comumente acompanhada pela selagem maciça do solo, densificação das áreas construídas, perda e degradação de espaços

verdes urbanos (De Arruda-Souza, et al., 2024a). As transformações nas superfícies do solo oriundas dos processos de urbanização intensa e acelerada tem sido apontado como o principal causador de mudanças climáticas nas cidades (Ferreira, 2019; Novais et al., 2018). Nesse sentido, a substituição de superfícies vegetadas por áreas impermeabilizadas – asfalto, concreto, cerâmica, dentre outros - no processo de formação das cidades, causam mudanças no equilíbrio do ambiente urbano, diminuindo a umidade provenientes dos processos de evapotranspiração, elevando as temperaturas do solo e consequentemente do ar, provocando alterações nas variáveis climáticas das cidades que geram efeitos como as ilhas de calor urbana (Marando et al., 2019; Zhang et al., 2018; Dai et al., 2018; Callejas et al., 2011). As mudanças climáticas impactam o balanço de carbono na vegetação dentro do Parque Mãe Bonifácia que é formado do Cerrado por diferentes estratos de vegetação, como árvores, arbustos, ervas e gramíneas (Gomes et al., 2022).

À medida que áreas urbanas estão aumentando a expansão em número e densidade populacional, favorece o surgimento de impactos ambientais e a degradação do meio. Tais resultados se manifestam na forma de retirada da vegetação natural, e sobrepondo área impermeáveis pela construção civil (Marando et al., 2019). Com a expansão urbana descontrolada, sobre a vegetação, observa-se a criação de comunidades, construídas sem observar a legislação vigente, muitas vezes construídas em áreas proibidas, sem um estudo de impacto ambiental (Lima et al., 2024). Além de gerar problemáticas em diferentes escalas, proporcionando alterações locais que contribuem para as mudanças climáticas, escassez de recursos naturais, contaminação de solo e de recursos hídricos, que podem comprometer também a saúde humana (Kamp et al., 2003). À medida que a urbanização continua a acelerar a uma taxa exponencial, há uma preocupação crescente em atingir as metas de sustentabilidade, por exemplo, reduzir as emissões de gases de efeito estufa, melhorar a habitabilidade urbana, otimizar o espaço público incentivando a mudança do uso do solo (Sanchez-Sepulveda et al., 2024). Com o avanço da urbanização como tendência em escala local, muitas bairros novos na região urbanas expandiram-se fisicamente, substituindo superfícies naturais por superfícies impermeáveis criadas pelo homem (Mahmoudzadeh et al., 2024). Esse processo reduziu a evapotranspiração, agravou a poluição ambiental e elevou a demanda energética (Nesticò et al., 2022). Além disso, o crescimento das populações urbanas e das economias baseadas em infraestrutura intensifica a demanda por terras para acomodar a expansão dessa infraestrutura (Nadrian et al., 2002).

O conhecimento do meio físico em áreas de expansão urbana, por parte do poder público deve monitorar essas mudanças e, para que haja um controle dos impactos ambientais gerados pela urbanização, os departamentos de planejamento nas cidades dependem de informações atualizadas sobre o uso do solo para planejar e tomar decisões políticas mais adequadas para o desenvolvimento de espaços residenciais, infraestrutura e a manutenção de espaços verdes urbanos que contribuem para melhor saúde e o bem-estar dos cidadãos (Fonteyn et al., 2024). Com a intensificação da urbanização, torna-se essencial compreender como planejar bairros habitáveis e de alta qualidade para atender ao crescente número de residentes urbanos (Mouratidis & Yiannakou, 2022).

Alguns projetos de urbanização pública, cujo objetivo principal é criar unidades habitacionais, não consideram situações importantes como localização, formas de acesso às escolas, centros urbanos, o que exigiria planejamento social e ambiental, e geram imediatamente dificuldades para a população envolvida, divergindo assim dos objetivos de desenvolvimento social das Nações Unidas, especialmente o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, voltado para cidades sustentáveis (Wang et al., 2024). Contribuindo com a (ODS) 13- ação climática; e 15- vida na terra (Sangha et al., 2024).

Uma alternativa de controlar os impactos ambientais causados pela urbanização é acompanhar estas mudanças através de sensoriamento remoto, cujo seu caráter sinóptico e a rapidez na aquisição de dados, destaca-se como uma técnica capaz de monitorar constantemente as mudanças em uma região (Wilkes, et al. 2024). Como a abordagem do sensoriamento remoto é de natureza genérica, permite a integração quase em tempo real de outros dados para otimizar, prever relacionamentos e processos complexos em sistemas urbanos heterogêneos, sendo que seu uso pode se estender a diversos setores como a indústria da construção, meio ambiente, logística ou seguro. Conforme Soares et al. (2020) é necessário o desenvolvimento de trabalhos que utilizem técnicas e métodos que permitam analisar os processos de degradação da paisagem nativa de uma região, de modo que este possa ser utilizado no estabelecimento de políticas e estratégias, cujo objetivo seja o desenvolvimento sustentável, sendo que o sensoriamento remoto pode ser aplicado em tal função ao computar o

índice de vegetação como o IAF e trazer informações sobre a vegetação do local em questão (Lewis et al., 2023).

O Índice de Área Foliar (IAF), derivado de diferentes informações do sensor, pode ser usado para detectar processos de densificação em pequena escala, alterações na cobertura de espaços verdes e em áreas urbanas, porém a gama de valores é diferente quando são consideradas estruturas urbanas altamente diversificadas com alta complexidade de vegetação verde com ruas não verdes, prédios ou solo descoberto (Santos et al., 2022). A vegetação desempenha um papel significativo no ciclo da água terrestre-atmosférica ao transpirar e tem um impacto considerável no fluxo de energia e nos ciclos de carbono no sistema terrestre, e o monitoramento da fenologia, estimativa pelo Índice de Área Foliar (IAF) pode detectar mudanças no clima e no uso e cobertura do solo (Aguirre-Gutiérrez et al., 2023).

A manutenção dos espaços verdes vem sendo justificada pelo seu potencial em realçar aspectos associados à qualidade ambiental, enquanto é provedora de serviço ecossistêmico que beneficia a vida da população local, ofertando os serviços na qualidade de vida pela manutenção das funções ambientais, sociais e estéticas (De Arruda-Souza et al., 2024b). Portanto a importância de se investigar os efeitos que a vegetação integrante dos parques, inserida na paisagem urbana, exerce sobre o microclima da cidade fazendo uso de ferramentas como o sensoriamento remoto, que disponibiliza informações em tempo real, de qualidade e gratuitas para serem utilizadas no desenvolvimento de uma investigação de parâmetros biofísicos em uma determinada região (Almeida et al., 2021; Biudes, et al., 2021; Teixeira et al., 2021).

Diante disso, o objetivo deste trabalho é investigar a utilização do sensoriamento remoto como ferramenta promissora nos estudos envolvendo parâmetros biofísicos dentro de uma unidade de conservação parque Mãe Bonifácia. Assim, acredita-se que existe a importância e a influência da vegetação dos parques dentro da paisagem urbana contribuindo com informações e dados que ajudem a orientar decisões referentes ao planejamento da cidade bem como a mitigação de problemas ambientais causados pela expansão urbana acelerada. Ao mesmo tempo, a unidade de conservação e a prestação de serviços ecossistêmicos estão em risco devido à mudança no uso do solo e à expansão urbana nessa região do município de Cuiabá, evidenciando a necessidade de políticas públicas integradas para esse sistema socioecológico (Sezerino et al., 2024). Além disso ter um unidade de conservação urbana com o Parque Mãe Bonifácia, que alocar diferentes espécies nativas tanto em

relação à flora quanto à fauna, ainda tem um papel significativo na cidade e é benéfico, muitas vezes direto, sobre a qualidade de vida da população (Souza, et al., 2024). Os inestimáveis valores dos serviços ecossistêmicos proporcionados pela vegetação do parque incluem o sequestro de carbono e a promoção de oportunidades de recreação para a população local no cerrado (Nolander & Lundmark., 2004). A gestão dos serviços ecossistêmicos em unidade de conservação, como o estoque de carbono, é essencial para a regulação climática (Feitosa et al., 2023). A dinâmica de captura e armazenamento de carbono está fortemente relacionada às alterações no uso e na cobertura do solo, sendo fundamental para mitigar essas mudanças a conservação das áreas verdes em espaços urbanos (Ferreira et al., 2023). A compreensão do funcionamento dos serviços ecossistêmicos por meio das variáveis ambientais em uma unidade de conservação, como o Parque Urbano, é essencial para fortalecer o planejamento de políticas públicas, considerando as constantes mudanças na estrutura da cidade de Cuiabá/MT, que afetam direta e indiretamente a dinâmica dos ecossistemas devido ao uso da terra para o crescimento urbano (De Arruda-Souza et al., 2024b).

Material e métodos

O trabalho foi estruturado em duas etapas principais. Na primeira, realizou-se a delimitação do limite cartográfico da unidade de conservação Parque Urbano Mãe Bonifácia, além do levantamento de dados climatológicos de temperatura do ar e precipitação do município de Cuiabá/MT. Em seguida, foi realizada uma visita à unidade de conservação para medições in loco do índice de área foliar (IAF). Após a coleta de dados em campo, procedeu-se ao processamento de imagens de satélite Landsat para a obtenção do IAF. Por fim, os dados foram analisados por meio de métodos estatísticos.

Área de Estudo.

O experimento ocorreu em um Parque Urbano no município de Cuiabá, capital Mato-grossense. Localizado na Região Centro Oeste do Brasil (15°36'36''S; 56°11'04''W), o Município de Cuiabá-MT possui uma área de unidade territorial de aproximadamente 3.267 km² sendo que 255 km² correspondem a macrozona urbana, cuja cobertura vegetal é predominantemente de cerrado (Santos et al, 2014).

O município de Cuiabá pertence ao clima Aw, denominado Tropical de Savana ou Tropical Semiúmido, segundo a classificação climática Koppen-Geiger, sendo caracterizado por uma estação seca que abrange o outono e inverno e uma estação úmida abrangendo a primavera e o verão. As máximas diárias de temperatura oscilam entre 30°C e 36°C e a média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais atingindo 1800 mm. O relevo da cidade é de baixa altitudes (80 a 300 m) e por isso sofre considerável aquecimento superficial que, somado as baixas frequências de velocidade dos ventos minimizando

as trocas térmicas por convecção, faz com que a influência do espaço construído sobre a temperatura seja mais acentuada (Novais et al, 2017).

Na unidade de conservação parque urbano Mãe Bonifácia foram demarcados estaquado e etiquetados trinta pontos (Figura 1), sendo estabelecidos de forma aleatória, buscando abranger a diversidade do parque, no que se referem suas características pertinentes a sua relação com o mosaico urbano (Andrade; et al., 2016).

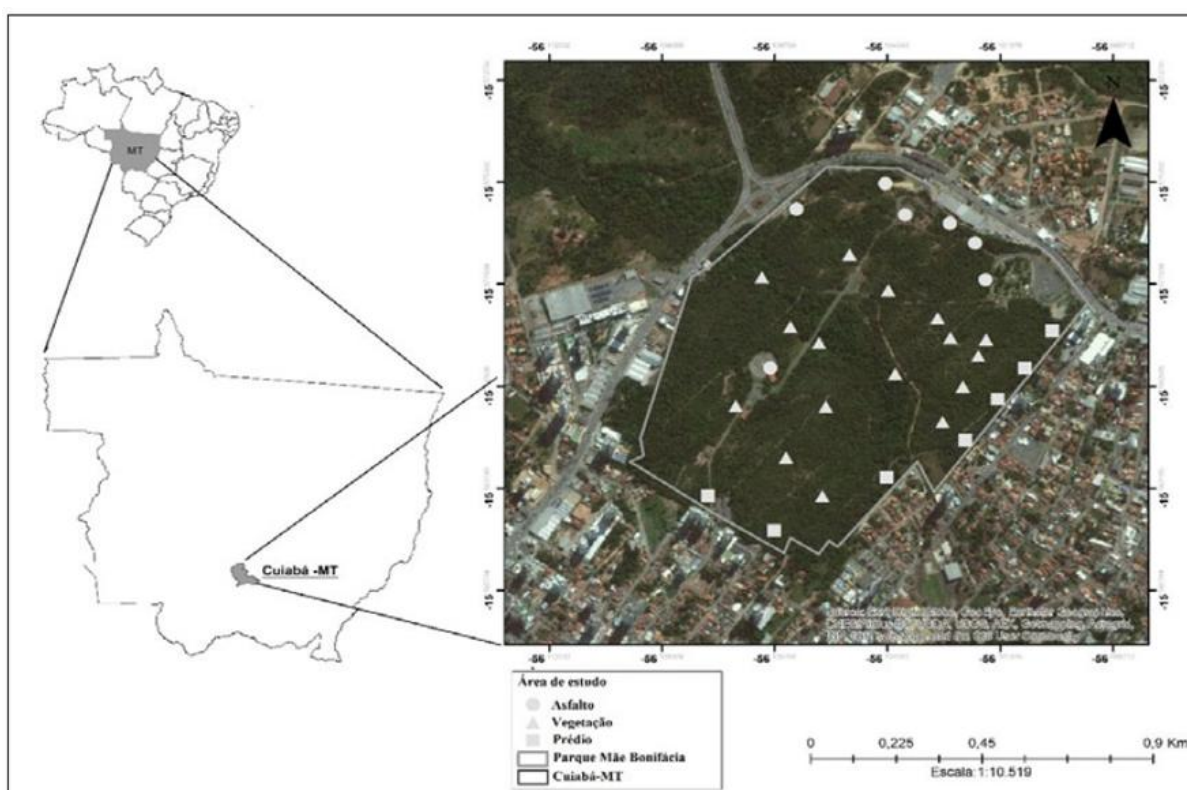


Figura 1. Distribuição dos pontos de medições: Pontos próximos ao asfalto (círculos), pontos próximos aos prédios (quadrado) e pontos em áreas vegetadas no interior do parque urbano Mãe Bonifácia em Cuiabá-MT (Triângulos).

Delimitação dos produtos cartográficos para a área de estudo.

Para caracterizar a área de estudo, foram utilizados os dados cartográficos de unidades de conservação. foram obtidos da plataforma da Base Cartográfica do (INTERMAT), na escala 1:1000.000, em formato *shapefile* referenciada ao Datum SIRGAS 2000, disponível em: <https://www.intermat.mt.gov.br/-/11303036-banco-de-dados-cartograficos?ciclo=>. Foi utilizado o ambiente software ArcGIS10.3 e processamento em lote utilizando linguagem Python 2.7 por meio do compilador Pythonwin.

Instrumentação e medições in loco do índice de área foliar.

Foram coletados dados de índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa incidente fora do dossel (PAR incidente), radiação fotossinteticamente ativa transmitida pelo dossel (PAR transmitida), transmitância do dossel, calculada pela divisão da PAR transmitida pela PAR incidente através o aparelho ceptômetro linear modelo (AccuPar) LP-80, o qual é constituído por um microprocessador datalogger que interpreta os sinais que chegam à haste metálica, denominada sonda, onde estão instalados os sensores que

detectam a radiação.

O ceptômetro linear modelo (AccuPar), cujo características encontram-se expressas no quadro 04, mede a radiação fotossinteticamente ativa, na faixa de comprimento de onda de 400 a

700 nm e os converte para índice de área foliar (Tabela 1). Os valores de radiação são expressos em micromols por metro quadrado por segundo ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Tabela 1- Informações técnicas do ceptômetro linear (AccuPar) LP-80

Dados Ceptômetro linear LP-80	
Capacidade de armazenamento de dados	1 MB RAM
Nº de sensores	80
Amplitude RFA	0 a 2.500 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Resolução	1 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Comprimento da barra	86,5 cm
Comprimento total	99 cm
Intervalo de registro desacompanhado	Entre 1 e 60 min
Sensor externo	Apogee SQ110

Fonte: Adaptado Meter Environment (2021)

Pré-processamento de imagens de satélite.

As imagens dos satélites Landsat (disponibilizadas para downloads em <<https://earthexplorer.usgs.gov>>) permitem que os usuários adquiram produtos como a reflectância no topo da atmosfera corrigida (Usgs, 2013). A órbita/ponto são: 226/071 para o parque urbano Mãe Bonifácia em Cuiabá-MT (Usgs, 2018).

Para abranger toda a área de estudo foram necessárias uma cena completa do satélite *Landsat 8 sensores Operacional Land Imager (OLI) e Infravermelho Térmico (IRS+)* (USGS, 2020). Para a seleção inicial das imagens de satélite teve como critério a correspondência mais próxima disponível às datas das medições de solo - outubro/2014 à setembro/2015. As imagens foram selecionadas nas datas 07/10/2014, 08/11/2014, 26/12/2014, 11/01/2015, 16/03/2015, 03/15/2015, 04/06/2015, 23/08/2015, 08/09/2015, em uma análise preliminar das imagens, foram descartadas as imagens que contaminadas por presença de nuvens que se apresentaram nos meses de fevereiro, abril e julho de 2015 (Inpe, 2019).

Processamento para obtenção do índice de área foliar (IAF).

O IAF foi estimado pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área projetada por essa vegetação, sendo o IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, equação (1):

Vieira, D. C. M., Danelichen, V. H. M., Souza, C. A.

$$\ln \frac{0,69 - IVAS}{0,59} \quad (1)$$

$$IAF = -0,91$$

Onde: IAF – índice de área foliar
IVAS – índice de vegetação ajustada para efeito de solo

O índice de vegetação ajustado para efeitos de solo (IVAS) é o índice de vegetação ajustado para efeito de solo proposto com a finalidade de reduzir os efeitos de background do solo, sendo calculado segundo equação (2).

$$IVAS = \frac{(1 + L)(\rho_{\lambda\lambda5} - \rho_{\lambda\lambda4})}{(L + \rho_{\lambda\lambda5} + \rho_{\lambda\lambda4})} \quad (2)$$

Onde: IVAS - índice de vegetação ajustada para efeito de solo.

L - Função da densidade da vegetação
 $\rho_{\lambda4}$ – Banda 4 do LANDSAT-8
 $\rho_{\lambda5}$ – Banda 5 do LANDSAT-8

A função da densidade da vegetação (L) e determinado a partir da quantidade de vegetação, sendo seu valor crítico na minimização dos efeitos das propriedades ópticas

do solo na reflectância da vegetação. Huete (1988) sugeriu um valor de $L = 0,5$ para variações de primeira ordem na imagem, como sendo um valor otimizado dessa reflectância.

Análise estatística.

A avaliação do desempenho da estimativa do IAF por sensoriamento remoto foi realizada por meio dos indicadores: raiz do erro quadrático médio (EMQ) (equação 4) e o erro médio absoluto (EMA) (equação 5). Ambas as expressões estão expostas abaixo:

$$EMEE = \sqrt{\frac{\sum (P_{ii} - O_{ii})^2}{n}} \quad (4)$$

$$EMA = \frac{\sum |P_{ii} - O_{ii}|}{n} \quad (5)$$

Onde: EMA – Erro médio absoluto
EMQ – Erro médio absoluto
 P_i – Valor estimado
 O_i – Valor observado

O EMA indica o afastamento (desvio) médio absoluto dos valores estimados em relação aos valores medidos e o EMQ indica quanto à modelo falha em estimar a variabilidade das medidas em torno da média e mede a variação dos valores estimados ao redor dos valores medidos (Willmott e Matsuura, 2005).

Resultados e discussão

Dados Climatológicos.

Duas estações são bem definidas na área urbana do município de Cuiabá, por meio dos dados de temperatura do ar e precipitação obtido pelo INMET, estação chuvosa de outubro de 2014 a maio de 2015 e seca de junho a setembro de 2015, representado na figura 2.

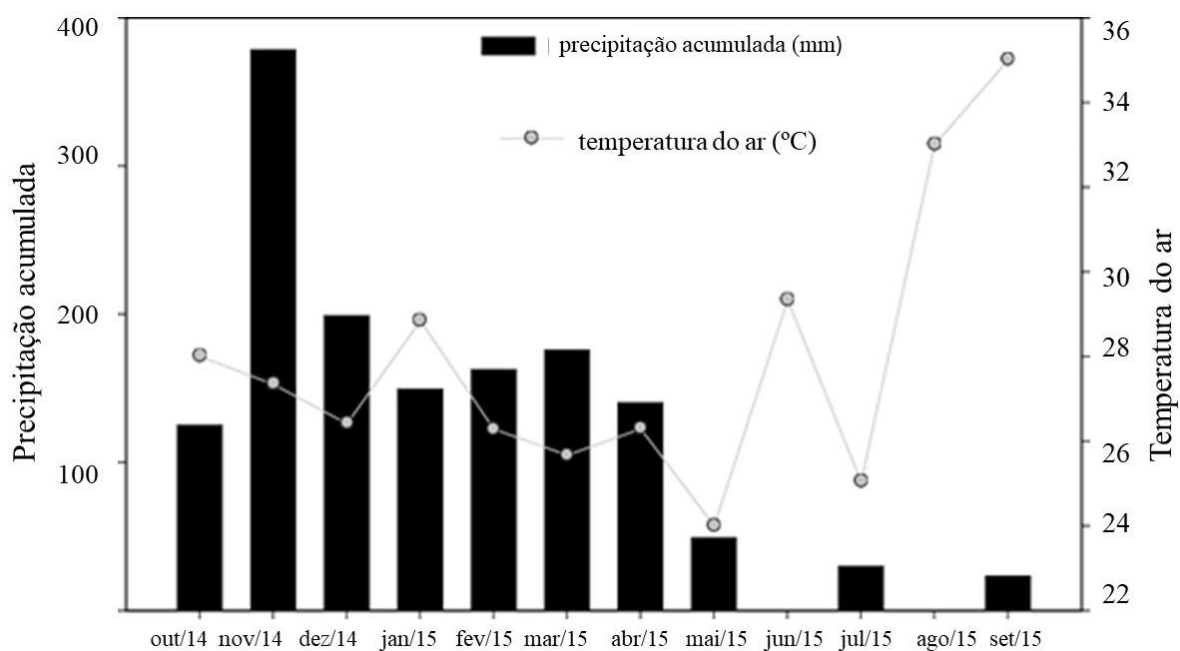


Figura 2 – Médias mensais de temperatura do ar (°C) e precipitação acumulada (mm) durante o período de outubro de 2014 a setembro de 2015 na área urbana do município de Cuiabá-MT. Fonte: INMET (2020).

Por outro lado, Carmo et al. (2023) identificaram nos períodos de 1996 a 2015, o inverno na estação seca na área urbana do município de Cuiabá, em período com maior frequência dessas frentes frias, que leva a queda na temperatura do ar, mas praticamente não geram precipitação. A estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a março

(primavera e verão), e a seca aproximadamente entre maio a setembro (outono e inverno) (Ferreira e Júnior., 2020). A precipitação nos meses do período seco é escassa, não sendo incomum não haver precipitação pluvial durante meses inteiros, e as médias mensais da temperatura do ar são elevadas no período seco

(Novais et al, 2018).

Observa-se que os meses em que houve maior precipitação tiveram as médias da temperatura do ar se mantiveram abaixo de 30°C nos meses em que houve maior volume de precipitação. Nos meses mais secos (junho, agosto e setembro do ano de 2015), onde a precipitação acumulada foi inferior a 25

mm, apresentaram as maiores temperaturas, sendo setembro de 2015 foi o mês que apresentou maior temperatura do ar com média de 35° C e agosto do mesmo ano foi o mês mais seco apresentando ausência de precipitação. Destaca-se também o mês de maio do mesmo ano, com menor média de temperatura, 24°C, sendo abril o mês março deste ano com maior acúmulo.

Conforme Almeida et al. (2021) mostraram temperaturas proporcionais às tipologias das classes de vegetação dentro da área urbana do município de Cuiabá, uma vez que menores intervalos foram registrados nas classes de Mata de Galeria, 27,99° a 30,38°C e Cerradão, 27,99° a 30,38 °C, seguida da classe Cerrado Stricto Sensu com intervalos de 27,04 a 28,23°C e 30,39 a 31,22°C em 2013 e 2020, respectivamente. Para a classe em área construída, as faixas são maiores de temperaturas, verificando 28,24 °C a 30,41 °C no ano de 2013 e 31,23 °C a 33,48 °C em 2020 (Almeida et al., 2021). Conforme Leite-Filho et al. (2024), desde a década de 1980, a estação chuvosa no Cerrado tem começado, em média, 36 dias mais tarde, acompanhada por uma redução de 36,7% na precipitação total e um aumento de 1,5 °C na temperatura do bioma. Essas alterações, como a redução das chuvas e o aumento das temperaturas máximas, ocorrem com maior frequência em regiões com ampla perda de vegetação nativa do Cerrado (Rodrigues et al., 2022).

Índice de área foliar.

O Índice de área foliar - IAF apresentou variação ao longo de todo período estudado, podendo ser observado pelos valores são apresentados em tons mais claros e valores menores em tons mais escuros, valores maiores. Da mesma forma Pedreira Junior et al. (2020), analisaram os parâmetros biofísicos da superfície em diferentes uso e ocupação da área urbana em Cuiabá, e os locais com maior quantidade de biomassa vegetal apresentaram os maiores valores de índice foliar e as áreas em uso urbano apresentaram menores valores. Isso também foi observado por Souza et al. (2019) na unidade de conservação Monumento Natural Morro de Santo Antônio, índice foliar no ano de 2006 os valores menores, enquanto no ano de 2015,

o índice foliar foi maior de em toda unidade de conservação. Em pesquisa realizada por Da Silva Arruda et al. (2023) encontraram no cerrado no norte de Minas Gerais uma variação de sazonalidade climática, na escala de tempo mensal, com os maiores valores no período chuvoso (68,79%) os menores no período seco (31,21%).

Observa-se a faixa retangular que corta o parque urbano Mãe Bonifácia ao meio faixa que há presença de vegetação arbóreas típicas do cerrado mato-grossense, possuem coloração verde, mais alta entre 2 a 3 metros, indicando que o índice de área foliar é maior durante os meses que correspondem à estação chuvosa e diminuíram durante os meses que correspondem à estação seca. As áreas de faixa branca alcançam IAF de máximos valores (superiores a 5 m²m⁻²). Esse tipo de vegetação, na faixa destacada, ocorre devido à presença de um pequeno córrego que corta o parque, possibilitando árvores mais densas.

Assim, as árvores nativas compensam as emissões de metano dos animais por meio do sequestro de dióxido de carbono. Além de promover o equilíbrio ecológico, as árvores desempenham um papel crucial na mitigação das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para o aumento da concentração de carbono (Martini Santos et al., 2024).

Observa-se, no histograma representado na figura 4, que o maior valor de percentual ocorreu nos meses da estação chuvosa, num intervalo de 0 a 3 m²m⁻², nos meses de dezembro de 2014, janeiro e março de 2015. Os meses que compreendem a estação seca é observado um intervalo de frequência dos pixels menores que na estação chuvosa, para o ano de 2015, onde grande percentagem dos pixels se encontra entre 0 a 1,2 m²m⁻² Essa relação foi encontrada por Gomes De Oliveira et al. (2022) utilizaram o índice de vegetação para analisar a dinâmica da vegetação no Vale do São Lourenço – MT, e a vegetação da área de estudo comportou-se de acordo com a disponibilidade de água no perfil do solo, com maiores valores do índice de vegetação na estação chuvosa e baixa atividade fotossintética na estação seca. Portanto o IAF estimados por sensoriamento remoto apresentam valores menores que os medidos em campo, mas a dinâmica dos ambos dados IAF são similares nos períodos de sazonalidade da região.

Na pesquisa de Li et al. (2024), é destacado que o índice de área foliar (IAF) é um parâmetro essencial da vegetação, representando a densidade foliar e a estrutura do dossel. Sua resposta às condições ambientais oferece valiosos

insights sobre a capacidade adaptativa da vegetação, bem como suas transformações naturais. O IAF é uma ferramenta essencial para compreender e modelar os processos climáticos e ecossistêmicos, especialmente na transição sazonal que marca o início e o término das estações de queda de folhas em florestas decíduas úmidas, decíduas secas, semi-perenes e no Cerrado (Behera et al., 2024). Ahmed et al. (2024), em seus resultados, elucidam as

complexas interações entre o IAF, as variações na temperatura da superfície e os padrões de crescimento da vegetação. O estudo demonstra como o IAF fornece informações valiosas sobre os mecanismos ambientais que influenciam a dinâmica dos ecossistemas locais. Os dados encontrados na dinâmica de crescimento da vegetação natural dentro do Parque Urbano Mãe Bonifácia estão apresentados na Figura 3.

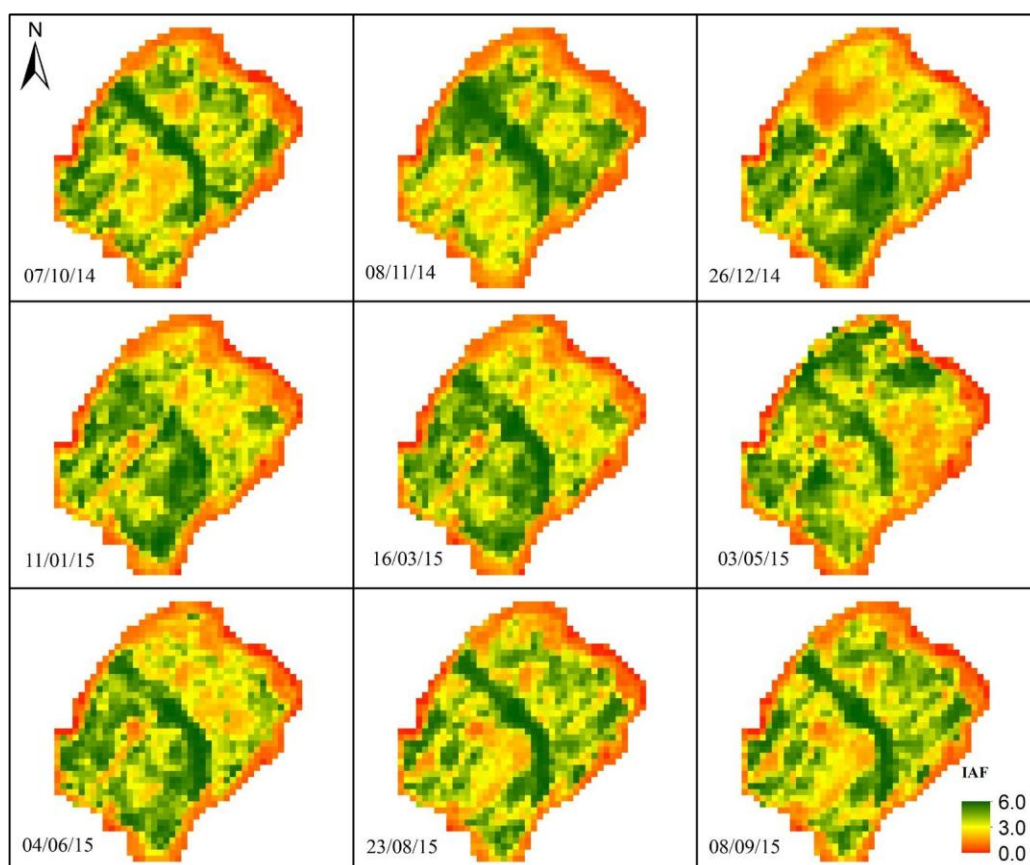


Figura 3 – Mapa do índice de área foliar (IAF) estimados por meio das refletâncias do LANDSAT-8 no parque Mãe Bonifácia durante o período de estudo.

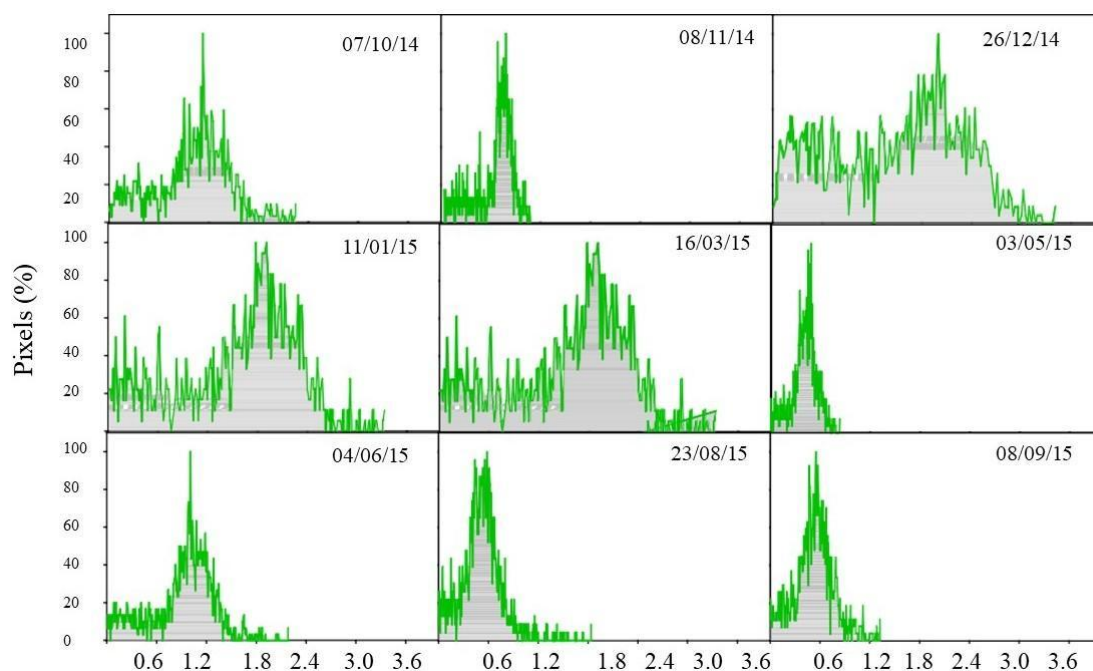


Figura 4 – Histogramas dos produtos de índice de área foliar (IAF) estimados por meio das refletâncias do LANDSAT-8 para a área de estudo.

Para análise exploratória dos dados de IAF do Landsat-8, fez um boxplot (Figura 5). A avaliação exploratória dos dados pelo diagrama de caixa de todo o parque, evidencia que os maiores valores de IAF são constatados no ano de 2015, com maior mediana no mês de abril, mês que corresponde a estação chuvosa e menores valores nos meses que correspondem a estação seca, com destaque ao mês de maio de 2015. Observa-se uma dinâmica similar em todos os pontos de coleta do índice de área foliar acompanhando a sazonalidade. De acordo com a pesquisa dinâmica sazonal e conservação das matas secas no cerrado em Jataí, Goiás, desenvolvido por Vailant. (2023) o cerrado é uma região de clima sazonal, com períodos de chuva e de seca, a quantidade de água disponível influencia diretamente na caducifolia, e a influência da precipitação aumenta cobertura das copas das árvores, elevando o IAF da vegetação do cerrado.

Conforme a sazonalidade de precipitação conhecida da região obtido pelo INMET, o período seco vai de abril a outubro, e a chuvosa vai de novembro a março, nota-se uma resposta no IAF com o início do período chuvoso em novembro de 2014, culminando em dezembro de 2014 com $6,5 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ de índice de área foliar. O IAF é determinante para a emissão da radiação fotossinteticamente ativa transmitida pelo dossel e sua transmitância, em que IAF menores permitem uma maior passagem de luz. O menor valor de IAF, $2,7 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$, ocorreu em setembro de 2015, no período seco. Os maiores valores de IAF ocorreram na estação chuvosa, quando ocorre a maior precipitação. Para Santos et al. (2023) encontram relação entre os índices e a

precipitação evidenciou uma variação significativa do período seco (julho) para o chuvoso (dezembro), em função da sazonalidade climática que corresponde a alta resposta e sensibilidade do índice a variabilidade hídrica no sistema. Os dados de precipitação mostram que a área de vegetação de Cerrado preservadas dentro do parque Chapada dos Veadeiros no estado de Goiás, apresentou uma alta sazonalidade e reflexo nos escores espectrais dos índices de IAF (Santos et al., 2023).

Nesse período chuvoso, a biomassa da vegetação é mais vigorosa e a radiação infravermelha é mais intensa no parque Mãe Bonifácia, enquanto na estação seca esses índices apresentam menores valores. Nos meses de fevereiro, abril e julho de 2015 não tivemos medições, pois as imagens de satélite desse período estavam contaminadas com nuvens impedindo a verificação de dados e cálculos aproveitáveis para o estudo em questão. De acordo com Pörtner e Belling (2022), a adaptação do ambiente urbano, da infraestrutura e dos residentes a desafios complexos, sem prejudicar a qualidade de vida, depende diretamente do manejo eficiente da água em períodos de escassez. Entre as estratégias, destaca-se a manutenção do suporte aos espaços verdes urbanos mesmo durante períodos de seca. Inclui, portanto, o reconhecimento do ciclo da água e a valorização do papel cada vez maior das soluções baseadas na natureza, que integram espaços verdes e infraestrutura no ambiente urbano (Sochacka et al., 2024). Essa abordagem

harmoniza o ambiente construído e o natural em uma cidade, englobando edifícios, ruas, áreas verdes

abertas e corpos d'água naturais (Kutty et al., 2024).

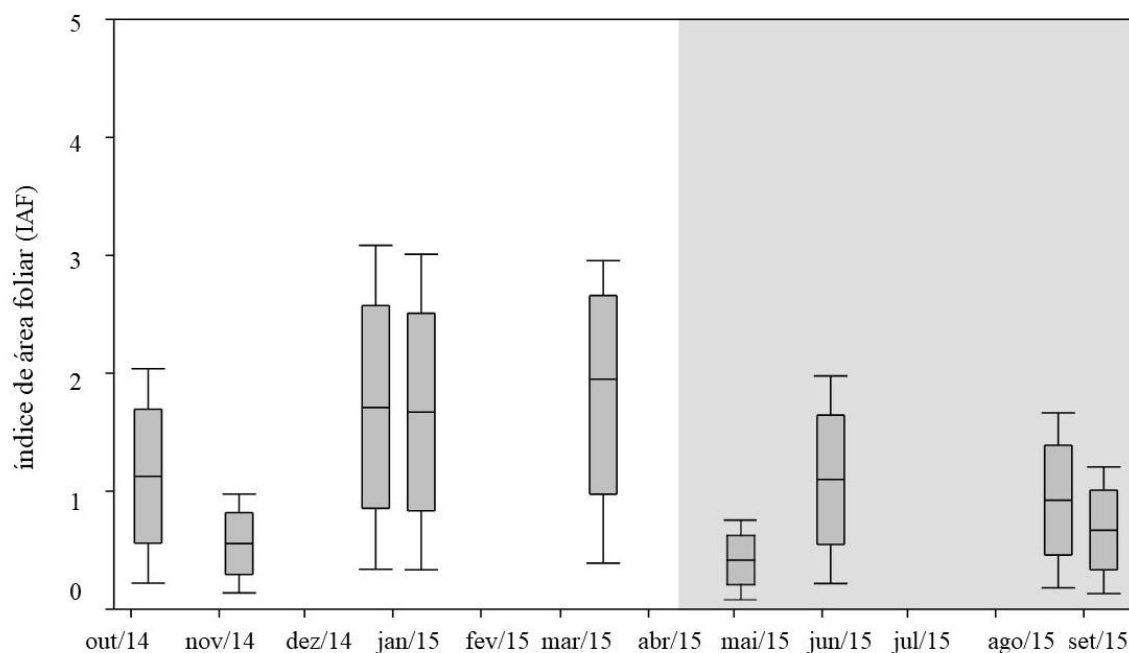


Figura 5 – Diagramas de caixa do índice de área foliar (IAF) estimado por meio das refletâncias do LANDSAT-8 sendo o fundo cinza a estação seca no parque Mãe Bonifácia.

As dinâmicas de diferentes IAFs podem afetar o comportamento do microclima do fragmento, a maior presença de folhas pode alterar tanto a umidade relativa do ar quanto temperatura do ar. Um maior IAF pode acarretar em uma maior evapotranspiração e assim influenciar nos fluxos, tanto de calor latente quanto de calor sensível, se configurando como uma das variáveis que pode

explicar o comportamento microclimático com variações espaço temporal no fragmento de cerrado. Quanto às análises estatísticas dos dados, a validação das estimativas do IAF por meio de sensoriamento remoto, modelo de Allen et al.(2002) e Gomes et al. (2021), e medido apresentaram indicadores plausíveis com altas correlações (Tabela 2).

Tabela 2 - Pontos de medição do índice de área foliar, coordenadas geográficas, erro médio absoluto (EMA), raiz do erro médio quadrático (EMQ), correlação de Pearson (r) e coeficiente de determinação (R2) dos valores de índice de área foliar medido e estimados por meio das refletâncias do Landsat-8 no Parque Mãe Bonifácia.

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	EMA	EMQ	r	R2
1	8277337	596478	5,27	5,72	0,92	0,85
2	8277227	596383	3,21	3,89	0,90	0,81
3	8277100	596293	3,58	4,14	0,92	0,85
4	8277125	596179	2,90	3,71	0,95	0,91
5	8277220	596201	2,02	3,01	0,90	0,80
6	8277373	596142	2,66	3,24	0,89	0,78
7	8277373	596245	3,99	4,70	0,80	0,64
8	8277418	596278	3,13	4,14	0,81	0,66
9	8277539	596206	3,68	4,09	0,82	0,68
10	8277518	596345	3,97	4,49	0,79	0,63
11	8277589	595990	2,44	3,40	0,92	0,85
12	8277385	595887	2,31	2,85	0,89	0,79
13	8277267	595907	2,66	3,26	0,84	0,70
14	8277266	596048	0,87	2,39	0,93	0,87
15	8276972	595844	2,11	2,82	0,98	0,95
16	8276963	595602	3,11	3,75	0,81	0,65
17	8277230	595570	2,39	3,01	0,95	0,91
18	8277449	595801	6,15	6,55	0,89	0,79
19	8277683	595804	5,24	5,82	0,79	0,63
20	8277806	595877	4,76	4,87	0,81	0,65
21	8277832	596058	3,09	3,15	0,82	0,68
22	8277720	596211	4,22	4,45	0,92	0,84

Fonte: Autor (2020)

Observamos que os coeficientes de correlação foram superiores a 0,79 e coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,63. Entre o IAF estimado pelo modelo de Allen et al. (2002) e medido pelo ceptômetro, o ponto (15) de mediação dentro do parque alcançou o maior coeficiente de determinação, enquanto, o menor erro médio absoluto foi encontrado no ponto mais próximo (14), próximo de zero, indicando concordância com as medições de IAF realizadas no parque urbano, ratificando os padrões observados.

Ressaltamos ainda que o equipamento ceptômetro Accupar é adequado para estimar o IAF ao longo de ciclo de cultura de produção agrícola, sem a necessidade de realizar a correção dos dados, afirma Carvalho et al. (2017). De fato que o método direto é pouco utilizados na vegetação do cerrado principalmente dentro parque urbano Mãe Bonifácia, apesar de serem mais precisos, também são mais trabalhosos; mas não a diferencia do método indireto por imagens de satélite que são mais rápidos, em geral utilizando a interceptação de luz pelo dossel, tornando-se uma alternativa para estimativa deste parâmetro de IAF.

Conclusão

O IAF medido e estimado por sensoramento remoto acompanhou a sazonalidade local, onde os maiores valores foram encontrados na estação chuvosa, o IAF estimado por sensoramento remoto apresentou intervalos diferentes de distribuição dos pixels entre cada estação, concordando com a dinâmica do IAF medido no parque urbano Mãe Bonifácia.

O IAF estimado por meio de sensoramento remoto é promissor, apresentando menores erros e coeficiente de determinação superior a 0,79 em toda área do Mãe Bonifácia. Portanto a interpretação de imagens de satélite e a escolha e análise dos índices IAF é uma fonte direta de se determinar a dinâmica dos processos envolvidos nas interações antrópicas, fornecendo subsídios para a compreensão dos fenômenos ambientais, além da possibilidade de planejamento estratégico no planejamento urbano.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento – 001, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá.

Referências

- Almeida, L. T. E., Ferreira, K. A. C., Teixeira, N. C., Marcilio, N. S. A., Almeida, G. A. G., Rausch, P. M., Severino, V., Danelichen, V. H. M., Seixas, G. B., 2021. Study of land use and land cover in the Mãe Bonifácia State Park in the City of Cuiabá-MT. *Research, Society and Development*, 10, 12, 1-22.
- Allen, R., Bastiaanssen, W., Wartes, R., Tasumi, M., Trezza, R. 2002. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL) manual, version 1.0.
- Aguirre-Gutiérrez, J., Stevens, N. Berenguer, E. 2023 Valuing the functionality of tropical ecosystems beyond carbono. *Trends in Ecology & Evolution*, 38, 1109 – 1111. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.08.012>.
- Ahmed, A.Y., Ali, A.M. & Ahmed, N. Temporal dynamics of leaf area index and land surface temperature correlation using Sentinel-2 and Landsat OLI data. *Environ Syst Res* 13, 43. (2024). <https://doi.org/10.1186/s40068-024-00371-6>
- Behera, M.D., Krishna, J.S.R., Paramanik, S. et al. Digital hemispherical photographs and Sentinel-2 multi-spectral imagery for mapping leaf area index at regional scale over a tropical deciduous forest. *Trop Ecol* 65, 258–270 (2024). <https://doi.org/10.1007/s42965-024-00327-y>
- Biudes, M.S., Vourlitis, G. L., Velasque, M. C. S., Machado, N. G., Danelichen, V. H. M., Pavão V. M., Arruda, P. H. Z., Nogueira, J. S., 2021. Gross primary productivity of Brazilian Savanna (Cerrado) estimated by different remote sensing-based models, *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108456- 108471. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108456>
- Carmo, E. L. I., Reboita, M. S., Marques, R., 2023. Evolução Temporal das Variáveis Atmosféricas associadas a Casos de Frentes Frias Fortes em Cuiabá, MT, entre 1996 e 2015. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16, 145–154.
- Callejas, I., Durante, L., Oliveira, A., Nogueira, M., 2011. Uso do Solo e Temperatura Superficial em Área Urbana. *Mercator*, 10, 207 - 223.
- Carvalho, H. D. S., De Moura, M. S. B., Da Silva, T. G. F., Silva, G., Rodrigues, C., 2017. Calibração do ceptômetro Accupar para determinação do índice de área foliar na cana-de-açúcar. *Sociedade Brasileira de Agrometeorologia*, 2, 1-20.
- De Arruda Souza, C., Oliveira Junior, E. S., Hacon, S. S., 2024a. Serviços Ecossistêmicos da

- Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física* 17, 178–198. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p178-198>.
- De Arruda Souza, C., Oliveira Junior, E. S., Souza Hacon, S. S., 2024b. Conceito de serviços ecossistêmicos: desdobramento na ciência e política. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 17, 4260–4277. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4260-4277>.
- Da Silva Arruda, V. L., Alencar, A. A. C., de Carvalho Júnior, O. A., de Figueiredo Ribeiro, F., de Arruda, F. V., Conciani, D. E., Shimbo, J. Z., 2024. Assessing four decades of fire behavior dynamics in the Cerrado biome (1985 to 2022). *Fire Ecology*, 20, 64–79. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00298-4>.
- Dai, Z., Guldmann, J. M., Hu, Y., 2018. Spatial regression models of park and land-use impacts on the urban heat island in central Beijing. *Science of the Total Environment*, 626, 1136–1147.
- Ferreira, H. V. L., Ugeda Júnior, J. C., 2021. Variação da temperatura da superfície através de imagens aster em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 1–20.
- Fonteyn, P., Daniels, S., Malina, R., Lizin, S., 2024. In plain sight: Green views from the residence and urbanites' neighborhood satisfaction. *Landscape and Urban Planning*, 245, 105021 – 105035. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105021>.
- Gomes de Oliveira, P. P., Scorpioni de Oliveira, D., Oliveira Filho, P. C., Delgado Martínez, R., Barúa Acosta, H. A., Santos Laroca, J. V., Miranda-de-Oliveira, M., 2022. Discriminação da cobertura vegetal em uma região do Cerrado mato-grossense por meio do índice de vegetação por diferença normalizada. *Investigación Agraria*, 24, 86–94.
- Gomes, R. de S. R., Danelichen, V. H. de M., Biudes, M. S., Velasque, M. C. S., de Figueiredo, J. M., Nogueira, J. S., 2021. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) framework in Graphics Processing Units (GPU) using Cuda and OpenCL. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 14, 1805–1814. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1805-1814>.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2019). Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER. 1 ed. São Paulo. Kabisch, N. Frantzeskaki N. Pauleit, S., 2016. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology And Society*, 21, 1–20.
- Lima, F. F. O., Konrad, O., & Feitosa, A. K. (2024). Process of urbanization and urban occupation and its environmental, social and economic impacts. *Observatório De La Economía Latinoamericana*, 22, 3281–e3281. <https://doi.org/10.55905/oelv22n2-13>.
- Li, G., Zhao, C., Liu, D., 2024. Spatial differentiation of the leaf area index in forests in ecological transition zones and its environmental response. *Eur J Forest Res* 143, 1307–1320 <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01682-0>
- Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Oliveira, U., & Coe, M., 2024. Intensification of climate change impacts on agriculture in the Cerrado due to deforestation. *Nature Sustainability*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01475-8>.
- Lewis, K., Barros, F. D. V., Moonlight, P. W., Hill, T. C., Oliveira, R. S., Schmidt, I. B., Rowland, L., 2023. Identifying hotspots for ecosystem restoration across heterogeneous tropical savannah-dominated regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 378, 1867 – 1883. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0075>
- Marando, F., Salvatori, E., Sebastiani, A., Fusaro, L., Manes, F., 2019. Regulating ecosystem services and green infrastructure: Assessment of urban heat island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy. *Ecological Modelling*, 392, 92–102.
- Martini Santos, F., Fernandes Magalhães, H., Marques de Lucena, C., Bezerra de Almeida Jr, E., Onésio Ferreira Melo, J., Graziela da Silveira, J., ... Farias Paiva de Lucena, R. (2024). Mudanças no uso da terra e seus impactos na conservação de *Dipteryx alata* Vog. no corredor extrativista do Cerrado em Mato Grosso do Sul, Brasil: uma revisão crítica. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 17(5), 3945–3959. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.5.p3945-3959>.
- Mahmoudzadeh, H., Abedini, A., Aram, F., & Mosavi, A., 2024. Evaluating urban environmental quality using multi criteria decision making. *Heliyon*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24921>.
- Mouratidis, K., Yiannakou, A., 2022. What makes cities livable? Determinants of neighborhood

- satisfaction and neighborhood happiness in different contexts. *Land use policy*, 112, 105855 – 105868.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105855>.
- Nascimento, S. T. M. F., Ribeiro, E. S., Sousa, R. A. T. M. E., 2013. Valoração econômica de uma unidade de conservação urbana, Cuiabá, Mato Grosso. *Interações (Campo Grande)*, 14, 79–88.
- Nadrian, H., Heizomi, H., Shirzadi, S., Moradi, M. S., Hajibadali, P., 2022. Exploring the dimensions of urban quality of life associated with urban traffic jam: The development and validation of an instrument. *Journal of Transport & Health*, 26, 101463 -101476.
<https://doi.org/10.1016/j.jth.2022.101463>.
- Nesticò, A., Passaro, R., Maselli, G., Somma, P., 2022. Multi-criteria methods for the optimal localization of urban green areas. *Journal of Cleaner Production*, 374, 133690 - 133705.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133690>.
- Novais, J.W. Z., Marques, A. C. A., Siqueira, A. Y., Reis, N. M. S., Pereira, S. P., Joaquim, T. D'O., Zangeski, D. S. O., 2018. Índice de Temperatura e Umidade (ITU) Visando o Conforto Térmico para o Parque Mãe Bonifácia, Cuiabá-MT. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 22, 69–75.
- Novais, J. W. Z., Gil, R. L., Melo, F. C. L., de Andrade, L. P., Pereira, O. A., Zangeski, D. D. S. O., 2017. Variação Espaço-Sazonal Termohigrométrica do Parque Urbano Mãe Bonifácia pelo Método da Krigagem. *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas*, 18(3), 252-257.
- Nolander, C., Lundmark, R., 2024. A Review of Forest Ecosystem Services and Their Spatial Value Characteristics. *Forests*, 15, 919 - 934.
<https://doi.org/10.3390/f15060919>.
- Oldoni, L. V., Cattani, C. E., Mercante, E., Johann, J. A., Antunes, J. F., Almeida, L., 2019. Annual cropland mapping using data mining and OLI Landsat-8. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23, 952-958.
- Pedreira Junior, A. L., Biudes, M. S., Machado, N. G., Arruda, A. G. R., dos Santos, L. O. F., Ivo, I. O., 2020. Efeito da Mudança da Cobertura em Parâmetros Biofísicos em Cuiabá, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 1324–1334.
- Pörtner, H. O., & Belling, D., 2022. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability: working group II contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge University Press*.
- Rodrigues, A. A., Macedo, M. N., Silvério, D. V., Maracahipes, L., Coe, M. T., Brando, P. M., ... & Bustamante, M. M., 2022. O desmatamento do Cerrado ameaça o clima regional e a disponibilidade de água para a agricultura e os ecossistemas. *Biologia da Mudança Global*, 28, 6807-6822.
- Santos, A. N., de Brito, L. P., de Siqueira, F. L. T., & Pinheiro Filho, I. S., 2024. Desafios e progressos: o impacto das políticas ambientais contemporâneas na conservação dos recursos naturais. *Revista Políticas Públicas e Cidades*, 13, 799-799.
<https://doi.org/10.37885/240616972>.
- Santos, J. B. G., de Souza Hacon, S., Silva Neves, S. M. A., 2023. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e seu uso no estudo da saúde humana: uma revisão de escopo. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 16, 1115–1144.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1115-1144>.
- Santos, Y. S., Matos Filho, J. C., Lopes, E. R. N., Souza, J. C., 2023. Avaliação da sazonalidade da cobertura vegetal da mocrorregião da Chapa dos Veadeiros (Goiás) por meio de índices de vegetação. *Revista Geoaraguaia*, 13, 1–17.
- Santos, F. M. M., Oliveira, A. S., Nogueira, M. C. J. A., Musis, C. R., Nogueira, J. S., 2014. Análise do clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil por meio de transectos móveis. *Paranoá, Brasília*, 11, 45-54.
- Sanchez-Sepulveda, M. V., Navarro-Martin, J., Fonseca-Escudero, D., Amo-Filva, D., & Antunez-Anea, F., 2024. Exploiting urban data to address real-world challenges: Enhancing urban mobility for environmental and social well-being. *Cities*, 153, 105275 - 105289.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105275>.
- Sangha, K., Ahammad, R., Russell-Smith, J., Costanza, R., 2024. Payments for Ecosystem Services opportunities for emerging Nature-based Solutions: Integrating Indigenous perspectives from Australia. *Ecosystem Services*, 66, 101600 – 101619.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101600>.
- Sezerino, F. S., & Tiepolo, L. M., 2024. Integrated indicators for the analysis of vulnerability in a socio-ecological system of the Atlantic Forest in southern Brazil. *Environmental Development*, 49, 100962 - 100982.
[10.1016/j.envdev.2023.100962](https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100962).
- Souza, C. A., Danelichen, V. H. M., Biudes, M. S., Silveira, S. W. G., 2019. Change in Biophysical Parameters from the Creation of a Natural

- Monument in Mato Grosso. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 11, 2427–2435. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.07.p2427-2435>.
- Souza, M. M. X., Agostini, G. B., Santos, G. A., Favalessa, C. M. C., Kanieski, M. R., & Milani, J. E. F., 2024. Diversidade florística e filtros edáficos em uma floresta urbana sob domínio do Cerrado, em Cuiabá, Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, 84, e 279583 - 279598. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.279583>.
- Soares, J., Danelichen, V. H. de M., Pereira, O. A., Martins, A. L., 2020. Estudo da dinâmica espaço-temporal do NDVI no Município de Sorriso-MT. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 13, 834–841.
- Sochacka, B. A., Renouf, M. A., Kenway, S. J., 2024. Water-related liveability assessment: Indicators for evaluation of urban design. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105103 - 105123. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105103>.
- Tavares, F. S. B., Bergier, I., Guaraldo, E., 2021. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços ecossistêmicos. *Interações (Campo Grande)*, 22, 103–114.
- Tarifa, J. R., 2011. Mato Grosso: Clima: Análise e Representação Cartográfica. Entrelinhas, Cuiabá-MT.
- Teixeira, N. C. T. C., Danelichen, V. H. M., Pereira, O. A., Seixas, G. B., 2021. Dinâmica de Queimadas no Município de Cuiabá-MT por Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 14, 607–618.
- USGS. The U.S. Geological Survey. (2018). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Ed. Geological Survey Open-File Report. South Dakota. Disponível: <https://dl.icdst.org/pdfs/files/2512b7ec8c34f3a7330e7fa339792e5e.pdf>. Acesso: 22 dez 2021.
- USGS. The U.S. Geological Survey. (2020). Landsat-8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide. EROS: South Dakota. Disponível: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-collection-1-land-surface-reflectance-code-product-guide>. Acesso: 22 dez 2021.
- Vailant, F.J.P., 2024. dinâmica sazonal e conservação das matas secas no cerrado utilização de geotecnologias para o estudo e manejo do bioma em Jataí, Goiás. *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia*, 15, 239–263.
- Kamp, I. V., Leidelmeijer, K., Marsman, G., & De Hollander, A., 2003. Urban environmental quality and human well-being: Towards a conceptual framework and demarcation of concepts; a literature study. *Landscape and urban planning*, 65, 5-18. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00232-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00232-3).
- Kutty, A. A., Wakjira, T. G., Kucukvar, M., Abdella, G. M., & Onat, N. C., 2022. Urban resilience and livability performance of European smart cities: A novel machine learning approach. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134203 - 134226. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134203>
- Wang, C., Liu, S., Feng, T., Liu, Y., Liu, Y., Hu, Z., ... & Mao, X., 2024. Is the assessment approach of Sustainable Development Goal 11.3. 1 justified? Evidence from the drivers of future urban land use efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 444, 141147 – 141158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141147>
- Willmott, C. J., Matsuura, K., 2005. Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Model Performance. *Climate Research*, 30, 79-82.
- Wilkes, L. N., Barner, A. K., Keyes, A. A., Morton, D., Byrnes, J. E., Dee, L. E., 2024. Quantifying co-extinctions and ecosystem service vulnerability in coastal ecosystems experiencing climate warming. *Global Change Biology*, 30, 17422 - 17435. <https://doi.org/10.1111/gcb.17422>.
- Zhang, X., Wang, D., Hao, H., Zhang, F., Hu, Y., 2017. Effects of land use/cover changes and urban forest configuration on urban heat islands in a loess hilly region: Case study based on Yan'an City, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 840.