



Avaliação da Cobertura Vegetal Urbana Utilizando Imagens do Satélite CBERS 4A

Luisa da Silva Geraldo¹, Ana Laura Campos Moraes², Carla Eloísa Diniz dos Santos³, Alex Garcez Utsumi⁴

¹Graduanda do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG, d201711237@uftm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-0510-0700>; ² Mestranda do Programa de pós-graduação em Ciência e tecnologia ambiental da UFTM, Uberaba-MG, analauracmoraes@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-2756-1448>; ³ Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba-MG, carla.santos@uftm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-5954-1026>; ⁴ Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba-MG, alex.utsumi@uftm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-8955-6050> (Autor correspondente)

Artigo recebido em 13/09/2024 e aceito em 03/12/2024

RESUMO

A falta de planejamento urbano e o crescimento populacional tem contribuído para a diminuição de áreas verdes nas áreas urbanas. O sensoriamento remoto tem ganhado espaço na realização do diagnóstico ambiental das cidades, porém são escassos os sensores gratuitos com resolução espacial adequada. O lançamento do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS-4A em 2019 ampliou as possibilidades de estudos ligados ao mapeamento urbano. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a distribuição da cobertura vegetal na cidade de Uberaba-MG em 2021, a partir do processamento de imagens do satélite CBERS-4A. Para cada bairro foram calculados seis índices de cobertura vegetal, os quais fornecem informações sobre a presença de cobertura arbórea e gramínea, bem como sua distribuição espacial e per capita. O satélite CBERS-4A mostrou-se eficaz para identificar a cobertura vegetal arbórea e gramínea, com acurácia global de 93%. A partir dos resultados, constatou-se que a cidade possui um valor médio de cobertura arbórea de 18,51 m²/hab, ficando acima do limite estabelecido pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. Já quando foi analisado apenas a taxa de cobertura vegetal, observa-se que a cidade apresenta um valor médio de 24,53%, ficando abaixo do limite de 30%. Além disso, constatou-se discrepâncias entre os bairros centrais e periféricos, indicando a necessidade de ações que promovam uma distribuição mais equitativa da cobertura vegetal na cidade. A seleção de diferentes índices para a avaliação da cobertura vegetal permitiu uma avaliação mais detalhada dos espaços verdes no contexto urbano de Uberaba.

Palavras-chave: Planejamento Urbano; Áreas Verdes; Cobertura Vegetal; Satélite CBERS-4A.

Urban Vegetation Cover Evaluation Using CBERS 4A Satellite Images

ABSTRACT

The lack of urban planning and population growth have contributed to the reduction of green areas in urban regions. Remote sensing has gained prominence in conducting environmental diagnostics in cities, but there is a scarcity of free sensors with adequate spatial resolution. The launch of the China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-4A) in 2019 has expanded the possibilities for studies related to urban mapping. This study aims to evaluate the distribution of vegetation cover in the city of Uberaba-MG in 2021, based on the processing of CBERS-4A satellite images. Six vegetation cover indices were calculated for each neighborhood, providing information on the presence of tree and grass cover, as well as its spatial and per capita distribution. The CBERS-4A satellite proved effective in identifying tree and grass cover, with an overall accuracy of 93%. The results showed that the city has an average tree cover of 18.51 m²/hab, above the threshold established by the Brazilian Society of Urban Arborization. However, when analyzing only the overall vegetation cover, the city has an average value of 24.53%, below the 30% threshold. Additionally, discrepancies between central and peripheral neighborhoods were identified, indicating a need for actions that promote a more equitable distribution of vegetation cover in the city. The selection of different indices for assessing vegetation cover allowed for a more detailed evaluation of green spaces in the urban context of Uberaba.

Keywords: Urban Planning; Green Areas; Vegetation Cover; CBERS-4A Satellite.

Introdução

O aumento significativo da densidade populacional nas regiões urbanas do Brasil tem como consequência a difusão de ocupações irregulares, acarretando uma diversidade de questões de ordem social, econômica e, sobretudo, ambiental. A ausência de um planejamento urbano adequado consolida uma interação prejudicial entre o ser humano e o meio ambiente, particularmente no que concerne à supressão de vegetação (Brito, 2021).

A presença da vegetação vem ganhando destaque nos últimos anos, principalmente ao se considerar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, editada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2015. Este documento estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem concretizados por países desenvolvidos e em desenvolvimento (Sotto et al., 2019).

Dentre os benefícios ambientais da existência de áreas verdes urbanas pode-se citar: redução da poluição atmosférica, conforto térmico, aumento na circulação do ar, redução de ruídos, possibilidade de abrigo para a fauna, auxílio na captação de águas pluviais, estabilização do solo por meio das raízes fixadas (Sousa et al., 2022). Além disso, sabe-se que a existência de áreas verdes urbanas está ligada ao lazer, inclusão social e a prática de atividades esportivas, interferindo diretamente na vida das pessoas e sendo consideradas indicadores de qualidade de vida (Campo et al., 2021).

Os estudos sobre áreas verdes urbanas abordam a diversidade de conceitos para definir essas áreas, bem como os diferentes métodos para quantificá-las. (Rocha & Nucci, 2019; Viezzer, 2022; Assis, 2023). Nesse sentido, o termo cobertura vegetal e áreas verdes são os mais utilizados para caracterizar a vegetação urbana. Nucci e Cavalheiro (1999) definem a cobertura vegetal como a projeção da vegetação nas cartas planimétricas, atribuindo um significado mais amplo, enquanto as áreas verdes podem ser indicadas como um tipo de espaço livre de construção.

Devido às variações conceituais, diversas são as formas de mensurar a vegetação urbana. Os índices são utilizados como indicadores de qualidade ambiental urbana, contribuindo para o melhor planejamento e recuperação de áreas verdes, a partir da detecção do comportamento

espectral da vegetação em relação ao solo e outros objetos do território (Andrade et al., 2018; Barros et al., 2020).

Um dos índices mais utilizados é o IAV (Índice de Áreas Verdes), relevante para a avaliação da situação dos espaços urbanos, consiste no cálculo da relação entre a área de espaços urbanos com cobertura vegetal e a densidade populacional da mesma (Nascimento et al., 2021). Outros índices válidos para diversas pesquisas são PAV (Percentual de Áreas Verdes), que expressa a relação entre a área verde total pela área do bairro a ser estudado, e o IAB (Indicador de Áreas Verdes por Bairro), que implica na divisão de áreas verdes do bairro pela área do mesmo, possibilitando uma análise mais específica por regiões da cidade.

Mais recentemente, o sensoriamento remoto vem sendo aplicado no diagnóstico ambiental de áreas urbanas, reduzindo os custos e o tempo de execução desses estudos, uma vez que a informação é captada à distância. Devido ao seu comportamento espectral distinto, a vegetação urbana vem sendo estudada com auxílio de diferentes tipos de sensores (Luchiari, 2011; Kunen et al., 2019; Cerqueira et al., 2021). O desenvolvimento de sensores remotos com melhor resolução espacial vem permitindo o mapeamento das áreas verdes com maior acurácia. No entanto, a maioria dos sensores de alta resolução não fornecem imagens gratuitas, dificultando sua utilização em larga escala.

O lançamento do satélite Sino-Brasileiro de Recursos terrestres (CBERS-4A), em dezembro de 2019, ampliou as possibilidades de estudos ligados ao mapeamento urbano de forma gratuita. O satélite CBERS-4A é equipado com três sensores de imagem avançados, cada um com especificações distintas adaptadas para várias modalidades de observação da Terra. A câmera multiespectral de alta resolução (WPM) atinge uma resolução espacial de 2 metros em sua configuração pancromática e 8 metros em sua configuração multiespectral, abrangendo uma área de cobertura de 92 quilômetros. Esse sensor específico é particularmente hábil no monitoramento de ambientes urbanos, paisagens agrícolas e ecossistemas aquáticos. Apesar disso, são poucos os estudos que utilizam dados do satélite CBERS-4A no diagnóstico da vegetação urbana.

A criação de áreas verdes nos centros urbanos exige planejamento e disponibilidade de

recursos, o que representa um desafio maior para as cidades de menor porte. A escassez dessas áreas tem se intensificado com o adensamento populacional, contribuindo para a impermeabilização do solo e gerando uma série de desequilíbrios ambientais. Entre os principais impactos, destacam-se o aumento das temperaturas e das precipitações, o que eleva o risco de enchentes e inundações (Andara Ramos, 2024).

Nesse contexto, estudos recentes indicam a escassez de áreas verdes na área urbana de Uberaba (MG), bem como a presença do fenômeno de ilhas de calor, devido a variação de temperatura em alguns pontos da cidade (Rodrigues, 2014; Novaes et al., 2021). O presente estudo avalia a hipótese de que as imagens do satélite CBERS-4A são capazes de identificar e quantificar com alta precisão a cobertura vegetal urbana. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade da utilização de imagens do satélite CBERS-4A para quantificar a cobertura vegetal de Uberaba, bem como compreender sua distribuição espacial.

Metodologia

Caracterização da área de estudo

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), Uberaba situa-se na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, localizada na latitude 19°45'1" S e

longitude 47°55'57" O. O município possui população de 337.846 habitantes, dos quais cerca de 98% residem em áreas urbanas e apresenta área de unidade territorial de 4.523,957 km², abrangendo uma área de transição entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado (IBGE, 2022). Uberaba está situada a 752 metros de altitude e apresenta clima tropical com duas estações bem definidas (IBGE, 2002).

O município é marcado por um elevado dinamismo econômico, sendo o segundo maior PIB da região, com destaque para os setores de serviços, indústria e agropecuária. A cidade apresenta uma infraestrutura sólida, com quase todos os imóveis conectados às redes de água, esgoto e energia elétrica. No entanto, enfrenta desafios urbanos, como a escassez de cobertura vegetal e a falta de espaços públicos de lazer adequadamente implantados. Mais da metade das áreas designadas para parques urbanos ainda não foi efetivada, permanecendo apenas no papel e constituindo vazios urbanos ociosos (Gomes, 2020).

A área de estudo (Figura 1) foi delimitada a partir do arquivo contendo o limite da cidade, disponibilizado pela prefeitura de Uberaba. Fez-se uma edição manual nos limites dos bairros periféricos, de modo que foram excluídas as regiões em que não havia habitações. Após a delimitação da área de estudo, os bairros foram divididos em duas regiões: central e periférica.

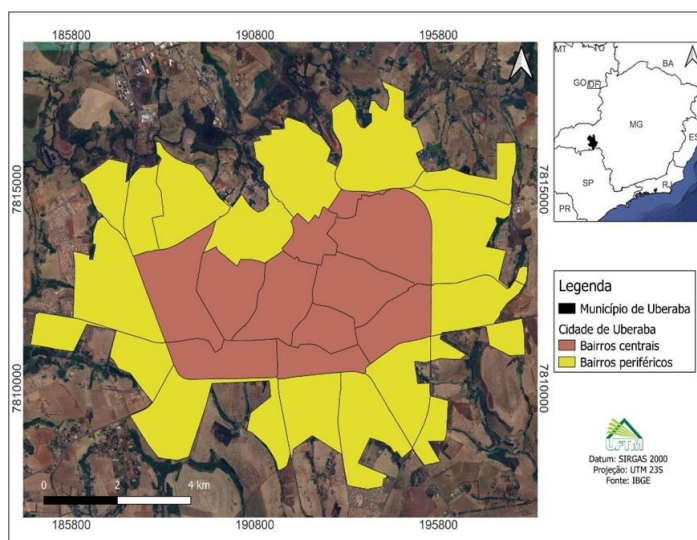


Figura 1. Localização do município de Uberaba-MG e representação da divisão das áreas de estudo centrais e periféricas.

Aquisição e processamento das imagens

Para a confecção do mapa de uso e cobertura do solo foram adquiridas imagens do satélite CBERS-4A (sensor WPM), em junho de 2021. Tais imagens foram disponibilizadas gratuitamente por meio do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O programa CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) foi desenvolvido em 1998 por meio de um convênio técnico-científico binacional entre Brasil e China, com participação INPE e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST) (INPE, 2024). Após a aquisição das imagens foi realizado o recorte nos limites da área de estudo e criada a composição colorida RGB 342. Posteriormente, foi realizado o processo de fusão de imagens, com a banda pancromática, possibilitando alcançar 2 metros de resolução espacial.

O mapa de uso e cobertura do solo foi confeccionado por meio da classificação supervisionada, realizada através do complemento SCP do Qgis. As seguintes classes foram escolhidas para o mapeamento: cobertura vegetal arbórea; cobertura vegetal gramínea; área urbana, composta por toda edificação, vias, calçadas e solo exposto presente na área de estudo; e água.

Assim, foram coletadas 50 amostras de cada classe para o treinamento do algoritmo Máxima Verossimilhança. Ao empregar as amostras de treinamento, o algoritmo de máxima verossimilhança determina a probabilidade de cada pixel na imagem estar associado a uma classe específica. Esse processo é executado considerando as características espectrais das amostras, incluindo atributos como cor, textura e várias características derivadas das bandas espectrais presentes nas imagens. Após a criação do mapa de uso e cobertura do solo, fez-se o cálculo da área correspondente a cada classe no software Qgis.

A avaliação da qualidade do mapeamento foi realizada com o auxílio do complemento Acatama do Qgis, sendo geradas 50 amostras aleatórias estratificadas para cada classe. Essas amostras foram interpretadas a partir da imagem CBERS-4A, bem como imagens do Google Earth Pro. Após a avaliação dos pontos foi gerada a matriz de confusão, informando a acurácia do

produtor, acurácia do usuário, acurácia global e índice Kappa (K).

A acurácia do produtor Equação 1 indica a frequência com que os pixels de referência de determinada classe foram classificados corretamente. Já a acurácia do usuário Equação 2 reflete a probabilidade de um pixel classificado realmente pertencer àquela classe. Por fim, a acurácia global, apresentada na Equação 3, é uma medida simples entre o total de acertos em relação ao total de entradas.

$$\text{Acurácia do produtor} = \frac{VP}{VP + FN} \quad (1)$$

$$\text{Acurácia do usuário} = \frac{VP}{VP + FP} \quad (2)$$

$$\text{Acurácia global} = \frac{VP + VN}{VP + FN + VN + FP} \quad (3)$$

Em que,

Verdadeiros Positivos (VP): áreas corretamente classificadas como pertencentes à classe de interesse;

Verdadeiros Negativos (VN): as áreas corretamente classificadas como não pertencentes à classe de interesse;

Falsos Negativos (FN): áreas erroneamente classificadas como não pertencentes à classe de interesse;

Falsos Positivos (FP), que representam as áreas erroneamente classificadas como pertencentes à classe de interesse.

Em contrapartida, o índice Kappa considera não apenas os elementos da diagonal principal, como na Acurácia Global, mas todos os elementos da matriz de erros. O coeficiente Kappa adota valor máximo 1, onde os valores mais altos apresentam melhores graus de concordância. O índice Kappa (K) pode ser determinado pela Equação 4.

$$K = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \quad (4)$$

Em que,

P0 = Acurácia Global;

Pc = proporção de unidades que concordam por casualidade, a qual é expressa pela Equação 5:

$$Pc = \frac{\sum_{i=1}^M n_i + n_{+i}}{n^2} \quad (5)$$

Em que,

M = número de classes;

n_{i+} = total de elementos classificados para uma categoria i;

n_{+i} = total de elementos de referência amostrados para uma categoria i;

N = número total de amostras.

O resultado gerado pelo índice Kappa pode ser interpretado a partir da Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do índice Kappa.

Estatística Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
0,1 < K ≤ 0,2	Ruim
0,2 < K ≤ 0,4	Razoável
0,4 < K ≤ 0,6	Bom
0,6 < K ≤ 0,8	Muito bom
0,8 < K ≤ 1	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

Índices de áreas verdes

Com o intuito de quantificar as áreas verdes presentes na área de estudo foram utilizados dois tipos de índices: a) os que consideram a quantidade de áreas verdes por habitante: Índice de Cobertura Arbórea por Habitante- ICAH (Equação 6), Índice de Cobertura Gramínea por Habitante- ICGH (Equação 7), e Índice de Cobertura da

Vegetação Total por Habitante- ICVTH (Equação 8) e, b) os que consideram apenas a porcentagem de área verde por área: Percentual de Cobertura Arbórea-PCA (Equação 9), Percentual de Cobertura Gramínea- PCG (Equação 10) e Percentual de Cobertura da Vegetação Total- PCVT (Equação 11).

$$ICAH = \frac{\text{Cobertura Vegetal Arbórea (m}^2\text{)}}{\text{N}^\circ \text{ de habitantes}} \quad (6)$$

$$ICGH = \frac{\text{Cobertura Vegetal Gramínea (m}^2\text{)}}{\text{N}^\circ \text{ de habitantes}} \quad (7)$$

$$ICVTH = \frac{\text{Cobertura Vegetal Total (m}^2\text{)}}{\text{N}^\circ \text{ de habitantes}} \quad (8)$$

$$PCA = \frac{\text{Cobertura Vegetal Arbórea (m}^2\text{)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad (9)$$

$$PCG = \frac{\text{Cobertura Vegetal Gramínea (m}^2\text{)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad (10)$$

$$PCVT = \frac{\text{Cobertura Vegetal Total (m}^2\text{)}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad (11)$$

Os cálculos dos índices e percentuais de cobertura vegetal foram realizados separadamente para cada um dos bairros do município. Além disso, foram calculadas as somas totais para os setores central e periférico, bem como para a área total da cidade. Os valores de cobertura arbórea e gramíneas foram extraídos a partir do mapa de uso e cobertura do solo. A quantidade de habitantes por bairro foi estimada a partir dos dados obtidos no plugin do IBGE no software Qgis, o qual fornecia informações para o ano de 2010. Para obter os dados de habitantes por bairro em 2021 foi realizada uma estimativa considerando o número total de habitantes em 2021, fornecido pelo IBGE (2022).

Resultados

Classificação do uso e cobertura do solo

A Figura 2 exhibe o resultado da classificação supervisionada a partir das imagens

do satélite CBERS 4A. O pixel do satélite CBERS 4A, com 2m de tamanho, possibilitou a separação efetiva das classes de uso do solo, permitindo a distinção satisfatória entre a cobertura vegetal arbórea e a gramínea. Em relação à área total de estudo, foram quantificados 2103 hectares de cobertura vegetal, o que representa 27,52% do território. Dentro da área vegetada, 34% são cobertos por vegetação arbórea, enquanto 66% são preenchidos por vegetação gramínea.

Costa et al. (2012) também utilizaram imagens de alta resolução para avaliar as áreas verdes em três subprefeituras de São Paulo (Mooca, Sé e Pinheiros) e obtiveram valores de copas de árvores inferiores a 10% da área em todas as regiões. Os referidos autores, ao realizar testes com as imagens dos satélites Ikonos e Quickbird, observaram que existia grande diferença nos resultados de acordo com a combinação de bandas escolhida, sendo que as bandas azul, vermelho e infravermelho próximo se mostraram mais adequadas. Nesse sentido, o sensor WPM do satélite CBERS 4A, utilizado no presente trabalho, se mostrou adequado para estudos de áreas verdes urbanas uma vez que possui as bandas azul, vermelho e infravermelho próximo, além da banda pancromática e a banda verde.

Os dados obtidos a partir da avaliação da acurácia (Tabela 2) comprovam que a classificação obteve um valor do índice Kappa considerado “Muito Bom” de acordo com Landis e Koch (1977).

Especialmente as classes com cobertura arbórea e gramíneas obtiveram os maiores valores de acurácia do produtor e do usuário, indicando boa capacidade de detectar as áreas verdes existentes e, ainda, com pouca confusão entre essas classes. A classe água apresentou o menor valor de acurácia do usuário, devido à confusão com a classe área urbana. Esse erro foi causado pela similaridade da resposta espectral das amostras de água e sombra.

É importante destacar que a acurácia calculada no presente estudo está relacionada à identificação das classes de uso e cobertura do solo. Desse modo, a análise da acurácia posicional das imagens CBERS-4A não fez parte do escopo desse estudo. No entanto, Souza et al. (2023) constataram que as imagens do satélite CBERS-4A são compatíveis com a escala 1:25.000, viabilizando a utilização dessas imagens para o presente trabalho.



Figura 2. Mapa de uso e cobertura do solo da cidade de Uberaba.

Tabela 2. Resultados da avaliação da acurácia da classificação supervisionada das imagens CBERS-4A.

Uso do solo	Área (ha)	Acurácia do usuário	Acurácia do produtor
Cobertura Vegetal Arbórea	748,87	90%	90%
Cobertura Vegetal Gramínea	1.577,97	80%	89%
Área Urbana	5.843,15	97%	71%
Água	16,06	38%	100%
Acurácia Global		93%	
Coeficiente Kappa		72%	

Índices de áreas verdes

A Tabela 3 exibe os valores dos índices de cobertura vegetal obtidos para os bairros centrais da cidade de Uberaba. Conforme observado, houve grandes discrepâncias entre os resultados entre os bairros. A média do Percentual de Cobertura Vegetal Total (PCVT) para essa região foi de 19,13%, sendo a maior parte desse valor proveniente da vegetação gramínea. Em contrapartida, o bairro Parque das Américas foi o único que apresentou mais porcentagem de cobertura arbórea que gramínea.

Oke (1972) estabeleceu o valor de 30% como limiar mínimo de cobertura vegetal para se ter uma qualidade de vida melhor nas cidades. Apenas o bairro Aeroporto conseguiu atingir esse limiar, apresentando 45,50% de cobertura vegetal total. No entanto, observa-se que a maior parte dessa cobertura vegetal é gramínea. Já o bairro Centro apresentou a pior porcentagem de cobertura vegetal (9,41%) e, ainda, com baixa cobertura arbórea por habitante 7,43 m²/hab. Tal resultado está associado ao crescimento acelerado e a falta de planejamento ambiental urbano que deu espaço a grande quantidade de edificações, comércios e vias.

Apesar do bairro Centro apresentar valores abaixo dos limiares mínimos recomendados de cobertura vegetal e cobertura arbórea por habitante, *Geraldo, L. S., Moraes, A. L. C., Santo, C. E. D., Utsumi, A. G.*

nota-se que a mesma apresenta valores superiores ao centro de outras cidades. Nesse sentido, o Centro de Santa Maria (RS) apresenta 7,2 % de cobertura vegetal e 6,51 m²/hab (Rocha et al., 2005) bem como Porto alegre, com valor percentual de cobertura vegetal de 8,02% e um índice de cobertura arbórea (ICAH) de 4,65 m²/hab. Monteiro (2023) determinou um índice de cobertura vegetal de 8,75 m²/hab para a região central do município de Cariacica, no Espírito Santo. Já Belo Horizonte apresentou valores superiores a Uberaba no bairro Centro, com 12,57% de PCVT, e um índice de cobertura vegetal de porte arbóreo de 15,68 m²/hab (Pereira et al., 2010).

A proporção predominante de cobertura arbórea em ambientes urbanos é crítica para a regulação da dinâmica térmica, a mitigação de ilhas de calor e a melhoria da qualidade do ar por meio da assimilação de poluentes atmosféricos. Além disso, as árvores desempenham um papel fundamental na retenção de água, aliviando assim os riscos de inundações e promovendo o aumento da biodiversidade, oferecendo habitats propícios a várias espécies. Em contraste com as gramíneas, que exercem uma influência ecológica comparativamente reduzida, as árvores também fornecem vantagens adicionais, como o alívio do estresse, e contribuem significativamente para o

estabelecimento de um ambiente urbano mais sustentável e esteticamente agradável.

A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) recomenda um valor mínimo de 15 m² de áreas verdes públicas por habitante. Nesse sentido, sob a perspectiva do ICAH, os bairros centrais apresentam uma média próxima do mínimo recomendado pela SBAU, pois apresentaram um valor médio de 14,31 m²/hab. No entanto, essa distribuição não é equilibrada, de modo que apenas três bairros superaram o limiar da SBAU.

Conforme observado na Tabela 4 os bairros periféricos apresentam índices mais discrepantes em relação aos bairros centrais, principalmente aqueles relacionados com a densidade populacional. Nesse sentido, essa região apresenta alguns bairros com um baixo número de moradores, implicando em valores de ICAH acima de 100 m²/hab. Caso esses bairros fossem excluídos do cálculo dos índices de áreas verdes, o ICAH médio dos bairros periféricos seria de 22,71 m²/hab, tornando-se mais realista. Esse valor médio indica que essa região está acima dos limites mínimos da SBAU.

Em relação aos índices relacionados com a cobertura vegetal, também se notou o predomínio de cobertura gramínea nessa região em todos os bairros. A média do PCVT para essa região foi de 29,94%, ficando próxima ao limite mínimo estabelecido por Oke (1972). No entanto, nota-se que os bairros Residencial 2000, Amoroso e Santa Clara apresentaram o percentual de cobertura arbórea abaixo de 2%, mostrando a necessidade do plantio de mais árvores.

Gomes (2020) destaca que nas áreas periféricas de Uberaba, embora haja diversos espaços públicos demarcados para criação de parques, estes se encontram muitas vezes abandonados. O autor constatou que mais da metade das áreas verdes que se tornariam parques na cidade não estão definitivamente implantados. Ainda, as áreas verdes existentes não foram planejadas para se conectarem como um sistema. Dessa forma, é importante considerar não apenas a *Geraldo, L. S., Moraes, A. L. C., Santo, C. E. D., Utsumi, A. G.*

cobertura vegetal existente, mas o uso atribuído à respectiva área.

A Figura 3 exibe a distribuição espacial do Percentual de Cobertura Vegetal Total (PCVT) e do Índice de Cobertura Arbórea por Habitante (ICAH), calculados para todos os bairros da cidade de Uberaba. A partir da espacialização dos dados é possível observar que a adoção de um determinado parâmetro de análise pode influenciar no diagnóstico das áreas verdes. Nota-se que a maioria dos bairros atendem ao mínimo de cobertura arbórea por habitante estabelecido pela SBAU. Já quando são analisados os dados de PVCT, nota-se que apenas três bairros superaram a meta de 30% de cobertura vegetal.

Ao analisar o ICAH médio para toda a cidade, nota-se que Uberaba possui um valor médio de 18,51 m²/hab. Esse valor foi calculado excluindo os cinco bairros que apresentavam baixa densidade demográfica, de modo a não comprometer a análise de todos os bairros. Mesmo após essa exclusão, o ICAH médio da cidade está situado em um limiar superior ao mínimo de 15 m²/hab.

Por outro lado, a média do índice de cobertura vegetal para toda a cidade de Uberaba foi de 24,53%, ficando abaixo do estabelecido por Oke (1972). Resultado similar foi encontrado por Paiva et al. (2022), ao utilizar imagens Landsat 8 para analisar a distribuição espacial das áreas verdes em Fortaleza (CE). Os autores afirmam que cerca de 25% do território é coberto por vegetação, sendo 36,45% por esta cobertura referente à vegetação arbórea e 63,54% com vegetação menos densa. Kunen et al. (2019) também se basearam no limiar de 30% de cobertura vegetal para analisar o município de Pato Branco (PR) a partir de imagens de satélite. Os autores constataram que mesmo havendo aumento da população em 140% entre 1980 e 2016, a cobertura vegetal subiu de 20% para 24,33% no mesmo período.

Tabela 3. Índices de Cobertura Arbórea, Gramínea e Vegetação Total; e Percentual de Cobertura Arbórea, Gramínea e Vegetação Total para os Bairros Centrais.

Bairros Centrais	ICAH (m²/hab)	ICGH (m²/hab)	ICVTH (m²/hab)	PCA (%)	PCG (%)	PCVT (%)
Abadia	8,15	14,76	22,91	6,23	11,28	17,51
Aeroporto	43,06	148,35	191,41	10,24	35,26	45,50
Boa Esperança	6,48	14,65	21,13	4,38	9,90	14,28
Centro	7,43	8,95	16,38	4,27	5,14	9,41
Costa Teles	6,71	14,76	21,47	5,86	12,89	18,75
Estados Unidos	30,22	39,70	69,92	12,72	16,71	29,43
Leblon	7,44	9,86	17,30	6,03	7,99	14,02
Parque das Américas	14,12	9,89	24,01	10,08	7,06	17,14
Santa Maria	19,34	20,79	40,13	10,74	11,54	22,28
São Benedito	9,15	10,84	19,99	4,99	5,91	10,91
São Cristóvão	5,31	15,95	21,26	2,80	8,41	11,21
Média	14,31	28,05	42,36	7,12%	12,01%	19,13%

Tabela 4. Índices de Cobertura Arbórea, Gramínea e Vegetação Total; e Percentual de Cobertura Arbórea, Gramínea e Vegetação Total para os Bairros Periféricos.

Bairros Periféricos	ICAH (m²/hab)	ICGH (m²/hab)	ICVTH (m²/hab)	PCA (%)	PCG (%)	PCVT (%)
Residencial 2000	1,78	18,73	20,51	0,46	4,89	10,83
Alfredo Freire	23,67	39,84	63,51	7,18	12,09	19,27
Amoroso Costa	3,85	23,10	26,95	1,03	6,21	7,24
Boa Vista	8,70	28,63	37,33	2,80	9,21	12,01
Distrito Industrial I	104.770,77	103.852,11	208.622,88	11,85	11,75	23,60
Fabício	17,16	22,64	39,80	5,75	7,58	13,33
Grande Horizonte	28,11	56,79	84,91	11,63	23,50	35,13
Jockey Park	424,01	878,67	1.302,68	4,98	10,31	15,29
Lourdes	22,59	44,69	67,28	9,93	19,63	29,56
Maracanã	75,78	228,90	304,68	6,49	19,60	26,09
Mercês	21,33	20,10	41,43	10,83	10,20	21,03
Morumbi	46,39	73,67	120,06	12,35	19,61	31,96
Paraíso	15,61	36,67	52,28	5,65	13,27	18,92
Recreio dos Bandeirantes	207,52	440,19	647,71	7,66	16,24	23,90
Santa Clara	582,00	2.922,80	3.504,80	1,39	6,96	8,35
São Geraldo	1.647,11	4.510,31	6.157,43	5,18	14,20	19,38
Vallim	7,61	28,66	36,28	4,47	16,84	21,31
Média	6347,29	6660,38	13007,68	9,13%	19,91%	29,94%

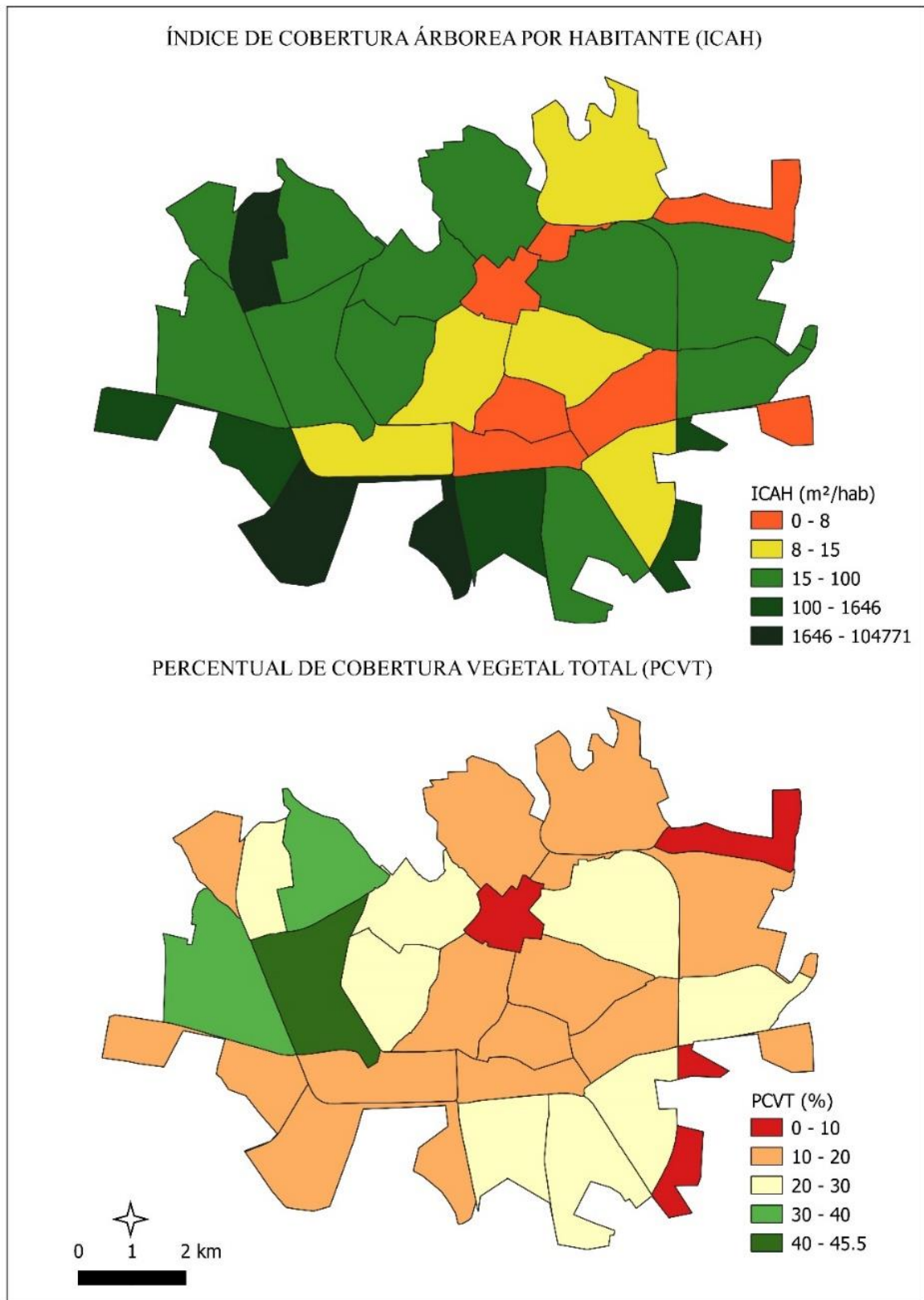


Figura 3. Representação do Índice de cobertura arbórea por habitante e Percentual de cobertura vegetal total na cidade de Uberaba.

Atualmente não há uma convergência na legislação brasileira em como mensurar a cobertura vegetal em áreas urbanas. Por este motivo, alguns estudos brasileiros acabam adotando como parâmetro comparativo o limite mínimo de 30% estipulado por Oke (1972) para a manutenção de adequado balanço térmico das áreas urbanas. Porém, esse limite foi desenvolvido para cidades canadenses, as quais possuem uma realidade de planejamento urbano diferente dos municípios brasileiros. Por esta razão reforça-se a necessidade da criação de diretrizes específicas para planejamento da cobertura verde no Brasil, as quais nortearão as políticas públicas de zoneamento no país e poderão contribuir para o cumprimento da ODS 11 da ONU.

Diversos estudos utilizam o parâmetro da SBAU, o qual estabelece o limiar mínimo de 15 m² por habitante para mensurar a qualidade ambiental das cidades (Kunen et al., 2019; Nascimento et al., 2021). No entanto, é importante destacar que o limiar da SBAU se refere às áreas verdes públicas. Nesse sentido, alguns autores restringem as áreas verdes urbanas à espaços públicos com cobertura vegetal (Nucci, 2001), enquanto outros autores contabilizam também os locais privados (Nogueira & Wantuelfer, 2002). Além disso, também não há consenso entre o porte da vegetação, de modo que alguns autores contabilizam quaisquer tipos de vegetação, enquanto outros restringem esses espaços para locais com predominância arbórea (Trindade et al., 2021). Por fim, existem diferenças relativas à inclusão de árvores localizadas em vias públicas, canteiros centrais e trevos, uma vez que alguns autores consideram áreas verdes apenas praças e parques (Toledo et al., 2009). Dessa forma, não fez parte do escopo do presente estudo a diferenciação dos espaços com áreas verdes particulares e públicas, sugerindo-se essa análise para estudos futuros.

Rocha e Nucci (2018) apontam que é difícil descobrir a metodologia utilizada nos trabalhos que apontam parâmetros mínimos de arborização. Nesse sentido, alguns estudos contabilizam no índice toda a cobertura vegetal, enquanto outros contabilizam apenas a cobertura

arbórea, tornando a comparação inviável. Almeida (2021), em sua pesquisa, adota indicadores como cobertura vegetal, distribuição espacial e áreas verdes utilizáveis, a partir dos quais derivam as porcentagens e índices referentes a áreas verdes públicas, excluindo a cobertura vegetal total na cidade de Cacoal. Em contrapartida, Pinheiro et al. (2023) consideram indivíduos arbóreos adultos com altura superior a 2 metros, analisando, dessa forma, a densidade arbórea em Palmas/TO. Nesse sentido, a diversidade substancial na metodologia dos estudos sobre cobertura vegetal comprova a dificuldade de análise e comparações entre os mesmos.

Considerações finais

A partir do presente estudo foi possível quantificar a cobertura vegetal da cidade de Uberaba e compreender sua distribuição espacial utilizando imagens gratuitas do satélite CBERS-4A. A resolução espacial de 2 metros permitiu diferenciar a vegetação gramínea das árvores com boa acurácia. Além disso, as regiões espectrais em que a informação é extraída permitem distinguir os alvos urbanos da cobertura vegetal com êxito.

A partir dos resultados dos índices de áreas verdes nota-se que há diferenças entre a cobertura vegetal dos bairros periféricos e centrais. De modo geral, os bairros periféricos apresentaram melhores resultados para todos os índices. Tal desempenho está relacionado com a menor densidade demográfica, bem como menor taxa de ocupação dos espaços nessas regiões. Apesar de apresentar um percentual de cobertura vegetal total (PCVT) abaixo de 30%, os bairros centrais obtiveram uma média do ICAH de 14,31 m²/hab, mostrando-se próxima ao valor de 15 m²/hab, sugerido recomendação da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana.

A escolha de diferentes índices para analisar a cobertura vegetal se mostrou eficaz, uma vez que foi possível avaliar as áreas verdes por meio de diferentes perspectivas para a cidade de Uberaba. Ao analisar a relação da cobertura vegetal com a quantidade de habitantes, a cidade possui um

valor médio de 18,51 m²/hab, ficando acima do limite estabelecido pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. Já quando foi analisado apenas a taxa de cobertura vegetal, observa-se que a cidade apresenta um valor médio de 24,53%, ficando abaixo do limite de 30% estabelecido por Oke (1972).

Embora a legislação brasileira ainda não tenha uma convergência sobre os limites mínimos de cobertura vegetal para as cidades, considera-se importante o cálculo dos mesmos a partir das referências observadas na literatura. Os resultados destacam a necessidade de políticas e ações que promovam uma distribuição mais equitativa da cobertura vegetal no município, visando a melhoria na qualidade ambiental e proporcionando benefícios para toda a população.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o suporte do Programa de Apoio à Iniciação Científica e Tecnológica (PIBIC) pertencente a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), através da Bolsa de Iniciação Científica e Tecnológica Institucional (BIC).

Referências

- Almeida, J. R. (2021). Gestão de áreas verdes e sustentabilidade: estudo de caso a partir dos indicadores de qualidade ambiental urbana. *Paisagem e Ambiente*, 32(48). <https://doi.org/10.11606/issn.23595361.paam.2021.183164>
- Andara Ramos, L. L., Silva Aires, M. E., Netto de Jesus, L. A., & Demuner, E. (2024). Sombreamento arbóreo em praças: *Análise distributiva e microclimática*. Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 20(1). <https://doi.org/10.46421/entac.v20i1.6055>
- Andrade, C.B, Oliveira, L. M. M. de., Machado Omena, J. A., Gusmão, A. C. V. L., & Rodrigues, D. F. B. (2018). Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. *Revista Brasileira De Meio Ambiente*, 4(1), 97-107.
- Assis, G. D. de. (2023) Mapeamento da arborização urbana em uma ciclovia do Gama-

DF. [Monografia (Especialização em Arborização Urbana) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro].

- Barros, A. S, Menezes de Farias, L., & Luiz Alves Marinho, J. (2020). aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na caracterização da cobertura vegetativa de Juazeiro do Norte – CE. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 13(6), 2885–2895. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2885-2895>
- Brito, I. R. (2021). Diagnóstico espacial de áreas verdes no Município de Belém-Pa. [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA]. Biblioteca Digital de Trabalhos Acadêmicos da Universidade Federal Rural da Amazônia. <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1718>.
- Campos, J. C. B., Silveira, J. A. R., Silva, G. J. A., Lima, E. R. V., Barros Filho, M. N. M., Dantas, N. F. B. F. (2021). Proposta de avaliação da qualidade de vida e do bem-estar em áreas verdes urbanas. *Ambiente Construído*, 21(3), 97-115. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000300540>
- Cerqueira, M. A., Santos, P. O. C., Farias, V. N. C. de, Chagas Júnior, V. F., & Barbosa, R. V. R. (2021). Análise temporal por sensoriamento remoto da supressão de vegetação nativa em vales na cidade de Maceió, Brasil. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 7(1), 12151–01. <https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss1pp12151-01-11e>
- Costa, J. A. da., Silva Filho, D. F. da., & Polizel, J. L. (2012). Uso de imagens de alta resolução para avaliação de áreas verdes na cidade de São Paulo, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 7(1), 159-181. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v7i1.66552>
- Gomes, M. A. S. (2020). Parques urbanos e a problemática dos espaços de lazer não implantados em Uberaba-MG. *Caminhos De Geografia*, 21(78), 237–252. <https://doi.org/10.14393/RCG217857961>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2002) Mapa de clima do Brasil. Brasília: IBGE

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). Panorama Uberaba. Brasília: IBGE, 2022.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2024). Sobre o CBERS: INPE, 2024.
- Kunen, A., Tabalipa, N., Sabbi, V. (2019). Análise da vegetação a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Pato Branco - PR. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, 8(3), 433-456. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v8n3.8928>
- Landis JR, & Koch GG. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*.33(1), 159-74.
- Luchiari, A. (2011). Identificação da cobertura vegetal em áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um Sistema de Informação Geográfica. *Revista Do Departamento De Geografia*, 14, 47-58. <https://doi.org/10.7154/RDG.2001.0014.0005>
- Luiz, C. N. (2023). Evolução do uso e cobertura do solo da floresta dos atletas e entorno a partir de imagens WPM/CBERS 4A, município do Rio de Janeiro. [Monografia, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro]. Repositório Institucional de Múltiplo Acervos da UFRRJ. <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/8784>
- Monteiro, D. Q. (2023) Áreas verdes urbanas no município de Cariacica-ES: uma análise da região a partir de indicador de qualidade ambiental. 25 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) - Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Urbana, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Nascimento, M. C. D., Brito, J. S., & Chaves, S. V. V. (2021). Índice de área verde em parques ambientais da zona centro/norte de Teresina, Piauí. *Revista de Academia e Ciências do Piauí*, 2(2), 123-141. <https://doi.org/10.29327/261865.2.2-9>
- Nogueira, A., & Wantuelfer, G. (2002). Florestas Urbanas: *planejamento para melhoria da qualidade de vida*. Viçosa: Aprenda Fácil.
- Novaes, G. T., Brito, J. L. S., & Sanches, F. de O. (2021). Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. *Revista Brasileira De Climatologia*, 23, 223-243. <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58520>
- Nucci, J. C. (2021). Qualidade ambiental & adensamento urbano: *um estudo de ecologia planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)*. (1 ed.). Edição do Autor.
- Nucci, J. C., Cavalheiro. (1999). Cobertura vegetal em áreas urbanas - conceito e método. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 3(2), 29–36. <https://doi.org/10.11606/issn.21790892.geousp.1999.123361>
- Oke, T. R. (1972). City size and the urban heat island: Conference on Urban Environment and Second Conference on Biometeorology. *American Meteorological Society, Philadelphia*, 7, 144-146.
- Paiva, A. C. de Q., de Carvalho, R. G., Escobar, M. L., Soares, I. A., & Bastos, F. de H. (2022). Análise da distribuição espacial da vegetação e áreas verdes na cidade de Fortaleza – CE. *Caminhos De Geografia*, 23(89), 131–149. <https://doi.org/10.14393/RCG238960266>
- Pereira, M. C., Renato Rocha, J., & Paz Mengue, V. (2010). Comparação de índices e espacialização da cobertura vegetal arbórea dos bairros centro de duas metrópoles brasileiras: Belo Horizonte e Porto Alegre. *Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana*, 5(1), 106-125. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v5i1.66245>
- Pinheiro, R. T., Moura, D. R. de, & Marcelino, D. G. (2023). Densidade arbórea e sombreamento nas áreas verdes das quadras residenciais de Palmas, Tocantins. *Ciência Florestal*, 33(2), e71225. <https://doi.org/10.5902/1980509871225>
- Rocha, J. R., & Werlang, M. K. (2005). Índice de cobertura vegetal em Santa Maria: o caso do bairro centro. *Ciência E Natureza*, 27(2), 85–99. <https://doi.org/10.5902/2179460X9680>
- Rocha, M. F.; & Nucci, J. C. (2019). Cobertura vegetal na região central das capitais brasileiras. *GEOgraphia*, 21(45), 70-85. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2019.v21i45.a14352>
- Rocha, M. F. da. & Nucci, J. C. (2018). Índices de vegetação e competitividade entre cidades. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 22(3), 641–655. <https://doi.org/10.11606/issn.21790892.geousp.2018.133554>
- Rodrigues, J. P. S., & Mendes Ferreira, I. (2014). Algumas considerações acerca da importância de áreas verdes urbanas, o caso de Uberaba (MG). *Periódico Técnico E Científico Cidades Verdes*, 2(3), 11-26.

- <https://doi.org/10.17271/23178604232014718>
- Sotto, D., Ribeiro, D. G., Abiko, A. K., Sampaio, C. A. C., Navas, C. A., Marins, K. R. de C., Sobral, M. do C. M., Philippi Jr. A., & Buckeridge, M. S. (2019). Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. *Estudos Avançados*, 33(97), 61-80. <https://doi.org/10.1590/s01034014.2019.3397.004>
- Sousa, J. R. P., Prudencio, S., G., Costa Carneiro Junior, J. F., Mesquita Costa, V. R., Oliveira Ramos, M., Lima Alves, H., Silveira Celestino, K. R., de Araujo Matias Franco, C., Moreira Silva, A. M., Gomes Noronha, L. K., Roberto dos Santos Bachinski, G., & Cogo, R. (2022). Áreas verdes urbanas e a qualidade de vida da população das cidades. *Revista Científica Famap*, 2(02).
- Souza, M. K. G. de., Machado, V. S., Marcato Junior, J., Osco, L. P., & Ramos, A. P. M. (2023). Validação da acurácia posicional de imagens cbers-4a em contexto urbano. *Revista Tamoios*, 19(1). <https://doi.org/10.12957/tamoios.2023.61140>
- Toledo, F. S., Mazzei, K., & Gomes dos Santos, D. (2009). Um índice de áreas verdes (IAV) na cidade de Uberlândia / MG. *Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana*, 4(3), 86-97. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v4i3.66415>
- Trindade, A. R., Beltrão, N. E., Tavares, P.A., Martins, A. C. C. T. (2021). Mapeamento de remanescentes florestais em áreas urbanas: uso de dados espaciais para estimativa de índice de áreas verdes e de sequestro de carbono. *Revista GeoNordeste*, 1, 77-93. <https://doi.org/10.33360/10.33360/RGN.2318-2695.2021.i1.p.77-93>
- Viezzler, J., Biondi, D., Martini, A., & Scarano, F. R. (2022). Área verde é tudo igual? a importância de se considerar tipologias de áreas verdes urbanas para avaliar seus benefícios em Curitiba. *Paisagem E Ambiente*, 33(49). <https://doi.org/10.11606/isn.2359-5361.paam.2022.192983>