

USO DE IMAGENS CBERS-4A NO MAPEAMENTO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À ARBORIZAÇÃO URBANA: CONTRIBUIÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO À AGENDA 2030

João Vitor Guerrero^{1,2}, Fabrizia Gioppo Nunes¹, Luiz Eduardo Vicente², Daniel Caiche³, Guilherme Mataveli⁴, Michel Chaves⁴, Elton Vicente Escobar-Silva⁴ e Cintia Campos⁵

¹Universidade Federal de Goiás, Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia. Goiânia - GO {jvguerrero2@gmail.com; fabrizia@ufg.br}; ²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Rodovia SP-340, Km 127,5, Jaguariúna - SP {luiz.vicente@embrapa.br}; ³Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo, R. do Anfitheatro, 513, São Paulo - SP {dtcaiche@usp.br}; ⁴Divisão de Observação da Terra e Geoinformática - DIOTG, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758 - São José dos Campos - SP - Brazil {mataveli@alumni.usp.br; michel.chaves@inpe.br; elton.silva@inpe.br}; ⁵Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Mucuri, s/n, Aparecida de Goiânia - GO {cintiacampos@ufg.br}

RESUMO

Para contribuir com o alcance das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11) da Agenda 2030 o objetivo deste trabalho foi demonstrar um procedimento técnico-metodológico para mapear áreas de vegetação arbórea em zonas urbanas e diagnosticar áreas prioritárias à implementação de projetos de arborização a partir do processamento de imagens CBERS-4A/Wide-Field Imager (CBERS-4A/WPM) de 2021. Para isso, o método proposto realiza o mapeamento da arborização urbana e de espaços verdes a partir do NDVI e dos critérios “30, 300” para o mapeamento de áreas prioritárias. O procedimento foi aplicado no município de São Carlos - SP. Os resultados demonstram uma baixa cobertura vegetal total de 11%, além de identificar espacialmente as áreas que necessitam de maior atenção por não estarem, atualmente, promovendo serviços ecossistêmicos. Estes, devem ser prestados pelas árvores em ambiente urbano que contribuem para o alcance das metas do ODS 11.

Palavras-chave — Sensoriamento Remoto, Planejamento Territorial, Arborização Urbana, Sustentabilidade Urbana, Cidades Sustentáveis.

ABSTRACT

To contribute to achieving the goals of Sustainable Development Goal (SDG) 11 of the 2030 Agenda, the objective of this study was to demonstrate a technical-methodological procedure to map areas of arboreal vegetation in urban areas and diagnose priority areas for the implementation of afforestation projects from the CBERS-4A/Wide-Field Imager (CBERS-4A/WPM) image processing of 2021. For this, the proposed method performs the mapping of urban afforestation and green spaces from the NDVI and uses the “30, 300” method for mapping priority areas for afforestation projects. The procedure is applied in the municipality of São Carlos (SP) and the results demonstrate a low total vegetation cover in the municipality

(11%), in addition to identifying spatially the areas that need more attention because they are not currently promoting ecosystem services provided by trees in an environment, which contribute to achieving the goals of SDG 11.

Keywords — Remote Sensing, Territorial Planning, Urban Afforestation, Urban Sustainability, Sustainable Cities.

1. INTRODUÇÃO

As principais iniciativas ambientais globais recentes em direção a uma sociedade mais sustentável são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a Nova Agenda Urbana (NUA) e o Acordo de Paris. Neste cenário, as cidades são consideradas como uma das principais contribuintes para a perda da biodiversidade e, portanto, a revitalização de espaços verdes urbanos é fundamental para um ambiente saudável [1].

Globalmente, incluindo o Brasil, vários estudos têm abordado a necessidade da implementação dos ODS em nível de cidades [2, 3]. Como exemplo, podemos citar os sistemas colaborativos de parcerias multissetoriais, que envolvem representantes do poder administrativo municipal e da sociedade civil, como estratégia para alcançar o dimensionamento de cidades sustentáveis [4].

Como um dos principais elementos de êxito dos ODS no contexto do equilíbrio ambiental das cidades, a arborização urbana tem desempenhado um importante papel na melhoria da qualidade de vida e, em nível global, é percebida como um instrumento vital para atingir as metas do desenvolvimento sustentável indicadas pela Agenda 2030 [5]. Assim, as metas previstas na Agenda 2030, ODS 11 e NUA visam tornar as cidades comunidades sustentáveis em uma perspectiva de assentamentos humanos inclusivos, seguros e resilientes. Desta forma, observa-se que, o uso dos espaços públicos como áreas de convivência e lazer à medida que contribuem para a melhoria da qualidade do ar [6] e para a adesão de transportes sustentáveis e seguros por meio do aumento da atração para pedestres e ciclistas [7] são elementos

fundamentais para alcançar o ODS 11, via a arborização dos centros urbanos.

Considerando o disposto até aqui, compreender a espacialização da arborização em ambiente urbano é imprescindível para o desenvolvimento de políticas públicas adequadas. Nesse sentido, o principal método de análise espacialmente explícito da arborização de uma cidade é por meio de imagens de satélites orbitais, que permitem uma visão geral da vegetação em escalas de média a alta resolução espacial. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é demonstrar um procedimento técnico-metodológico para o mapeamento de áreas prioritárias à arborização em ambiente urbano no município de São Carlos (SP) utilizando imagens do sensor *Wide-Field Imager* abordo do satélite CBERS-4A seguindo a perspectiva teórica de arborização urbana proposta por [6]. Espera-se com esse estudo, contribuir metodologicamente para obtenção de análises que subsidiem gestores públicos na tomada de decisão para atingir as metas do ODS 11 e da Agenda 2030 como um todo, desde o planejamento de ações, até o monitoramento do seu desenvolvimento a *posteriori*.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Área de estudo

A área de estudo é representada espacialmente pelo limite urbano do município de São Carlos, localizado na região central do Estado de São Paulo, Sudeste brasileiro (Figura 1). Quanto à arborização urbana, São Carlos é de especial interesse por ser uma das três cidades reconhecidas desde o primeiro ano do programa global de arborização urbana *Tree Cities of the World*.

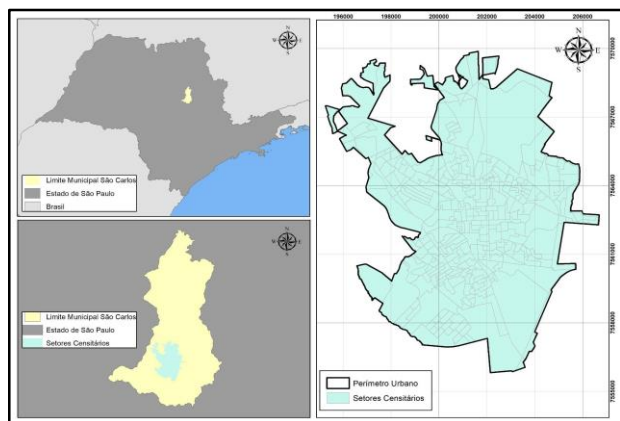


Figura 1. Mapa de localização do município de São Carlos, SP.

O município ocupa uma área total de 1.136,907 km², sendo 86,6 km² de área urbana (8% da área total) e possuía populacional de 256.000 habitantes em 2021 [8].

2.2 Etapas metodológicas

O método utilizado consiste em duas etapas: (i) mapeamento da arborização urbana através da implementação do índice *Normalized Vegetation Index* (NDVI) derivado de imagens do sensor CBERS-4A/WPM com data de passagem de 17/04/2021 e resolução espacial de 8m, e (ii) identificação de

áreas prioritárias à arborização urbana por meio do cálculo dos fatores “30, 300” (*buffer*) (Figura 2).

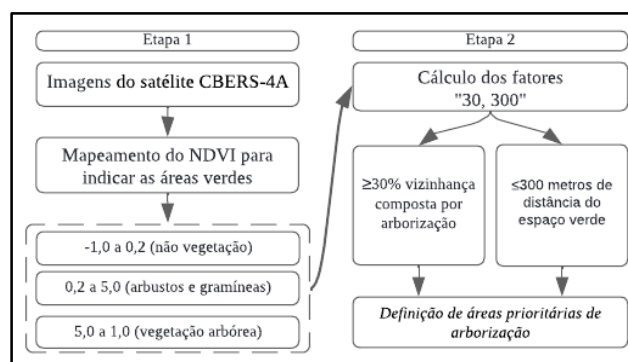


Figura 2. Etapas do método aplicado.

Os valores do NDVI variam de -1 a 1, de forma a destacar variações entre presença e ausência de vegetação. Assim, as regiões com valores entre 0,5 e 1,0 indicam a presença da vegetação arbórea, enquanto valores entre 0,2 e 0,5 indicam arbustos e gramíneas [9]. Os valores entre -1,0 e 0,2, por sua vez, representam classes de não vegetação, tais como áreas urbanizadas e rodovias, entre outras.

A partir do mapeamento das áreas arborizadas, foram delineados os espaços verdes, que representam parques, praças e demais infraestruturas verdes e que prestam serviços ecossistêmicos essenciais ao bem-estar humano. Em geral, esses espaços são áreas verdes, como as áreas arborizadas, com mais de 1 hectare [6].

Na segunda etapa, o mapeamento das áreas prioritárias à arborização urbana foi constituído a partir de dois conceitos propostos por [6], os critérios “30” e “300”. O critério “30” indica que, essencialmente, 30% ou mais da área da vizinhança seja composta por arborização para manter o equilíbrio climático e trazer benefícios para saúde pública; já o critério “300” propõe uma distância mínima de 300 metros de cada residência a um espaço verde, o que traria benefícios provenientes dos serviços ecossistêmicos culturais por eles prestados.

Para o critério “30” foi mapeada a porcentagem de arborização urbana contida dentro de cada unidade territorial de interesse que, neste estudo, foram os setores censitários do IBGE por representarem uma escala local diminuindo a chance de generalizações e de reforço de desigualdades socioespaciais. Já para o critério “300” foi aplicada uma distância euclidiana a partir dos limites de cada espaço verde previamente mapeado. As áreas dentro do limite e que ultrapassam os 300 metros são classificadas quanto à prioridade de implementação de novos espaços verdes, sendo as mais distantes, mais críticas.

A identificação de prioridade à arborização urbana para os dois critérios utilizados correspondeu à classificação proposta na Tabela 1. Essa classificação foi, posteriormente, convertida em classes de prioridade.

<i>Distância de Espaços Verdes</i>	<i>% de cobertura arbórea por setor</i>	<i>Prioridade</i>
< 300 m	> 30%	Baixa
300 – 500 m	15 a 30 %	Moderada
500 – 1000 m	5 a 15 %	Urgente
>1000 m	< 5%	Muito Urgente

Tabela 1. Critérios para a atribuição das classes de prioridade à urbanização.

Assim, a partir dos critérios adotados, a maior prioridade para a promoção da arborização urbana é dada aos locais mais distantes dos espaços verdes e de menor cobertura arbórea.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mapeamento da arborização urbana e dos espaços verdes

O mapeamento da arborização urbana atual no município de São Carlos (Figura 3a) indicou que apenas 11% de sua área urbana é recoberta por vegetação arbórea, sendo esta distribuída de forma heterogênea principalmente em áreas distantes do centro urbano. Por outro lado, nota-se que a porção urbana central apresenta uma homogeneidade de densa urbanização onde há apenas algumas áreas verdes espaçadas.

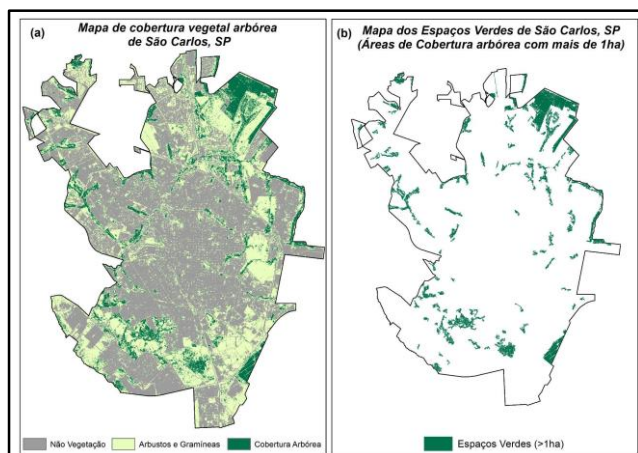


Figura 3. (a) Mapa de cobertura vegetal arbórea; (b) Mapa dos espaços verdes do município de São Carlos.

Corroborar com esta análise o resultado obtido no mapeamento dos espaços verdes (Figura 3b). Observa-se que apesar desses equipamentos urbanos de viés sustentável ocorrerem em diversas áreas do município, eles são escassos na área mais urbanizada (central). Esta constatação leva a preocupações acerca da ocorrência de diversos problemas climáticos [6], de saúde pública e desastres urbanos nesta porção do município, que é a mais povoada e mais acessada, por concentrar as principais redes de serviços e comércio.

3.2 Mapeamento de áreas prioritárias à arborização urbana de acordo com os critérios “30” e “300”

A indicação de áreas prioritárias à conservação a partir do critério “30” (Figura 4a) é importante para atingir as principais metas do ODS 11, tendo em vista que 30% de

cobertura arbórea em escala local é o mínimo para a promoção de diversos serviços ecossistêmicos. Vale destacar que a avaliação em nível local, como proposto neste estudo com o uso de setores censitários, permite garantir uma maior equidade na distribuição arbórea. Entretanto, a avaliação em escalas maiores, como do município por inteiro, pode acarretar em resultados ambíguos, visto que mesmo atingindo os 30% pode haver concentrações de áreas verdes em locais específicos, fator que representa iniquidades socioespaciais.

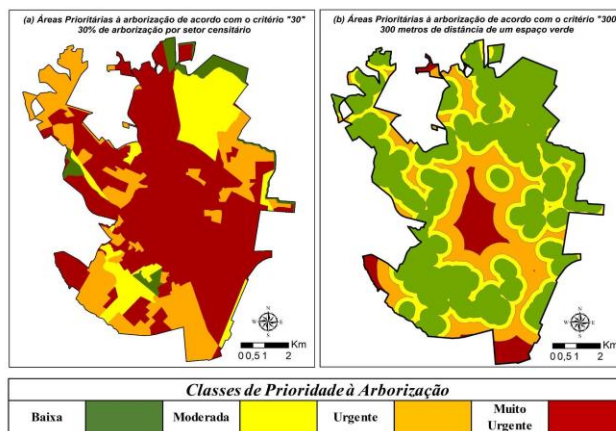


Figura 4. (a) Mapa de áreas prioritárias à arborização urbana de acordo com o critério “30”; (b) Mapa de áreas prioritárias à arborização urbana de acordo com o critério “300”.

O mapeamento de áreas prioritárias à arborização pelo critério “30” (Figura 4a) indicou que apenas 8 setores entre os 304 componentes da área urbana apresentam 30% ou mais de cobertura arbórea, com conseqüente prioridade baixa à arborização. Esse dado acende um alerta acerca das dificuldades de acesso à arborização que aflige a população local.

Tais resultados são corroborados pelo estudo de [10], que discorreram sobre iniquidades arbóreas na área de estudo. Além disso, outros estudos demonstram que as iniquidades arbóreas ocorrem por toda a América Latina e que os esforços para sua redução devem ter maior atenção nos países emergentes, pois é um processo que pode contribuir diretamente com a redução da pobreza urbana [11,12].

A classe de prioridade moderada foi diagnosticada em cerca de 15% do território. Apesar de apresentarem valores acima da média municipal, estas áreas não podem ser negligenciadas nos projetos de arborização do município. Além disso, foi identificado que 57% da área de estudo tem menos de 5% de cobertura arbórea, apresentando, assim, prioridade muito urgente. Nota-se também que 24% do município apresenta de 5 a 15% de arborização por setor censitário, valor que confere a essas áreas a classe de prioridade urgente, por ser insuficiente à prestação de serviços ecossistêmicos essenciais.

As zonas classificadas como de prioridade urgente e muito urgente devem ser áreas de especial interesse ao poder público na formulação de políticas e estratégias de arborização, pois, em locais com baixas taxas de presenças de árvores, a promoção de serviços ecossistêmicos essenciais de

ordem social e ambiental, como melhoria na qualidade do ar e regulação climática é urgente. Isso indica processos de pobreza e desigualdade urbana principalmente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento que se relacionam diretamente com as metas do ODS 11 [11].

Já o mapeamento de áreas prioritárias à arborização de acordo com o critério “300”, apresentado na Figura 4(b) demonstrou que o padrão heterogêneo de ocorrência dos espaços verdes favorece a proximidade para o acesso da população em 54% da área de estudo. Este resultado indica que o município apresenta boa quantidade de parques, praças, bosques e outros espaços verdes, mas com margem para melhorias. Esta margem para melhorias provém justamente do fato de que 27% da área tem prioridade urgente ou muito urgente à implementação de espaços verdes. Espacialmente, isto indica que as populações da região central, do extremo norte, e de áreas do sudeste e sudoeste do município não têm acesso a espaços verdes próximos de suas residências, fator que diminui sistematicamente as oportunidades de obtenção e usufruto de serviços ecossistêmicos culturais essenciais ao seu bem-estar.

4. CONCLUSÕES

O método proposto com uso de imagens CBERS-4A/WPM, análise do NDVI e critérios “30” e “300” possibilitou o diagnóstico de áreas prioritárias para projetos de arborização na perspectiva de contribuir para o alcance das metas do ODS 11 da Agenda 2030. Os resultados obtidos demonstraram que, quanto à porcentagem de cobertura arbórea por setor censitário, o padrão de distribuição vegetal arbórea do perímetro urbano de São Carlos apresenta desigualdades socioambientais, tendo em vista que a quantidade de cobertura arbórea por setor não é suficiente para promover serviços ecossistêmicos essenciais de forma homogênea para todos os habitantes, de acordo com o proposto por [6].

Já no que tange à distância dos espaços verdes, é possível concluir que a distribuição espacial heterogênea destes equipamentos urbanos, ainda que de forma incipiente, favorece o acesso dos são carlenses à espaços verdes que promovem diversos serviços ecossistêmicos essenciais. É necessário reafirmar que, para ambas as análises, a área central da cidade não apresentou porcentagens satisfatórias de vegetação arbórea por setor censitário, e nem espaços verdes a distâncias aceitáveis, o que infere que esta região deve tornar-se prioritária em projetos de arborização.

Além disso, concluímos que a aplicação dos procedimentos metodológicos deste trabalho demonstrou que com uma imagem CBERS-4A/WPM de alta resolução espacial (em comparação com produtos como os da série Landsat), de acesso gratuito, e com técnicas acessíveis de sensoriamento remoto, é possível identificar espacialmente áreas prioritárias à arborização urbana em qualquer município brasileiro. Assim, por não apresentar custos financeiros, esse método pode contribuir diretamente para a eficácia de projetos socioambientais que visem ampliar a gama de serviços prestados pelos ecossistemas naturais em ambientes antropizados e assim alcançar as metas do ODS 11

a partir de políticas públicas subsidiadas por diagnósticos técnico-científicos e de baixo custo.

Por fim, espera-se com este trabalho encorajar outros pesquisadores a adotarem métodos e técnicas do sensoriamento remoto no planejamento territorial urbano para outros municípios brasileiros, a fim de aplicarem bases técnico-científicas na promoção de cidades ambientalmente mais resilientes, socialmente mais justas e com maior eficiência de gestão.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Opoku, A. Biodiversity and the built environment: Implications for the Sustainable Development Goals (SDGs), *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 1-7, 2019.
- [2] Bai, X., Surveyer, A., Elmqvist, T., Gatzweiler, F. W., Neralp, B. G., Parnell, S., Richard, A. P., Shrivastava, P., Siri, J. G., Stafford-Smith, M., Toussaint, J. P. and Webb, R. Defining and Advancing a Systems Approach for Sustainable Cities, *Environmental Sustainability*, 23, 69-78, 2016.
- [3] Giles-Corti, B., Melanie, L., and Jonathan, A. Achieving the SDGs: Evaluating indicators to be used to benchmark and monitor progress towards creating healthy and sustainable cities. *Health Policy*, 124.6 581-590, 2020.
- [4] Bonsu, O., Tyree Hageman, J. and Kele, K. Beyond Agenda 2030: Future-Oriented Mechanisms in Localising the Sustainable Development Goals (SDGs), *Sustainability*, 12 (23), 9797, 2-21, 2020.
- [5] Gelan, E. and Girma, Y. Urban Green Infrastructure Accessibility for the Achievement of SDG 11 in Rapidly Urbanizing Cities of Ethiopia, *GeoJournal*, 87, 2883-2902, 2022.
- [6] Konijnendijk, C.C. Evidence-Based Guidelines for Greener, Healthier, More Resilient Neighbourhoods: Introducing the 3-30-300 Rule. *Journal of Forestry Research*, 2022.
- [7] Iojă, C. I., Grădinaru, S. R., Onose, D. A., Vânău, G. O., Tudor, A. C. The potential of school green areas to improve urban green connectivity and multifunctionality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4), 704-713, 2014.
- [8] IBGE Cidades. Estimativa populacional. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. 2021.
- [9] Hashim, H.; Abd Latif, Z.; Adnan, N. A. Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) Pleiades imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4/W16), 237-240, 2019.
- [10] Guerrero, J. V. R., Caiche, D. T., Morato, R. G., Kawakubo, F. S., Mataveli, G.A.V. De quem é o verde urbano? Uma análise geotecnológica da iniquidade arbórea do município de São Carlos, SP. *Geociências*, 20, 36, 2021.
- [11] Shiraishi, K. The Inequity of Distribution of Urban Forest and Ecosystem Services in Cali, Colombia. *Urban Forest & Urban Greening*, 67, 127446, 2022.
- [12] Phillips, A., Canters, F., Khan, A.Z. Analyzing Spatial Inequalities in Use and Experience of Urban Green Spaces. *Urban Forest & Urban Greening*, 74, 127674, 2022.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Processo 80656/2022-1) e à FAPESP (Processos 2019/25701-8, 2021/07382-2, e 2021/11435-4) pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.