



ISSN: 2525-815X

# Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: [www.jeap.ufrpe.br/](http://www.jeap.ufrpe.br/)

10.24221/jeap.8.3.2023.5876.204-211



## Detecção de fitoplâncton através do Índice de Área Foliar (IAF) e drone em um reservatório do semiárido

### Detection of phytoplankton community through Leaf Area Index (LAI) and UAV in a reservoir in the semiarid region

Tayran Oliveira dos Santos<sup>a</sup>, Nara Tôrres Silveira<sup>a</sup>, Igor Maciel Tibúrcio<sup>a</sup>, Josiclêda Domiciano Galvêncio<sup>a</sup>, Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Departamento de Ciências Geográficas, Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento-SERGEIO. Av. Prof. Moraes Rego, n. 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 50670-901. E-mail: [tayran.oliveira@ufpe.br](mailto:tayran.oliveira@ufpe.br), [nara.torres@ufpe.br](mailto:nara.torres@ufpe.br), [igor.tiburcio@ufpe.br](mailto:igor.tiburcio@ufpe.br), [jocicleda.galvencio@ufpe.br](mailto:jocicleda.galvencio@ufpe.br).

<sup>b</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Departamento de Biologia, Laboratório de Fitomorfologia Funcional-LAFF. Rua Dom Manoel de Medeiros, SN, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900. E-mail: [rejane.pimentel@ufrpe.br](mailto:rejane.pimentel@ufrpe.br).

#### ARTICLE INFO

Recebido 31 Mai 2023

Aceito 10 Ago 2023

Publicado 15 Ago 2023

#### ABSTRACT

Environmental monitoring is an indispensable tool for managing water resources, especially in regions under water scarcity, such as in the Brazilian northeast. The state of Pernambuco is considered the lowest in water availability, reinforcing the need to monitor these environments for the formulation of public policies. In the state, research is being developed aiming at applying geotechnologies to evaluate water bodies. Thus, the study aimed to apply the Leaf Area Index (LAI) for detecting phytoplankton in the Mangueira reservoir, in the semi-arid region of Pernambuco. The flights were carried out in the inlet channel and spillway of the reservoir, on the same day, at the same altitude of 120 m, with approximately 19 min of duration. The orthomosaics were generated and later applied to the IAF using the program ADIVA (Vegetation and Water Index Analysis). In the analysis of the water balance of the reservoir area, the SUPER (System of Hydrological Response Units for Pernambuco) was used, in addition to climatological data from the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC). The values of IAF for the phytoplankton community of the Mangueira reservoir ranged from 2.1 to 4.2, constituting an alternative methodology for the monitoring of water bodies and environmental conditions. The application of the IAF in water bodies can identify the presence of the phytoplankton community in a reservoir. It is recommended the development of further studies with the application of vegetation indices, aiming at greater precision for the analysis of water bodies and the phytoplankton community.

**Keywords:** Environmental monitoring, Remote Sensing, ADIVA, SUPER.

#### RESUMO

O monitoramento ambiental é uma ferramenta indispensável para o gerenciamento dos recursos hídricos, especialmente em regiões que estão sob escassez hídrica, como no nordeste brasileiro. O estado de Pernambuco é considerado o menor em disponibilidade hídrica, reforçando a necessidade do acompanhamento destes ambientes para a formulação de políticas públicas. No estado, pesquisas estão sendo desenvolvidas visando a aplicação das geotecnologias para a avaliação dos corpos hídricos. Deste modo, o estudo objetivou a aplicação do Índice de Área Foliar (IAF) para a detecção de fitoplâncton no reservatório Mangueira, no semiárido pernambucano. Os voos foram realizados no canal de entrada e vertedouro do reservatório, no mesmo dia, com a mesma altitude de 120 m, com aproximadamente 19 min de duração. Os ortomosaicos foram gerados e, posteriormente, aplicado o IAF



utilizando o programa ADIVA (Análise de Índice de Vegetação e Água). Na análise do balanço hídrico da área do reservatório, utilizou-se o SUPer (Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco), além de dados climatológicos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Os valores de IAF para a comunidade fitoplanctônica do reservatório Mangueira variou entre 2,1 a 4,2, configurando-se uma metodologia alternativa para o monitoramento dos corpos hídricos e das condições ambientais. Pode-se perceber que a aplicação do IAF em corpos hídricos é capaz de identificar a presença da comunidade fitoplanctônica em reservatório.

**Palavras-Chave:** Monitoramento ambiental, Sensoriamento Remoto, ADIVA, SUPer.

## Introdução

O semiárido brasileiro é caracterizado pela variabilidade climática, com elevadas taxas de temperatura e evapotranspiração e baixos índices pluviométricos anuais mensais (Galvêncio et al., 2020; Silva et al., 2021). Por suas características, o semiárido é constantemente afetado por estiagens, acarretando uma série de conflitos pelos usos da água, reforçando a necessidade de estratégias para a garantia da segurança hídrica nessas regiões (Carvalho et al., 2020).

Além da variabilidade climática, o semiárido apresenta uma reduzida capacidade de autodepuração dos corpos hídricos da região. Esta situação é agravada pelas interferências antrópicas, dentre as quais, a substituição gradativa da vegetação de Caatinga por áreas de agricultura e pastagens, contribui para a degradação da água e para a redução da disponibilidade hídrica (Alencar et al., 2020; Silveira et al., 2022). Entre os principais problemas que afetam a oferta da água, tanto em quantidade e qualidade é a eutrofização. Um processo natural ou artificial, que consiste no aumento da quantidade de nutrientes fosfatados ou nitrogenados, que contribui para o crescimento de organismos na água, como a comunidade fitoplanctônica (Sousa et al., 2021; Vieira et al., 2021).

A comunidade fitoplanctônica é composta por organismos microscópicos clorofilados, que flutuam livremente na coluna d'água e são fundamentais para o ambiente aquático por serem produtores primários, base da cadeia alimentar e principal fonte de oxigênio para o ambiente aquático (Alencar et al., 2020). As altas temperaturas e a intensidade luminosa também contribuem para o aumento dessa comunidade, características marcantes do semiárido, favorecendo a permanência desses seres nas camadas mais superficiais da massa de água (Mendes & Barbosa, 2021).

Lima, Candeias & Cunha (2018) evidenciam que esta comunidade atua como bioindicadora para avaliação da qualidade da água. Neste contexto, as autoras abordam que o sensoriamento remoto (SR) surge como uma

ferramenta eficaz para a análise e gestão ambiental, visto que os corpos hídricos possuem elementos que oferecem potencial para aplicação das técnicas de SR. Uma alternativa promissora para o monitoramento ambiental são os veículos aéreos não tripulados (VANTs) ou “drones”. Os VANTs têm sido amplamente utilizados para a aquisição de imagens, para a geração de mapas, além do monitoramento de áreas, gerando produtos em alta resolução (Galvêncio, 2019).

Algumas técnicas têm sido recomendadas para a identificação de componentes opticamente ativos na coluna d'água, por meio da utilização do SR e de drones, como a aplicação de índices de vegetação, dentre os quais tem-se o Índice de Área Foliar (IAF). O IAF é uma variável biofísica que representa a taxa de crescimento de uma comunidade vegetal, associada com a produtividade na qual está inserida (Paiva et al., 2009). Deste modo, o estudo objetiva detectar a comunidade fitoplanctônica utilizando o IAF em um reservatório do semiárido nordestino.

## Material e Métodos

### Área de Estudo

O reservatório Mangueira é um dos portais de entrega do Eixo Norte do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) (Figura 1). Localiza-se na área rural do município de Salgueiro, semiárido pernambucano, inserido na Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (MDR, 2016). O clima da região é tropical semiárido, com chuvas de verão. O período chuvoso tem início em novembro e termina em abril, com precipitação média anual de 431,8 mm. As temperaturas mais altas ocorrem no trimestre de novembro a janeiro, e as mais baixas no mês de julho, com médias máximas variando entre 29°C a 32°C (MDR, 2016).

O reservatório possui um comprimento de crista de 1,02 km, com uma altura máxima de 26,4 m e com uma capacidade de volume útil de 11,50 milhões de metros cúbicos de água. Os solos predominantes na área de entorno do reservatório são os planossolos, luvisolos e neossolos, suscetíveis à erosão. A vegetação é composta por uma Caatinga constituída por plantas de porte

herbáceo e arbustivo. Quanto aos usos do solo nessa área, tem-se a ocupação populacional com a presença de Vilas Produtivas Rurais, com

economia voltada para a agricultura e pecuária, além da atividade de extração artesanal de rochas ornamentais (MDR, 2016).

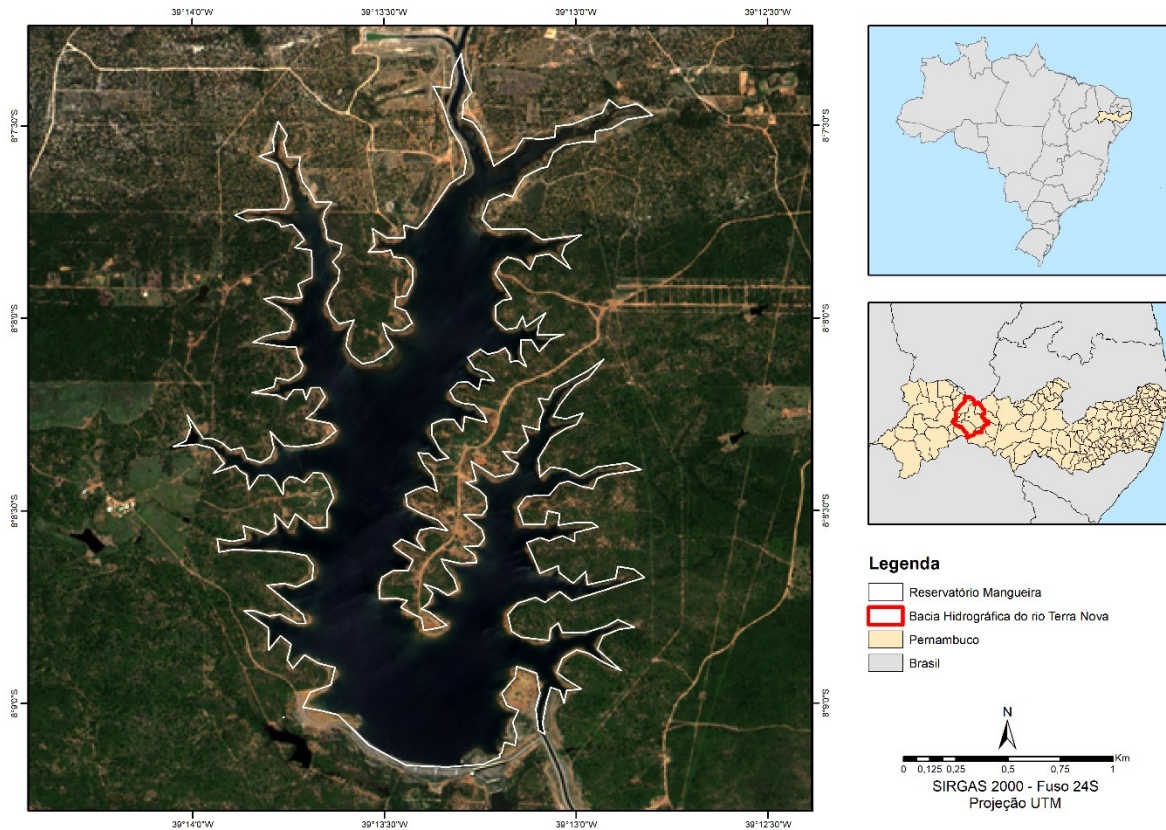


Figura 1. Localização do reservatório Mangueiras, município de Salgueiro, Pernambuco, Brasil. Fonte: Oliveira et al. (2023).

O reservatório possui um comprimento de crista de 1,02 km, com uma altura máxima de 26,4 m e com uma capacidade de volume útil de 11,50 milhões de metros cúbicos de água.

#### Procedimentos metodológicos

No estudo foram realizados dois voos utilizando o drone Mavic 2 Enterprise Dual, que

possui quatro sensores e duas câmeras, uma visível e outra termal, este mesmo drone foi utilizado para a estimativa da temperatura da superfície em áreas agrícolas (Galvêncio, 2019). As áreas imageadas compreendem o canal de entrada de água e o vertedouro do reservatório Mangueira, realizados no mesmo dia, com voos a 120 m de altitude, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Características dos voos no reservatório Mangueira, no município de Salgueiro, Pernambuco, Brasil. Fonte: Oliveira et al. (2023).

Data do voo	Hora	Área imageada	Latitude	Longitude	Duração do voo
08/12/2021	10:12	Canal de entrada de água	8°15'23" S	39°21'78" W	19min28seg
	10:38	Vertedouro	8°15'19" S	39°22'03" W	19min21seg

No processamento das imagens de drone foi utilizado o *software* Agisoft Photoscan, possibilitando realizar a junção das ortomagens e obtenção do ortomosaico. Em seguida, foi utilizado o *software* Adiva (Análise de Índice de Vegetação e Água) para a obtenção do IAF. O ADIVA é capaz de realizar estimativas de áreas plantadas, definição de áreas com potencial produção agrícola, auxilia no monitoramento de áreas secas e irrigadas, além de ser aplicável para o

monitoramento de reservatórios. Os dados de entrada podem ser em formato ZIP ou Tiff, podendo analisar imagens de satélites ou de drones (Galvêncio et al., 2022).

O Adiva realiza, automaticamente, o cálculo de reflectância e radiância, o IAF é calculado com base na equação proposta por Miranda et al. (2020) (Equação 1).

$$IAF = 4,9 \times (NDVI^2) + 0,1 \quad \text{Eq.(1)}$$

A reflectância é calculada de acordo com as equações de Allen et al. (2002) (Equação 2), Bastiaanssen et al. (1998) (Equação 3) e Silva et al. (2005) (Equação 4).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \times \cos \cos Z \times d_r} \quad \text{Eq.(2)}$$

$$\cos \cos (Z) = \cos \cos (90 - E) \quad \text{Eq.(3)}$$

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos \cos \left( \frac{DSA \times 2\pi}{365} \right) \quad \text{Eq.(4)}$$

onde  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $K_{\lambda i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \cdot hm^{-1}$ ),  $Z$  é o ângulo zenital solar,  $d_r$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ) em determinado dia do ano (DSA) (Equação 1).

A calibração radiométrica é realizada por meio das Equações 5-7 de Markham & Baker (1987).

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{max} - Q_{min}} \right) \times (Q - Q_{min}) + LMIN_{\lambda} \quad \text{Eq.(5)}$$

onde  $L_{\lambda}$  corresponde à radiância espectral aparente,  $LMAX_{\lambda}$  é a radiância espectral máxima,  $LMIN_{\lambda}$  é a radiância espectral mínima,  $\lambda$  é o comprimento de onda,  $Q$  é o número digital,  $Q_{min}$  é o número digital mínimo e  $Q_{max}$  é o número digital máximo.

$$L_{\lambda i} = \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad \text{Eq.(6)}$$

onde  $L_{\lambda i}$  é radiância espectral de cada banda,  $a$  e  $b$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima  $Wm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ,  $i$  corresponde às bandas 2 a 7 do Landsat 8 – OLI e  $ND$  é o número digital do pixel (número inteiro de 0 a 255).

$$L_{\lambda i} = G_{rescale} \times ND + B_{rescale} \quad \text{Eq.(7)}$$

Na análise do balanço hídrico da área do reservatório foi utilizado o Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER), sistema de modelagem para as bacias do estado de Pernambuco, acoplado ao HAWQS (*Hydrology and Water Quality System*), que dispõe de dados modelados para os usos do solo, as mudanças climáticas, além de dados de disponibilidade e de qualidade da água (Silveira et al., 2022).

No SUPER, o balanço hídrico do reservatório é obtido por meio da Equação 8.

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep} \quad \text{Eq.(8)}$$

onde  $V$  é o volume de água ao final do dia ( $m^3$ ),  $V_{stored}$  é o volume de água armazenada no corpo hídrico ( $m^3$ ),  $V_{flowin}$  é o volume de água que entra no corpo hídrico durante o dia ( $m^3$ ),  $V_{flowout}$  é o volume de água que sai do reservatório durante o dia ( $m^3$ ),  $V_{pcp}$  é o volume de precipitação que cai sobre o corpo hídrico ( $m^3$ ),  $V_{evap}$  é o volume de água removida do corpo hídrico por evaporação ( $m^3$ ) e  $V_{seep}$  é o volume de água perdida por percolação ( $m^3$ ).

Os dados climáticos foram adquiridos juntos à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Foram utilizados dados da estação climática do município de Salgueiro, onde o reservatório está inserido.

## Resultados e Discussão

Para o ano de 2021, pode-se perceber que a precipitação média é de 560,7 mm, onde 42% desta precipitação é perdida por meio da evapotranspiração real (Figura 2). A percolação é de 66,6 mm, no entanto, apenas 11% é percolada. O retorno de água para a superfície por meio de aquíferos rasos é de 47,2 mm, ou seja, 8%, o fluxo de retorno é de 24,9 mm é de 4% da precipitação. Ao analisar o balanço hídrico, podemos concluir que o reservatório Mangueira perde mais de 40% de sua água por evapotranspiração, diminuindo o acumulado hídrico, podendo contribuir com as alterações na dinâmica das comunidades fitoplanctônicas.

O semiárido nordestino é caracterizado por possuir um regime de chuvas irregulares, onde a ocorrência da precipitação acontece de forma singular, além das altas temperaturas (Ferreira et al., 2017). Medeiros, Lurding & Becker (2015) reforçam que a ausência de chuvas durante o período seco interfere diretamente no balanço hídrico do reservatório, alterando a disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, afetando o consumo de água. Xiao et al. (2011) afirmam que estes fatores influenciam na passagem de luz nos reservatórios, alterando a dinâmica da comunidade fitoplanctônica (Barbosa et al., 2012).

Silva et al. (2017) apontam que analisar o balanço hídrico é fundamental, uma vez que permite identificar a capacidade de armazenamento, ganhos e perdas de um corpo hídrico, sobretudo em lagos rasos, que, frequentemente, apresentam variações nos níveis de água, como acontece na maioria dos reservatórios do nordeste brasileiro (Esteves, 1998). Nesse contexto, a Figura 2 apresenta o balanço hídrico do reservatório Mangueira.

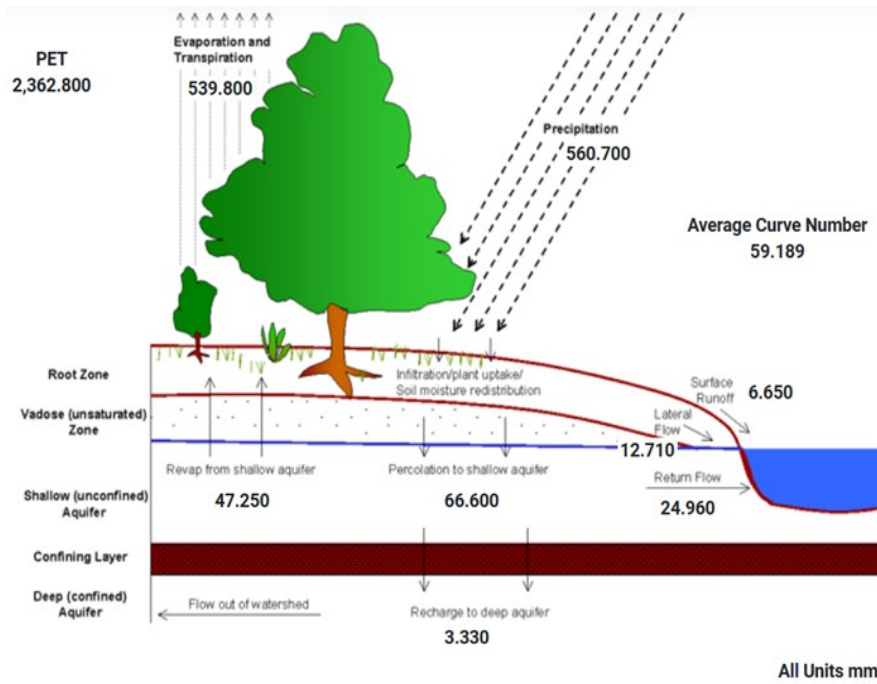


Figura 2. Balanço hídrico do reservatório Mangueira. Fonte: SUPer (2023).

Analisando a precipitação, pode-se perceber altos valores pluviométricos para o período chuvoso, contrastando com um período com baixos valores de chuvas, ou ausentes, como ocorre em agosto, e um crescente no volume de chuvas para o último trimestre de 2021 (Figura 3). Mendes & Barbosa (2021) evidenciam que a

ocorrência da precipitação interfere, diretamente, no nível de água de um reservatório, aumentando a concentração de nutrientes, o que favorece a floração de fitoplâncton. A discussão deve ser restrita ao significado dos dados apresentados, discutidos com os dados da literatura, sem quaisquer conclusões baseadas nelas.

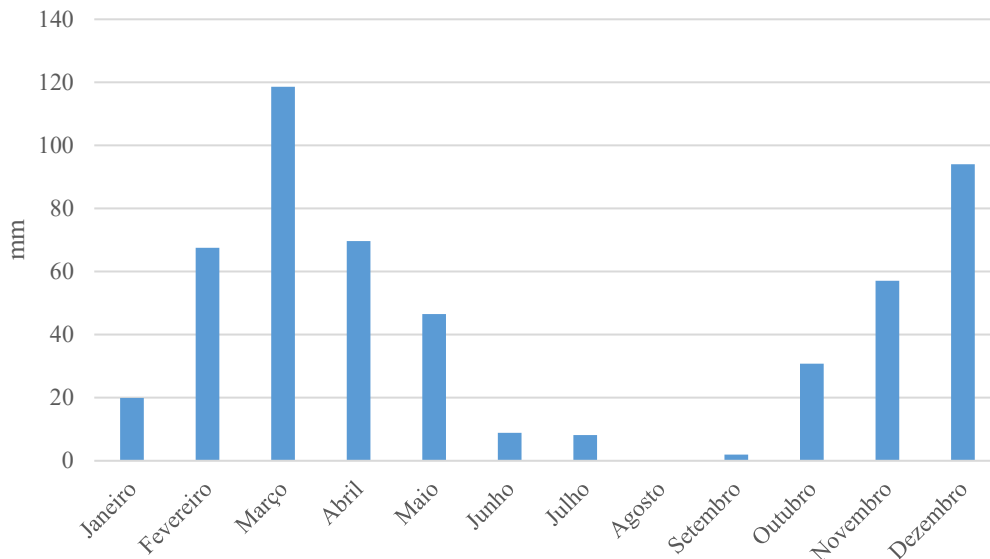


Figura 3. Precipitação média mensal no município de Salgueiro, no ano de 2021. Fonte: Oliveira et al. (2023).

No que se refere ao IAF da área do reservatório, pode-se perceber uma variação entre 0,1 e 4,2 (Figura 4), onde é possível observar que os menores valores (entre 0,1 e 2) indicam pouco adensamento do fitoplâncton. Na Figura 4 as cores mais frias representam as áreas onde há uma maior

incidência da comunidade fitoplanctônica, apresentando valores entre 2,1 e 4,2. Os valores mais altos de IAF podem corresponder, também, a organismos fotossintetizantes, como plantas aquáticas.



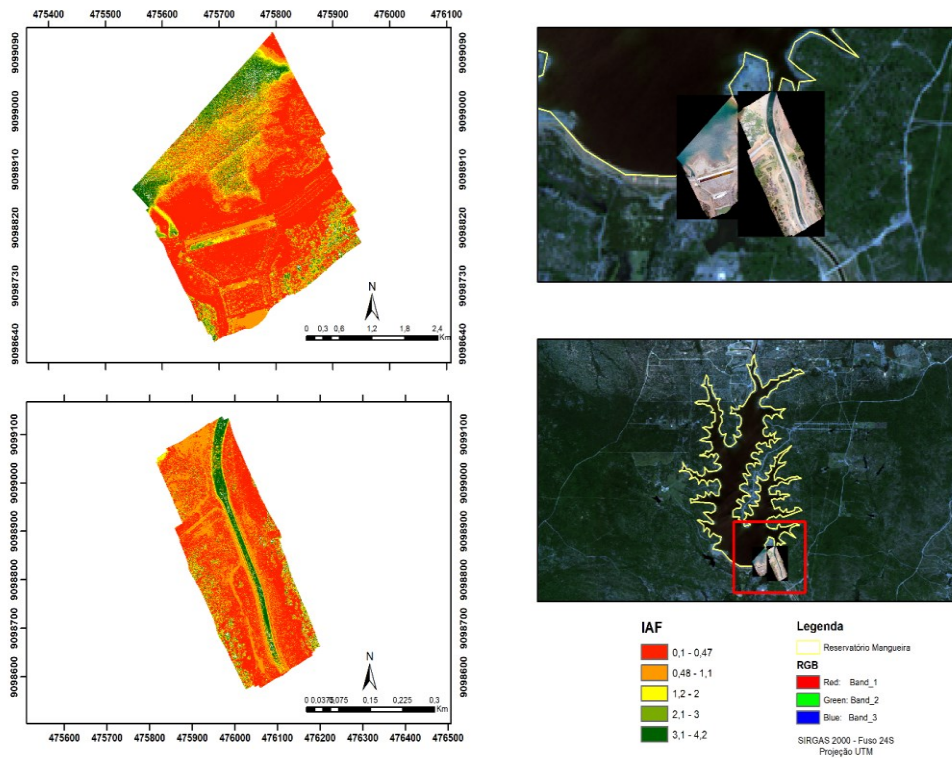


Figura 4. Índice de área Foliar (IAF) do reservatório Mangueira, em dezembro de 2021. Fonte: Oliveira et al. (2023).

Leonardo et al. (2021) analisaram índices biofísicos no entorno do reservatório Poço da Cruz, encontrando valores de IAF entre 0 e 4,6. Segundo Barbosa et al. (2012), os reservatórios do semiárido possuem um alto teor de evapotranspiração e isto pode interferir nas condições biológicas e físico-químicas, afetando a qualidade da água (Wang et al., 2015). Estudos desenvolvidos por Song & Park (2020) analisaram a presença de plantas aquáticas por meio da aplicação de índices de vegetação em um reservatório localizado na Coreia do Sul, encontrando valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) entre 0,01 e 0,82, corroborando os resultados obtidos nesse estudo.

Mendes & Barbosa (2021) analisaram a dinâmica do fitoplâncton em reservatórios da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, identificando que, em decorrência da precipitação e das variações dos níveis da água, a comunidade mostrou sua dinâmica alterada. Medeiros et al. (2015) encontraram resultados semelhantes, onde os fatores hidrológicos são impulsionados por eventos extremos de precipitação e de seca extrema, afetando a qualidade da água e a composição do fitoplâncton. Cardoso et al. (2017) realizaram um estudo na bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu e identificaram nove classes de fitoplâncton, onde o filo Chlorophyta foi o mais representativo, totalizando 37%.

Nos estudos de Song & Park (2020), os autores realizaram uma análise do perfil do

reservatório para identificar as características das bandas do comprimento espectral, verificando que os valores com maior refletância ficam nas bordas do reservatório. Medeiros et al. (2015) realizaram um estudo no lago artificial de Cruzeta, semiárido nordestino, identificando 62 táxons de fitoplâncton, onde a maior concentração e riqueza de diversidade de espécies ocorreu no período seco, com baixo nível de água. Soares et al. (2009) identificaram que os meses de verão e de outono são os mais propícios para a predominância de fitoplâncton em reservatórios tropicais, isto se deve ao fato desses organismos apresentarem uma elevada tolerância a altas temperaturas (Romo et al., 2013).

## Conclusões

O IAF, comumente utilizado para identificar o crescimento foliar de uma vegetação, mostrou-se útil na detecção da presença de fitoplâncton em corpos hídricos.

A detecção da comunidade fitoplanctônica, por meio de imagens de drone e emprego do IAF do Adiva, se mostrou uma alternativa viável e econômica para o monitoramento de reservatórios, podendo contribuir com uma melhor gestão e tomada de decisão dos recursos hídricos, uma vez que a água dos reservatórios do PISF é utilizada para o abastecimento humano e agricultura. No entanto, torna-se necessária a realização de pesquisas futuras que analisem a comunidade

fitoplânctônica e o IAF em corpos hídricos, visando ampliar a precisão deste índice para a identificação e monitoramento do fitoplâncton.

### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas à primeira e à segunda autora e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de PIBIC e Produtividade em Pesquisa 2, concedidas ao terceiro autor e quarto autor, respectivamente.

### Referências

- Alencar, S. A.; Rodrigues, J. L. G.; Vieira, R. de S.; Oliveira, E. C. C.; Silva, M. A. P.; Lacerda, S. R. 2020. Microalgas Planctônicas (Clorofíceas) como Bioindicadoras da Qualidade da Água em Reservatório do Semiárido Cearense. *Cadernos de Cultura e Ciência*, 18, 41-51.
- Allen, R. et al. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advanced Training and User's Manual – Idaho Implementation, version 1.0*.
- Barbosa, J. E. de L.; Medeiros, E. S. F.; Brasil, J.; Cordeiro, R. da S.; Crispim, M. C. B.; Silva, G. H. G. 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24, 103-118.
- Bastiaanssen, W. G. M.; Menetti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *Journal of Hydrology*, 212-213, 213-229.
- Bezerra, A. C.; Silva, J. L. B.; Silva, D. A. O.; Batista, P. H. D.; Pinheiro, L. C.; Lopes, P. M. O.; Moura, G. B. A. 2020. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 286-301.
- Cardoso, A. S.; Marwell, D. T. B.; Sobral, M. C. M.; Melo, G. L.; Casé, M. C. C. 2016. Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22, 261-269.
- Carvalho, A. A.; Montenegro, A. A. A.; Tabosa, J. N.; Almeida, T. A. B.; Silva, A. G. O.; Silveira, A. V. M. 2020. Reuso hidroagrícola: uma solução para convivência com a escassez hídrica no sertão e agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5, 140-150.
- Esteves, F. de A. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro. 602p.
- Ferreira, P. dos S.; Gomes, V. P.; Galvêncio, J. D.; Santos, A. M.; Souza, W. M. 2017. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21, 113-134.
- Galvêncio, J. D. 2019. Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 397-406.
- Galvêncio, J. D.; Mendes, S. M.; Souza, W. M.; Morais, Y. C. B.; Miranda, R. de Q.; Moura, M. S. B.; Santos, W. 2020. Correlação linear entre a precipitação e o Índice de Área Foliar do bioma Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 3304-3313.
- Galvêncio, J. D.; Miranda, R. Q.; Moura, M. S. B.; Montenegro, S. M. G.; 2022. ADIVA – Análise de Índice de Vegetação e Água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, 1654-1659.
- Leonardo, H. R. de A. L.; Salgueiro, C. O. B.; Almeida, D. N. O. A.; Santos, S. M.; Oliveira, L. M. M. 2021. Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz-PE e seu Entorno. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 3592-3607.
- Lima, T. S.; Candeias, A. L. B.; Cunha, M. C. C. 2018. Bioindicadores e Sensoriamento Remoto como Subsídios à Gestão dos Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10, 1974-1994.
- Markham, B. L.; Barker, J. L. 1987. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, 8, 517-523.
- Mendes, C. F.; Barbosa, V. V. 2021. Dinâmica do fitoplâncton em reservatório do semiárido e as implicações para a qualidade da água. *Anais do XVII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, Campina Grande, PB, Brasil*, 730-746.
- Medeiros, L. de C.; Mattos, A.; Lüring, M.; Becker, V. 2015. Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. *Aquatic Ecology*, 49, 293-307.
- Miranda, R. de Q.; Nóbrega, R. L. B.; Moura, M. S. B.; Raghavan, S.; Galvêncio, J. D. 2020. Realistic and simplified models of plant and leaf area indices for a seasonally dry tropical forest. *International Journal of Applied Earth*

- Observation and Geoinformation, 85, 101992.
- Paiva, Y. G.; Ribeiro, A.; Almeida, A. Q.; Gleriane, J. M.; Pezzopane, J. E. M. 2009. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) através de Fotografias Hemisféricas e Índices de Vegetação em plantios clonais de Eucalipto. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN, pp. 2873-2880.
- Romo, S.; Soria, J.; Fernández, F.; Ouahid, Y.; Barón-Solá, A. 2012. Water residence time and the dynamics of toxic cyanobacteria. *Freshwater Biology*, 58, 513-522.
- Santos, W. M.; Souza, R. M. S.; Souza, E. S.; Almeida, A. Q.; Antonino, A. C. D. 2017. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. *Journal Of Environmental Analysis and Progress*, 2, 368-376.
- Silva, B. B.; Lopes, G. M.; Azevedo, P. M. 2005. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20, 243-252.
- Silva, J. R. I.; Souza, R. M. S.; Santos, W. A.; Almeida, A. Q.; Souza, E. S.; Antonino, A. C. D. 2017. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. *Scientia Plena*, 13, 1-10.
- Silva, J. L. B.; Oliveira Filho, R. A.; Silva, M. V.; Batista, P. H. D.; Lopes, P. M. O.; Moura, G. B. A. 2021. Monitoramento espaço-temporal das condições biofísicas à superfície utilizando dados geoespaciais em região do Semiárido Brasileiro. *Agrometeoros*, 29, 1-10.
- Silveira, N. T.; Silveira, H. T.; Tibúrcio, I. M.; Galvêncio, J. D. 2022. Qualidade da Água e Modelagem Hidrológica: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 3, 30-40.
- Soares, M. C. S.; Rocha, M. I. A.; Marinho, M. M.; Azevedo, S. M. F. O.; Branco, C. W. C.; Huszar, V. L. M. 2009. Changes in species composition during annual cyanobacterial dominance in a tropical reservoir: physical factors, nutrients and grazing effects. *Aquatic Microbial Ecology*, 57, 137-149.
- Song, B.; Park, K. Detection of Aquatic Plants Using Multispectral UAV Imagery and Vegetation Index. *Remote Sensing*, 12, 387.
- Sousa, K. A.; Espindola, G. M.; Silva, C. E. 2021. Qualidade da água e sensoriamento remoto: análise bibliométrica da produção científica mundial. *Brazilian Journal of Development*, 7, 577-590.
- Silveira, N. T.; Silveira, H. T.; Tibúrcio, I. M.; Galvêncio, J. D. 2022. Avaliação da qualidade da água do reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, 2866-2877.
- Vieira, R. de S.; Ricarte, E. M. F.; Oliveira, N. M.; Rodrigues, J. L. G.; Oliveira, E. C. C.; Góes, M. I. L.; Silva, T. A.; Lacerda, S. R. 2021. Composição do fitoplâncton em reservatório de abastecimento no semiárido nordestino. *Brazilian Journal of Development*, 7, 65397-65414.
- Xiao, L. J.; Wang, T.; Hu, R.; Han, B.; Wang, S.; Qian, X.; Padisák, J. 2011. Succession of phytoplankton functional groups regulated by monsoonal hydrology in a large canyon-shaped reservoir. *Water Research*, 45, 5099-5109.
- Wang, L.; Wang, C.; Deng, D.; Zhao, X.; Zhou, Z. 2015. Temporal and spatial variations in phytoplankton: correlations with environmental factors in Shengjin lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 14144-14156.