

PARÂMETROS BIOFÍSICOS ESTIMADOS PELO ALGORITMO METRIC EM ÁREA NO SEMIÁRIDO DO ESTADO DO CEARÁ¹

RENATA RICHELLE SANTOS DINIZ²; MAILSON ARAÚJO CORDÃO³ E HUGO
ORLANDO CARVALLO GUERRA⁴

¹ Trabalho oriundo da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

² Engenheira de Biossistemas, Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua: Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Bodocongó, CEP: 58429-900. Campina Grande, Paraíba, Brasil. renata_richelle@hotmail.com.

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua: Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Bodocongó, CEP: 58429-900. Campina Grande, Paraíba, Brasil. mailson.cordao@gmail.com.

⁴ Engenheiro Agrônomo Ph.D. Professor Titular, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Rua: Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Bodocongó, CEP: 58429-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil, hugo_carvalho@hotmail.com.

1 RESUMO

Análises espaciais e temporais de parâmetros biofísicos permitem avaliar no meio ambiente os impactos e as degradações decorrentes do uso e ocupação do solo, permitindo orientar políticas de reversão em um quadro de degradação ambiental. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estimar e analisar a dinâmica espaço-temporal dos parâmetros de albedo da superfície, NDVI e do IAF, através da aplicação do algoritmo METRIC (Mapping evapotranspiration at high resolution with internalized calibration) a partir de técnicas de sensoriamento remoto, em uma área irrigada com banana-nanica no município de Barbalha, CE. Na obtenção de tais estimativas foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 OLI/TIRS e dados meteorológicos da estação meteorológica automática localizada no município estudado em diferentes épocas do ano de 2016. Os resultados obtidos revelaram consistências com dados da literatura, que não houve grande variação temporal na área estudada para os parâmetros avaliados e que as temperaturas mais altas, foram estimadas em áreas de menores umidades. Conclui-se que os parâmetros biofísicos avaliados pelo algoritmo METRIC são eficazes e eficientes na compreensão da dinâmica dos padrões espaciais, temporais e espectrais de regiões semiáridas.

Keywords: sensoriamento remoto, NDVI, albedo, IAF.

DINIZ, R. R. S.; CORDÃO, M. A. C.; GUERRA, H. O.C.
BIOPHYSICAL PARAMETERS ESTIMATED BY THE METRIC ALGORITHM IN
A CULTIVATED AREA IN THE SEMI-ARID OF THE STATE OF CEARÁ

2 ABSTRACT

Spatial and temporal analyses of biophysical parameters make it possible to assess the impacts and degradation resulting from land use and occupation on the environment, allowing guidance on reversal policies in the context of environmental degradation. Thus, the present

work aimed to estimate and analyze the spatiotemporal dynamics of surface albedo parameters, NDVI, LAI and surface temperature through the application of the METRIC algorithm (mapping evapotranspiration at high resolution with internalized calibration) to remote sensing techniques in an irrigated area with a midget banana in the municipality of Barbalha, CE. To obtain such estimates, images from the Landsat-8 OLI/TIRS satellite and meteorological data from the automatic meteorological station located in the municipality studied at different times of the year 2016 were used. time in the study area for the evaluated parameters, and the highest temperatures were estimated in areas with lower humidities. The biophysical parameters evaluated by the METRIC algorithm are effective and efficient in understanding the dynamics of the spatial, temporal and spectral patterns of semiarid regions.

Keywords: remote sensing; NDVI, surface temperature, TM Landsat 8.

3 INTRODUÇÃO

O estudo das variáveis componentes do Balanço de Energia, bem como valores derivados de fluxo de calor e evapotranspiração são fundamentais para compreender a dinâmica do ciclo hidrológico. Essas estimativas tornam possível, por exemplo, planejar atividades de irrigação, estimar necessidade de reposição de água no solo e desenvolver estudos de recarga de água em subsuperfície, além de permitir a compreensão de mudanças climáticas e ambientais (Martins; Galvani, 2020).

As soluções baseadas em sensoriamento remoto foram desenvolvidas para minimizar inconsistências nos métodos relacionados às medições e informações de uso consuntivo da água, tanto na escala de lavoura agrícola quanto em grandes áreas (bacias hidrográficas até grandes regiões geográficas). Entretanto, os métodos existentes carecem de validação, de calibração e de aprimoramentos que reflitam a realidade climática e hidrológica da área da aplicação e que permita a obtenção de estimativas de ET com maior exatidão (Melton *et al.*, 2022).

O uso de técnicas de ciência espacial, como sensoriamento remoto e tecnologia de satélite para estimativa de ET na agricultura, tem sido muito popular recentemente. Ele fornece uma solução

consistente e econômica para métodos de medição baseados em campo. Geralmente, os sensores no campo fornecem as recomendações de entrada e regulam a necessidade de água e nutrientes. A variação espacial dessas necessidades é capturada por receptores GPS (Djaman *et al.*, 2018). Portanto, segundo Liakos *et al.* (2018) afirmam que o gerenciamento automatizado de áreas usando equipamentos e sistemas de automação agrícola será cada vez mais amplamente utilizado no futuro. A tecnologia de aprendizado profundo e análise espectral podem ser identificadas como exemplos para eles.

Nas últimas décadas os sistemas de produção aprimoraram técnicas para produzir mais, reduzindo o volume de água aplicado, sobretudo em regiões como o semiárido brasileiro que enfrentam o problema de escassez de água (Santiago *et al.*, 2017; Oliveira; Braga, 2019; Silva; Barbosa, 2021).

A determinação de parâmetros biofísicos por técnicas de sensoriamento apresenta diversas finalidades, que no geral é de estimar a mudança da cobertura vegetal ao longo do tempo ocasionada pela atuação antrópica na área que se tem interesse de ser estudada, como foi visto nos estudos de Simões, Lima e Mendonça (2021), Ivo *et al.* (2020), Leal *et al.* (2019),

Silva *et al.* (2019) e Pezzoni Filho *et al.* (2018).

Conforme Diniz *et al.* (2021) o emprego do remoto permite estimar além dos componentes do balanço hídrico, também a evapotranspiração real diária por meio do algoritmo METRIC, obtendo-se resultados em consonância aos encontrados na bibliografia, para a área irrigadas.

A utilização de parâmetros biofísicos utilizados no monitoramento ambiental, alguns deles empregados para determinação do balanço de energia e da evapotranspiração possibilitam estimar mais facilmente processos de desertificação, indicando uma possível degradação terrestre, como defendido por Allen *et al.* (2002), que afirma que incentiva a utilização de técnicas como o sensoriamento remoto, a qual permite através de imagens de satélites a utilização de métodos confiáveis e com mais precisão.

A determinação dos parâmetros biofísicos por técnicas de sensoriamento apresenta diversas finalidades, que têm como objetivo, mensurar a variabilidade da cobertura vegetal, avaliar impactos ambientais e quantificar a interferência antrópica em diferentes classes do uso do solo. Além disso, os mesmos são utilizados no processo da determinação da evapotranspiração real das culturas irrigadas (Cordão *et al.* 2023).

A determinação de parâmetros biofísicos como por exemplo o Albedo, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e da Temperatura da superfície utilizando técnicas de sensoriamento apresenta diversas finalidades, que no geral é de se estimar a mudança da cobertura vegetal ao longo do tempo ocasionada pela atuação antrópica na área de estudo, como foi verificado por Simões, Lima e Mendonça (2021) e Ivo *et al.* (2020).

Dentre os diversos índices biofísicos mais utilizados, pode-se citar o albedo que em superfícies vegetadas, depende da

textura do solo e das condições fisiológicas da copa da planta. Já em solo seco, o albedo é expressivamente maior que o observado em solo úmido, enquanto uma superfície lisa tem albedo maior que uma superfície rugosa (Martins; Rosa, 2016).

O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é um dos índices de vegetação mais utilizado no sensoriamento remoto. É calculado a partir da reflectância do vermelho e do infravermelho próximo e se destaca em identificar, com maior precisão, áreas vegetadas (Santana *et al.*, 2018). O NDVI tem sido usado para expressar a variabilidade da vegetação, observando-se sua correlação com as condições climáticas (Chu *et al.*, 2019) avaliar a vegetação na agricultura de precisão, realizando o monitoramento da saúde das plantas e do status de crescimento de culturas (Nicholas; Ng; Tew, 2022; Bouskour; Bahatti; Zaggaf, 2023).

Segundo Ruhoff (2011), a temperatura de superfície (T_s) é muito importante para descrever os processos da superfície terrestre, sendo utilizado em estudos climáticos, hidrológicos e biológicos. Portanto, há correlações significativas da temperatura de superfície com a maioria das variáveis, indicando ser o principal parâmetro biofísico na determinação do saldo de radiação e dos fluxos de calor e evapotranspiração (Martins; Galvani, 2020). Diante do exposto, o objetivo desse trabalho consiste em realizar uma análise espaço-temporal de área de vegetação em um município do semiárido nordestino brasileiro por meio dos índices biofísicos, de albedo, do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Área Foliar (IAF).

4 MATERIAL E MÉTODOS

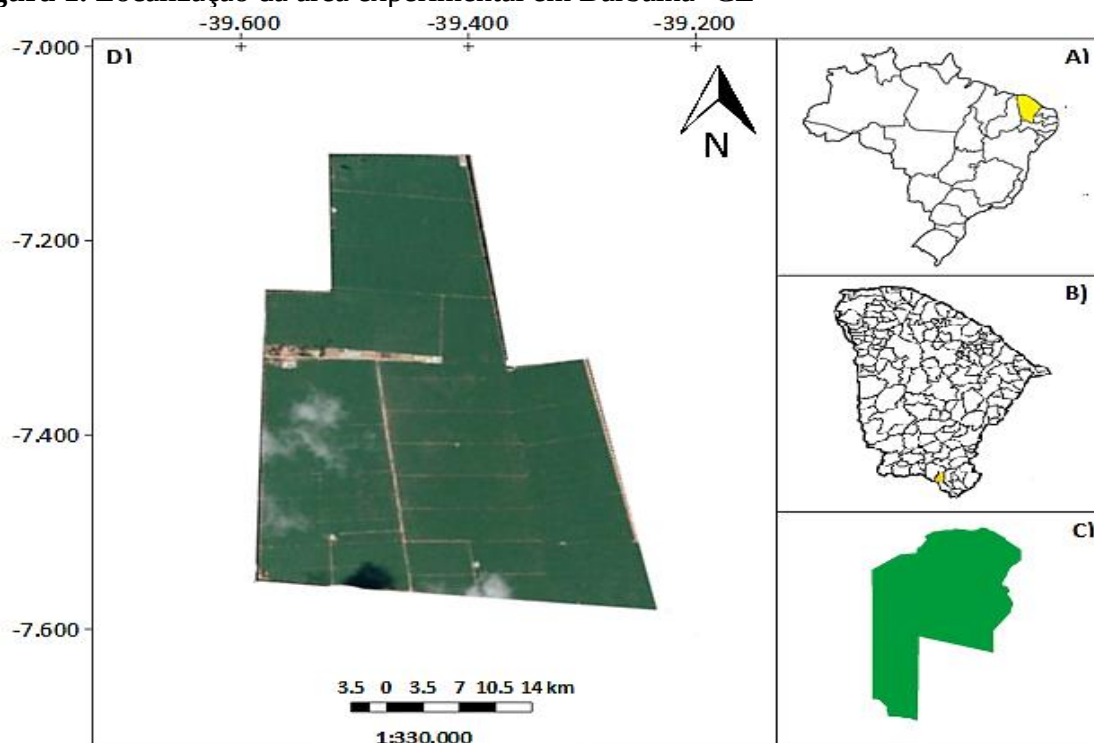
4.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em área com cultivo da banana-nanica (*Musa spp*), e que está localizada no município de Barbalha (Figura 1), na Região Metropolitana do Cariri do estado do Ceará, cujas

coordenadas geográficas são 07° 17' 07,91" Sul e 39° 12' 58" Oeste (Google Earth Pro, 2020).

A cidade de Barbalha dista 553 km da capital do estado, com uma altitude de 415 m acima do nível do mar, possui uma área é de 569,51 km², tem uma população de 55.533 habitantes, está localizada no sopé da Chapada do Araripe e PIB equivalente a R\$ 455.763,00 (IBGE, 2015).

Figura 1. Localização da área experimental em Barbalha- CE



Destacando-se a parcela amostral com o cultivo irrigado da banana nanica [D]- Em [A], o mapa do Brasil, com destaque para o Estado do Ceará; em [B] o mapa do Ceará, com destaque para a Região Metropolitana do Cariri; e em [C] o mapa do município de Barbalha- 2024.

Fonte: Os autores (2024)

4.2. Dados

As informações climáticas coletadas foram obtidas na estação meteorológica automática de Barbalha, Ceará (Instituto Nacional de Meteorologia, 2016).

Foram utilizadas três imagens geradas pelo Operational Land Imager - OLI e Thermal Infrared Sensor - TIRS do satélite Landsat 8, órbita 217 e ponto 65, adquiridas junto ao United States

Geological Survey (USGS, 2016), correspondentes aos dias: 22 de maio (dias após a semeadura (DAS) 143), 10 de agosto (DAS 223), e 29 de outubro (DAS 303) do ano de 2016.

4.3. Procedimentos metodológicos

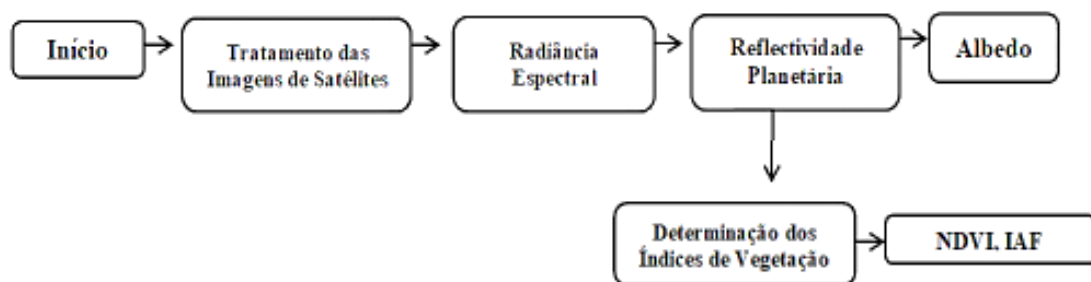
Após a obtenção das imagens junto ao USGS, foi utilizado o software ERDAS Imagine, modelo esse que permite

graficamente criar um fluxograma de trabalho e executar a partir de um ou mais dados de entrada, produzindo uma saída (imagem do tipo Raster). Sendo utilizado para realizar os processos de: empilhamento das bandas, recorte das imagens empilhadas, processamento das imagens, por meio da ferramenta Model Maker, que é responsável por operações matemáticas para cada etapa atribuída ao estudo, sendo

uma ferramenta indispensável para o processamento das imagens e na obtenção das estimativas dos balanços de radiação e energia.

As etapas computacionais no processamento da obtenção dos parâmetros biofísicos através do METRIC estão descritas no diagrama representado pela Figura 2.

Figura 2. Diagrama de etapas computacionais no processamento para obtenção dos parâmetros biofísicos por meio do algoritmo METRIC.



Fonte: Os autores (2024)

As etapas computacionais descritas acima tiveram início na escolha e no tratamento das imagens que ocorreram de acordo com a escolha de imagens com a baixa cobertura de nuvens, visando uma melhor qualidade de processamento, atendendo os requisitos da pesquisa e as

datas com a representação das condições de cobertura do solo em períodos chuvoso e seco. Utilizando os dados obtidos da estação meteorológica que estão descritos na Tabela 1, foi possível através do METRIC estimar os parâmetros biofísicos conforme descritos abaixo.

Tabela 1. Dados meteorológicos utilizados para a obtenção da evapotranspiração de referência (ET_0) segundo o Método de Penman- Monteith, para a região de Barbalha- CE.

Data das imagens	Temperatura (°C)		U. relativa (%)		Velocidade do Vento, (m/s)	Radiação Global MJ/m ² /d	ET _r de Referencia (mm)
	Máx	Mín	Máx	Mín			
22/05/2016	28,4	26,7	75,0	71,0	2,1	22,9	4,1
10/08/2016	23,3	19,6	69,0	63,3	2,2	23,5	4,5
29/10/2016	24,8	21,0	57,6	51,3	2,1	27,9	5,9

U: Umidade; Máx: Máxima; Mín: Mínima

Fonte: DINIZ et al. (2021)

O METRIC foi utilizado na estimativa dos diferentes componentes do balanço de energia à superfície. A primeira etapa chamada de radiância espectral ou

Calibração Radiométrica (Lb), corresponde a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível

do satélite Landsat 8 OLI/TIRS para as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e a banda 10 da termal. É determinada com base nos termos aditivo e multiplicativo, em cada banda, utilizando a Equação 1 (Chander; Markham, 2003; Silva *et al.*, 2016).

$$L_b = \text{Add}_{\text{rad},b} + \text{Mult}_{\text{rad},b} \cdot \text{ND}_b \quad (1)$$

Em que, $\text{Add}_{\text{rad},b}$ é o termo aditivo e $\text{Mult}_{\text{rad},b}$ é o multiplicativo, relativos à radiância (extraídos do metadados de cada imagem do OLI) e é a intensidade de cada pixel e a banda (valores entre 0 e 65.365), observados a partir das imagens.

Na determinação da reflectividade planetária (r_b) precisou-se, converter os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda do OLI, dessa vez para à refletância. Dessa maneira, foram usados os coeficientes radiométricos referentes à refletância, disponibilizados nos metadados das imagens (Chander; Markham, 2003; Silva *et al.*, 2016). A refletância monocromática de cada pixel- r_b ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) dada pela Equação 2:

$$r_b = \frac{(\text{Add}_{\text{ref},b} + \text{Mult}_{\text{ref},b} \cdot \text{ND}_b)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

4.3.1. Albedo da superfície

É dado pela razão entre a radiação solar refletida pela radiação solar global incidente à superfície em todo o domínio da radiação de onda curta à superfície (0,3 a 3,2 μm). O cômputo do α_s é obtido através da Equação 3 com a combinação linear das refletâncias monocromáticas de cada banda:

$$\alpha_s = \sum_{b=1}^n (\rho_{s,b} \cdot \omega_b) \quad (3)$$

Em que: ω_b expressa o peso de cada banda, $\rho_{s,b}$ a reflectância de cada banda do TM, sendo que a reflectância de cada banda corrigido os efeitos atmosféricos é dada pela razão entre a radiação solar refletida- $R_{\text{out},s,b}$ por cada banda e a radiação incidente- $R_{\text{in},s,b}$ (Equação 4), ambas à superfície, o que pode feito segundo expressão (Allen; Tasumi; Trezza, 2007):

$$\rho_{s,b} = \frac{R_{\text{out},s,b}}{R_{\text{in},s,b}} = \frac{\rho_{t,b} - \rho_{a,b}}{\tau_{\text{in},b} \cdot \tau_{\text{out},b}} \quad (4)$$

Em que: $\rho_{s,b}$ é a refletividade do pixel à superfície, $\rho_{t,b}$ é a refletividade da banda b no topo da atmosfera, $\rho_{a,b}$ é a refletância atmosférica, $\tau_{\text{in},b}$ é a transmissividade atmosférica para a radiação solar incidente e $\tau_{\text{out},b}$ é a transmissividade para a radiação solar refletida pela superfície. Segundo Allen, Tasumi e Trezza (2007) $\tau_{\text{in},b}$, $\tau_{\text{out},b}$ são responsáveis pela atenuação de ambos os feixes e radiação difusa.

A refletividade da banda b no topo da atmosfera é estimada de acordo com a seguinte Equação 5 (Allen; Tasumi; Trezza, 2007):

$$\rho_{t,b} = \frac{\pi L_{t,b} d^2}{ESUN_b \cos \theta_{\text{rel}}} \quad (5)$$

Em que: $L_{t,b}$ = energia refletida medida na banda b do satélite ($\text{Wm}^{-2} \text{ster}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), d = distância Terra-Sol em astronômico unidades, $ESUN_b$ é a média solar radiação exoatmosférica sobre a banda b ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$); $\cos \theta_{\text{rel}}$ é o cosseno do ângulo solar de incidência (ou ângulo do zênite solar) em relação ao normal para a inclinação da superfície da terra e pode ser determinado por meio da Equação 6 (Allen; Tasumi; Trezza, 2007):

$$\cos(\theta) = \sin(\delta) \sin(\phi) \cos(S) - \sin(\delta) \cos(\phi) \sin(S) \cos(\gamma) \quad (6)$$

Em que: δ é a declinação do sol, ϕ é a latitude central da cena, s é a inclinação do pixel ($s = 0$ para horizontal e $s = \frac{\pi}{2}$ para declividade vertical); ω é o ângulo horário em radiano ($\omega = 0$ ao meio-dia, negativo de manhã e positivo à tarde); γ é o ângulo azimutal da superfície ($\gamma = 0$ para declividades orientadas para o sul, $\gamma = -\frac{\pi}{2}$ para declividades orientadas a leste, $\gamma = +\frac{\pi}{2}$ para declividades a oeste e $\gamma = \pm \pi$ para declividades orientadas ao norte). A

refletância atmosférica- $\rho_{a,b}$, é dada pela Equação 7 (Allen; Tasumi; Trezza, 2007):

$$\rho_{a,b} = C_b(1 - \tau_{in,b}) \quad (7)$$

Em que C_b é o coeficiente derivado de modelo de transferência radiativa. Os valores das transmitâncias são dados segundo Allen, Tasumi e Trezza (2007) e determinadas pelas Equações 8 e 9, abaixo:

$$\tau_{in,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 P}{K_1 \cos \theta_{hor}} - \frac{C_3 W + C_4}{\cos \theta_{hor}} \right] + C_5 \quad (8)$$

$$\tau_{out,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 P}{K_1 \cos \eta} - \frac{C_3 W + C_4}{\cos \eta} \right] + C_5 \quad (9)$$

Em que C_1 , C_2 , C_3 , C_4 e C_5 são os coeficientes derivados de modelo de transferência radiativa, utilizados os indicados segundo Allen, Tasumi e Trezza (2007), P é a pressão atmosférica (kPa), W é a água precipitável (mm), K_1 é o coeficiente de turbidez atmosférica (valor padrão = 1,0), θ_{hor} é o ângulo zenital solar,

η é o ângulo de visão do sensor relativo a perpendicular de uma superfície plana e horizontal. No caso do Landsat, o $\cos \eta = 1$.

O valor do $\cos \theta_{hor}$ é obtido pela redução da Equação 6, dando origem a Equação 10.

$$\cos \theta_{hor} = \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) \quad (10)$$

4.3.2. Índice de vegetação (NDVI, IAF)

O NDVI- Normalized Difference Vegetation Index, é alcançado através da razão entre a diferença das refletâncias do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V), pela soma das mesmas (Equação 11) de acordo com Allen *et al.* (2002), em que as bandas correspondentes no Landsat 8, são bandas 4 e 5.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (11)$$

O IAF-Índice de Área Foliar é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação e é tido como um indicador da biomassa de cada pixel da imagem (Allen *et al.*, 2002). Tem por base em sua equação o cálculo envolvendo o SAVI, utilizando a Equação 12, obtida por Allen *et al.* (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (12)$$

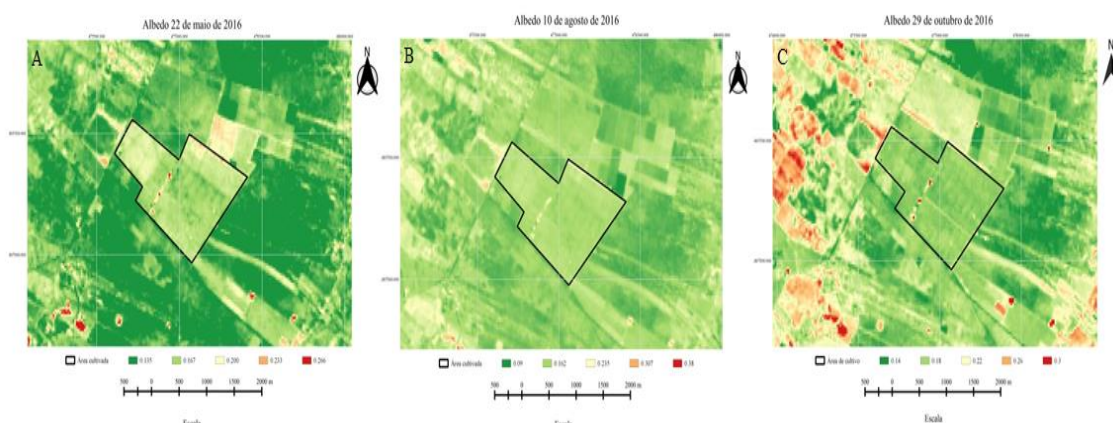
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Albedo da superfície

Na Figura 3 (A, B e C) constam as cartas temáticas do albedo da superfície em área experimental no município de Barbalha – CE. Na área cultivada

(destacada em linha preta) apresentou albedo de 0,16 para o dia 22 de maio, de 0,16 em 10 de agosto, e de 0,18 em 29 de outubro. Os maiores valores de albedo obtidos pelo METRIC na área variaram entre 0,26 a 0,38, em locais de solo exposto e os menores entre 0,09 e 0,14.

Figura 3. Cartas temáticas do albedo da superfície no município de Barbalha – CE: 22 de maio (A), 10 de agosto (B) e 29 de outubro (C) do ano de 2016.



Fonte: Os autores (2023)

Em geral os valores de albedo de superfície não tiveram variações significativas, porém o mês de outubro, mês esse, pertencente ao período de seca da região, observou-se maior concentração de valores extremos de albedo de superfície em torno da área de estudo, confirmando o estimado por Bezerra *et al.* (2014) que obteve maiores valores de albedo no período de estiagem, nas áreas de solo exposto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte.

5.2 Índices De Vegetação

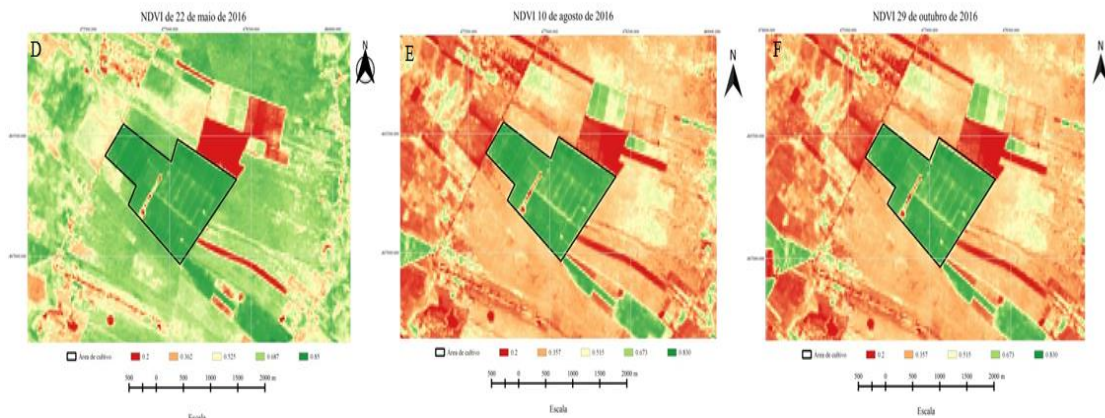
5.2.1 NDVI

A Figura 4 (D, E e F) apresenta as cartas temáticas do NDVI em área

experimental (destacada em linha preta) no município de Barbalha – CE, com valores de NDVI de 0,85 em 22 de maio, de 0,83 para os dias 10 de agosto e 29 de outubro.

Os menores valores de NDVI foram observados em áreas de solo exposto de 0,26 e de 0,35 a 0,52 em área de baixa densidade na vegetação. Tais resultados corroboram com os valores encontrados por Santos *et al.* (2020) que encontrou os menores valores de NDVI em solo exposto no estado de Alagoas também para o ano de 2016. E com Alves *et al.* (2015) e Gomes *et al.* (2013) que encontraram valores entre 0,09 e 0,25 para solo exposto no município de Água Branca – AL e em áreas de Vegetação Rala foram encontrados valores que variam entre 0,26 e 0,43.

Figura 4. Cartas temáticas do NDVI, no município de Barbalha – CE: 22 de maio (D), 10 de agosto (E) e 29 de outubro (F) do ano de 2016.



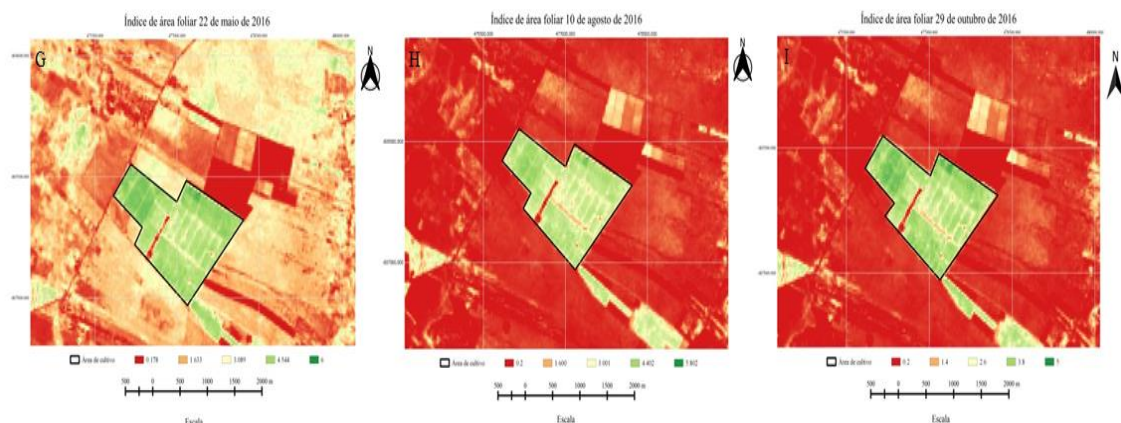
Fonte: Os autores (2023)

5.2.2 IAF

Na Figura 5 (G, H e I) as cartas temáticas do IAF-METRIC. Com maiores valores de IAF na área agrícola irrigada, que oscilaram entre 4,0 e 6,0, considerados altos quando comparados aos encontrados

por Gameiro et al. (2016) que em área com irrigação natural de fruticultura, em região litorânea do Ceará identificaram IAF de 0,11 em período úmido e por Oliveira *et al.* (2012) que obteve resultados médios instantâneos de IAF entre 0,40 a 2,47.

Figura 5. Cartas temáticas do Índice de Área Foliar (IAF- METRIC) no município de Barbalha – CE: 22 de maio (G), 10 de agosto (H) e 29 de outubro (I) do ano de 2016.



Fonte: Os autores (2023)

6 CONCLUSÃO

As técnicas de sensoriamento remoto possibilitaram identificar, mapear e analisar os parâmetros biofísicos da

superfície em área irrigada no Estado do Ceará.

Não houve variações significativas no albedo de superfície para o período estudado.

Os índices de vegetação (NDVI e IAF) relacionados com as precipitações pluviométricas, o mês de maio, que antecede o período chuvoso da região do Ceará, é o período que apresenta condições de desenvolvimento da cultura da banana, levando aos valores mais expressivos destes índices.

Por fim, pesquisas nesta temática são relevantes, por analisarem as interações e interferências físico-químicas e que com utilização de algoritmos como o METRIC, permite identificar diferenças nos padrões espaciais e temporais dos parâmetros biofísicos em resposta ao uso e à ocupação do solo e gerar de subsídios à adequada gestão e tomadas de decisões dos recursos hídricos.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas aos autores, permitindo trabalhos e pesquisas como essa.

8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **SEBAL** - Surface Energy Balance Algorithm for Land. Advanced training and Users Manual. Version 1.0. Kimberly: University of Idaho, 2002.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 133, n. 4, p. 380-394, 2007.
- ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B.; SILVA, E. F. S.; SANTOS, M. N.; SANTOS, C.; CABRAL, S. L. Mapeamento do IVDN e IVAS para o município de Coqueiro Seco - AL a partir de imagens geradas pelo Thematic Mapper do Landsat 5. In: **SIMPÓSIO SOBRE GEOTECNOLOGIAS E GEOINFORMAÇÃO DO ESTADO DE ALAGOAS**, 3., 2015, Maceió. **Anais [...]**. Alagoas: Geo Alagoas, 2015. p. 181-188. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/es/dataset/anais-do-3-geoalagoas-simposio-sobre-as-geotecnologias-e-geoinformacao-no-estado-de-alagoas-2015/resource/5190fcd9-999f-4a52-8cfa-ead906cb2cfe>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n.1, p. 73-84, 2014.
- BOUSKOUR, S.; BAHATTI, L.; ZAGGAF, M. H. The use of NDVI to improve cereals agriculture: A review. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE RESEARCH IN APPLIED SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY**, 3., 2023, Mohammedia. **Proceeding [...]**. Marrocos: IEEE, 2023. p. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/IRASET57153.2023.10153054>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10153054>. Acesso em: 5 jun. 2023.
- CORDÃO, M. A.; DINIZ, R. R. S.; GUERRA, H. O. C.; SANTOS, C. L. M.; Evapotranspiração real do coqueiro - anão determinada pelo modelo METRIC Parametrizado no Semiárido Paraibano. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 134-147, 2023.
- CHANDER, G.; MARKHAN, B. Revised Landsat 5 - TM radiometric calibration

procedures and post calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

CHU, H.; VENEVSKY, S.; WU, C.; WANG, M. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 650, p. 2051-2062, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.115>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718335575>. Acesso em: 7 jun. 2022.

DJAMAN, K.; O'NEILL, M.; SMEAL, D.; KOUDAHE, K.; WEST, M.; LOMBARD, K.; IRMAK, S. Evapotranspiração da cultura, necessidade de água para irrigação e produtividade hídrica do milho a partir de dados meteorológicos em clima semiárido. **Water**, Basileia, v. 10, n. 4, p. 405- 421, 2018.

DINIZ, R. R. S.; CORDÃO, M. A. C.; GUERRA, H. O. C.; OLIVEIRA, C. W. Parâmetros biofísicos estimados pelo algoritmo METRIC em área de cultivada no Semiárido do estado do Ceará. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 3, p. 701-716, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n3p701-716>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4448>. Acesso em: 12 fev. 2024.

GAMEIRO, S.; TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. D. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE.

Terra, Campinas, v. 13, n. 1/2., p. 15-22, 2016.

GOMES, H. B.; SILVA JUNIOR, R. S.; PACE, F. T. Mapeamento temático da cobertura vegetal na microrregião do sertão do São Francisco Alagoano, utilizando imagens TM LANDSAT 5. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 5, p. 1121-1132, 2013.

GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro. versão 9.152.0.1**. [S. l.]: Google, 2020. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 20 set. 2022.

IBGE. **Perfil Econômico e infográficos da cidade de Barbalha**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acessado em: 15 jan. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos anuais**. Brasília, DF: INMET, 2016. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 18 set. 2020.

IVO, I. O.; BIUDES, M. S.; COSTA, R. O.; MACHADO, N. G.; SANTOS, L. O. F.; PEDREIRA JUNIOR, A. L. Variação temporal de parâmetros biofísicos da superfície por imagens Landsat 5 em diferentes coberturas do solo em uma área de transição de Cerrado e Pantanal em Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 5, p. 597-602, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i5.10064>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/10064>. Acesso em: 18 set. 2022.

LEAL, F. A.; SOUZA, C. M.; LEAL, G. S. A.; MIGUEL, E. P. Utilização do NDVI na análise da vegetação após ocorrência de incêndio. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 2, p. 226-

- 231, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6664>. Disponível em <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6664>. Acesso em: 10 set. 2023.
- LIAKOS, K. G.; BUSATO, P.; PEARSON, S.; BOCHTIS, D. Aprendizado de máquina na agricultura: Uma revisão. **Sensores**, Basileia, v. 18, n. 8, artigo 2674, p. 2674-2703, 2018.
- MARTINS, A.; GALVANI, E. Desempenho do algoritmo SEBAL para estimativa de vazão em bacias hidrográficas do Cerrado Brasileiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia v. 32, p. 687-698, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-53169>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/53169/30030>. Acesso em: 06 jul. 2023.
- MARTINS, A. P.; ROSA, R. Estimativa do albedo de superfície utilizando imagens Modis/Aqua e o algoritmo SEBAL na Bacia do rio Paranaíba-Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 17., 2016, Puerto Iguazú. **Anais [...]**. Puerto Iguazú: SELPER, 2016. p. 3045-3058.
- MELTON, F. S.; HUNTINGTON, J.; GRIMM, R.; HERRING, J.; HALL, M.; ROLLISON, D.; ERICKSON, T.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; FISHER, J. B.; KILIC, A.; SENAY, G. B.; VOLK, J.; HAIN, C.; JOHNSON, L.; RUHOFF, A.; BLANKENAU, P.; BROMLEY, M.; CARRARA, W.; DAUDERT, B.; DOHERTY, C.; DUNKERLY, C.; FRIEDRICH, M.; GUZMÁN, A.; HALVERSON, G.; HANSEN, J.; HARDING, J.; KANG, Y.; KETCHUM, D.; MINOR, B.; MORTON, C.; ORTEGA-SALAZAR, S.; OZDOGAN, T. O. M.; REVELLE, P. M.; SCHULL, M.; WANG, C.; YANG, Y.; ANDERSON, R. G. Preenchendo uma lacuna crítica de dados na gestão da água para o oeste dos Estados Unidos. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 58, n. 6, p. 971-994, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12956>. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1752-1688.12956>. Acesso em: 2 jun. 2023.
- NICHOLAS, N. J. H.; NG, Y. P.; TEW, Y. Intelligent Farming with NDVI Integrated Agriculture Solution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREEN ENERGY, COMPUTING AND SUSTAINABLE TECHNOLOGY, 2022, Miri Sarawak. **Anais [...]**. Piscataway: IEEE, 2022. p. 342-345, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/GECOST55694.2022.10010427>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10010427>. Acesso em: 17 jan. 2021.
- OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B. Variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de reposição hídrica por gotejamento subsuperficial. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 32, n. 3, p. 350-366, 2019. Disponível DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n3p350-363>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1120210>. Acesso em: 08 fev. 2021.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 9, p. 1209-1217, 2012.

- PEZZONI FILHO, J. C.; LESSA, L. G. F.; FILGUEIRAS, R.; LEDA, V. C.; ZIMBACK, C. R. L.; FURTADO, E. L. Comportamento do vigor foliar em seringueira em diferentes fenologias de dossel. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 5, p. 497-506, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5279>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/5279>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- RUHOFF, A. L. **Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- SANTANA, S. H. C.; SILVA, E. R. A. C.; LAURENTINO, M. L. S.; MELO, J. G. S.; GALVÍNCIO, J. D. Identificação dos índices de vegetação com melhores respostas espectrais para a Mata Atlântica na cidade de São Paulo-SP. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 3, n. 2, p. 200-209, 2018. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.3.2.2018.1765>. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1765>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- SANTIAGO, A. D.; CHICO, D.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; GARRIDO, A.; CARNAÚBA, P. J. P. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. **Agrometeoros**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 209-216, 2017.
- SANTOS, F. S.; GOMES, H. B.; BARROS, G. V. P.; ALVES, L. E. R.; SILVA, D. F.; COSTA, R. L.; SILVA, F. D. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Análise Sazonal dos Parâmetros Biofísicos Utilizando o Sensor MODIS para o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 35, n. Especial, p. 955-968, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786355009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/j5XMWwf8tkZcw9nj94nXTPH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 mar. 2021.
- SILVA, A. M.; SILVA, R. M.; SILVA, B. B. Determinação de temperatura da superfície e estimativa do saldo de radiação e evapotranspiração usando imagens Landsat e dados observados. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 6, p. 1203-1216, 2015.
- SILVA, B. B. D.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M.; MONTENEGRO, S. M.; BARBOSA JUNIOR, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016.
- SILVA, C. V. S.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, L. C. Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 6, p. 708-717, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7646>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7646/6436>. Acesso em: 21 set. 2022.
- SILVA; W. T.C.; BARBOSA; H. A. Avaliação da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar: estudo de caso usina Coruripe para as safras de 2000/2005. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 5, p. 2301-2312, 2021.

DOI:
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1352-1366>. Disponível em:
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgf/article/view/244967>. Acesso em: 14 ago. 2022.

SIMÕES, E. M.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. Índice de vegetação por diferença normalizada associado às variáveis pluviométricas para a sub-bacia do Rio Espinharas – PB/RN. **Nativa**, Sinop,

v. 9, n. 1, p. 106-114, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10453>. Disponível em:
<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/10453>. Acesso em: 20 set. 2022.

USGS. **Landsat 8 (L8) data users handbook**. Reston: USGS, 2016. Disponível em: earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 23 dez. 2022.