

ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE ESTIMADA PELO ALGORITMO METRIC- EEFLUX DA CULTURA DA BABANA-NANICA IRRIGADA

RENATA RICHELLE SANTOS DINIZ¹; MAILSON ARAÚJO CORDÃO²; HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA³; JORGE ALVES DE SOUZA⁴

¹ Engenheira de Biossistemas, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, renata_richelle@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8449-0881>.

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, mailson.cordao@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4079-9817>.

³ Engenheiro Agrônomo Ph.D. Professor Titular, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, hugo_carvalho@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5968-5509>.

⁴ Estatístico, Ph.D. Professor Titular, Unidade Acadêmica de Física e Matemática, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, jorge.alves@professor.ufcg.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-7951-9416>.

1 RESUMO

A análise espacial e temporal da temperatura de superfície em diferentes usos da terra pode fornecer subsídios para a gestão e planejamento ambiental. O objetivo do trabalho foi estimar e analisar a dinâmica espaço-temporal da temperatura de superfície, através da aplicação do algoritmo METRIC em sua versão automatizada disponibilizada no Google Earth o EEFlux, 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 obtidas para o mês de outubro dos anos de 2022, 2023 e 2024. Os resultados obtidos revelaram consistências com dados da literatura bem como não houve grande variação temporal na área estudada. Verificou-se que dentro da área cultivada a temperatura superficial terrestre, variou entre 25,3 e 51,8 °C, 41,6 e 53,7°C e 39,8 e 55°C, para os anos de 2022, 2023 e 2024, respectivamente. As mais altas temperaturas como esperado foram estimadas em pontos superficiais com pouca ou quase nenhuma vegetação. Conclui-se que as temperaturas de superfícies avaliadas pelo algoritmo METRIC- EEFlux são eficazes e eficientes na compreensão da dinâmica dos padrões espaciais, temporais e espectrais de regiões semiáridas.

Palavras-chave: Musa spp, sensoriamento remoto, cobertura vegetal, fruticultura irrigada, TM-Landsat 8.

DINIZ, R. R. S.; CORDÃO, M. A. C.; GUERRA, H. O.C.; SOUSA, J.A.
**ANALYSIS OF SURFACE TEMPERATURE ESTIMATED BY THE METRIC-
EEFLUX ALGORITHM OF THE IRRIGATED BABANA-NANICA CROP**

2 ABSTRACT

Spatial and temporal analysis of surface temperature in different uses of it soil puede brindar apoyo a la environmental management and planning. The objective of this work is to analyze the spatiotemporal dynamics of surface temperature through the application of the del METRIC

algorithm to the automated version available in Google Earth, EEFlux, using remote sensing techniques in an irrigated area with banana dwarf in the municipality of Barbalha, CE. They used Landsat-8 OLI/TIRS satellite images obtained for the month of October of the last year (2022, 2023 and 2024) to obtain these estimates. Consistency was obtained from data from the literature, and significant temporal variation in the hub was detected in the studied area. Within the cultivated area, the surface temperature of the soil varies between 25.3 and 51.8 °C, 41.6 and 53.7 °C, and 39.8 and 55 °C for 2022, 2023 and 2024, respectively. As expected, the highest temperatures were estimated in points of the surface with little or no vegetation. It is concluded that surface temperatures evaluated using the METRIC-EEFlux algorithm are effective and efficient for understanding the spatial, temporal and spectral dynamics of patterns in semiarid regions.

Keywords: Musa spp, remote sensing, vegetation cover, irrigated fruit farming, TM-Landsat 8.

3 INTRODUÇÃO

Existem muitas vantagens ao se fazer uso do sensoriamento remoto orbital com o propósito de identificar alterações no uso da terra e as alterações climáticas advindas de tais mudanças. Destaque-se a grande cobertura espacial, a facilidade de obtenção das imagens e a possibilidade de estimar alguns parâmetros que só seriam obtidos com instrumentos normalmente utilizados em estudos experimentais (Santos *et al.*, 2015).

Os algoritmos utilizados para processar os dados fornecidos pelo Sensoriamento Remoto são compostos por equações ajustadas para adequar técnicas para diferentes escalas, gerando informações aplicáveis, sem a necessidade de contato físico, proporcionando uma melhor compreensão de alvos distintos (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012).

Atualmente existe a plataforma online, Google Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux) que foi projetada e desenvolvida dentro do Google Earth Engine (GEE) (Gorelick *et al.*, 2017) com base no algoritmo METRIC e que funciona como um meio de automatizar a entrada e manipulação de dados, no intuito de acelerar o processo e a obtenção da ET (Costa, 2019).

Allen *et al.* (2005) afirmam que a nova ferramenta do Google EEFlux é uma nova versão do algoritmo METRIC capaz de estimar valores de parâmetros biofísicos como a temperatura de superfície comparáveis aos valores encontrados pelo algoritmo METRIC em sua versão tradicional.

No que diz respeito à utilização de imagens de satélite para os estudos de temperatura de superfície, a faixa do espectro mais utilizada é a do termal, o qual capta a radiação emitida pelas superfícies (Pereira *et al.* 2012). Mas de acordo com Mendonça (2003), estes estudos são ainda possuem uma difusão limitada na climatologia em função das limitações decorrentes da presença de atmosfera entre o alvo (superfície) e o sensor.

A temperatura de superfície diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do corpo, sendo de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera (Steinke; Steinke; Saito, 2010).

A análise da temperatura aparente da superfície terrestre em diferentes usos da terra e a cobertura vegetal pode fornecer subsídio para a gestão e planejamento ambiental, que neste presente trabalho, tem como objetivo realizar uma análise espaço-temporal de área de vegetação irrigada da

cultura de banana-nanica em um município do semiárido nordestino brasileiro por meio da temperatura de superfície, utilizando técnicas de sensoriamento remoto com uso de imagens orbitais do Landsat 8.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado em área com cultivo da banana-nanica (*Musa spp*), 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 se encontra distante 553 km da capital do estado, com uma altitude de 415 m acima do nível do mar, com 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, 2021).

Figura 1. Localização da área experimental de Barbalha- CE, destacando a parcela amostral com o cultivo irrigado da banana nanica (em vermelho).



Fonte: GOOGLE EARTH PRO (2023).

Com base na classificação de Koppen-Geiger, o clima na localidade em estudo é do tipo quente e úmido (Aw). A temperatura média anual está próxima de 24,9 °C, umidade relativa superior a 80%, taxa de insolação de 2.848 horas anual e velocidade média do vento próxima a 1,90 ms⁻¹, entretanto, a taxa evaporativa supera 2000 mm/ano, reforçando a importância da

suplementação hídrica via irrigação (Medeiros *et al.* 2013).

Segundo Matos *et al.* (2015), a precipitação média anual é de 1.047,9 mm, com 66,3% das chuvas sendo registradas entre os meses de janeiro a abril, período caracterizado por Silva *et al.* (2013), como o quadrimestre mais chuvoso.

4.2 Obtenção de Imagens

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 a plataforma online EEFlux, correspondentes aos dias (DSA = dia sequencial do ano), de 30 de outubro de 2022 (DSA 303), dia 01 de outubro de 2023 (DSA 274), e do dia 27 de outubro de 2024 (DSA 301).

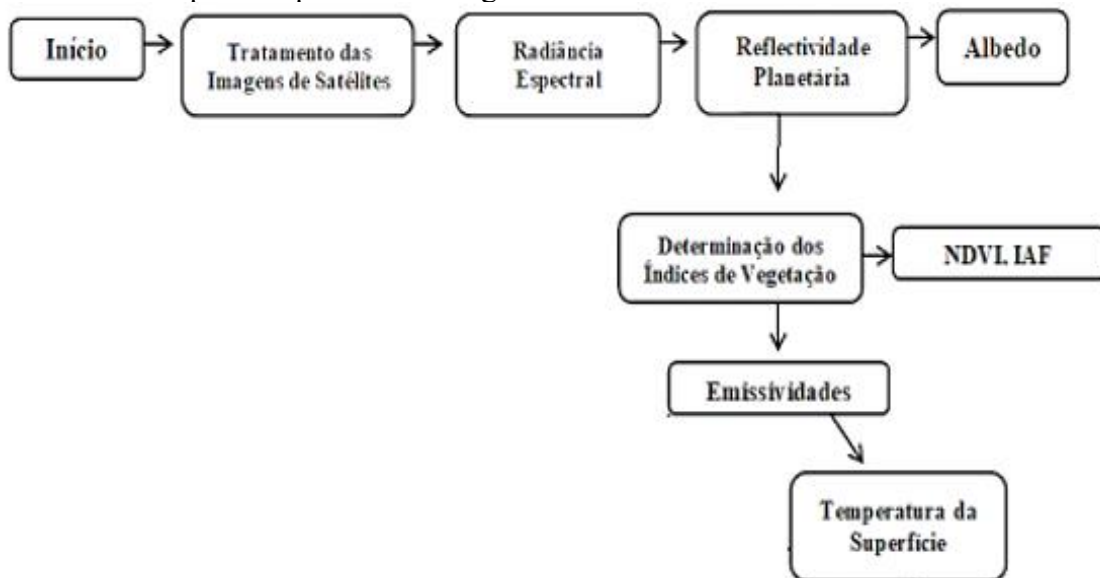
A escolha das imagens se deu de acordo em escolher imagens com baixa

cobertura de nuvens, proporcionando uma melhor qualidade de processamento, atendendo os requisitos da pesquisa.

4.3 Processamento de Imagens

Iniciou-se após a obtenção das imagens junto à plataforma. As etapas computacionais que são empregadas seguem as mesmas etapas seguidas para obtenção da temperatura da superfície realizadas através do algoritmo METRIC- EEFlux na sua forma automatizada, que estão dispostas no diagrama da Figura 2.

Figura 2. Diagrama de etapas computacionais no processamento para obtenção da temperatura de superfície por meio do algoritmo METRIC- EEFlux.



Fonte: O autor (2024).

4.4 Temperatura da Superfície (T_s)

A equação de determinação da temperatura da superfície foi obtida em kelvin (Equação 1) (Allen *et al.*, 2002), abaixo:

$$T_S = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1}{L_{b,10c}} + 1\right)} \quad (1)$$

Em que: $L_{b,10c}$ é radiância espectral da banda termal do Landsat 8 do sensor TIRS; ϵ_{NB} a emissividade, e K_1 e K_2 que são

constantes de calibração da banda termal 10 do Landsat 8 TIRS ($K_1 = 774,89$ e $K_2 = 1321,08 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), extraídos dos metadados das imagens processadas.

Após a obtenção das estimativas da temperatura na unidade decimal Kelvin, é realizado a transformação para unidade Celsius (Equação 2):

$$T_C = T_K - 273,15 \quad (2)$$

Sendo: T_C a temperatura em Celsius e T_K a temperatura em Kelvin.

4.5 Emissividade

Como cada pixel por si só não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, existe a necessidade de acrescentar à emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal – ϵ_{NB} (10,4 – 12,5 μm).

Segundo (Allen; Tasumi; Trezza, 2007), as ϵ_{NB} pode ser obtida e validada conforme a equação abaixo (Equação 3).

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot \text{IAF} \quad (3)$$

Sendo: ϵ_{NB} a emissividade e IAF o índice de área foliar.

4.6 Correção atmosférica ($L_{b,10c}$)

A correção atmosférica é uma etapa crucial para uma estimativa precisa da energia real emitida pela superfície terrestre, permitindo a eliminação de “ruídos” atmosféricos como de gases (CO_2 e O_3), do vapor de água e das nuvens que absorvem e reemitem radiação térmica na atmosfera. Essa interação altera a intensidade da radiação que sai da superfície, necessitando da correção. Em imagens de satélite, a atmosfera altera a radiação que atinge o sensor, exigindo correção para mapear a verdadeira temperatura da superfície.

A aplicação do método de correção deve ser realizada na radiância espectral da banda termal do Landsat 8 do sensor TIRS (Equação 4) (Allen *et al.*, 2007):

$$L_{b,10c} = \left(\frac{L_{b,10} - R_p}{\tau_{NB}} \right) - (1 - \epsilon_{NB}) \cdot R_{sky} \quad (4)$$

Sendo que: $L_{b,10c}$ é a radiância da banda termal corrigida ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), $L_{b,10}$ é a radiância da banda termal obtida ao nível orbital ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), R_p é a radiância de trajetória na faixa espectral da banda 6 ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$), τ_{NB} é a

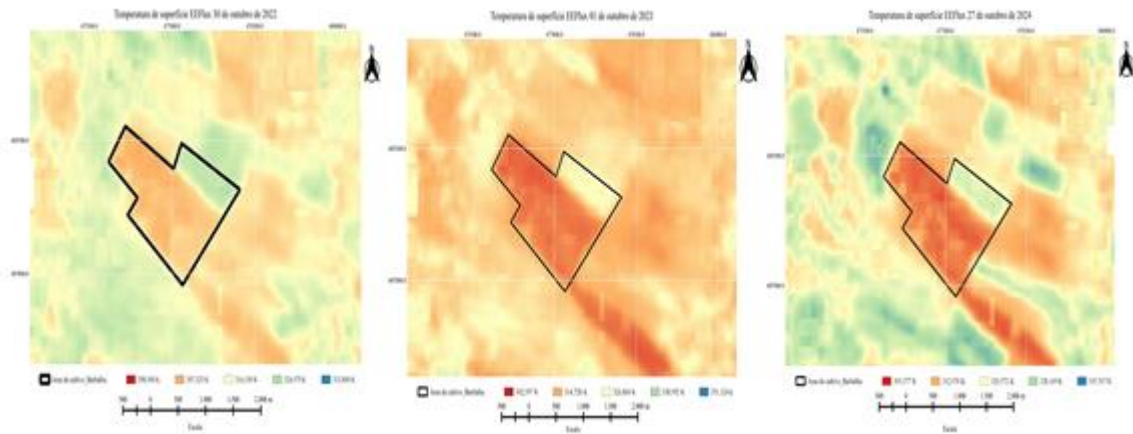
transmitância atmosférica da banda termal, ϵ_{NB} é a emissividade de cada pixel (Equação 23) e R_{sky} é a radiância de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície para céu limpo. Os valores para R_p e τ_{NB} requerem o uso de uma radiação atmosférica modelo de simulação de transferência, como MODTRAN (Moderate Resolution Atmospheric Transmission). Na falta de um modelo de correção atmosférica, correções no cálculo de $L_{b,10c}$ são ignorados definindo $R_p = 0$, $\tau_{NB} = 1$ e $R_{sky} = 0$ (Allen *et al.*, 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área de cultivo de banana as temperaturas de superfície foram de 43, 47,6 e 47,4 °C, para as datas de 30 de outubro de 2022 (A), 01 de outubro de 2023 (B) e 27 de outubro de 2024 (C), respectivamente (Figura 3). Os tons mais escuros em vermelho estão as menores temperaturas superficiais, representando às áreas mais vegetadas, já as áreas de pouca vegetação e solo exposto, encontram-se em tons de bege e azul, corroborando com Silva *et al.* (2015), que ao analisarem a temperatura em área da região semiárida no Estado da Paraíba, constataram que as menores temperaturas foram estimadas em área de vegetação de porte mais elevado, que oscilaram entre 21,8 e 34,76° com média de 31,5°C e com maior valor de temperatura estimada no mês de outubro.

Como esperado, de forma geral, as temperaturas mais altas foram em superfícies com pouca ou nenhuma vegetação, para todas as imagens analisadas no mês de outubro, do período de estudo, mês que pertence ao período de seca da região e da pré-estação chuvosa no estado do Ceará.

Figura 3. Cartas temáticas da temperatura da superfície do solo (T_s- METRIC- EEFlux) no município de Barbalha – CE: 30 de outubro de 2022 (A), 01 de outubro de 2023 (B) e 27 de outubro (C) do ano de 2024.

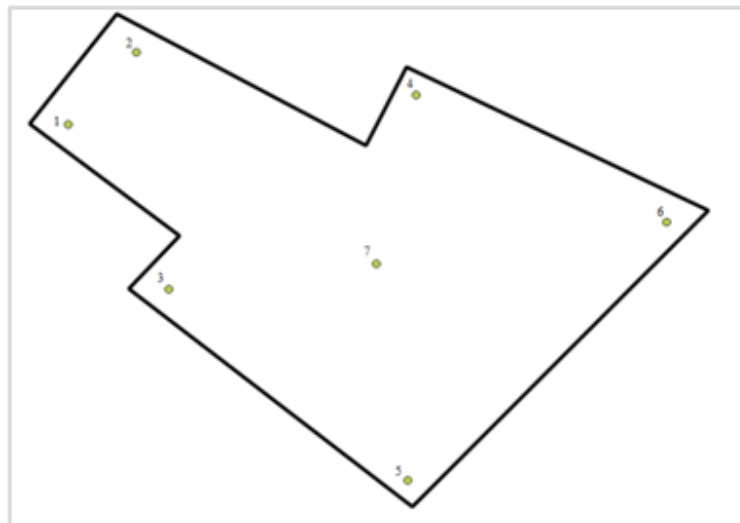


Fonte: O autor (2024).

As temperaturas em sua variação espacial, foram estimadas e analisadas em 7 pontos de controles distribuídos dentro da área cultivada (Figura 4), as temperaturas de

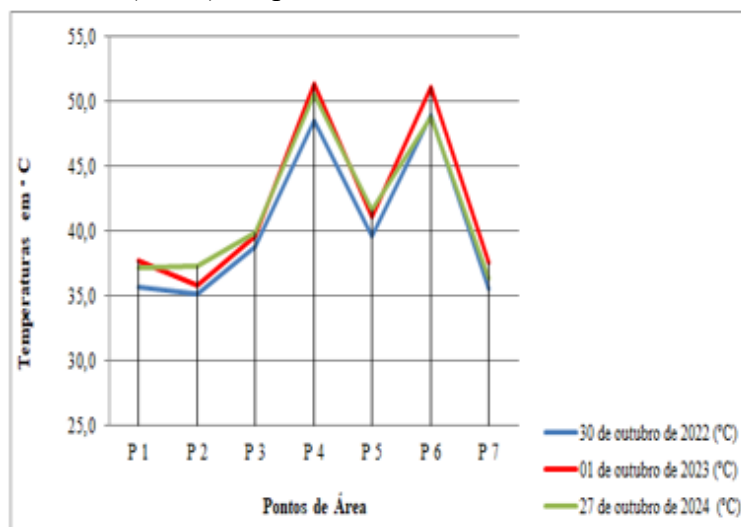
superfície terrestre, variaram de P1 a P7 entre 35,2 e 49°C em 2022, entre 35,8 e 51,4°C em 2023 e em 2024 de 36,3 e 50,6 °C (Figura 5).

Figura 4. Esquema de pontos de controles de Temperatura de superfície (em verde).



Fonte: O autor (2025).

Figura 5. Variação de pontos de controles (P1 a P7) de Temperatura de superfície em °C para os dias 30 de outubro de 2022 (Azul), 01 de outubro de 2023 (vermelho) e 27 de outubro de 2024 (verde), respectivamente.



Fonte: O autor (2025).

De acordo com a localização dos pontos de controle as temperaturas detectadas na imagem, a temperatura de superfície no solo apresentou maiores valores no geral nos pontos 4 e 6, ambos presentes na região nordeste da área cultivada, que segundo Gartland (2010), às temperaturas mais elevadas, são relacionadas à baixa ou falta de cobertura do solo, acarretando uma constante incidência de radiação solar, e uma alta amplitude térmica, assim, aquecendo rapidamente durante o período de exposição solar, fazendo com que a temperatura aumente durante o dia, aumentando a irradiação de calor e sua temperatura e as menores temperaturas estimadas no geral foram encontradas nos pontos 2 e 7.

A temperatura superficial entre os pontos de coleta analisados em 2022 variaram entre 28,8 e 30,3 °C, com predominância de temperatura compreendida 35,5°C. Já em 2023 variaram de 35,8 a 51,4 °C e no ano de 2024 a variação foi entre 36,3 e 50,6 °C, com predominância média de 37,6 °C, que conforme Diniz *et. al* (2021) o mês de outubro é um mês contido dentre o período seco, de déficit

pluviométrico, o que acarreta em altas temperaturas do ar estimadas, elevando as temperaturas de superfícies, mesmo com a área irrigada.

6 CONCLUSÃO

As cartas temáticas produzidas da temperatura de superfície a partir de imagens de satélite do LANDSAT 8 e da plataforma online EEFlux, permitiram detectar diferentes graus de cobertura vegetal na área irrigada de banana, bem como oferecem dados com potencial de utilização para pessoas físicas, poder público e área acadêmica, permitindo gerar subsídios de tomadas de decisões para redução na utilização excessiva dos recursos hídricos. O uso do sensoriamento remoto permitiu identificar diferenças nos padrões espaciais e temporais em resposta ao uso e da ocupação do solo sendo uma técnica promissora no gerenciamento de área agrícola, reduzindo custo e tempo.

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.; MORSE, A.; TREZZA, R. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. **Irrigation and Drainage systems**, Berlim, v. 19, n. 3, p. 251-268, 2005.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W. G. M. **SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land**. Advance Training and User's Manual. Version 1.0. Idaho Implementation, 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.

COSTA, J. O. **Variabilidade espacial do consumo hídrico de cultivos irrigados utilizando sensoriamento remoto**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

DINIZ, R. R. S.; CORDÃO, M. A.; GUERRA, H. O. C.; OLIVEIRA, C. W. Evapotranspiração real da banana-nanica determinada pelo algoritmo METRIC no Semiárido do Ceará. **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: 08 ago. 2022.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jun. de 2024

GOOGLE EARTH PRO. **Barbalha- CE, Brasil**. Versão 7.3. Google Earth Pro, 2024. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 20 set. 2020.

IBGE. **Perfil Econômico e infográficos da cidade de Barbalha**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/barbalha.html>. Acesso em: 15 jan. 2023.

MATOS, R. M.; MEDEIROS, R. M.; SILVA, P. F.; FRANCISCO, P. R. M.; SABOYA, L. M. F. Variação climatológica da precipitação no município de Barbalha – CE. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2015, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: CONTECC, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303966783_VARIACAO_CLIMATOLOGICA_DA_PRECIPITACAO_NO_MUNICIPIO_DE_BARBALHA_-CE. Acesso em: 16 mar. 2023.

- MEDEIROS, R. M.; SILVA, J. A. S.; SILVA, A. O.; MATOS, R. M.; BALBINO, D. P. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de Barbalha, CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 4, p. 258- 268, 2013. DOI: 10.7127/rbai.v7n400018. Disponível em: https://inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/178/pdf_143. Acesso em: 11 FEV. 2024.
- MENDONÇA, F. O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendência e alguns desafios. In: MONTEIRO, C, A. de F.; MENDONÇA, F. (org). **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 175-192.
- PEREIRA, C. C.; MARIANO, Z. F.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. B. P. Análise da temperatura de superfície e do uso da terra e cobertura vegetal na bacia barra dos coqueiros (Goiás). **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 9, p. 1243, 2012. Disponível em: [//www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2576](http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2576). Acesso em: 10 jun. 2025.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São Paulo: oficina de textos, 2012.
- SANTOS, F. A. C. S.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, B. B.; ARAÚJO, A. L.; CUNHA, J. E. B. L. C. Desempenho de metodologias para estimativa do saldo de radiação a partir de imagens MODIS. Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 3, 295-306, 2015.
- 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, n. 67, n. 6, p. 1203-1216, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv67n6-44637>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44637/23653>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M.; SILVA, A. O.; SILVA, J. W. O. S.; MATOS, R. M. 2013. Oscilações no regime da precipitação pluvial no município de Barbalha - CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO, 1., Iguatu, 2013. **Anais [...]**. Iguatu: MASSA, 2013. p. 877-885. Disponível em: https://docs.google.com/file/d/0B1X1KXGQg0_5UmQ5Y1JlczY2SzA/edit?resourcekey=0-071e0MGXWS3HKwN97FxpKA. Acesso em: 18 jan. 2024.
- SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M.; SILVA, A. O.; SILVA, J. W. O. S.; MATOS, R. M. Oscilações no regime da precipitação pluvial no município de Barbalha - CE. I Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido – SBRNS, 22 a 24 de maio de 2013, Iguatu – CE, Brasil.
- STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, ano 6, p. 37-56, 2010.