

(Artigo de Revisão)

APLICAÇÃO DO ALGORITMO SAFER COMO FERRAMENTA PARA PESQUISA DE EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS E SUA APLICAÇÃO NA AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL

Application of the safer algorithm as a tool for researching hydrometeorological events and its application in sustainable agriculture

Rafael Rodrigo Ferreira de Lima^{1*}

¹Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE. Brasil.

Submetido em: 05.09.2023; Aceito em: 21.08.2024; Publicado em: 26.08.2024.

*Autor para correspondência: rafaelarielrodrigo@gmail.com

Resumo: A demanda por alimentos e água potável para uma população continuamente crescente exige que os sistemas produtivos modifiquem seus processos de forma a otimizar a produção. No outro extremo, as emergências climáticas exigem mudanças significativas no modo de viver dos seres humanos. Nesse cenário, é imperativo o uso racional dos recursos naturais, como a água, tanto para a produção de alimentos quanto para o abastecimento nos centros urbanos, periurbanos e rurais. Neste artigo, objetiva-se esclarecer a metodologia do algoritmo SAFER e verificar as aplicações desse algoritmo na literatura científica, por meio da revisão narrativa da literatura, de modo a expandir sua popularização. A metodologia empregada envolveu a análise de artigos científicos de acesso aberto e revisado por pares recuperados da Plataforma de Periódicos CAPES. Os artigos serviram de base para a descrição do algoritmo SAFER bem como elencar suas aplicações no Brasil e no exterior. Concluiu-se que SAFER é um algoritmo que representa uma imensa facilidade para a pesquisa de eventos hidrometeorológicos capazes de influenciar significativamente os ecossistemas e as atividades agropecuárias. Embora seja um método relativamente recente, sua aplicabilidade tem sido constatada de forma recorrente a partir de 2010.

Palavras-chave: Algoritmo, Evapotranspiração, Produção Agropecuária, Sensoriamento remoto.

Abstract: The demand for food and drinking water for a continually growing population requires production systems to modify their processes in order to optimize production. At the other extreme, climate emergencies require significant changes in the way human beings live. In this scenario, the rational use of natural resources, such as water, is imperative, both for food production and for supplying urban, peri-urban and rural centers. This article aims to clarify the algorithm SAFER methodology and verify the applications of this algorithm in scientific literature, through a narrative review of the literature, in order to expand its popularization. The methodology used involved the analysis of open access and peer-reviewed scientific articles retrieved from the CAPES Periodical Platform. The articles served as the basis for the description of algorithm SAFER as well as listing its applications in Brazil and abroad. It was concluded that SAFER is an algorithm that represents an immense facility for researching hydrometeorological events capable of significantly influencing ecosystems and agricultural activities. Although it is a relatively recent method, its applicability has been observed repeatedly since 2010.



Keywords: Algorithm, Evapotranspiration, Agricultural Production, Remote Sensing.

INTRODUÇÃO

As emergências climáticas são capazes de ocasionar mudanças no ciclo hidrológico por meio de alterações das precipitações e da temperatura e, assim, provocar impactos altamente prejudiciais aos ecossistemas e aos ciclos produtivos agropecuários (LOPES *et al.*, 2016). Associado a esse tipo de evento climático, ainda há as regiões onde o ciclo hidrológico já se apresenta, naturalmente, com escassez hídrica, como é o caso do semiárido brasileiro (SOUSA *et al.*, 2021). Esse quadro climático exige que a utilização dos recursos naturais, especialmente a água, ocorra de forma adequada entre os diversos setores de consumo.

Decorre da constatação que a gestão da água, enquanto recurso hídrico para as atividades humanas produtivas, carece de uma gestão holística que contemple não apenas o fim do processo de captação e distribuição como também como se processa o consumo e a conversão da água nos produtos desejados, como é o que se verifica com a agricultura e a pecuária, quando a água e outros recursos são utilizados para a produção de alimentos. Nesse contexto, de acordo COAGUILA *et al.* (2017) e TEIXEIRA *et al.* (2013), o acompanhamento da evapotranspiração permite a compreensão do consumo da água nas cadeias produtivas agropecuárias, em escala temporal e espacial, em diferentes regiões, como áreas urbanas e rurais, dentro e fora do semiárido brasileiro. SILVA *et al.* (2018), TEIXEIRA *et al.* (2021) e MOREIRA *et al.* (2023) destacam que compreender o papel da evapotranspiração é fundamental para o manejo adequado de culturas agrícolas e da água, com a finalidade não apenas de produzir gerando o menor impacto possível como também compreender a dinâmica das culturas, especialmente aquelas que carecem de irrigação.

Nesse sentido, a determinação adequada e eficiente da evapotranspiração dos vegetais é fundamental para uma atividade agrícola mais eficiente e para o consequente abastecimento humano de alimentos e água no contexto das emergências climáticas. Tal determinação pode ser conseguida através da aplicação de metodologias como o SEBAL, *Surface Energy Balance Algorithm for Land*, e o SAFER, *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (TEIXEIRA *et al.*, 2013). Entretanto, as vantagens e a facilidade de aplicação do algoritmo SAFER são verificadas em virtude de sua metodologia simplificada.

A partir disso, neste artigo, objetiva-se esclarecer a metodologia do SAFER e verificar as aplicações desse algoritmo disponíveis na literatura científica, por meio da revisão narrativa da literatura, de modo a expandir sua popularização.

Espera-se, portanto, que a popularização do uso e das aplicações do algoritmo SAFER possa promover maior conhecimento acerca da influência do ciclo hidrológico sobre as demandas das culturas agrícolas e dos demais vegetais, de forma ampla e consistente, no Brasil e nos demais países.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada corresponde à revisão narrativa da literatura, de natureza qualitativa e descritiva. Os artigos científicos utilizados foram acessados a partir da Plataforma Periódicos CAPES, por meio do percurso metodológico ilustrado no Figura 1. A pesquisa na Plataforma de Periódicos CAPES foi priorizada em virtude da necessidade de sua popularização e do seu acesso facilitado, dentro e fora dos limites das instituições públicas brasileiras de ensino e pesquisa. Embora o uso exclusivo dessa plataforma possa acarretar em limitações quanto à extensão de trabalhos internacionais publicados no tema deste artigo, os trabalhos científicos disponíveis na referida plataforma foram suficientes para atender ao objetivo proposto e para fomentar sua utilização enquanto base de dados científicos de origem brasileira, tal como o SAFER.

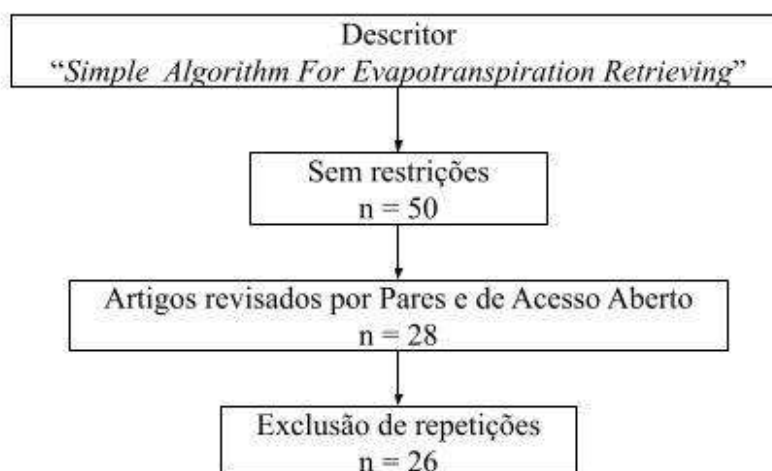


Figura 1. Fluxograma que representa a seleção dos artigos científicos na Plataforma de Periódicos CAPES
Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Como descritor foi utilizado o termo “*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*”, para artigos científicos sem restrição de idiomas, disponíveis em acesso aberto e submetidos à avaliação por pares, publicados no período compreendido entre 2015 e 2023. Os artigos repetidos em função da recuperação dos dados da Plataforma de Periódicos CAPES foram excluídos, restando apenas 26 dos 50 artigos científicos recuperados pela citada plataforma. Os artigos foram analisados de forma a selecionar a aplicação mais clara do SAFER e as características de funcionamento do referido algoritmo, de forma a fornecer clareza e agilidade na popularização do conhecimento sobre a estrutura de funcionamento e de aplicação desse algoritmo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*, SAFER, é um algoritmo empregado para a estimativa de evapotranspiração, cujo desempenho tem se mostrado eficiente nas condições de baixa e alta cobertura do solo nos mais diferentes tipos de vegetação, cultura agrícola ou não, superando outros métodos, como o SEBAL. Sua simplificação permite o acompanhamento do vegetal desde a fase inicial de desenvolvimento, quando há menor cobertura do solo, até o estado mais avançado de seu desenvolvimento, quando há maior cobertura do solo (SILVA *et al.*, 2018).

Dentre as suas vantagens, há a utilização apenas de dados da Evapotranspiração de referência (ET_0), a radiação global (R_G), a Temperatura média do ar (T_A), Umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (u) e dados oriundos do sensoriamento remoto (SILVA *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2015). Além disso, o SAFER não necessita das bandas térmicas dos sensores, o que implica em um aumento de sensores que podem ser utilizados por esse algoritmo (ALMEIDA *et al.*, 2023). O SAFER baseia-se, então, na razão entre a evapotranspiração real (ET) e a evapotranspiração de referência (ET_0) e é um produto brasileiro cuja validação ocorreu no Brasil, utilizando imagens do Landsat e do MODIS (TEIXEIRA *et al.*, 2015). Em relação ao MODIS, TEIXEIRA *et al.* (2013) ressaltam que esse é um instrumento embarcado nas plataformas Terra e Aqua e que possui 36 bandas espectrais, variando entre 0,405 μ m e 14,385 μ m, capaz de captar dados nas resoluções espaciais de 250m, 500m e 1000m.



Na Figura 2, TEIXEIRA *et al.* (2015) utilizaram as bandas 1 (α_1) e 2 (α_2) extraído do produto MOD13Q1, em períodos compostos de dezesseis dias. Essa Figura 2 possui uma completude de utilização do SAFER por considerar a situação em que o NVDI < 0 e, portanto, necessitar utilizar a evapotranspiração de equilíbrio. Essa situação específica ajuda o manipulador do algoritmo a determinar a evapotranspiração em regiões alagadas, como na Amazônia e no Pantanal.

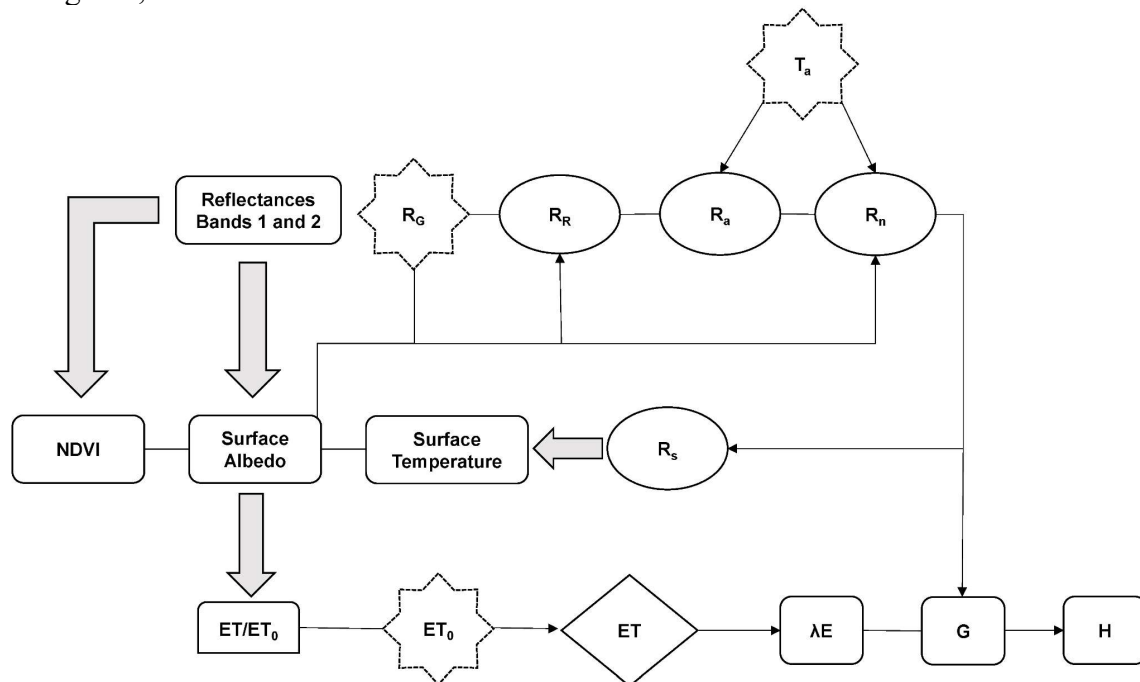


Figura 2. Fluxograma de aplicação do SAFER com imagens MODIS sem suas bandas térmicas.
Fonte: TEIXEIRA *et al.*, 2015, p. 14601.

A aplicação do algoritmo SAFER requer o emprego de expressões matemáticas capazes de modelar a realidade observada e alcançar o resultado final desejado. As expressões, conforme TEIXEIRA *et al.* (2015), são:

1. Albedo de Superfície (α_0)

$$\alpha_0 = a + b\alpha_1 + c\alpha_2 \quad (1)$$

Onde:

a, b e c são coeficientes de regressão.

2. Temperatura de Superfície (T_s)

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{R_G - \alpha_0 R_G + \epsilon_A \sigma T_a^4 - R_n}{\epsilon_s \sigma}} \quad (2)$$

Onde:

ϵ_s = emissividade superficial; Onde:

R_G = valores diárias de radiação solar global incidente;

T_A = Temperatura média do ar medida nas estações meteorológicas;

R_N = Saldo diário de radiação;

ϵ_A = emissividade atmosférica;

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

3. Parâmetros de balanço de radiação, ϵ_A e ϵ_S

$$\epsilon_A = a_A (-\ln \tau)^{b_A} \quad (3)$$

$$\epsilon_S = a_S \ln \text{NDVI} + b_S \quad (4)$$

Onde:

τ = transmissividade atmosféricas de ondas curtas.

4. índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

$$\text{NDVI} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_2 + \alpha_1} \quad (5)$$

Onde:

α_1 e α_2 são as reflectâncias sobre as faixas de comprimentos de onda no infravermelho próximo e no vermelho;

5. Radiação Atmosféricas de ondas longas (RL_a)

$$RL_a = \sigma \epsilon_A T_a^4 \quad (6)$$

6. Radiação solar refletida (R_R)

$$R_R = \alpha_0 R_G \quad (7)$$

7. Radiação de onda longa de superfície (RL_S)

$$RL_S = R_G - R_R + R_a - R_n \quad (8)$$

8. Evapotranspiração de Referência (ET_R)

$$ET_R = \frac{ET}{ET_0} = \left\{ \exp \left[a_{sf} + b_{sf} \left(\frac{Ts_{\square}}{\alpha_0 \text{NDVI}} \right) \right] \right\} \frac{ET_{0ano}}{5} \quad (9)$$

Onde:

a_{sf} = coeficiente de regressão, 1,8;

b_{sf} = coeficiente de regressão, -0,008.



9. Evapotranspiração de Equilíbrio

Algumas vezes, a equação (9) não funcionará. Isso ocorre quando o $NVDI < 0$. Nesse caso será necessária a utilização da Evapotranspiração de equilíbrio no algoritmo SAFER, como demonstrado na Figura 2.

O cálculo da Evapotranspiração de equilíbrio é dado pela expressão matemática:

$$\lambda E = \frac{s(R_n - G)}{s + \gamma} \quad (10)$$

Onde:

s = inclinação da curva, dada pela relação entre R_n e G .

10. Fluxo de calor sensível

$$H = R_n - \lambda E - G \quad (11)$$

11. Fração evaporativa

$$E_f = \frac{\lambda E}{R_n - G} \quad (12)$$

A Figura 3 mostra o SAFER com utilização de imagens do Sentinel-2 e cujas expressões matemáticas são as expressões (1) a (12), com pequenas variações na nomenclatura e/ou na forma de manipulação (SILVA *et al.*, 2018). Nessa variação do modelo SAFER, de acordo com SILVA *et al.* (2018), as seguintes expressões matemáticas são necessárias:

1. Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (APAR)

$$A PAR = f_{PAR} PAR \quad (13)$$

2. Cálculo de f_{PAR}

$$f PAR = i NDVI + j \quad (14)$$

Onde:

$$i = 1,257;$$

$$j = -0,161.$$

3. Produção de Biomassa (BIO)

$$BIO = (\epsilon_{max})(ET_R)(A PAR)(0,864) \quad (15)$$

Onde:

$$\epsilon_{max} = \text{Eficiência máxima da luz} = 2,5 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$$

$$\text{Fator de conversão unitário} = 0,864$$

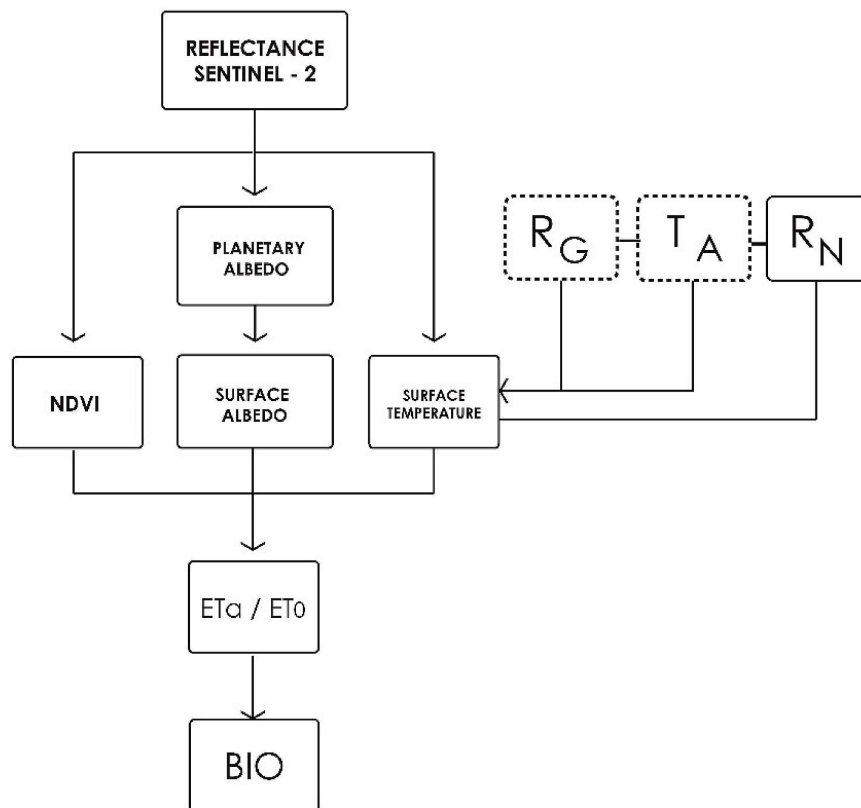


Figura 3. Fluxograma de balanço energético utilizando o SAFER com imagens do satélite Sentinel-2
Fonte: SILVA *et al.*, 2018, p.5.

Em relação ao Sentinel-2, SILVA *et al.* (2018) destacam que esse satélite, quando comparado com o Sentinel-8, conforme a Figura 4, possui maior resolução espacial e temporal, o que pode ser considerado uma vantagem, pois representa maior precisão.

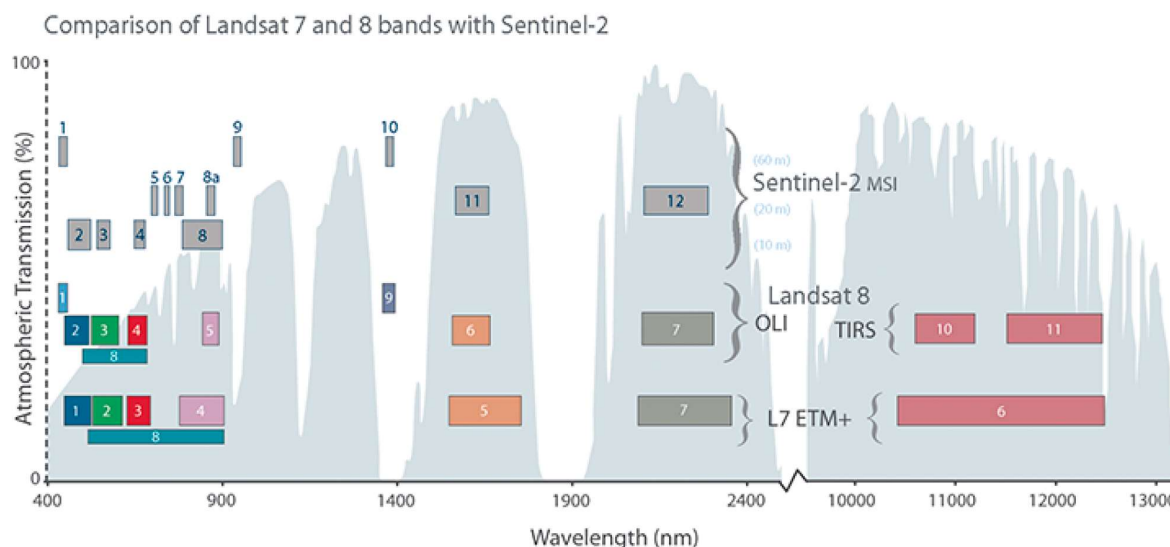


Figura 4. Comparação da resolução espacial e temporal entre os satélites Sentinel-2 e Sentinel-8
Fonte: SILVA *et al.*, 2018, p.3.

A forma de captação de dados espectrais, que dão suporte ao SAFER, está representada esquematicamente na Figura 5. Essa representação ilustra o processo de captação espectral e de dados meteorológicos nos 15^o, 22^o e 30^o dia de um pasto na área experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP.

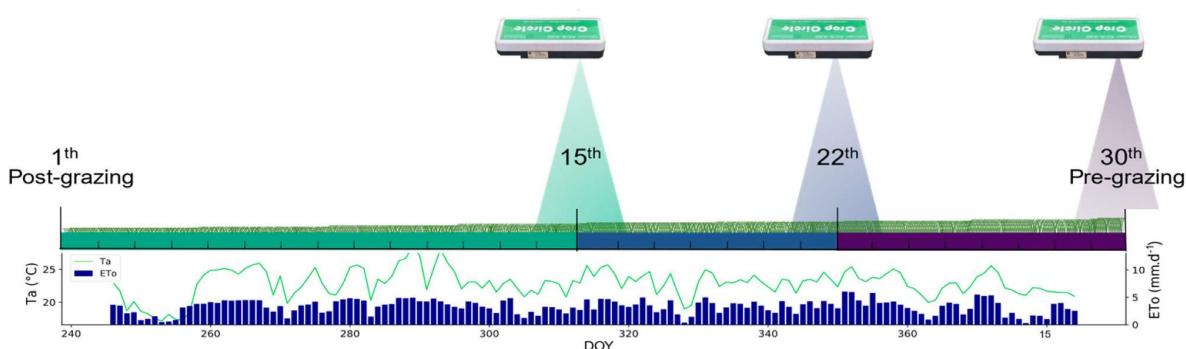


Figura 5. Modelo esquemático de captação de dados meteorológicos
Fonte: ALMEIDA *et al.*, 2023, p. 6.

Observa-se, na Figura 5, que a aplicação do SAFER integra dados da meteorologia e dos sensores de forma a se obter um cenário realístico da cultura que se deseja trabalhar e pode ser aplicado, conforme descrito na literatura, em todos os estágios de evolução da cultura agrícola ou de espécies vegetais não agrícolas.

A utilização desse algoritmo tem sido realizada por alguns pesquisadores em diferentes partes do Brasil e no exterior, em áreas agrícolas dedicadas, entre outras, às culturas do milho e da cana-de-açúcar, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1. Registro de ocorrência de aplicação do SAFER

Local de estudo	Tipo de Reservatório	Clima	Uso do solo	Referência
Santa Fé do Sul-SP	Bacia Hidrográfica do Córrego Cabeceira Comprida	Tropical úmido	Remanescentes Florestais, Espécies Invasoras, Pastagens, Cultura Anual	COAGUILA <i>et al.</i> , 2017
Itapaci-GO	Região Hidrográfica do Rio Tocantins-Araguaia	-	Mata Nativa, Pastagem, Rios, Agricultura irrigada e sequeiro	COSTA <i>et al.</i> , 2023
Santo Antônio de Goiás - GO	-	Tropical de savana	Cultura Agrícola - cana-de-açúcar	SOUZA <i>et al.</i> , 2020
Jaíba-MG	Bacia do Rio São Francisco	Tropical seco e quente	Cultura Agrícola - Limão	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2021
Águas de Santa Bárbara-SP	-	Subtropical	Pastagem, Cultura Agrícola canavieira, Silvicultura, Floresta	SILVA <i>et al.</i> , 2019a
	-	Subtropical	Vegetação Natural, Silvicultura, Pastagem, Agrícola canavieira	SILVA <i>et al.</i> , 2019b
	-	Subúmido - clima quente com inverno seco	Vegetação Natural, Silvicultura, Cultura agrícola canavieira, campos de regeneração, área urbana e estradas	SILVA <i>et al.</i> , 2018
Punjab-Paquistão	Bacia do Rio Indo, Paquistão	-	Cultura Agrícola	NADEEM <i>et al.</i> , 2023
Camocim-CE	-	-	Cultura Agrícola-coqueiro-anão	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2019
São Desidério-BA	-	-	Cultura Agrícola - Milho	ALVES <i>et al.</i> , 2020
	-	-	-	FILGUEIRAS <i>et al.</i> , 2019
	-	Tropical - verão chuvoso e inverno seco	Cultura Agrícola - Milho	VENANCIO <i>et al.</i> , 2020
	-			MOREIRA <i>et al.</i> , 2023
	-	-	Cultura Agrícola - Milho	ALTHOFF <i>et al.</i> , 2019
		Tropical	Cultura Agrícola - Feijão	LIMA <i>et al.</i> , 2019
Pantanal - Brasil	Bacia do Alto Pantanal	Quente e subúmido (verão); seco (inverno)	Pastagem, Formações Florestais, Cerrado Arbóreo, Savana Lenhosa, Cerrado Gramíneo	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2015
Petrolina - PE Juazeiro - BA	Bacia do Rio São Francisco	-	-	TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2013
São Carlos - SP		Clima Subtropical úmido	Silvicultura, Pastagem	ALMEIDA <i>et al.</i> , 2023
Nova Independência - SP	-	-	Cultura Agrícola - cana-de-açúcar	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2021b
Pereira Barreto - SP, Sud Mennucci-SP	Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê	Savana - inverno seco e verão quente e chuvoso	Pastagem, Cultura Agrícola - cana-de-açúcar	FRANCO <i>et al.</i> , 2016
Municípios sobre o Aquífero Guarani - SP	Aquífero Guarani	-	Agricultura, Mineração, Pastagem, Silvicultura, Área Urbana	SILVA <i>et al.</i> , 2018
Cabrobó-PE	Bacia do Rio São Francisco	Semiárido quente	Formação savânica, Cultura Agrícola e Pastagem	SOUSA <i>et al.</i> , 2021



Área das sub-bacias do Rio Tocantinzinho e Rio das Almas	Bacia do Alto Rio Tocantins	-	-	ANDRADE <i>et al.</i> , 2016
Noroeste do estado de São Paulo	-	-	-	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2021a
Ilha Solteira - SP, Andradina - SP	-	-	Cultura Agrícola - cana-de-açúcar	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2019
Distrito Federal	Bacia do Rio Preto	-	Cultura Agrícola- Feijão	LOPES <i>et al.</i> , 2021

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado, o algoritmo SAFER permite a análise hidrometeorológica de diversas regiões, incluindo locais alagados, de forma a buscar a produtividade de culturas, a análise climática dos locais e a busca pelo uso adequado dos recursos naturais utilizados para a sobrevivência humana, de forma rápida, clara, concisa e de baixo custo.

Esse algoritmo representa uma imensa facilidade para a pesquisa de eventos hidrometeorológicos capazes de influenciar significativamente os ecossistemas e as atividades agropecuárias. Embora seja um método relativamente recente, sua aplicabilidade tem sido constatada de forma recorrente a partir de 2010. É válido ressaltar que é um produto brasileiro, validado em áreas brasileiras e que tem sido validado em outras áreas do planeta com sucesso. Nesse aspecto, ressalta-se a importância da pesquisa e do desenvolvimento de produtos brasileiros e o incentivo à pesquisa como propulsora de desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida e para a qualidade produtiva da espécie humana.

É esperado, também, que a popularização desse algoritmo possa fornecer informações capazes de modificar políticas públicas e a forma de manejo de culturas agrícolas e de rebanhos, de forma que a sustentabilidade possa ser alcançada nas mais diferentes regiões do Brasil e do planeta.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA SLH de., SOUZA JBC, NOGUEIRA, SF, PEZZOPANE, JRM, TEIXEIRA, AHC de, BOSI C, ADAMI M, ZERBATO C, BERNARDI AC de C, BAYMA G, SILVA RP da. Forage Mass Estimation in Silvopastoral and Full Sun Systems: Evaluation through Proximal Remote Sensing Applied to the SAFER Model. **Remote Sensing**, **15**(3), 815, 2023.
- ALTHOFF D, ALVINO FCG, FILGUEIRAS R, ALEMAN CC, CUNHA FF da. Evapotranspiration for irrigated agriculture using orbital satellites. **Bioscience Journal**, **35**(3), 2019.
- ALVES ÉDS, FILGUEIRAS R, RODRIGUES LN, CUNHA FFD, ALEMAN CC. Water stress coefficient determined by orbital remote sensing techniques. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **24**, 847-853, 2020.
- ANDRADE RG, TEIXEIRA AHDC, LEIVAS JF, NOGUEIRA SF. Analysis of evapotranspiration and biomass in pastures with degradation indicatives in the Upper Tocantins River Basin, in Brazilian Savanna. **Revista Ceres**, **63**, 754-760, 2016.
- COAGUILA DN, HERNANDEZ FB, TEIXEIRA AHDC, FRANCO RA, LEIVAS JF. (2017). Water productivity using SAFER-Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving in watershed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **21**, 524-529, 2017.
- COSTA TS, FILGUEIRAS R, DOS SANTOS RA, CUNHA FFD. Actual evapotranspiration by machine learning and remote sensing without the thermal spectrum. **Plos one**, **18**(5), e0285535, 2023.
- FILGUEIRAS R, MANTOVANI EC, ALTHOFF D, DIAS SH, CUNHA FFD. Sensitivity of evapotranspiration estimated by orbital images under influence of surface temperature. **Engenharia Agrícola**, **39**, 23-32, 2019.
- FRANCO RAM, HERNANDEZ FBT, TEIXEIRA AH de C. Mapeamento da variação espacial e temporal do balanço de radiação e energia em diferentes tipos de uso e ocupação do solo. **Revista Brasileira De Cartografia**, **68**(10). 2016.
- LIMA ALB, FILGUEIRAS R, MANTOVANI EC, ALTHOFF D, SANTOS RAD, VENANCIO LP. Biophysical parameters and actual evapotranspiration of bean culture by means of remote sensing. **Journal of Agricultural Science**, **11**(13), 156, 2019.



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO DE JANEIRO



Perspectivas da
Ciência e
Tecnologia

- LOPES JD, RODRIGUES L N, SCHERER-WARREN M, PAULA ACPD, FERREIRA TR. Performance of the safer model in estimating actual evapotranspiration of wheat and bean irrigated crops in the central brazilian savannah. **IRRIGA**, **26**(3), 476–489, 2021.
- MOREIRA WK, MAGGI MF, VENANCIO LP, BAZZI CL, SANTOS IS. Orbital remote sensing for the management of areas irrigated with a central pivot system. **Engenharia Agrícola**, **43**, 2013.
- NADEEM AA, ZHA Y, SHI L, ZAFAR Z, ALI S, ZHANG Y, ATALF AR, AFZAL M, ZUBAIR M. SAFER-ET based assessment of irrigation patterns and impacts on groundwater use in the central Punjab, Pakistan. **Agricultural Water Management**, **289**, 108545, 2023.
- OLIVEIRA, DA de, HERNANDEZ FBT, BISPO R de C, TEIXEIRA AH de C. Aplicação do algoritmo safer para determinação da evapotranspiração em canaviais irrigados por diferentes sistemas. **IRRIGA**, **1**(1), 1–7, 2019.
- OLIVEIRA DA de, HERNANDEZ FBT, BISPO R de C, TEIXEIRA AH de C. Distribuição espaço-temporal da evapotranspiração no noroeste paulista. **IRRIGA**, **26**(3), 584–604, 2021a.
- OLIVEIRA DA de, HERNANDEZ FBT, BISPO R de C, TEIXEIRA AH de C. Estimativa da demanda de água da cultura da cana-de-açúcar irrigada utilizando sensoriamento remoto. **IRRIGA**, **1**(4), 678–686, 2021b.
- TEIXEIRA A, LEIVAS J, STRUIVING T, REIS J, SIMÃO F. Energy balance and irrigation performance assessments in lemon orchards by applying the SAFER algorithm to Landsat 8 images. **Agricultural Water Management**, **247**, 106725, 2021.
- TEIXEIRA ADC, MIRANDA FR de, LEIVAS JF, PACHECO EP, GARÇON EAM. Water productivity assessments for dwarf coconut by using Landsat 8 images and agrometeorological data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, **155**, 150-158, 2019.
- TEIXEIRA AH de C, PADOVANI CR, ANDRADE RG, LEIVAS JF, VICTORIA DDC, GALDINO S. Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal. **Remote Sensing**, **7**(11), 14597-14619, 2015.
- TEIXEIRA AH de C, SCHERER-WARREN M, HERNANDEZ FB, ANDRADE RG, LEIVAS JF. Large-scale water productivity assessments with MODIS images in a changing semi-arid environment: a Brazilian case study. **Remote Sensing**, **5**(11), 5783-5804, 2013.
- SILVA C de OF, MANZIONE RL, TEIXEIRA AH de C. Modelagem espacial da evapotranspiração e produtividade hídrica na porção paulista do afloramento do aquífero Guarani entre 2013 e 2015. **Holos Environment**, **18**(2), 126–140, 2018.
- SILVA C de OF, MANZIONE RL, ALBUQUERQUE FILHO JL. Large-scale spatial modeling of crop coefficient and biomass production in agroecosystems in southeast Brazil. **Horticulturae**, **4**(4), 44, 2018.
- SILVA C de OF, MANZIONE RL, ALBUQUERQUE FILHO JL. Combining remotely sensed actual evapotranspiration and GIS analysis for groundwater level modeling. **Environmental Earth Sciences**, **78**, 1-15, 2019a.
- SILVA C de OF, MANZIONE RL. Comparison of safer and metric-based actual evapotranspiration models in a subtropical area of Brazil. **Irriga**, **1**(1), 48-55, 2019b.
- SOUZA JMF, ALVES JUNIOR J, CASAROLI D, EVANGELISTA AWP, MESQUITA M Validação do modelo safer na estimativa da evapotranspiração da cana-de-açúcar. **Irriga**, **25**(2), 247–262, 2020.
- SOUSA L de B de, MONTENEGRO AA de A, SILVA TGF da, CARVALHO AA de, SILVA NETO MAD. Estimativa da evapotranspiração real e mapeamento de áreas cultivadas em uma bacia do projeto de integração do são francisco (pisf), semiárido pernambucano. **Irriga** **26**(3), 565–583, 2021.
- VENANCIO LP, MANTOVANI EC, AMARAL CHD, NEALE CMU, FILGUEIRAS R, GONÇALVES IZ, CUNHA FFD. Evapotranspiration mapping of commercial corn fields in Brazil using SAFER algorithm. **Scientia Agrícola**, **78**, 2020.

