

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL E MAPEAMENTO DE ÁREAS CULTIVADAS EM UMA BACIA DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO SÃO FRANCISCO (PISF), SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

LIZANDRA DE BARROS DE SOUSA¹; ABELARDO ANTÔNIO DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO¹; THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA²; AILTON ALVES DE CARVALHO¹ E MOISÉS ALVES DA SILVA NETO³

¹ Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA). Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife/PE, Brasil. E-mail: lizandradebarros@gmail.com; montenegroufrpe@gmail.com; Ailtonalvesst@gmail.com.

² Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST). Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Avenida Gregório Ferraz Nogueira, S/N, José Tomé de Souza Ramos, CEP: 56909-535, Serra Talhada/PE, Brasil. E-mail: thiegeoprofissional@hotmail.com.

³ Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI). Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Rua Dom Manuel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife/PE, Brasil. E-mail: moisesneto179@gmail.com.

1 RESUMO

A região semiárida brasileira apresenta limitada disponibilidade de recursos hídricos, além disso, profundas alterações no uso e ocupação do solo estão previstas para ocorrer nas bacias hidrográficas de Pernambuco. Objetivou-se avaliar a evapotranspiração real e mapear áreas cultivadas por meio de sensoriamento remoto, utilizando, respectivamente, os modelos SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) e SUREAL (*Surface Resistance Algorithm*), na Bacia do rio Terra Nova, em trecho perenizado. Imagens do satélite Landsat-8, de 2015 a 2020, foram selecionadas. Calculou-se: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), albedo, temperatura de superfície, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real. As imagens foram processadas no *Google Earth Engine* (GEE) e no *software* QGIS 3.16. Notou-se aumento no índice de cobertura vegetal. Regiões com maiores valores de evapotranspiração real estão ligadas àquelas com temperaturas mais baixas. Observou-se uma menor quantidade de áreas cultivadas no trecho do Rio Terra Nova nas imagens de 2015. Verificou-se o aumento da agricultura na região às margens desse rio, em seu trecho perenizado, de 29,5; 15,2; 7,7; 7,6; e 12,9 km² em 18/07/2016, 22/06/2018, 28/10/2018, 13/11/2018, e 20/12/2020, respectivamente. Além da intensidade de precipitação, a liberação das águas do PISF pode ter contribuído para o aumento de áreas irrigadas na região.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, agricultura irrigada, SAFER, SUREAL.

SOUSA, L. B.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, T. G. F.; CARVALHO, A. A.;
SILVA NETO, M. A.

ESTIMATION OF ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION AND MAPPING OF
CULTIVATED AREAS IN A BASIN OF THE SÃO FRANCISCO INTEGRATION
PROJECT (PISF), SEMIARID OF PERNAMBUCO STATE

2 ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region has limited availability of water resources, in addition, profound changes in land use and occupation are expected to occur in the river basins of Pernambuco. The objective was to evaluate the actual evapotranspiration and to map cultivated areas through remote sensing, using, respectively, the SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) and SUREAL (Surface Resistance Algorithm) models, in the Terra Nova River Basin, in a perennial stretch. Landsat-8 satellite images from 2015 to 2020 were selected. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), albedo, surface temperature, reference evapotranspiration, and actual evapotranspiration were calculated. Images were processed using the Google Earth Engine (GEE) platform and QGIS 3.16 software. There was an increase in the vegetation cover index. Regions with higher actual evapotranspiration values are linked to those with lower temperatures. It was observed a smaller number of cultivated areas in the Terra Nova River stretch in the 2015 images. Also, it was verified an increase in agriculture in the riverside region along this, in its perennial stretch, of 29.5; 15.2; 7.7; 7.6; and 12.9 km² on 07/18/2016, 06/22/2018, 10/28/2018, 11/13/2018, and 12/20/2020, respectively. In addition to the intensity of precipitation, the release of PISF waters may have contributed to the increase in irrigated areas in the region.

Keywords: remote sensing, irrigated agriculture, SAFER, SUREAL.

3 INTRODUÇÃO

A região semiárida do Nordeste brasileiro apresenta limitada disponibilidade de recursos hídricos, em consequência do regime pluviométrico irregular (chuvas mal distribuídas temporalmente e espacialmente), das elevadas taxas de evapotranspiração, e dos solos rasos, que apresentam baixa capacidade de retenção de água. Diante disso, é indispensável a gestão das águas nas bacias hidrográficas para o desenvolvimento sustentável dessa região (MONTENEGRO *et al.*, 2013).

Na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, diversas áreas irrigadas de cultivos podem ser observadas (TEIXEIRA *et al.*, 2021). Além disso, profundas alterações no uso e ocupação do solo estão previstas para ocorrer nas bacias hidrográficas de Pernambuco, seja por causas naturais, relacionadas às mudanças climáticas, ou induzidas a partir da implantação do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) com as bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional.

Nesse sentido, novas tecnologias com o uso de imagens de satélite para suporte ao manejo racional da água na agricultura têm-se destacado nas últimas duas décadas (CANCELA *et al.*, 2019). Para alcançar o desenvolvimento sustentável, em escala de bacia hidrográfica, o uso de ferramentas que determinem a evapotranspiração real (ET_r) em larga escala é imprescindível.

Nesse contexto, o algoritmo *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER) foi desenvolvido e calibrado para regiões semiáridas (TEIXEIRA, 2010; TEIXEIRA *et al.*, 2015) e pode ser aplicado com elevada precisão para a estimativa da ET_r com o uso de imagens de satélite, sendo amplamente utilizado no Brasil (SILVA; MANZIONE; ALBUQUERQUE FILHO, 2018; FILGUEIRAS *et al.*, 2019; VENANCIO *et al.*, 2021). Em conjunto com o algoritmo *Surface Resistance Algorithm* (SUREAL) para a classificação da vegetação em culturas irrigadas e vegetação natural, é possível a avaliação de áreas irrigadas com

elevada resolução espacial, permitindo o gerenciamento do cultivo com precisão e rapidez (TEIXEIRA *et al.*, 2014; TEIXEIRA *et al.*, 2017; TEIXEIRA *et al.*, 2021).

O *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma de serviço de computação de alto desempenho que combina um catálogo de várias imagens de satélites e conjuntos de dados geoespaciais com recursos de análise em escala planetária, utilizando a tecnologia da infraestrutura em nuvem do *Google*, possibilitando a análise e o monitoramento do desmatamento, estiagens, desastres, doenças, segurança alimentar, gerenciamento da água, monitoramento climático e proteção ambiental. Porém, no Brasil, seu uso ainda é recente, como entre os atualmente em curso, destaca-se o projeto MapBiomas (2021), uma iniciativa de monitoramento anual do uso do solo e cobertura da terra que utiliza o GEE em imagens Landsat 5, 7 e 8 (GORELICK *et al.*, 2017; SILVA, 2020; GOOGLE EARTH ENGINE, 2021).

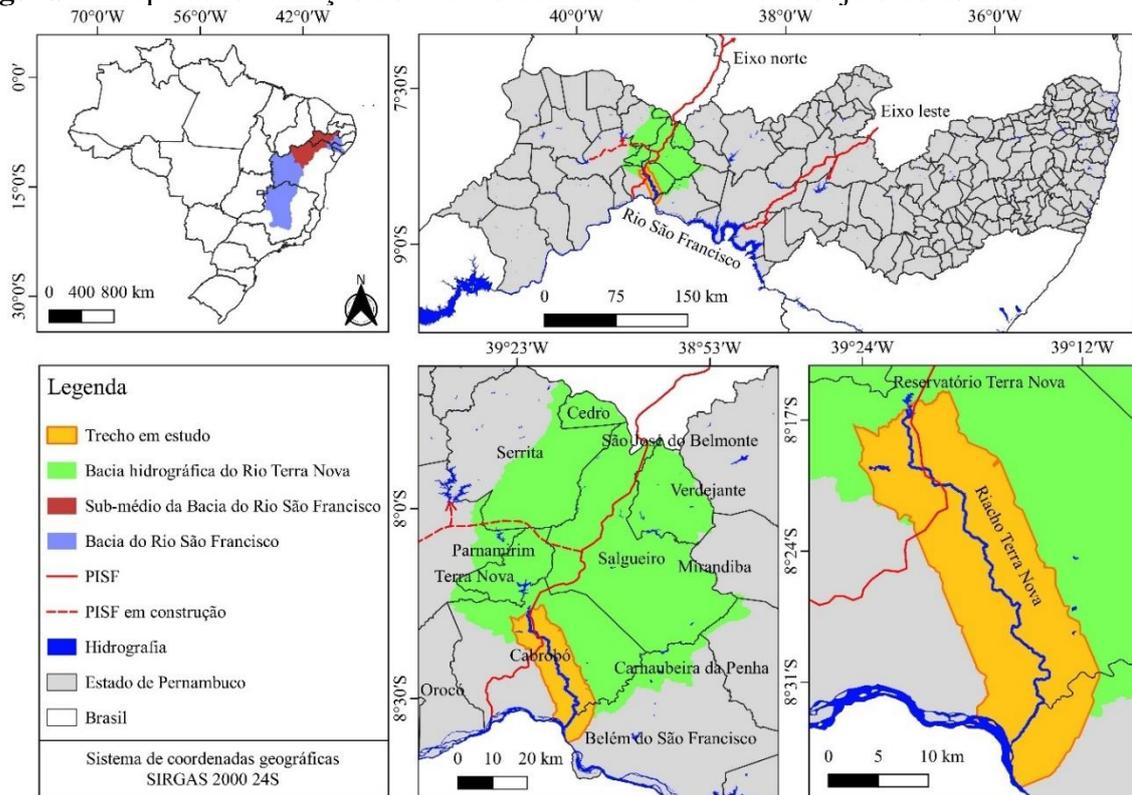
Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a evapotranspiração real e mapear cultivos irrigados por meio de sensoriamento remoto, aplicando, respectivamente, os algoritmos SAFER e SUREAL em ambiente GEE, na Bacia do São Francisco, no entorno do rio Terra Nova, semiárido pernambucano, e parcialmente perenizado pelo Projeto de Integração do

Rio São Francisco. Tais análises são essenciais para o planejamento ambiental e o gerenciamento de recursos hídricos na região entre diferentes setores da sociedade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia do São Francisco em seu trecho sub-médio, no estado de Pernambuco. Especificamente, analisou-se uma área ao sul da Bacia hidrográfica do Rio Terra Nova, no município de Cabrobó, localizado nas coordenadas geográficas 08°30'51" S e 39°18'36" W, inserido na Mesorregião São Francisco e na Microrregião Petrolina do estado de Pernambuco, a aproximadamente 536,1 km da capital, Recife, ocupando uma área de 1658,62 km², que representa um total de 1,65% do estado (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2005; IBGE, 2021; AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA, 2021). Para a análise da agricultura irrigada nas margens do Riacho Terra Nova, considerou-se uma distância de 5 km para cada margem a partir do leito do rio, iniciando no ponto de liberação das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco até a foz do Rio Terra Nova, Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização do Trecho do Riacho Terra Nova objeto do estudo.

Fonte: elaborado pelos autores.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da bacia e do município é semiárido quente, BSh (ALVARES *et al.*, 2013; BECK *et al.*, 2018). A precipitação total anual média da região é inferior a 1.000 mm e o relevo, que varia de plano a ondulado, encontra-se coberto, geralmente, pela Caatinga hiperxerófila. Além disso, a vegetação e o uso do solo abarcam porções de formação Savânica e áreas ocupadas com atividades de agricultura/pecuária. Na bacia, predominam três tipos de solos: Neossolos Flúvicos, Planossolos e Luvisolos (INCRA, 2016). Para a faixa estudada, os solos são Neossolos Litólicos e Flúvicos, Planossolo Nátrico e Luvisolo Crômico.

4.2 Dados meteorológicos e imagens de satélite (Landsat 8 OLI/TIRS)

Dados meteorológicos como temperatura do ar (T , °C), velocidade do vento a 10 m de altura (u_{10} , $m\ s^{-1}$), radiação

solar (R_a , $MJ\ m^2\ d^{-1}$), umidade relativa (UR, %) e precipitação (mm) foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de uma estação meteorológica automatizada localizada no município de Cabrobó, PE. Esses dados foram utilizados para determinar a evapotranspiração de referência diária (ET_0) pelo método de Penman-Monteith da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Equação 1 (ALLEN *et al.*, 1998). Esse método é amplamente utilizado para determinação da evapotranspiração de referência e para o gerenciamento da irrigação em nível de campo (BEZERRA *et al.*, 2010).

$$ET_{0(24h)} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que, R_n é o saldo de radiação ($W\ m^{-2}$); G ($W\ m^{-2}$) é o fluxo de calor no solo; γ

é a constante psicrométrica ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T é a temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 é a velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), cujo valor foi previamente ajustado através da Equação 2 (ALLEN *et al.*, 1998; BEZERRA *et al.*, 2010), pois as medidas disponíveis foram coletadas a uma altura de 10 m; e_s é a pressão de saturação de vapor d'água (kPa); e_a é a pressão atual de vapor d'água (kPa); $e_s - e_a$ é o déficit de pressão de vapor (kPa); e Δ é a tangente à curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

$$u_2 = u_{10} \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (2)$$

Em que, u_{10} é a velocidade do vento medida a 10 m de altura; e z é a altura (10 m).

Foram utilizadas imagens livre de nuvens dos sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) a bordo do satélite Landsat 8 (órbita 216 e ponto 66). Para o sensor OLI, utilizou-se as bandas multiespectrais 1 a 7, com resolução espacial de 30 m, e para o sensor TIRS, as bandas térmicas 10 e 11, com resolução espacial de 100 m, reamostrada para 30 m (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016). Dados climatológicos foram utilizados em conjunto com doze imagens do satélite Landsat 8, envolvendo diferentes condições ao longo dos anos de 2015 a 2020, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Data da imagem, identificação (ID), dia juliano (DJ), órbita e ponto do satélite.

Data	ID	DJ	Órbita	Ponto
21/11/15	LC08_216066_20151121	325	216	66
07/12/15	LC08_216066_20151207	341	216	66
18/07/16	LC08_216066_20160718	200	216	66
20/09/16	LC08_216066_20160920	264	216	66
22/06/18	LC08_216066_20180622	173	216	66
28/10/18	LC08_216066_20181028	301	216	66
13/11/18	LC08_216066_20181113	317	216	66
13/09/19	LC08_216066_20190913	256	216	66
15/10/19	LC08_216066_20191015	288	216	66
16/11/19	LC08_216066_20191116	320	216	66
02/12/19	LC08_216066_20191202	336	216	66
20/12/20	LC08_216066_20201220	355	216	66

Fonte: United States Geological Survey (2021).

Os dados do Landsat estão disponíveis no *Google Earth Engine* em vários produtos computados disponíveis. Nesse estudo, seguindo a metodologia de aplicação do SAFER por Teixeira *et al.* (2009), Teixeira *et al.* (2013) e Teixeira *et al.* (2017), foram utilizados três produtos das imagens Landsat 8: em sua forma de número digital (DN), na forma de refletância no topo da atmosfera (TOA) e na forma de refletância da superfície (SR). As imagens brutas foram utilizadas apenas na conversão das

radiâncias espectrais das bandas 10 e 11 (bandas térmicas), de acordo com a metodologia de Teixeira *et al.* (2017) e Filgueiras *et al.* (2019), Equação 3.

$$L_\lambda = M_L * DN + A_L \quad (3)$$

Em que, L_λ é a radiância espectral ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) para as bandas térmicas (0,00033420); M_L é o fator multiplicativo específico para cada banda; DN é o valor de pixel (DN) do produto padrão (imagem

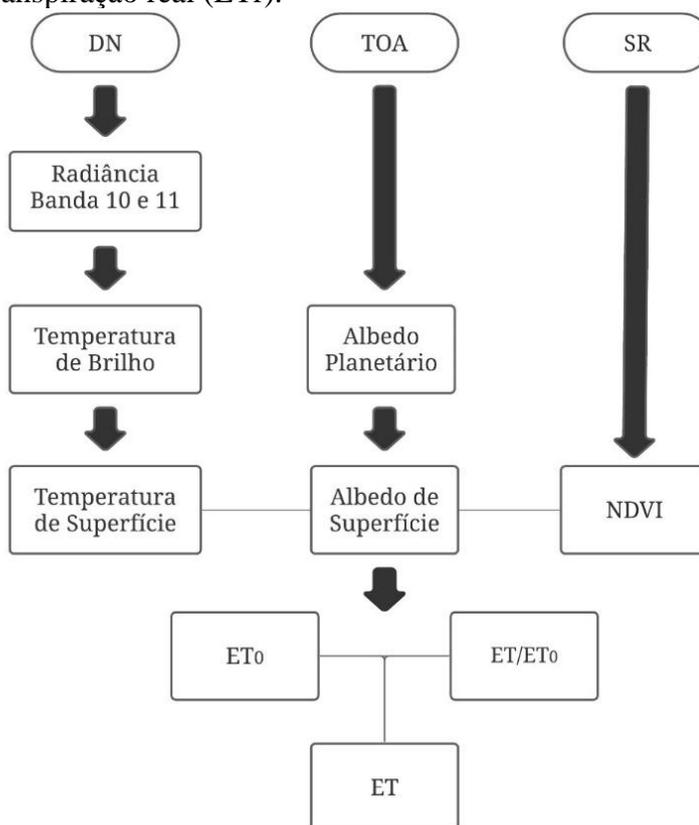
bruta); e A_L é o fator aditivo específico para cada banda (0,10000).

No cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), utilizou-se o produto de refletância da superfície (com a correção atmosférica), realizado por meio do *Land Surface Reflectance Code* (LaSRC), desenvolvido pela *United States Geological Survey* (USGS) (2020). Nos demais processamentos, utilizou-se o produto de refletância no topo da atmosfera, já com a calibração radiométrica, no qual os coeficientes de calibração são extraídos dos metadados da imagem, com mais detalhes do cálculo em Chander, Markham e Helder (2009).

4.2 Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER)

O modelo SAFER requer dados de sensoriamento remoto, ou seja, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), albedo planetário (α_{TOA}), albedo de superfície (α_0), temperatura de brilho (T_{bright}) e temperatura de superfície (T_0), além da combinação desses dados com a evapotranspiração de referência (ET_0). As etapas de aplicação do SAFER são descritas de acordo com Teixeira *et al.* (2013) e Teixeira *et al.* (2017), em resumo na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma de processamento do *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER). Imagens Landsat em sua forma bruta (DN); refletância no topo da atmosfera (TOA); refletância da superfície (SR); índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); evapotranspiração de referência (ET_0); e evapotranspiração real (ETr).



Fonte: Adaptado de Teixeira *et al.* (2013).

Para o cálculo da temperatura de brilho das bandas 10 e 11 (Landsat 8), aplicou-se o inverso da equação de Planck à radiação estimada, seguindo metodologia de Teixeira *et al.* (2017), Equação 4.

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

Em que, T_b é a temperatura de brilho do satélite (K); L_λ é a radiância espectral ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) para as bandas térmicas (10 e 11); e K_1 e K_2 são as constantes de conversão térmica específicas de cada banda a partir dos metadados. O valor médio entre T_b da banda 10 e T_b da banda 11 foi considerado como a temperatura de brilho (T_{bright}).

Posteriormente, as temperaturas superficiais (com a correção atmosférica) foram obtidas de acordo com a equação parametrizada obtida por Teixeira *et al.* (2013), Equação 5.

$$T_0 = 1.07 * T_{\text{bright}} - 20.17 \quad (5)$$

Em que, T_0 é a temperatura de superfície (K); e T_{bright} é a temperatura de brilho (K). Em seguida, a temperatura de superfície foi convertida de graus Kelvin para graus Celsius para ser aplicada na Equação 9.

O albedo planetário no topo da atmosfera (α_{TOA}) foi calculado como a soma total dos diferentes valores de ρ_λ de acordo com os pesos para cada banda (bandas 1 a 7), Equação 6 (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

$$\alpha_{\text{TOA}} = \Sigma(\omega_\lambda * \rho_\lambda) \quad (6)$$

Em que, α_{TOA} é o albedo planetário no topo da atmosfera; ω_λ é a razão entre a quantidade de radiação de ondas curtas recebida do sol no topo da atmosfera em um determinado intervalo e a soma de todas as bandas usadas para α_{TOA} ; e ρ_λ é a refletância do topo da atmosfera de cada banda.

Em seguida, α_{TOA} foi transformado em dados de albedo de superfície (com a correção atmosférica), aplicando a Equação 7 obtida por Teixeira *et al.* (2013).

$$\alpha_0 = 0.61 * \alpha_{\text{TOA}} - 0.08 \quad (7)$$

Em que, α_0 é o albedo de superfície; e α_{TOA} é o albedo planetário no topo da atmosfera.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi calculado através da razão da diferença entre as refletividades do infravermelho próximo (ρ_{nir}) e vermelho (ρ_{red}) e sua soma, conforme a Equação 8 (ROUSE *et al.*, 1973). A Equação 9 não funciona para corpos d'água, logo, posteriormente, aplicou-se um filtro para $\text{NDVI} > 0$ a fim de retirar esses pixels da imagem.

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}} \quad (8)$$

Após a obtenção das variáveis, o algoritmo SAFER foi utilizado para modelar a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência ($\text{ET}_f/\text{ET}_0 = \text{ET}_f$) sobre a área (Equação 9) (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

$$\text{ET}_f = \exp\left[a + b\left(\frac{T_0}{\alpha_0 * \text{NDVI}}\right)\right] \quad (9)$$

Em que, ET_f é a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência; a e b são coeficientes de regressão, 1,8 e -0,008, respectivamente, aplicáveis para o semiárido brasileiro, conforme Teixeira *et al.* (2013); T_0 é a temperatura de superfície ($^{\circ}\text{C}$); α_0 é o albedo de superfície; e NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada.

A evapotranspiração real (ET_f) foi estimada pela Equação 10, esse cálculo independente do conhecimento do usuário sobre o uso da terra ou a cultura usada no

campo, uma vez que a razão ET_f permite inferir sobre o coeficiente de cultura (FILGUEIRAS *et al.*, 2019).

$$ET_r = ET_0 * ET_f \quad (10)$$

Em que, ET_r é a evapotranspiração real (mm dia^{-1}); ET_0 é a evapotranspiração de referência de acordo com o método FAO Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998) (mm dia^{-1}); e ET_f é a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência.

4.3 Surface Resistance Algorithm (SUREAL)

De acordo com Teixeira *et al.* (2014), tanto a resistência de superfície (r_s) quanto a ET_r/ET_0 estão relacionadas às condições de umidade do solo e também aos parâmetros de sensoriamento remoto. Com base nisso, o modelo *Surface Resistance Algorithm* (SUREAL) foi aplicado para a classificação da vegetação em culturas irrigadas e vegetação natural, Equação 11. Em que, valores de resistência da superfície (r_s) abaixo de 800 s m^{-1} e NDVI acima ou igual a 0,4 são considerados culturas irrigadas, enquanto valores de r_s entre 1000 e 10000 s m^{-1} e NDVI abaixo de 0,4 são considerados vegetação natural (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

$$r_s = \exp \left[a * \left(\frac{T_0}{a_0} \right) * (1 - NDVI) + b \right] \quad (11)$$

Em que, a e b são os coeficientes de regressão, respectivamente 0,04 e 2,72 para as condições semiáridas do Brasil

(TEIXEIRA, 2012; TEIXEIRA *et al.*, 2013; TEIXEIRA *et al.*, 2014). O SUREAL foi aplicado em um trecho com largura de 1,5 km de cada margem do riacho a fim de filtrar e quantificar separadamente as áreas agrícolas nas margens.

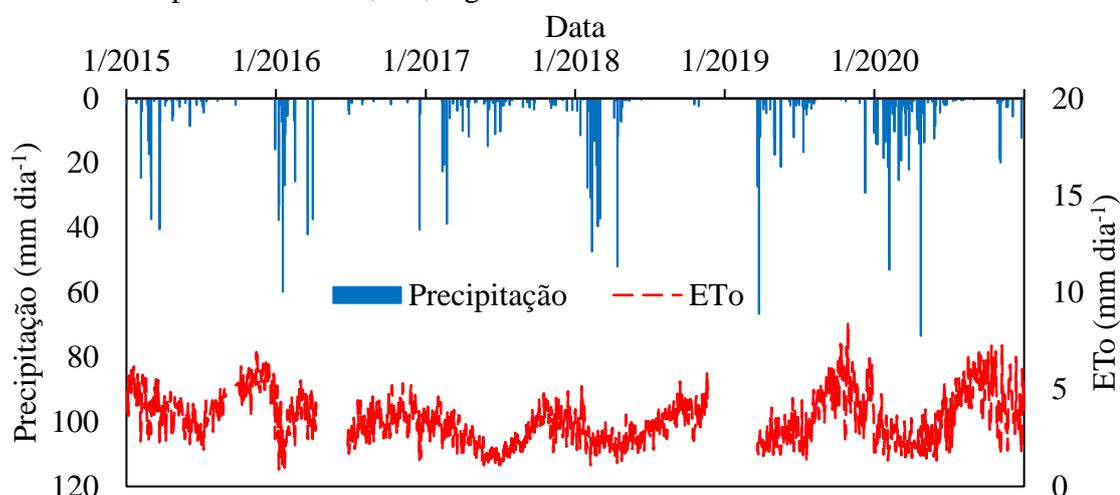
4.5 Mapeamentos e estatística descritiva dos dados

Os resultados foram exportados e os mapas editados no *software* QGIS 3.16. Os dados de ET_r foram submetidos à estatística descritiva: mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento diário da precipitação e a evapotranspiração de referência (ET_0) ao longo dos anos de 2015 a 2020 são ilustrados na Figura 3, utilizando os dados agrometeorológicos da estação localizada no município de Cabrobó, PE. A precipitação foi o parâmetro climático mais variável, corroborando com Marengo *et al.* (2011), que afirmam que o semiárido brasileiro apresenta regimes pluviométricos marcados por irregularidades de chuvas e má distribuição ao longo dos anos. Os valores mínimos de ET_0 ocorreram, no geral, entre os meses de janeiro a maio. Ressalta-se uma relação inversa entre a precipitação e a evapotranspiração de referência, que segundo Collischonn e Tucci (2014) é em razão da maior insolação e menor umidade do ar em dias secos e devido à maior temperatura média do ar nessas condições.

Figura 3. Valores diários da precipitação e evapotranspiração de referência (ET_0), envolvendo os anos de 2015 a 2020, obtidos da estação agrometeorológica de Cabrobó, no município de Cabrobó, PE, região Nordeste do Brasil.



Definindo a diferença entre P e ET_0 como uma medida bruta da disponibilidade hídrica natural (TEIXEIRA *et al.*, 2014), de 2015 a 2020, ocorreram excessos hídricos climáticos ($P > ET_0$) em poucos períodos, enquanto o déficit hídrico climático ($P - ET_0 < 0$) foi a condição mais comum. Logo, a irrigação é essencial nessa região, principalmente, na segunda metade do ano (outono-inverno, período mais seco).

Os dados de precipitação antecedente às datas de imageamento foram analisados,

conforme a Tabela 2, possibilitando observar a precipitação antecedente acumulada de 30, 60 e 90 dias. Todas as precipitações antecedentes acumuladas de 30 dias foram baixas, com máximos de 11 mm em 18/07/2016 e 20/12/2020. Em 60 dias, a precipitação acumulada máxima (PAM) ocorreu em 20/12/2020 (57,8 mm) e em 90 dias, a PAM ocorreu em 22/06/2018 (85 mm).

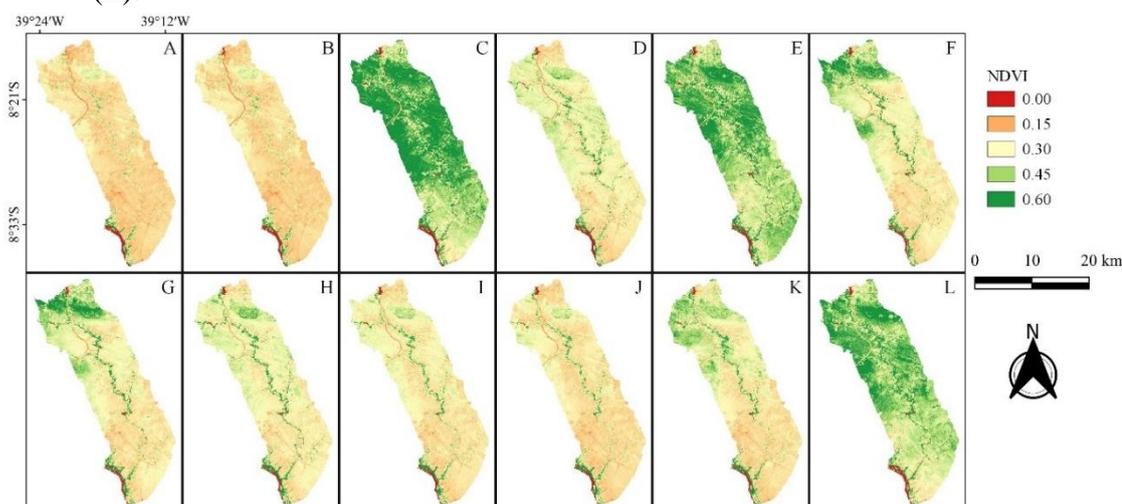
Tabela 2. Precipitação acumulada (mm) antecedente ao imageamento

Datas	Precipitação antecedente acumulada		
	30 dias	60 dias	90 dias
21/11/15	0	2	2,4
07/12/15	0	0	2,4
18/07/16	11	11	11
20/09/16	1,4	4,4	15,4
22/06/18	1	6,4	85
28/10/18	1,8	1,8	1,8
13/11/18	4,2	4,2	4,2
13/09/19	0	15	59,6
15/10/19	0,4	0,4	15,4
16/11/19	1	1,4	1,4
02/12/19	1,8	3,2	3,2
20/12/20	11	57,8	57,8

Em relação ao NDVI das imagens (Figura 4), houve um aumento dessa variável entre as imagens antes da perenização do rio (2015) e após. Temporalmente e espacialmente, a variação do NDVI foi elevada nas Figuras 4C, 4E e 4L. Logo, constata-se que nas imagens de 2015 (Figuras 4A e 4B) essas áreas eram menos evidentes nas margens do Riacho Terra Nova. Desta forma, evidencia-se que há uma influência direta da liberação das águas do

reservatório Terra Nova com a elevação da cobertura vegetal e a expansão de cultivos nas margens. Deve-se ressaltar também que a precipitação antecedente teve marcante influência nos resultados. De acordo com Oliveira *et al.* (2020), o regime pluviométrico é o grande responsável pela disponibilidade de biomassa nas áreas secas, estando correlacionado com a cobertura vegetal.

Figura 4. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). 21/11/2015 (A); 07/12/2015 (B); 18/07/2016 (C); 20/09/2016 (D); 22/06/2018 (E); 28/10/2018 (F); 13/11/2018 (G); 13/09/2019 (H); 15/10/2019 (I); 16/11/2019 (J); 02/12/2019 (K); e 20/12/2020 (L).



As maiores médias dos pixels de NDVI ocorreram em 18/07/2016 (Figura 4C), seguido do dia 22/06/2018 (Figura 4E) e 20/12/2020 (Figura 4L). Além disso, pode-se verificar que a partir de 2016, às margens do riacho Terra Nova teve, especialmente, aumento do NDVI (de 0,45 para 0,60) porque as chuvas resultaram em alto desenvolvimento vegetativo da Caatinga e as culturas agrícolas ficaram bem desenvolvidas devido a um suprimento adicional regular de água via irrigação e também devido às chuvas. Os valores médios mais baixos de NDVI ocorreram nas imagens do ano de 2015. Esses resultados

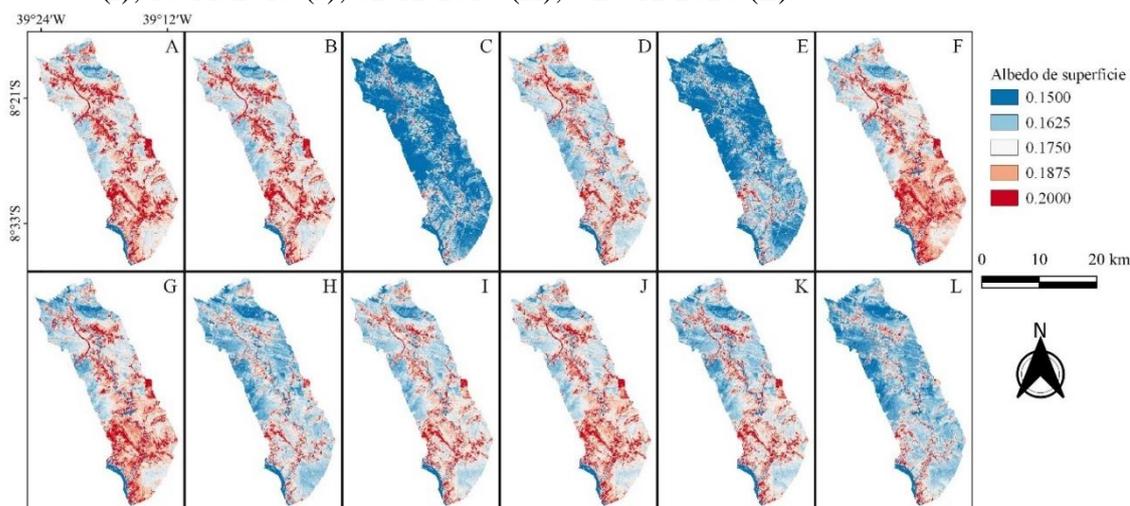
estão de acordo com Silva (2020), que apontam valores de NDVI na faixa de 0,15 – 0,60 podem indicar áreas cultivadas.

O albedo de superfície (Figura 5) apresentou baixa variabilidade temporal e espacial, exceto nas datas 18/07/2016, 22/06/2018 e 20/12/2020 (Figuras 5C, 5E e 5L, respectivamente), sendo associado ao uso do solo e à cobertura vegetal heterogênea. Os valores médios variaram de 0,16 a 0,18, com o máximo de 0,31 ocorrendo em 16/11/2019 (Figura 5J), sendo o período mais seco da série estudada. Esse comportamento está de acordo com a baixa umidade do solo, bem como, ao período do

ano que apresenta elevados níveis de radiação solar global incidente (R_g) (SILVA; MANZIONE; ALBUQUERQUE FILHO, 2018). Em 2015 e 2016, Lins *et al.* (2017) constataram valores de albedo de superfície

de 0,03 a 0,20 e maiores extensões nas áreas com cobertura vegetal e em áreas menos vegetadas foram encontrados valores de até 0,45 para o município de Arcoverde, PE.

Figura 5. Albedo de superfície. 21/11/2015 (A); 07/12/2015 (B); 18/07/2016 (C); 20/09/2016 (D); 22/06/2018 (E); 28/10/2018 (F); 13/11/2018 (G); 13/09/2019 (H); 15/10/2019 (I); 16/11/2019 (J); 02/12/2019 (K); e 20/12/2020 (L).

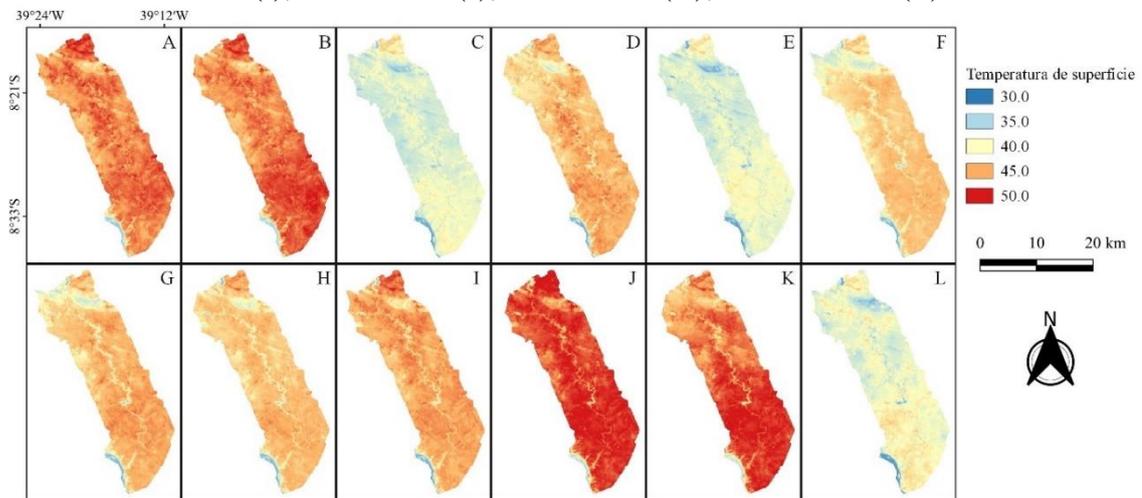


Segundo Venancio *et al.* (2021), à medida que o valor de albedo de superfície diminui, predomina um aumento da absorção de energia solar, elevando a temperatura da superfície, contribuindo então, para um aumento relativo no consumo de água.

Na Figura 6, observa-se a distribuição espacial da temperatura da superfície para cada imagem. Segundo Silva, Manzione e Albuquerque Filho (2018), a temperatura da superfície está relacionada principalmente com a radiação solar

absorvida, que é transformada em energia térmica pela transferência da radiação de ondas longas de suas superfícies para a atmosfera. As menores temperaturas (tonalidade azul) foram encontradas nos corpos hídricos e onde havia vegetação e temperaturas elevadas (tonalidade vermelha) correspondem a solos expostos, intensificando a taxa de evaporação da água. Sendo as imagens de 2015 e as de novembro e dezembro de 2019, àquelas que apresentaram temperatura de superfície mais elevadas (maiores que 45 °C).

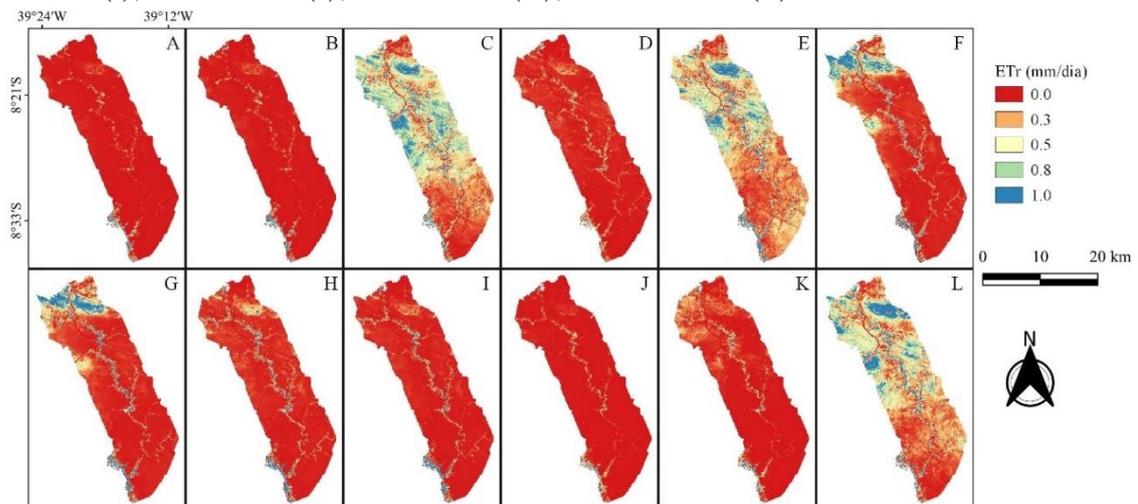
Figura 6. Temperatura de superfície (°C). 21/11/2015 (A); 07/12/2015 (B); 18/07/2016 (C); 20/09/2016 (D); 22/06/2018 (E); 28/10/2018 (F); 13/11/2018 (G); 13/09/2019 (H); 15/10/2019 (I); 16/11/2019 (J); 02/12/2019 (K); e 20/12/2020 (L).



Na Figura 7, estão apresentadas a distribuição espacial da evapotranspiração real (ET_r) para cada imagem. Pode-se perceber que, assim como para o NDVI, albedo e temperatura de superfície, apenas as Figuras 7C, 7E e 7L apresentaram maior variação espacial e temporal. Segundo Lins et al. (2017), a evapotranspiração real diária

está diretamente relacionada à capacidade da vegetação absorver a umidade do solo por meio das raízes e transferi-la para a atmosfera. Ressalta-se que os corpos hídricos não estão representados nas imagens, pois o modelo SAFER não funciona para corpos d'água.

Figura 7. Evapotranspiração real processada pelo *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER). 21/11/2015 (A); 07/12/2015 (B); 18/07/2016 (C); 20/09/2016 (D); 22/06/2018 (E); 28/10/2018 (F); 13/11/2018 (G); 13/09/2019 (H); 15/10/2019 (I); 16/11/2019 (J); 02/12/2019 (K); e 20/12/2020 (L).



As regiões com maiores valores de evapotranspiração real estão ligadas àquelas com temperaturas mais baixas (Figura 6), sendo o inverso verdadeiro, pois quanto mais intenso o fenômeno de evapotranspiração, maior será a transferência de calor latente e, portanto, o resfriamento da superfície; resultados semelhantes foram encontrados por Filgueiras *et al.* (2019) em seu estudo utilizando o SAFER na estimativa da ET_r em São Desidério, BA.

Na Tabela 3, estão apresentadas as estatísticas descritivas da evapotranspiração real (ET_r) para o trecho de perenização nas datas analisadas, com valores de mínimo, máximo, média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), além da evapotranspiração de referência (ET_0)

calculada pelo método de Penman-Monteith, com base nos dados climatológicos da estação automática Cabrobó, PE. Os valores médios mais elevados ocorreram em 18/07/2016, 22/06/2018 e 20/12/2020, todos com ET_r de aproximadamente 0,4 mm/dia. Os coeficientes de variação, no geral, foram elevados, confirmando a alta heterogeneidade quanto ao uso do solo e a dependência do regime de chuvas para o desenvolvimento econômico da região. A ET_r máxima ocorreu em 07/12/2015, 4,53 mm/dia, nessa data também ocorreu a maior ET_0 , considerando as datas analisadas, de 6,53 mm/dia, assim como o maior coeficiente de variação (510,6%), evidenciado pela baixa ET_r média, de 0,04 mm/dia.

Tabela 3. Estatística descritiva da evapotranspiração real processada pelo *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER).

Datas	ET_0 (mm/dia)	Mínimo	Máximo	Média	DP	CV (%)
21/11/15	5,15	0,00	3,72	0,03	0,15	498,4%
07/12/15	6,53	0,00	4,53	0,04	0,19	510,6%
18/07/16	2,72	0,00	2,28	0,43	0,33	76,4%
20/09/16	2,49	0,00	1,82	0,05	0,11	230,2%
22/06/18	3,38	0,00	3,01	0,39	0,35	90,4%
28/10/18	4,18	0,00	3,02	0,18	0,33	185,0%
13/11/18	5,00	0,00	3,87	0,18	0,38	217,9%
13/09/19	4,82	0,00	3,51	0,10	0,26	264,9%
15/10/19	5,56	0,00	3,96	0,08	0,26	345,5%
16/11/19	2,81	0,00	1,84	0,02	0,11	427,2%
02/12/19	3,22	0,00	2,11	0,06	0,15	255,6%
20/12/20	3,57	0,00	3,15	0,40	0,38	95,5%

ET_0 = evapotranspiração potencial; DP = desvio padrão; e CV = coeficiente de variação.

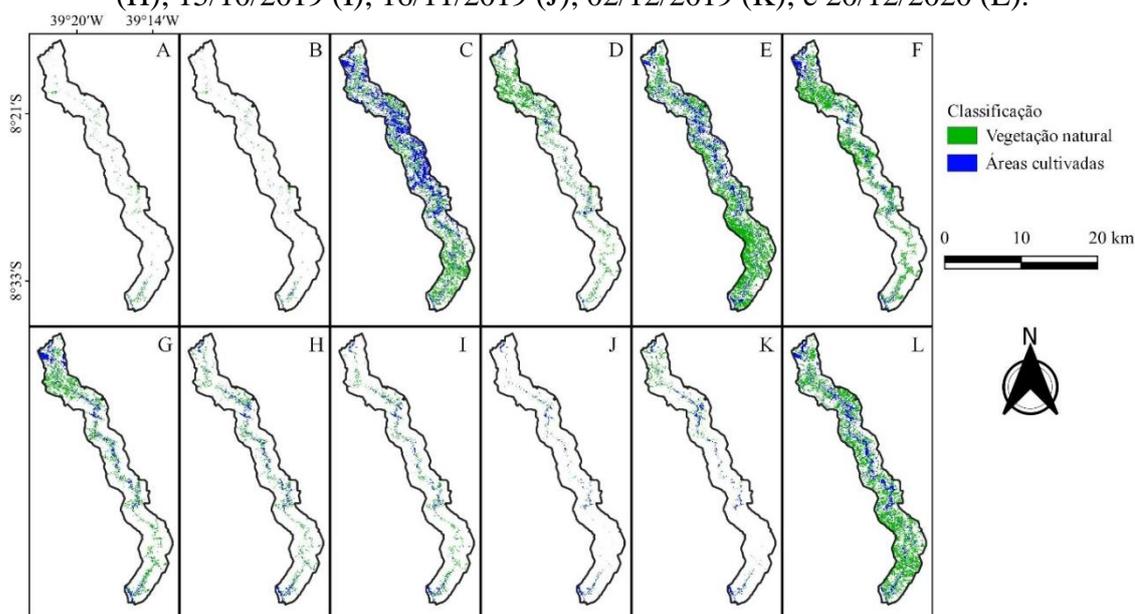
Através do modelo SUREAL, obteve-se a classificação da vegetação ao longo do trecho de 1,5 km de cada margem, apresentada na Figura 8, com distinção entre as áreas cultivadas (culturas irrigadas) e as áreas de Caatinga (vegetação natural). Percebe-se que nas imagens de 2015 (período anterior à perenização produzida pelo PISF) há menor quantidade de áreas

irrigadas no trecho do Rio Terra Nova. Nas outras imagens, posteriores à perenização do riacho, observa-se que as áreas irrigadas aumentaram ao longo das margens distribuídas por toda a extensão do Rio Terra Nova, indicando que a perenização do riacho devido à liberação das águas do Reservatório Terra Nova, tem viabilizado o crescimento da agricultura irrigada na região ao aumentar

a disponibilidade hídrica, porém, essa disponibilidade ainda está limitada às zonas próximas às margens. Para locais mais distantes das margens, as áreas de cultivo ainda estão fortemente condicionadas à ocorrência de chuvas na região. Além disso,

no período de 2012 a 2016 ocorreu uma das secas mais severas, afetando toda a região do nordeste brasileiro (CUNHA *et al.*, 2018), o que pode justificar as poucas áreas cultivadas (culturas irrigadas) nas Figuras 8A, 8B e 8D (de 2015 e 2016).

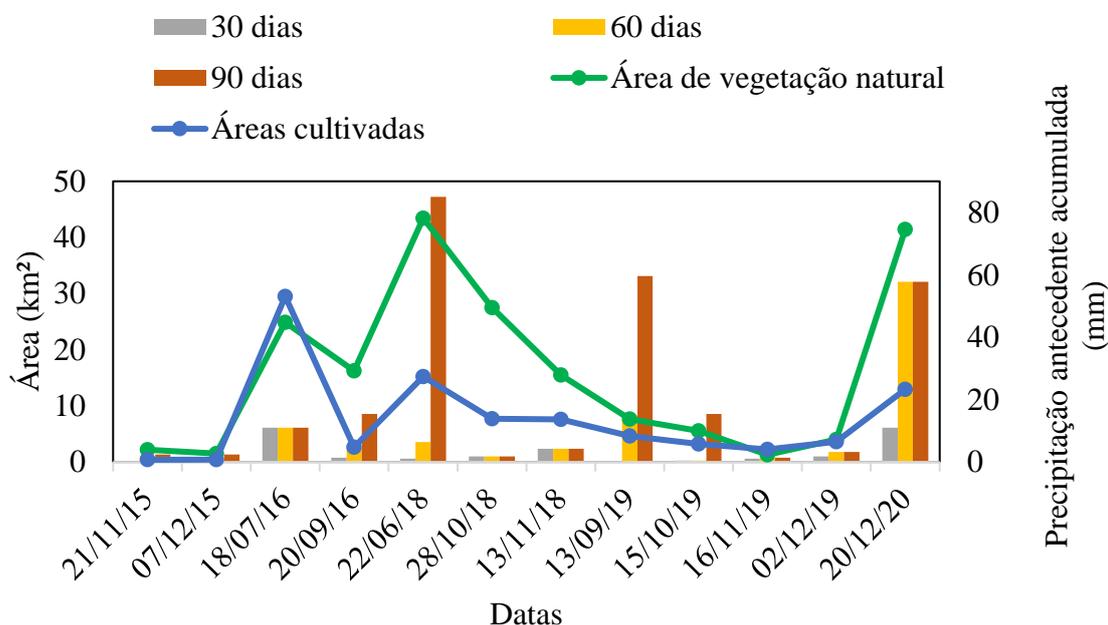
Figura 8. Classificação da vegetação natural e áreas cultivadas processada pelo *Surface Resistance Algorithm* (SUREAL). 21/11/2015 (A); 07/12/2015 (B); 18/07/2016 (C); 20/09/2016 (D); 22/06/2018 (E); 28/10/2018 (F); 13/11/2018 (G); 13/09/2019 (H); 15/10/2019 (I); 16/11/2019 (J); 02/12/2019 (K); e 20/12/2020 (L).



Definiu-se a área total da classificação do SUREAL para a vegetação natural e cultivos (culturas irrigadas), Figura 9. Destacou-se, o aumento de culturas irrigadas em 22/06/2018 (15,2 km²) e 20/12/2020 (12,9 km²), condicionado pela maior lâmina de chuvas na região e em 18/07/2016, 28/10/2018 e 13/11/2018 (29,5;

7,7; e 7,6 km², respectivamente), possivelmente devido, também, à liberação das águas oriundas do PISF. A data de 13/09/2019 apresentou elevada precipitação antecedente de 90 dias (59,6 mm), porém essa precipitação não foi acompanhada por um aumento das áreas de vegetação natural ou de áreas irrigadas.

Figura 9. Área total da classificação da vegetação natural e áreas cultivadas processada pelo *Surface Resistance Algorithm* (SUREAL) e valores de precipitação antecedente acumulada.



Logo, a precipitação tem ainda uma elevada relevância para o desenvolvimento de cultivos agrícolas, principalmente, em áreas distantes das margens do trecho perenizado do Riacho Terra Nova. De acordo com Cunha *et al.* (2018) e Marengo, Torres e Alves (2016), uma maior frequência de secas severas provavelmente tornará a região do nordeste brasileiro mais vulnerável à seca em um futuro próximo. Essas projeções sugerem a ocorrência de estiagens e secas mais frequentes e intensas, além de uma tendência à desertificação na região. Essas condições levam a um aumento na evaporação de reservatórios e rios, afetando a irrigação e a agricultura. Demonstrando, portanto, a necessidade crescente de mitigação dos efeitos da seca e o desenvolvimento da convivência com o semiárido, como a operação do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), que visa garantir a oferta hídrica para o desenvolvimento socioeconômico dos estados do nordeste brasileiro mais vulneráveis às secas (IPEA, 2011).

O processamento realizado nesse estudo, repetido 12 vezes (para cada imagem), durou em média alguns segundos considerando todo o código-fonte desenvolvido desde a definição da imagem (pela ID, Tabela 1), o cálculo do albedo planetário e de superfície, do NDVI, das radiâncias das bandas 10 e 11, a temperatura de brilho e a temperatura de superfície (em K e °C), a evapotranspiração real (incluindo manualmente na equação o dado de ET_0 da estação climatológica no dia da imagem), até a conclusão da classificação das imagens pelo SUREAL. Verifica-se que houve significativa economia de tempo já que não foi necessário realizar o download das imagens brutas e realizar o processamento das etapas do SAFER e SUREAL em *softwares* convencionais de geoprocessamento, o que pode requerer muitas horas de processamento.

6 CONCLUSÕES

No geral, ocorreu expansão de áreas cultivadas nas margens do Rio Terra Nova, no semiárido de Pernambuco, entre o Reservatório Terra Nova e a foz do rio Terra Nova, no rio São Francisco, nas imagens de 18/07/2016, 22/06/2018, 28/10/2018, 13/11/2018, e 20/12/2020 (29,5; 15,2; 7,7; 7,6; e 12,9 km², respectivamente). Além da intensidade de precipitação, a liberação das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco pode ter contribuído para o aumento de áreas irrigadas na região.

Verifica-se que a ocorrência de chuvas tem ainda uma elevada relevância para o desenvolvimento de cultivos agrícolas, principalmente, em áreas distantes das margens do trecho perenizado.

A determinação da evapotranspiração real e a classificação da vegetação a partir de técnicas de

sensoriamento remoto, implementando os modelos SAFER e SUREAL em ambiente GEE, apresentou-se como uma ferramenta rápida e eficaz. Os modelos testados no atual estudo são de grande relevância para subsidiar o monitoramento e planejamento ambiental, bem como, o gerenciamento de recursos hídricos na região, entre diferentes setores da sociedade.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo projeto financiado APQ 0300-5.03/17 e pela Bolsa de Pós-graduação da primeira autora (IBPG-0855-5.03/20) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro à pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (FAO Irrigation and Drainage paper 56).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacia Terra Nova**. Recife: APAC, 2020. Disponível em: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/207-bacia-do-rio-terra-nova>. Acesso em: 06 maio 2021.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, London, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018.
- BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 3, p. 404-414, 2010.

CANCELA, J. J.; GONZÁLEZ, X. P.; VILANOVA, M.; MIRÁS-AVALOS, J. M. Water Management Using Drones and Satellites in Agriculture. **Water**, Basel, v. 11, n. 5, p. 874-878, 2019.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

COLLISCHONN, B.; TUCCI, C. E. M. Relações regionais entre precipitação e evapotranspiração mensais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 205-214, 2014.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea – Pernambuco: Diagnóstico do município de Cabrobó**. Recife: CPRM, 2005.

CUNHA, A. P. M. A.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO-NETO, G. G.; BROWN, M.; GARCIA, S. R.; BRITO, S. B.; CARVALHO, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, Malden, v. 19, n. 10, p. 1-8, 2018.

FILGUEIRAS, R.; MANTOVANI, E. C.; ALTHOFF, D.; DIAS, S. H. B.; CUNHA, F. F. Sensitivity of evapotranspiration estimated by orbital images under influence of surface temperature. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 1, p. 23-32, 2019.

GOOGLE EARTH ENGINE. **Google Earth Engine**. [S. l.]: Google, 2021. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: 10 maio 2021.

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**, New York, v. 202, n. 1, p. 18-27, 2017.

IBGE. **Panorama Cabrobó**. Brasília, DF: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/cabrobo/panorama>. Acesso em: 10 mai. 2021.

INCRA. **Relatório de Análise de Mercados de Terras do Estado do Pernambuco** (Jurisdição da SR-03) - Parcial. Recife: INCRA, 2016.

IPEA. **Transposição do rio São Francisco: análise de oportunidade do projeto**. Rio de Janeiro: IPEA, 2011.

LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. S.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. G. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido Pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 64-75, 2017.

MAPBIOMAS. **O projeto**. [S. l.]: MapBiomas, 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 05 out. 2021.

- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídrico sem regiões áridas e semiáridas. **Instituto Nacional do Semiárido**, Campina Grande, p. 384-422, 2011.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. **Theoretical And Applied Climatology**, Wien, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2016.
- MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, Amsterdam, v. 109, n. 1, p. 139-149, 2013.
- OLIVEIRA, J. D. A.; MOURA, G. B. A.; NASCIMENTO, C. R.; LOPES, P. M. O.; NÓBREGA, R. S. Avaliação de Degradação e Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 35, n. 4, p. 585-596, 2020.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration, 1973.
- SILVA, C. O. F. Classificação supervisionada de área irrigada utilizando índices espectrais de imagens Landsat-8 com Google Earth Engine. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 160-169, 2020.
- SILVA, C. O. F.; MANZIONE, R. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. Large-Scale Spatial Modeling of Crop Coefficient and Biomass Production in Agroecosystems in Southeast Brazil. **Horticulturae**, Basel, v. 4, n. 4, p. 44-64, 2018.
- TEIXEIRA, A. H. C. Determination of surface resistance to evapotranspiration by remote sensing parameters in the semi-arid region of Brazil for land-use change analyses. *In*: NEALE, C. M. U.; COSH, M. H. (org.). **Remote Sensing and Hydrology**. Jackson Hole: IAHS Press, 2012. v. 352, p. 167-170.
- TEIXEIRA, A. H. C. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. **Remote Sensing**, Basel, v. 2, n. 5, p. 1287-1319, 2010.
- TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. 3-4, p. 462-476, 2009.
- TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. **Modelagem espaço-temporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro**. Campinas: Embrapa Semiárido, 2013.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region. **Journal of Applied Remote Sensing**, Bellingham, v. 11, n. 1, p. 16-30, 2017.

TEIXEIRA, A. H. C.; PADOVANI, C.; ANDRADE, R.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D.; GALDINO, S. Use of MODIS Images to Quantify the Radiation and Energy Balances in the Brazilian Pantanal. **Remote Sensing**, Basel, v. 7, n. 11, p. 14597-14619, 2015.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; 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**, Amsterdam, v. 247, p. 106725, 2021.

TEIXEIRA, A. H. D. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; BOLFE, E. L. Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil. **SPIE**, [S. l.], v. 1, n. 16, p. 1-10, 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Explorer**. Washington, DC: USGS, 2021. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 maio 2021.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Sioux Falls: USGS, 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 8 Collection 1 (C1), Land Surface Reflectance Code (LaSRC), Product Guide**. Dakota: USGS, 2020.

VENANCIO, L. P.; MANTOVANI, E. C.; AMARAL, C. H.; NEALE, C. M. U.; FILGUEIRAS, R.; GONÇALVES, I. Z.; CUNHA, F. F. Evapotranspiration mapping of commercial corn fields in Brazil using SAFER algorithm. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 78, n. 4, p. 1-12, 2021.