

## ANÁLISE DE CANAVIAIS IRRIGADOS COM PARÂMETROS BIOFÍSICOS POR SENSORIAMENTO REMOTO NO NORDESTE BRASILEIRO

JADIENE MOURA DOS SANTOS<sup>1\*</sup>; PABRÍCIO MARCOS OLIVEIRA LOPES<sup>2</sup>;  
GEBER BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA<sup>3</sup>; ANDERSON SANTOS DA  
SILVA<sup>4</sup>; JHON LENNON BEZERRA DA SILVA<sup>5</sup>, JOSÉ GALDINO DE OLIVEIRA  
JÚNIOR<sup>6</sup>

*\* Esta pesquisa refere-se ao trabalho de iniciação científica da primeira autora.*

<sup>1</sup> Engenheira Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife/PE. E-mail: mourajad@hotmail.com;

<sup>2</sup> Professor Dr. da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife/PE. E-mail: pabricio.lobes@ufrpe.br;

<sup>3</sup> Professor Dr. da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife/PE. E-mail: geber.moura@ufrpe.br;

<sup>4</sup> Professor Dr. da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Avenida Bom Pastor, s/n, Boa Vista, Garanhuns/PE. E-mail: anderson.silva@ufape.edu.br;

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife/PE. E-mail: jhonlennoigt@hotmail.com;

<sup>6</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife/PE: dinojr95@gmail.com.

### 1 RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar ocupa uma área significativa no município de Juazeiro, BA, afetando o ambiente em que está inserida. O uso de tecnologias como as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, vem auxiliando na obtenção de informações importantes sobre essas áreas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial dos componentes do balanço de radiação à superfície em áreas agrícolas com o cultivo de cana-de-açúcar irrigado no semiárido brasileiro. O estudo foi realizado em uma porção da região do Vale do Submédio do São Francisco, especificadamente em uma área comercial cultivada com cana-de-açúcar totalmente irrigada, localizada no município de Juazeiro, BA. Foram obtidos por meio de sensoriamento remoto, os parâmetros biofísicos (NDVI, temperatura da superfície, albedo da superfície e saldo de radiação) e a classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (Maxver) para as datas 03/09/2013, 22/09/2014 e 24/08/2015 a partir do processamento digital de imagens do satélite Landsat-8, utilizando o software QGIS. Através da Maxver foi possível detectar os diferentes estágios fenológicos (inicial e de maturação) dos cultivos de cana-de-açúcar presentes na região; além disso, os resultados demonstraram que os valores de NDVI são inversamente proporcionais aos de temperatura. Os altos valores de albedo e baixos de Rn estão relacionados à existência de solo desnudo e/ou palha de cana-de-açúcar. Por outro lado, o NDVI apresentou-se alto, Ts relativamente baixa, albedo e Rn relativamente moderados na vegetação sadia. A análise espaço-temporal do NDVI e Ts indicou variações na cobertura do solo, destacando a existência de fases distintas de desenvolvimento da cultura em campo. Por fim, a metodologia apresentou-se viável para o mapeamento de variáveis biofísicas nas diferentes datas analisadas.

**Palavras-chave:** Landsat-8, semiárido, saldo de radiação.

**SANTOS, J. M.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, A. S.; SILVA, J. L. B.;  
OLIVEIRA JÚNIOR, J. G.**

**ANALYSIS OF IRRIGATED SUGARCANE FIELDS WITH BIOPHYSICAL  
PARAMETERS BY REMOTE SENSING IN THE BRAZILIAN NORTHEAST**

## **2 ABSTRACT**

The cultivation of sugarcane occupies a significant area in the municipality of Juazeiro, BA, affecting the surrounding environment. The use of technologies, such as remote sensing and geoprocessing, has been helping to obtain important information about these agricultural areas. This work aimed to evaluate the spatial distribution of the components of the surface radiation balance in agricultural areas with the cultivation of irrigated sugarcane in the Brazilian semiarid region. This research was carried out in a portion of the Sub-Middle of São Francisco Valley, specifically in a commercial area cultivated with totally irrigated sugarcane, located in the municipality of Juazeiro, BA. The biophysical parameters (NDVI, surface temperature, surface albedo, and radiation balance) and the supervised classification Maximum Likelihood (Maxver) for the dates 09/03/2013, 09/22/2014, and 08/24/2015 were obtained through remote sensing from the digital processing of Landsat-8 satellite images, using the QGIS software. Through Maxver, it was possible to detect the different phenological stages (initial and maturation) of the sugarcane cultivations present in the region. Also, the results showed that the NDVI values are inversely proportional to temperature. The high albedo and low Rn values are related to bare soil and sugarcane straw. However, NDVI was high, Ts relatively low, and albedo and Rn relatively moderate in healthy vegetation. The spatial-temporal analysis of NDVI and Ts indicated variations in soil cover, highlighting distinct phases of development of the crop in the field. Finally, the methodology proved to be viable for mapping biophysical variables on different dates analyzed.

**Keywords:** Landsat-8, semiarid, radiation balance.

## **3 INTRODUÇÃO**

O Brasil é privilegiado devido às condições climáticas para o cultivo da cana-de-açúcar em grande escala em todas as regiões do país, o que torna essa uma das culturas mais importantes do agronegócio brasileiro, com alta capacidade de produção de biomassa e derivados (palhada, açúcar, álcool, bagaço, vinhaça e energia), que atrelada aos incentivos do Governo Federal ou mercado consumidor sempre se mantém como foco dos investimentos e avanços tecnológicos (SILVA *et al.*, 2019b).

Na região Sudeste do país, os estados de São Paulo e Minas Gerais

destacam-se como principais produtores da cana-de-açúcar, nos quais a safra 2019/2020 alcançou uma produção de 436,4 milhões de toneladas (um incremento de 5,2% em relação à safra anterior). A região Nordeste, mesmo com o avanço de culturas como a soja e o milho, principalmente, teve um aumento na área plantada de 0,8% e de 2,8% na produtividade média, chegando a uma produção de aproximadamente 51 milhões de toneladas para a safra 2020/21 (CONAB, 2020).

O estado da Bahia encontra-se com uma previsão de área plantada para a safra 2020/21 de 61,8 mil hectares visando uma produtividade média próxima de 59,79 t ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, podendo essa oscilar entre os cultivos totalmente irrigados e àqueles com irrigação de salvamento, ou seja, dependentes da precipitação pluviométrica em determinada fase do estágio fenológico da cultura (CONAB, 2020).

Especificadamente, na região do Vale do Submédio do São Francisco, mesmo em pleno clima semiárido, os municípios de Petrolina, PE e Juazeiro, BA, se destacam como grandes polos de fruticulturas irrigadas. Em Juazeiro, BA, a cana-de-açúcar tem sido produzida em grandes extensões territoriais, cuja produção pode ser afetada por variações climáticas, e por se tratar de um monocultivo ocupante de extensas áreas, também acaba afetando o ambiente em que está inserida de diferentes formas, tornando-se necessária a avaliação dos efeitos causados por essa interação do sistema solo-água-planta-atmosfera (ESTEVEZ *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2019b).

De acordo com o censo varietal no Brasil referente à safra 2017/2018, 66% das variedades plantadas eram pertencentes à Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA - RB), 14% ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), 13% à Copersucar S.A. (variedades SP), 2% ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2% à CanaVialis S.A. (CV) e 3% eram relacionados a outras denominações totalizando 5,6 milhões de hectares, destacando-se as variedades RB867515, RB966928 e RB92579 com 25%, 12% e 10% dos cultivos, respectivamente (SILVA, 2019).

Visando o monitoramento e a avaliação espaço-temporal de áreas irrigadas, o uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para a obtenção de parâmetros biofísicos inerentes ao balanço de energia da superfície terrestre, são alternativas altamente viáveis, por serem capazes de

distinguir a resposta espectral específica desses alvos quanto à cobertura e uso da terra, principalmente quanto às fases fenológicas das culturas agrícolas (ANDRADE *et al.*, 2014; OLIVEIRA; MORAES; RUDORFF, 2014; SILVA *et al.*, 2015; PAGANI *et al.*, 2017; DEBASTIANI *et al.*, 2018; MARTINS *et al.*, 2019).

O balanço de radiação (Rn), ou saldo de radiação, na superfície do solo, representa a contabilização líquida entre toda energia radiante recebida e perdida pela superfície. Essa energia é utilizada para processos não radiativos, tais como evaporação, evapotranspiração, fotossíntese, e aquecimento do solo e do ar adjacente, gerando trocas turbulentas de calor na atmosfera (VIANELLO; ALVES, 2012). Devido à sua importância para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, o balanço de radiação tem sido objeto de vários trabalhos de pesquisa. Por exemplo, André *et al.* (2010), analisando os diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, observaram que não houve mudanças no comportamento do balanço de radiação, embora os valores absolutos dos termos tenham sido diferentes. Enquanto, Ferreira Junior *et al.* (2015), investigando o rendimento e as eficiências do uso da radiação e da fotossíntese da cana-de-açúcar irrigada em Alagoas, concluíram que essas variáveis não são influenciadas pelo uso de diferentes espaçamentos de linha (único e combinado).

Por outro lado, Oliveira *et al.* (2020), estudando o balanço de radiação e as suas componentes do equilíbrio energético em uma área de cultivo de cana-de-açúcar a partir de diferentes manejos de cobertura de solo e intervalos secos e úmidos, observaram que a camada de palha sobre o solo proporcionou maior proteção, evitando a perda de água por evaporação do solo, o que pode ser entendido pela menor partição para evapotranspiração. Sun *et al.* (2018) afirmaram que o equilíbrio

energético varia em função da cobertura do solo e da época do ano. A partição de fluxo é significativamente afetada pela presença de vegetação fotossinteticamente ativa sob o solo, enquanto a vegetação morta, geralmente, tem um alto valor de albedo, o que causa uma diminuição nos valores do saldo de radiação.

Carvalho, Moura e Silva (2018), avaliando as alterações do balanço de radiação promovidas pela substituição da Caatinga por áreas de cultivo de cana-de-açúcar irrigada, observaram um aumento de 42% na refletância da superfície ao se mudar a Caatinga preservada por cana-de-açúcar. A mudança do uso do solo causa alterações significativas nos atributos biofísicos da superfície, alterando a rugosidade e as propriedades aerodinâmicas e, por conseguinte, os fluxos de energia e massa de culturas agrícolas (VON RANDOW *et al.*, 2004; LOPES *et al.*, 2013; FAUSTO *et al.*, 2016; FERNANDES *et al.*, 2021a, b).

Desta forma, diversas técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) vêm sendo utilizadas para obter informações relacionadas à superfície terrestre e à atmosfera, por meio de sensores orbitais e da implementação de algoritmos operacionais, como o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) (BASTIAANSEN *et al.*, 1998a, b).

O algoritmo SEBAL é essencial na modelagem de dados geoespaciais ligados ao balanço de energia à superfície em escala regional e global, pois consiste em um método de processamento digital de imagens de satélite que utiliza fórmulas semiempíricas para a obtenção de parâmetros biofísicos (como o albedo de superfície, índices de vegetação, temperatura da superfície e a evapotranspiração) a partir dos canais espectrais das bandas do visível, infravermelho próximo, infravermelho termal e dados obtidos em campo (BASTIAANSEN, 2000;

BASTIAANSEN *et al.*, 2005; ALVES *et al.*, 2017; DEBASTIANI, *et al.*, 2018).

A partir desses procedimentos de matemática computacional, este algoritmo possui uma abordagem eficiente e validada no mundo inteiro (TEIXEIRA *et al.*, 2009; MATINFAR, 2012; CHÁVEZ *et al.*, 2012; TANG *et al.*, 2013; ANDRADE *et al.*, 2014; MACHADO *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015; ALVES *et al.*, 2017; DEBASTIANI, *et al.*, 2018). E em relação ao Brasil, especificamente nas regiões semiáridas, são encontrados alguns exemplos da sua eficácia em estudos sobre o balanço de radiação em áreas irrigadas presentes no bioma Caatinga (SILVA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2021a).

O albedo de superfície, através do algoritmo SEBAL, torna-se um parâmetro biofísico muito importante no estudo de mudanças climáticas e impactos ambientais, pois é capaz de retratar as condições microclimáticas de culturas agrícolas e da absorção de radiação, relacionando-as a aspectos físicos e fisiológicos como: fotossíntese, respiração, saldo de radiação e evapotranspiração (WANG *et al.*, 2001; SILVA; LOPES; AZEVEDO, 2005a; SILVA *et al.*, 2020).

O saldo de radiação, por sua vez, é um elemento chave no balanço de energia, pois, trata-se de um elemento imprescindível para o entendimento dos processos de trocas de energia entre a interface superfície/atmosfera, principalmente, em relação ao processo da evapotranspiração realizado pela vegetação e por áreas irrigadas, com aplicações voltadas essencialmente para a meteorologia agrícola (SILVA; LOPES; AZEVEDO, 2005b; GUSMÃO *et al.*, 2012; LOPES *et al.*, 2013; OLIVEIRA; SILVA; MOURA, 2015).

Os índices de vegetação a partir de imagens orbitais também são ferramentas eficazes no monitoramento ambiental e agrícola, pois, são capazes de extrair informações espectrais da vegetação, como

a condição de vigor da sua biomassa vegetal. Para o monitoramento espectral da cobertura e uso da terra, especificamente de áreas irrigadas, vale destacar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) (HUETE *et al.*, 2002; BARBOSA; HUETE; BAETHGEN, 2006; RODRIGUES *et al.*, 2020; SILVA; LOPES, 2021). Além disso, a temperatura da superfície ( $T_s$ ), que é um importante indicador de mudanças climáticas, é essencial para monitorar as principais mudanças do uso do solo e alterações na vegetação em função dos efeitos severos de épocas de estiagem e seca (WENG; QUATTROCHI, 2006; JULIEN; SOBRINO, 2009; SILVA *et al.*, 2021b).

Portanto, perante a necessidade de analisar grandes áreas e de compreender a relação entre variáveis fundamentais para o desenvolvimento de canaviais, objetivou-se avaliar, utilizando-se de conjuntos de técnicas de sensoriamento remoto, a distribuição espacial dos componentes do

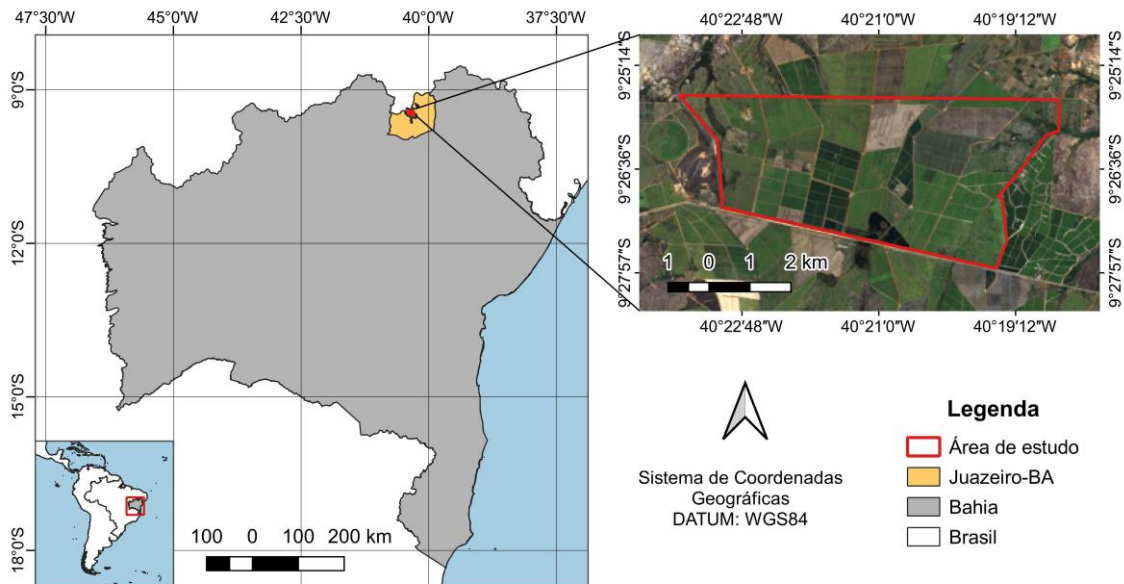
balanço de radiação à superfície em áreas agrícolas com o cultivo de cana-de-açúcar irrigado no semiárido brasileiro.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na região do semiárido brasileiro, mais especificadamente em uma porção de aproximadamente 2.568 ha do Submédio do Vale do São Francisco, que está localizada entre as coordenadas: latitude ( $9^{\circ}25'14''$  S e  $9^{\circ}27'57''$  S) e longitude ( $40^{\circ}19'12''$  O e  $40^{\circ}22'48''$  O), no município de Juazeiro, BA. Essa porção pertence a uma área comercial cultivada com cana-de-açúcar totalmente irrigada com diversas variedades da cultura que se adequam às condições edafoclimáticas da região, destacando-se a cultivar RB92579 como a mais utilizada (SÁ, 2016), conforme ilustra a Figura 1.

**Figura 1.** Localização geográfica espacial da área de estudo.



**Fonte:** Autores (2021).

A área de estudo possui clima quente e seco por causa da insuficiência anual de chuvas, com precipitação média de  $430 \text{ mm ano}^{-1}$ , distribuídos irregularmente

durante o ano. A umidade relativa média do ar é de 66% e a temperatura média do ar de  $26,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (PINHEIRO; CRUZ; SIMÕES, 2015; NEMUS, 2016).

Os solos da região foram classificados como planossolo solódico eutrófico, bruno não cálcico, cambissolo eutrófico, solos litólicos eutróficos e vertissolo. Quanto à topografia ocorre relevo plano e ondulado com vales abertos (NASCIMENTO *et al.*, 2012), onde a vegetação predominante é a Caatinga arbustiva densa que se desenvolve com maior vigor após os primeiros indícios de ocorrência de chuvas (CRUZ; BORBA; ABREU, 2005).

Além disso, quatro tipos de uso da terra foram classificados como: estágio inicial da cana-de-açúcar, estágio de desenvolvimento ou maturação da cana-de-açúcar, solo desnudo e água, selecionados para facilitar a interpretação dos resultados, devido à cobertura vegetal dos talhões

apresentar diferentes fases fenológica. Vale ressaltar que os canaviais são de cana-ano.

Em relação à variedade RB92579, essa foi considerada uma das variedades mais cultivadas nos canaviais do Brasil. Na Região Nordeste, entre os anos 2000 e 2015, a RB92579 teve um aumento produtivo significativo de 0,5% para 35% da área colhida, demonstrando assim, com produtividade agrícola elevada, com uma média de 80 t ha<sup>-1</sup>. Em alguns casos, quando se utilizou a técnica de irrigação plena, essas médias aumentaram de 140 t ha<sup>-1</sup> para 260 t ha<sup>-1</sup> em treze meses de cultivo. Esse potencial produtivo e sua grande presença nos canaviais, fazem jus às suas características que são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características agrícolas e industriais da variedade RB92579.

<b>Características agrícolas e industriais da variedade RB 92579</b>	
Recomendação de área	Tabuleiro, várzea, encostas e chã
Perfilhamento em cana planta	Alto
Perfilhamento em cana soca	Alto
Brotação da soca crua	Boa
Brotação da soca queimada	Muito boa
Fechamento entre linhas	Bom
Florescimento	Eventual
Maturação	Média a tardia
Produtividade agrícola	Elevada
Exigências ambientais	Média restrição
Resistência ao estresse hídrico (seca)	Rápida recuperação
Açúcar Total Recuperável (ATR)	Elevada
Período Longo Industrial (PUI)	Longo

**Fonte:** Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético - RIDESA (2015).

#### 4.2 Dados meteorológicos

Os dados de temperatura do ar ( $T_a$ , °C), umidade relativa do ar (UR, %), pressão atmosférica (P, hPa), radiação global (RG, W m<sup>-2</sup>), velocidade do vento ( $w_s$ , m s<sup>-1</sup>), direção do vento (Wd, Graus) e precipitação pluvial (Chuva, mm) foram escolhidos conforme o dia e o horário de

obtenção das imagens do satélite Landsat-8 (Tabela 2). Esses dados pertencem à estação meteorológica automática do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA), que está localizada no município de Petrolina, PE, nas coordenadas geográficas 09° 04' 08" S, 40° 19' 11" W e altitude de 387 m (INPE, 2021).

**Tabela 2.** Dados meteorológicos referentes às datas das imagens do satélite Landsat-8.

Data	DJ	Hora local	T <sub>a</sub> (°C)	UR (%)	P (hPa)	RG (W m <sup>-2</sup> )	ws (m s <sup>-1</sup> )	wd (Graus)	Chuva (mm)
03/09/2013	246	9h50	26,05	49,19	973,35	803,0	5,14	114,4	0
22/09/2014	265	9h48	31,79	32,71	970,27	849,0	4,76	121,6	0
24/08/2015	236	9h47	26,58	47,62	972,58	809,0	4,16	123,0	0

DJ – Dia sequencial do ano, T<sub>a</sub> – Temperatura do ar, °C – Graus Celsius, UR – Umidade Relativa do ar; P – Pressão atmosférica, hPa – Hecto Pascal, RG – Radiação Global, W m<sup>-2</sup> – Watt por metro quadrado, ws – Velocidade do vento, m s<sup>-1</sup> – metro por segundo, wd – Direção do vento.

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2021)

### 4.3 Dados orbitais

As imagens, referentes aos anos de 2013 a 2015, dos sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), localizados a bordo do satélite Landsat-8, foram adquiridas gratuitamente na página virtual da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) ([www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov)),

considerando-se nebulosidade de no máximo 20% em cada cena orbital.

A área de estudo está situada na cena 217/67 (órbita/ponto) em formato Geotiff com Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) original WGS 84/UTM Zona 24N, cobrindo assim, totalmente a área analisada. Na Tabela 3, pode-se observar os dados de entrada, no instante da passagem do satélite, que foram utilizados para a área de interesse.

**Tabela 3.** Dados de entrada no instante da passagem do satélite Landsat-8.

Data	DJ	Hora local	Cobertura de nuvens (%)	Ângulo Azimutal (Graus)	Ângulo de elevação do Sol (Graus)	Distância terra-sol
03/09/2013	246	09h50	0,01	60,44	58,25	1,008
22/09/2014	265	09h48	0,00	72,57	62,33	1,003
24/08/2015	236	09h47	0,31	55,92	55,17	1,011

DJ – Dia sequencial do ano.

Fonte: United States Geological Survey – USGS (2021).

No pré-processamento digital das cenas, foram feitas as etapas de recorte, correção atmosférica das refletâncias e dos efeitos atmosféricos (espalhamento) e reprojeção do sistema de coordenadas geográficas para o SRC WGS 84/UTM zone 24S das bandas multiespectrais: 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 10, com resolução espacial de 30 m, utilizando as ferramentas do *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), presentes no *software* livre QGIS versão 2.18.11 (CONGEDO, 2021).

### 4.4 Processamento digital das imagens orbitais

O albedo da superfície no domínio da radiação de onda curta (0,3 – 3,0 μm) sem correção atmosférica foi obtido através da combinação linear das refletâncias espectrais das bandas 2 a 7 ( $\rho_\lambda$ ) obtido da expressão de Silva *et al.* (2016) (Equação 1):

$$\alpha_{Toa} = 0,300 \cdot \rho_2 + 0,277 \cdot \rho_3 + 0,233 \cdot \rho_4 + 0,143 \cdot \rho_5 + 0,035 \cdot \rho_6 + 0,012 \cdot \rho_7 \quad (1)$$

Em seguida, realizou-se a correção do albedo pela Equação 2, conforme Allen, Tasumi e Trezza (2002):

$$\alpha_{sup} = (\alpha_{Toa} - \alpha_{atm})/\tau_{sw}^2 \quad (2)$$

Em que,  $\alpha_{atm}$  é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera (0,03); e  $\tau_{sw}$  é a transmitância atmosférica, dada pela Equação 3:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 * 10^{-5} * alt \quad (3)$$

Em que, *alt* é o Modelo Digital de Elevação, representado por uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission* – Topodata/INPE <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>) de altitude (m) de cada pixel.

Para os cálculos referentes aos índices de vegetação, primeiro foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que consiste em um indicador sensível à quantidade e condição de vegetação. Os valores para NDVI variam entre -1 e +1. As superfícies vegetadas têm um NDVI entre 0 e 1, e água e nuvens são geralmente menores que zero. O NDVI foi encontrado de acordo com a equação desenvolvida por Rouse *et al.* (1973) (Equação 4). Em seguida, foi calculado o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), que avalia o vigor vegetativo minimizando os efeitos do solo sobre a vegetação, os quais são corridos através do fator de ajuste do solo (L), como proposto por Huete (1988) (Equação 5). O Índice de Área Foliar (IAF) é a razão entre a área total das folhas de uma planta e a área do

$$Ts = TB/((1 + ((\lambda * TB)/c_2) * \ln(\epsilon_0))) \quad (9)$$

Em que,  $\lambda$  é o comprimento de onda central da banda 10 igual a 10,895  $\mu\text{m}$ ; e  $c_2$

Em seguida foi calculada a radiação de onda longa emitida pela superfície –  $R_{ol}$

solo representado pela planta. Este é um indicador de biomassa e resistência do dossel. O IAF foi calculado pela Equação 6, desenvolvida por Allen, Tasumi e Trezza (2002).

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (4)$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

$$IAF = - (\ln((0,69 - SAVI)/0,59))/0,91 \quad (6)$$

Em que,  $\rho_{IV}$  é a refletância da banda do infravermelho próximo;  $\rho_V$  é a refletância da banda do vermelho; e L é o fator de ajuste do solo (0,5).

A Emissividade de Superfície ( $\epsilon_0$ ) foi calculada em função do Índice de Área Foliar (IAF) (Equação 6) conforme mostra a Equação 7 (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002):

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 * IAF \quad (7)$$

Para o cálculo da temperatura da superfície ( $T_s$ ) em Kelvin (K) é necessário o cálculo da temperatura de brilho (TB) utilizando a banda 10 do sensor TIRS do Landsat-8 por meio da Equação 8. ([https://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)):

$$TB = K_2/\ln[(K_1/L_{10}) + 1] \quad (8)$$

Logo, a temperatura da superfície ( $T_s$ ) foi calculada segundo a Equação 9 (WENG; LU; SCHUBRING, 2004):

é a segunda constante de radiação igual a 14.388  $\mu\text{K}$ .

$\uparrow$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) por cada pixel, mediante ao coeficiente de Stefan-Boltzmann ( $\sigma =$



$5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ ), em função da  $T_s$  e da  $\varepsilon_0$  (Equação 10):

$$R_{ol} \uparrow = \varepsilon_0 * \sigma * T_s^4 \quad (10)$$

A radiação de onda longa incidente pela atmosfera –  $R_{ol} \downarrow$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) também foi calculada pela lei de Stefan-Boltzmann, descrita na Equação 10, porém em função da emissividade atmosférica do ar ( $\varepsilon_a = 0,85 * (-\ln * \tau_{sw})^{0,09}$ ) e da  $T_a$  (Tabela 1) em Kelvin ( $K = T_a + 273,15$ ), conforme a Equação 11:

$$R_{ol} \downarrow = \varepsilon_a * \sigma * T_a^4 \quad (11)$$

$$R_n = (1 - \alpha_{sup}) R_S \downarrow + R_{ol} \downarrow - R_{ol} \uparrow - (1 - \varepsilon_0) R_{ol} \downarrow \quad (13)$$

#### 4.5 Classificação do uso e cobertura do solo

A classificação do uso e cobertura do solo foi realizada através do método de

Para o cálculo da radiação de onda curta incidente na superfície –  $R_S \downarrow$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) foi utilizada a Equação 12:

$$R_S \downarrow = S * \cos \theta * d_r * \tau_{sw} \quad (12)$$

Em que,  $S$  é a constante solar ( $1367 \text{ W m}^{-2}$ );  $\cos \theta$  é o  $\cos (90^\circ - \text{ângulo de elevação do sol})$ ;  $d_r$  é a distância relativa Terra-Sol, obtida pela inversão do quadrado da distância Terra-Sol encontrada nos metadados das imagens.

Por fim, foi estimado o saldo de radiação –  $R_n$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) conforme a Equação 13:

classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (Maxver), considerando as seguintes estratificações do NDVI conforme Martins *et al.* (2019), descritas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Intervalo de estratificação do NDVI para classificar as áreas quanto ao seu uso e cobertura do solo.

Parâmetro biofísico	Intervalo de estratificação	Classes de uso e ocupação do solo
NDVI	< 0	Água
	0 a 0,199	Solo desnudo
	0,200 a 0,599	Estágio inicial de desenvolvimento da cultura
	>0,600	Estágio de maturação da cultura

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.  
**Fonte:** Martins *et al.* (2019).

De acordo com os resultados encontrados por Silva, Bacani e Carvalho (2013), Mulianga *et al.* (2015) e Cechim, Johann e Antunes (2017), a Maxver utilizada nesse estudo, apresenta boa eficiência em mapeamentos de áreas de cana-de-açúcar, pois, nesses trabalhos, foi capaz de permitir o fornecimento de informações antecipadas sobre plantios agrícolas.

#### 4.6 Análise estatística

Os parâmetros biofísicos obtidos ao longo do processo da estimativa do saldo de radiação foram analisados de acordo com a estatística descritiva, avaliando-se os valores mínimos, máximos e médios calculados no ambiente computacional QGIS.

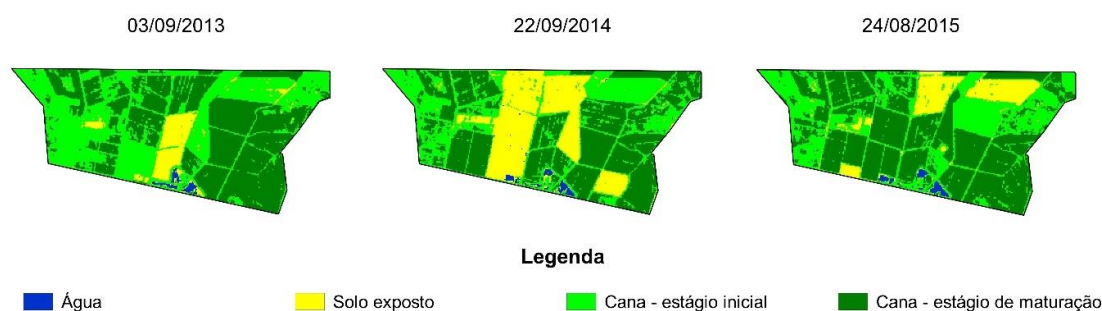
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise a partir da classificação supervisionada

A Figura 2 mostra a classificação supervisionada realizada para a obtenção das classes de uso e cobertura do solo presente na área de estudo, cultivada comercialmente com cana-de-açúcar em épocas distintas coincidente com a passagem do satélite. Observou-se nos diferentes talhões diversas tonalidades relacionadas aos estágios fenológicos da

cana-de-açúcar analisada nesse estudo, em que os tons em verde claro indicam a cultura em estágio inicial com reduzida atividade fotossintética. Além disso, foi possível identificar áreas de solo desnudo (coloração amarela) e de corpos hídricos (coloração azul), fortalecendo assim, a aplicação de classificadores de uso e cobertura do solo aliados aos índices de vegetação, tornando-se ferramentas eficazes para o monitoramento dos estágios de desenvolvimento de culturas agrícolas no semiárido (SILVA *et al.*, 2019a).

**Figura 2.** Representação qualitativa das classes de uso e cobertura do recorte de uma área comercial de cana de açúcar em Juazeiro, BA, nas datas: 03/09/2013; 22/09/2014 e 24/08/2015, respectivamente.

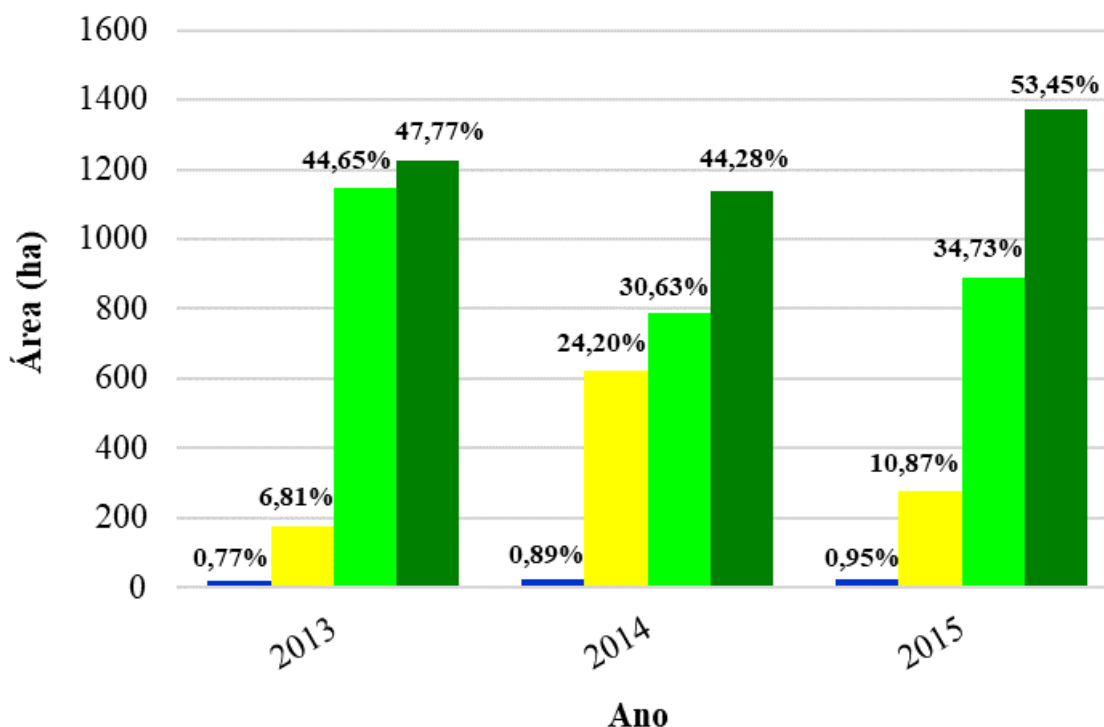


**Fonte:** Autores (2021).

Por outro lado, a Figura 3 apresenta as áreas com maior atividade fotossintética (Maturação - tonalidade verde escuro), com percentuais de 47,77%, 44,28% e 53,45% para os anos 2013, 2014 e 2015, respectivamente. Pôde-se perceber também, que o percentual de solo desnudo apresentou uma variação expressiva entre os anos de 2013 e 2014, em que a área

classificada como solo desnudo apresentou um aumento significativo de 17,39%, demonstrando que a colheita da cultura no campo já tinha sido realizada. No entanto, na data 24/08/2015 constatou-se que esta mesma área ainda estava cultivada com cana-de-açúcar, devido ao percentual inferior de solo exposto de 10,87%.

**Figura 3.** Representação quantitativa das classes de uso e cobertura do recorte de uma área comercial de cana de açúcar em Juazeiro, BA, nas datas: 03/09/2013; 22/09/2014 e 24/08/2015, respectivamente.



Fonte: Autores (2021).

Por fim, através do método de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança, foi possível observar que as classes de cana-de-açúcar (estágios fenológicos inicial e de maturação) apresentaram-se na maior parte da área de estudo, com valores em torno de 1147 e 1227 ha, 786,5 e 1137 ha e 892 e 1372,5 ha, nos anos de 2013, 2014 e 2015, respectivamente.

## 5.2 Índice de vegetação e temperatura de dosséis de canaviais irrigados

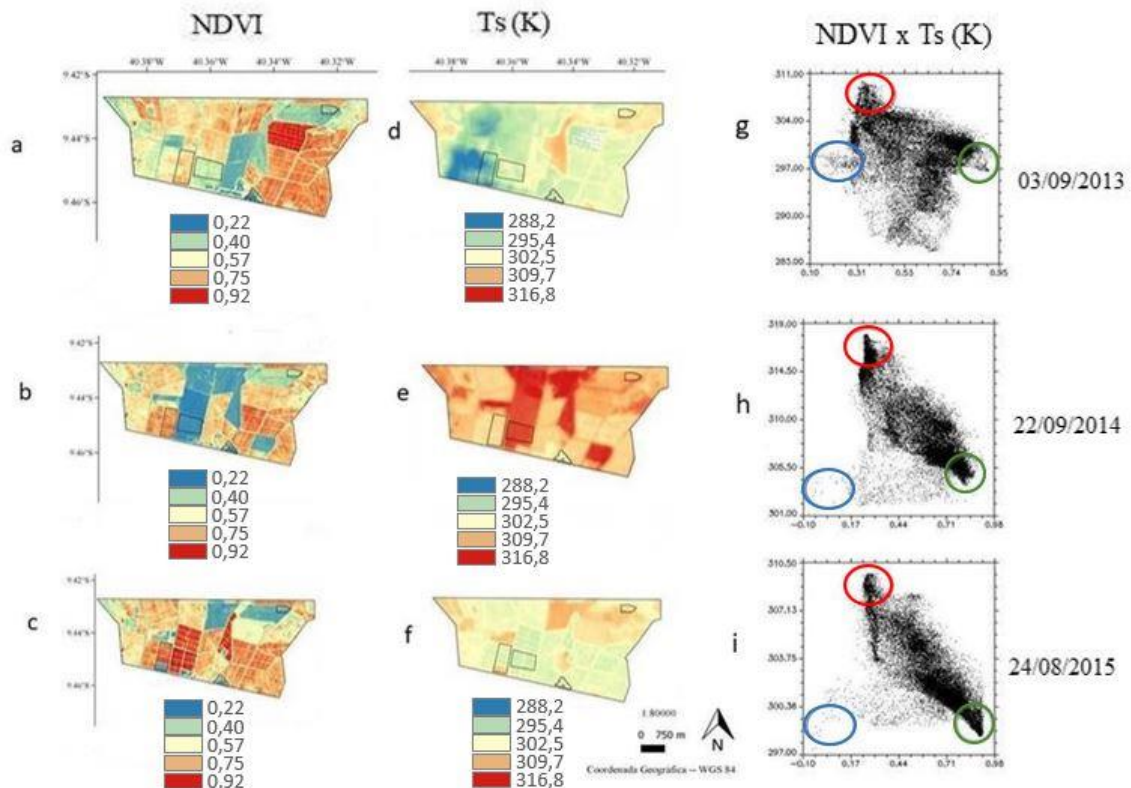
Como ocorre para a vegetação em geral, a resposta espectral das culturas agrícolas depende de uma série de fatores bioquímicos do vegetal, além das características físicas do dossel (MARTINS; GALO, 2015).

Normalmente, esses fatores estão condicionados à arquitetura do dossel, à

química foliar, aos parâmetros agrônômicos e às condições atmosféricas do local (ABDEL-RAHMAN; AHMED, 2008).

Nas Figuras 4a, 4b e 4c, referentes respectivamente às datas 03/09/2013, 22/09/2014 e 24/08/2015, observa-se as variações das colorações de NDVI e da temperatura da superfície ( $T_s$ ), associadas aos valores correspondentes da Tabela 5 adiante, em que os menores valores de NDVI estão descritos na coloração azul, representados por áreas de corpos hídricos e/ou solo desnudo, enquanto os maiores valores, estão dispostos na coloração vermelha, e representam áreas de cana-de-açúcar com alta atividade fotossintética. O mesmo gradiente de cores (azul e vermelho) também foi adotado para representar as oscilações da  $T_s$  analisada nesse estudo, respectivamente, conforme as Figuras 4d, 4e e 4f.

**Figura 4.** Variabilidade dos parâmetros biofísicos e comparação gráfica o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a Temperatura da Superfície (Ts) (K) em Juazeiro, BA, nas datas 03/09/2013, 22/09/2014 e 24/08/2015.



Fonte: Autores (2021).

**Tabela 5.** Valores estatísticos dos parâmetros biofísicos do NDVI e Ts através das imagens Landsat-8 em classes de uso e épocas distintas em Juazeiro, BA,

Data	Parâmetros Biofísicos	Classes de Uso e Ocupação do Solo			
		Estágio Inicial	Maturação	Solo Desnudo	Água
03/09/2013	NDVI	0,27 - 0,40	0,49 - 0,73	0,23 - 0,36	0,03 - 0,11
	Ts (K)	303 - 305	287 - 298	299 - 309	293 - 300
22/09/2014	NDVI	0,36 - 0,42	0,63 - 0,84	0,20 - 0,33	0,01 - 0,13
	Ts (K)	308 - 311	305 - 309	311 - 315	302 - 309
24/08/2015	NDVI	0,27 - 0,35	0,25 - 0,88	0,22 - 0,38	(-0,04) - 0,15
	Ts (K)	304 - 308	299 - 308	298 - 304	299 - 304
		<b>Número de pixel</b>			
		165	658	666	183

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Ts – Temperatura da superfície, K – Kelvin.

Fonte: Autores (2021).

Nas Figuras 4g, 4h e 4i, observa-se a relação entre o NDVI e a Ts, em que os círculos azuis estão relacionados aos pixels de corpos hídricos com baixos valores de NDVI e de temperatura. Os círculos vermelhos estão associados ao solo exposto com palhas, apresentando valores baixos de

NDVI e elevados de Ts. A vegetação sadia (círculos verdes) apresentou valores significativos de NDVI (acima de 0,7) e baixos de Ts, próximo de 300 K (27 °C).

Observa-se ainda, que os parâmetros NDVI e Ts exibem padrões opostos, ou seja, quanto maior o NDVI, menor será a

temperatura da superfície. Além disso, o diagrama de dispersão entre o NDVI e a  $T_s$  tem a forma triangular para as diferentes combinações de uso da terra, que é consistente com os resultados encontrados por Zhou *et al.* (2011). Deng *et al.* (2018) excluíram os pixels de corpos d'água e verificaram que a relação NDVI- $T_s$  formou um triângulo retângulo semelhante aos resultados de Price (1990).

De acordo com a Tabela 5, os valores do NDVI apresentaram uma variação crescente, do estágio inicial para a fase de maturação, entre as três datas analisadas. Essa oscilação entre tais classes de uso da terra, é resultante da emergência das plantas, o que, conseqüentemente, reduz gradativamente a exposição do solo em função do aumento significativo do dossel vegetal até a fase completa da cultura, na qual foram observados os maiores valores desse índice (0,84 e 0,88 em 2014 e 2015, respectivamente) e, portanto, não chegou ao valor máximo de +1.

Oliveira (2017) classificou valores de NDVI entre 0,4 e 0,5 como vegetação rala e de 0,0 a 0,4 como solo exposto. Gusmão *et al.* (2013) obtiveram  $T_s$  com médias menores que 294K em corpos hídricos. Lins *et al.* (2017), usando imagens do Landsat-8 no semiárido, observaram que a  $T_s$  apresentou uma diferença abrupta entre áreas com presença de vegetação densa e a transição em situações de solo exposto ou urbanizado, variando de 26,45°C à 41,95°C.

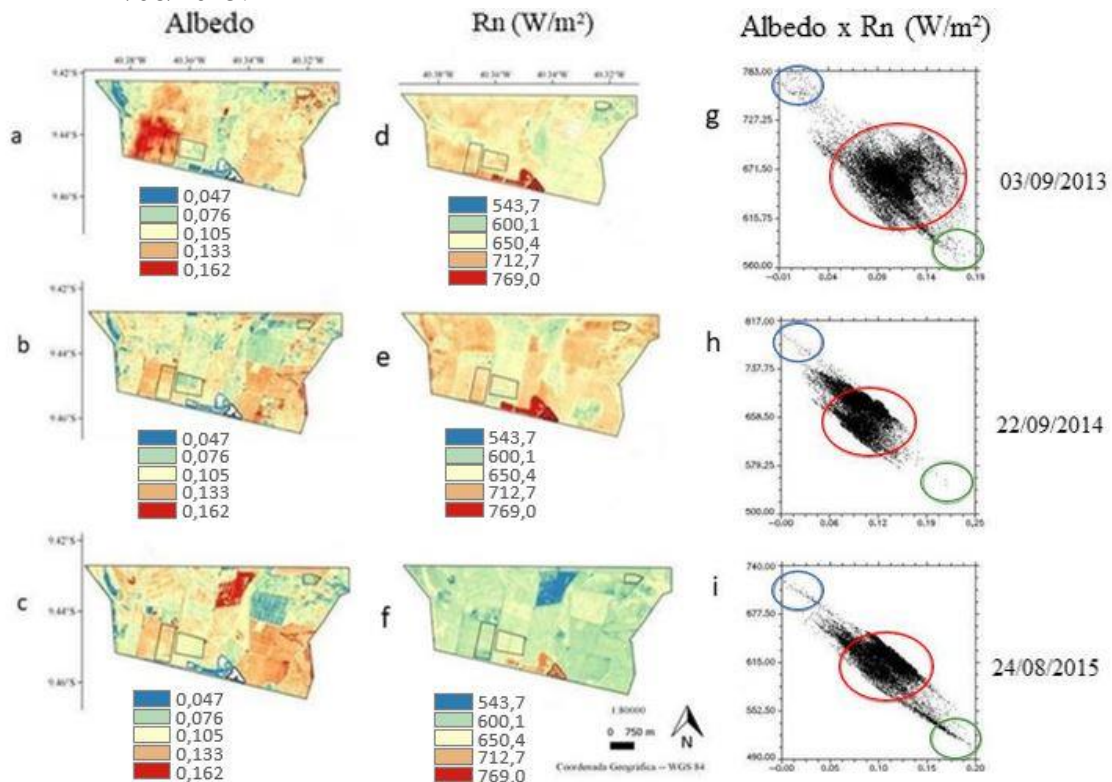
A análise temporal do NDVI e da  $T_s$  mostrou variações sofridas na cobertura do

solo em um mesmo talhão, indicando diferenciações entre as fases fenológicas da cultura de cana-de-açúcar. A exemplo dessa situação, observa-se as alterações sofridas na área de solo desnudo de 2014 para 2015 que passou a ser de cana-de-açúcar irrigada, constatada também devido à diminuição da temperatura de superfície. Algo que também foi detectado por Silva *et al.* (2019b), que através da manutenção da cobertura do solo pela palhada, verificaram que a temperatura do ar foi alterada apenas após o fechamento do dossel, o que aumentou a área foliar e diminuiu a exposição do solo, além do aumento da umidade no solo ser favorecido pela presença da palhada.

### 5.3 Albedo e saldo de radiação de canaviais irrigados

Na Figura 5, observa-se as variações das colorações de albedo e do saldo de radiação ( $R_n$ , W/m<sup>2</sup>) dos canaviais irrigados, em que os menores valores de albedo estão na coloração azul, representando os corpos hídricos. Os maiores valores, representados na coloração vermelha, destacam a alta atividade fotossintética. Nas figuras de  $R_n$ , as colorações em vermelho apresentam altos valores de  $R_n$ , estando associadas a corpos hídricos, enquanto as demais cores representam os menores valores de  $R_n$  estando associadas à vegetação ou ao solo desnudo.

**Figura 5.** Variabilidade dos parâmetros biofísicos e relação linear do Albedo e do saldo de radiação (Rn) ( $W m^{-2}$ ) em Juazeiro, BA, nas datas 03/09/2013, 22/09/2014 e 24/08/2015.



**Fonte:** Autores (2021).

O albedo de superfície (Figuras 5a, 5b e 5c) oscilou entre 0,047 e 0,076 na água e no solo exposto com palha de 0,08 a 0,10, porém na região da cana no estágio inicial

ficou entre 0,10 e 0,13 e na cana-de-açúcar em desenvolvimento ou maturação ficou entre 0,13 e 0,16, conforme a Tabela 6.

**Tabela 6.** Valores estatísticos dos parâmetros biofísicos para o Albedo e o Rn através das imagens Landsat-8 em classes de uso e épocas distintas em Juazeiro, BA.

Data	Parâmetros Biofísicos	Classes de Uso e Ocupação do Solo			
		Estágio Inicial	Maturação	Solo Desnudo	Água
03/09/2013	Albedo	0,08 - 0,10	0,11 - 0,16	0,07 - 0,13	0 - 0,04
	Rn ( $W m^{-2}$ )	600 - 656	628 - 711	648 - 707	720 - 769
22/09/2014	Albedo	0,06 - 0,90	0,10 - 0,14	0,07 - 0,12	0 - 0,03
	Rn ( $W m^{-2}$ )	660 - 721	655 - 701	616 - 683	747 - 768
24/08/2015	Albedo	0,06 - 0,10	0,08 - 0,14	0,08 - 0,13	0 - 0,03
	Rn ( $W m^{-2}$ )	590 - 647	575 - 640	596 - 656	688 - 730
		Número de pixel			
		165	658	666	183

Rn – Saldo de radiação.

**Fonte:** Autores (2021).

Os resultados descritos na Tabela 6, mostram uma concordância aos encontrados por Mendonça *et al.* (2013) que obtiveram valores médios de albedo em cana-de-açúcar entre 0,12 e 0,24, corroborando também, os valores de solo desnudo, com Bastiaanssen (1995), que encontrou valores entre 0,08 e 0,14 em solo desnudo com coloração escura e de 0,15 a 0,25 em cobertura com pastagem ou gramado. Os valores de albedo próximo de zero estão associados à água na superfície, proveniente do sistema de irrigação utilizado.

Por outro lado, Silva *et al.* (2011) afirmam que o período seco contribui significativamente para elevar os valores de albedo, assim como as áreas de baixa disponibilidade hídrica, reforçando assim, o estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2019a) no semiárido nordestino brasileiro, no qual os autores encontraram valores de albedo relativamente elevados nos anos classificados climaticamente como secos, devido à baixa pluviometria e consequentemente estiagem prolongada na região.

O Rn (Figuras 5e, 5f e 5g) apresentou maiores valores em corpos hídricos (variando de 712 a 769 W m<sup>-2</sup>) e na área de cana-de-açúcar 2 (oscilando entre 600 e 712 W m<sup>-2</sup>), ou seja, a maior quantidade de energia disponível nessas duas áreas podem ser utilizadas nos processos de evaporação do solo e da transpiração. Destaca-se, que foi observado por Fernandes *et al.* (2019), que as maiores frações do Rn foram direcionadas ao calor latente e sensível, porém, com suas dinâmicas controladas provavelmente pela disponibilidade hídrica.

Segundo Bastiaanssen (1995), valores típicos de Rn devem estar no intervalo de 100 a 700 W m<sup>-2</sup>, dependendo da superfície. Mendonça *et al.* (2013) encontraram valores de Rn em áreas de cana-de-açúcar entre 332 W m<sup>-2</sup> e 670 W m<sup>-2</sup>. Vale ressaltar que na data 03/09/2013, a presença de nuvens na área elevou os

valores de albedo, reduzindo assim, os valores do Rn.

Conforme visto nas Figuras 5g, 5h e 5i, percebe-se que existe uma relação linear inversa entre albedo e Rn. Em corpos d'água (círculo azul), o albedo foi baixo ao mesmo instante que o Rn foi elevado, consequentemente, favorecendo à evaporação, enquanto, nas áreas de solo exposto com palhas (círculo vermelho) o albedo foi relativamente alto, destinando a maior parte de Rn para o aquecimento do ar, do solo e à evaporação.

Os dosséis de cana-de-açúcar sadia (círculo verde) em diferentes estágios fenológicos apresentaram elevados índices de albedo e valores reduzidos de Rn, devido à repartição da energia disponível para os processos de fotossíntese, evapotranspiração, aquecimento do dossel e do ar acima do dossel, semelhante ao que foi observado por Carvalho, Moura e Silva (2018), que constataram que a mudança do microclima resultante da presença de palhada, modificou a velocidade da emergência foliar da cana-de-açúcar afetando pouquíssimo a eficiência do saldo de radiação pela cultura.

Carvalho, Moura e Silva (2018), ao avaliar o comportamento do fluxo de radiação e de energia no semiárido nordestino, perceberam valores elevados do albedo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar quando comparadas à vegetação nativa da Caatinga, que se destacou devido à emissão da radiação de ondas longas superficial. Essa diferença no balanço de radiação pode ser influenciada diretamente em determinada época do ano, através da umidade do solo advinda de áreas irrigadas ou da ocorrência de pluviosidade, além da biomassa vegetal da cultura ou vegetação nativa significativa.

Lopes *et al.* (2013), constataram que a disponibilidade do fluxo de energia em pastos foi menor, contribuindo significativamente para que essas áreas se tornassem mais quentes quando

comparadas à sua vizinhança adjacente, corroborando com a distribuição do fluxo de energia na vegetação nativa da Caatinga, onde 64% do saldo de radiação foi destinado para o aquecimento do ar, enquanto nas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar, 85% do Rn, contribuiu com o processo de evapotranspiração (CARVALHO; MOURA; SILVA, 2018), comportamento constatado nas Figuras 5g, 5h e 5i.

## 6 CONCLUSÕES

- A metodologia apresentou-se viável para o mapeamento de variáveis biofísicas nas diferentes datas de imageamento do satélite Landsat-8;
- Os parâmetros biofísicos apresentaram variabilidade espacial e temporal, mesmo em uma pequena área teste,

devido à grande heterogeneidade do uso e cobertura do solo;

- A área de cana-de-açúcar com vigor vegetativo mais desenvolvido exigiu, na média, mais fluxo de energia disponível para realização dos processos de evaporação e de transpiração;
- Em geral, os valores reduzidos apresentados pelo NDVI foram associados à Ts e albedo elevados com o Rn baixo, diretamente relacionados ao solo exposto, palha de cana-de-açúcar e à baixa presença de umidade;
- Na vegetação sadia, o NDVI apresentou-se elevado devido à atividade fotossintética significativa presente, com Ts condicionalmente baixa, com albedo e Rn relativamente moderados.

## 7 REFERÊNCIAS

ABDEL-RAHMAN, E.; AHMED, F. B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid) production: a review of the literature. **International Journal of Remote Sensing**, Bristol, v. 29, n. 13, p. 3753-3767, 10 jul. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160701874603>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/tres20>. Acesso em: 20 fev. 2021.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL** - Surface Energy Balance Algorithms for Land. Advanced training and user's manual. Version 1.0. Moscow: Idaho Implementation, 2002. Disponível em: <http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2020.

ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B.; SANTOS, M. N.; FREITAS, I. G. F. Balanço de radiação através do satélite Landsat-8 na bacia do Rio Pajeú. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 117-127, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v33i0.124577>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/124577>. Acesso em 13 mar. 2021.

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; MENEZES, S. J. M. C. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar utilizando o SEBAL e imagens Landsat. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 3, p. 433-442, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130022>. Disponível em:



<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/jJVB4mM3ShwP6QWy49NW4pw/?format=pdf&lang=pt>  
Acesso em: 22 Mar. 2021.

ANDRÉ, R. G. B.; MENDONÇA, J. C.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 3, p. 375-382, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000300009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/3f9pF75h5Sz5wL6QBZptsyN/> Acesso em: 21 abr. 2021.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the northeast region of Brazil. **Journal of arid environments**, London, v. 67, n. 2, p. 288-307, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27077114>. Acesso em: 20 abr. 2021.

BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. 1995. Tese (Doutorado em Filosofia) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1995.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated gediz basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, n. 1-2, p. 87-100, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169499002024>. Acesso em: 02 mai. 2021.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212-213, n. 1, p. 213-229, 1998a. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00254-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00254-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169498002546?via%3Dihub>. Acesso em: 15 mai. 2021.

BASTIAANSEN, W. G. M.; NOORDMAN, E. J. M.; PELGRUM, H.; DAVIDS, G.; THORESON, B. P.; ALLEN, R. G. SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 131, n.1, p. 85-93, 2005. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:1\(85\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(85)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9437%282005%29131%3A1%2885%29>. Acesso em: 15 fev. 2021

BASTIAANSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212-213, n. 1, p. 198-212, 1998b. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169498002534>. Acesso em: 15 fev. 2021

CANA-DE-AÇÚCAR. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, v. 6, n. 4, p. 1-58, 2020. Safra 2019/20, Quarto Levantamento. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/31590\\_6cfbbc41aa04783c69113c50fa499cba](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/31590_6cfbbc41aa04783c69113c50fa499cba). Acesso em: 24 fev. 2021.

CARVALHO, H. F. S.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. Radiation and energy fluxes in preserved caatinga and sugarcane in semi-arid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 33, n. 3, p. 452-458, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786333005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/xXL9jLYNRTCLYmcDWGTH9sh/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2021.

CECHIM J, C.; JOHANN, J. A.; ANTUNES, J. F. G. Mapeamento de área cultivada de cana-de-açúcar no estado do Paraná com imagens Landsat/TM/OLI e IRS/LISS-3. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 6, p. 427-432, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p427-432>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/YfCJzrj4GcqhwDCWBpQ9HGF/?format=pdf>. Acesso em: 24 mai. 2021.

CHÁVEZ, J. L.; GOWDA, P. H.; HOWELL, T. A.; GARCIA, L. A.; COPELAND, K. S.; NEALE, C. M. U. ET mapping with high resolution airborne remote sensing data in a advective semi-arid environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 138, n. 5, p. 416-423, 2012. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000417](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000417). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000417>. Acesso em: 01 mai. 2021.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, California, v. 6, n.64, p. 3172, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>. Disponível em: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03172>. Acesso em: 01 mar 2021.

CRUZ, F. N.; BORBA, G. L.; ABREU, L. R. D. **Ciências da natureza e realidade: interdisciplinar**. Natal: EDUFRRN, 2005.

DEBASTIANI, A. B.; SÁ, E. A. S.; NETO, R. P. M.; SCHIMALSKI, M. B. Mapeamento do saldo de radiação no Parque Nacional de São Joaquim – SC. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 3, p. 363-367, 2018. DOI: <https://doi.org/10.34062/afs.v5i3.5012>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/5012>. Acesso em: 01 ago. 2021.

DENG, Y.; WANG, S.; BAI, X.; TIAN, Y.; WU, L.; XIAO, J.; CHEN, F.; QUIAN, Q. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 641, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19088-x>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-19088-x.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021.

ESTEVEES, B. S.; SOUSA, E. F.; MENDONÇA, J. C.; LOUSADA, L. L.; MUNIZ, R. A. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 4, p. 663-670, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i4a1597>. Disponível em: <https://docs.academicoo.com/user/barbbarase/albedo.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

FAUSTO, M. A.; ANGELINI, L. P.; MARQUES, H. O.; SILVA FILHO, A.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no cerrado do sul de Mato Grosso. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 350-361, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1843>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/5TjnX6VQrtmBkqHTR6FQk3p/>. Acesso em: 05 abr. 2020.

FERNANDES, G. S. T.; LOPES, P. M. O.; MELO, C. G. B.; LIMA, R. L. F.; SANTOS, A.; SILVA, D. A. O. Balanço de radiação em áreas de expansão agrícola no sudoeste do Piauí. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 7, n. 1, p. 13-20, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID19704>. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/19704>. Acesso em: 11 fev. 2021.

FERNANDES, G. S. T.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, M. V.; GALVÍNCIO, J. D.; SANTOS, A. Balance of photosynthetically active radiation by remote sensing in a seasonally dry tropical forest in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 4, p. 2486-2509, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2486-2508>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/251459>. Acesso em: 17 fev. 2019.

FERNANDES, G. S. T.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, V. B.; SILVA, D. A. O. Energy balance by remote sensing in Caatinga fragments in southern Piauí. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 9, n. 3, p. 131-137, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.29150/jhrs.v9.3.p131-137>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/242133>. Acesso em: 11 fev. 2021.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, M. V. C. Eficiência de conversão de energia em cana-de-açúcar sob dois espaçamentos entrelinhas no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 741-747, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p741-747>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KKCQy59XVwyXbMb6KcgFV8K/?lang=en>. Acesso em: 21 nov. 2020.

GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B. D.; MONTENEGRO, S. M.; GALVÍNCIO, J. D. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. número do fascículo, p. 1107-1114, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/VrCq3k4FcYN934D8Mh6Kk4k/?lang=pt>. Acesso em: 31 dez. 2020.

GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GALVÍNCIO, J. D.; OLIVEIRA, L. M. M. Índice de vegetação e temperatura da superfície no ecótono Ilha do Bananal por sensoriamento remoto. **Revista de Geografia**, Recife, v. 30, n. 3, p. 209-225, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229114>. Acesso em: 23 fev. 2020. Acesso em: 15 dez. 2020.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442578890106X?via%3Dihub>. Acesso em: 15 mai. 2020.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425702000962?via%3Dihub>. Acesso em: 13 mai. 2020.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Ciências do Sistema Terrestre. 2020. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 19 jan. 2020.

JULIEN, Y.; SOBRINO, J. A. The yearly land cover dynamics (YLCD) method: An analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 1, p. 329-334, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425708003131?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jan. 2020.

LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. S.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 64-75, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p64-75>. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2801>. Acesso em: 10 mar. 2020.

LOPES, P. M. O.; VALERIANO, D. M.; SILVA, B. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, A. O. Simulação do saldo de radiação na Serra da Mantiqueira, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 780-789, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/NnKd4yWnPbkGsnnFFMFKjJS/?lang=pt>. Acesso em: 21 jan. 2022.

MACHADO, C. C.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVÍNCIO, J. D. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM – Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 1, p. 55-67, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000100006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/x6FXKzvfrSRhCVjk4BFZRdQ/?lang=pt>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MARTINS, C. M. R.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, Ê. F. F.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, J. L. B. Evapotranspiration of sugarcane in different phenological phases by remote sensing in the São Francisco Sub-medium Valley. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 9, n. 3, p. 156-165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.3.p156-165>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/242182>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MARTINS, G. D.; GALO, M. L. B. T. Caracterização espectral da cana-de-açúcar infectada por nematoides e *mycelium fryanus* por espectrorradiometria de campo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Paraná, v. 21, n. 4, p. 783-796, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000400046>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bcg/a/r4r49y3xjmrdbZLYsRZZjbm/?lang=pt>. Acesso em: 18 jan. 2022.

MATINFAR, H. R. Evapotranspiration estimation base upon SEBAL model and fieldwork. **Annals of Biological Research**, Kragujevac, v. 3, n. 5, p. 2459-2463, 2012. Disponível em: <https://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/evapotranspiration-estimation-base-upon-sebal-model-and-fieldwork.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F.; ANDRÉ, R. G. B.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Coeficiente de cultivo (KC) da cana-de-açúcar em região sub-úmida do Brasil, pela aplicação do algoritmo SEBAL e produtos MODIS. In: SILVA, B.B. **Aplicações Ambientais brasileira de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Campina Grande: EDUEFCG, 2013. cap. 4, p. 71-86.

MULIANGA, B.; BÉGUÉ, A.; CLOUVEL, P.; TODOROFF, P. Mapping Cropping Practices of a Sugarcane-Based Cropping System in Kenya Using Remote Sensing. **Remote Sensing**, New York, v. 7, n. 11, p. 14428-14444, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs71114428>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/11/14428>. Acesso em: 18 jan. 2022.

NASCIMENTO, E. F.; PEREIRA, F. A. C.; AGUIAR NETTO, A. O.; CAMPECHE, L. F. S. M.; SANTOS, C. A. Comportamento físico-hídrico dos solos do perímetro irrigado Curaçá em Juazeiro/BA. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 435-447, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n4p435>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/103>. Acesso em: 18 jan. 2022.

NEMUS. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Caderno de Investimentos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025. Salvador: NEMUS, 2016. Disponível em: [https://2017.cbhsaofrancisco.org.br/wp-content/uploads/2016/08/PRH-SF\\_Apresentacao\\_26ago16.pdf](https://2017.cbhsaofrancisco.org.br/wp-content/uploads/2016/08/PRH-SF_Apresentacao_26ago16.pdf). Acesso em: 20 jan. 2022

OLIVEIRA, G.; MORAES, E. C.; RUDORFF, B. F. T. Balanço de radiação em áreas de expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo com uso de dados orbitais MODIS/Aqua. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 66, n. 3, p. 419-431, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44752>. Acesso em: 18 nov. 2019.

OLIVEIRA, J. D. A. **Avaliação de degradação e mudanças ambientais na bacia hidrográfica do alto Ipanema**. 2017. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7644>. Acesso em: 28 abr. 2020.

OLIVEIRA, L. M. M.; SILVA, B. B.; MOURA, A. E. S. S. Balanço de radiação por sensoriamento remoto em bacia hidrográfica da zona da mata nordestina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 1, p. 16-28, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130652>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/qM3n4kVq5vg4ShxNYtmBqrz/?lang=pt>. Acesso em: 21 jan. 2022.

OLIVEIRA, R. K.; FRAGA JUNIOR, L. S.; MOURA, L. B.; ROBERTI, D. R.; PILAU, F. G. Energy balance in a renewal sugarcane area with fallow period and soybean cultivation. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. 42, p. e39, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X53222>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/53222>. Acesso em: 21 jan. 2022.

PAGANI, V.; STELLA, T.; GUARNERI, T.; FINOTTO, G.; BERG, M. V. D.; MARIN, F. R.; ACUTIS, M.; CONFALONIERI, R. Forecasting sugarcane yields using agro-climatic indicators and Canegro model: A case study in the main production region in Brazil. **Agricultural Systems**, Essex, v. 154, p. 45-52, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X16308095?via%3Dihub>. Acesso em: 21 jan. 2022.

PINHEIRO, M. P. M. A.; CRUZ, R. L.; SIMÕES, W. L. Comportamento do teor de água num solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com diferentes lâminas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Cascavel, v. 4, n. 1, p. 30-42, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/40544>. Acesso em: 30 nov. 2019.

PRICE, J. C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. **IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing**, New York, v. 28, n. 2, p. 940-948, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1109/36.58983>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/58983>. Acesso em: 30 nov. 2019.

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. 2019. Disponível em: <https://www.ridesa.com.br>. Acesso em: 24 set. 2020

RODRIGUES, J. A. M.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B.; ARAÚJO, H. L.; SILVA, M. V.; SANTOS, A.; MOURA, G. B. A. Spatial-temporal dynamics of Caatinga vegetation cover by remote sensing in the Brazilian semiarid region. **Dyna**, Medellin, v. 87, n. 215, p. 109-117, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.87851>. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/87851>. Acesso em: 20 jan. 2022

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: Goddard Space Flight Center, 1973.

SÁ, P. C. C. **Estimativa do saldo de radiação em cultivo irrigado de cana-de-açúcar utilizando dados de sensoriamento remoto orbital**. 2016. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 145-152, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2282>. Acesso em: 13 ago. 2020.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1218-1226, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/fJgHJWpGk8wcvvy7Vnp4rbh/?lang=pt>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; BARBOSA JUNIOR, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/sX6cJjNXWMfHQ5p4h33B8Zz/?lang=en>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005b. Disponível em: [http://dca.ufcg.edu.br/DCA\\_download/ISR/UFPE/56-2004\\_BBBarbosa-aceito.pdf](http://dca.ufcg.edu.br/DCA_download/ISR/UFPE/56-2004_BBBarbosa-aceito.pdf). Acesso em: 02 out. 2020.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 11-21, 2005a.

SILVA, B. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, V. P. R.; ROCHA, H. R.; GALVÍNCIO, J. D.; OLIVEIRA, L. M. M. Determination of instantaneous and daily net radiation from TM – Landsat 5 data in a subtropical watershed. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, Amsterdam, v. 135, p. 42-49, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2015.09.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364682615300614?via%3DIhub>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SILVA, C. V. S.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, L. C. Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. **Revista Nativa**, Sinop, v. 7, n. 6, p. 708-717, 2019a. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7646>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7646>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SILVA, D. C.; LOPES, P. M. O.; SILVA, M. V.; MOURA, G. B. A.; NASCIMENTO, C. R.; BRITO, J. I. B.; FRANÇA E SILVA, E. F.; ROLIM, M. M.; LIMA, R. P. Principal component analysis and biophysical parameters in the assessment of soil salinity in the irrigated perimeter of Bahia, Brazil, **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 112, Part 1, p. 103580, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103580>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981121004260?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SILVA, J. C. A.; BACANI, V. M.; CARVALHO, L. A. Rotinas de tratamento digital de imagem Landsat 5 / TM para a identificação de queimadas em lavouras canavieiras. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, suplemento 1, p. 1514-1523, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15068>. Acesso em: 22 abr. 2021.

SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; FRANÇA E SILVA, Ê. F.; ORTIZ, P. F. S.; SILVA, D. A. O.; SILVA, M. V.; GUEDES, R. V. S. Spatial-Temporal Monitoring of the Risk of Environmental Degradation and Desertification by Remote Sensing in a Brazilian Semiarid Region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 2, p. 544-563, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbfg.v13.2.p544-563>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbfgfe/article/view/242500>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SILVA, L. C.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, D. A. O.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, M. V.; BATISTA, P. H. D. Índices biofísicos e o saldo de radiação à superfície via sensoriamento remoto no semiárido pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 6, n. 1, p. 12-23, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.6.1.2021.2876.012-023>. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/2876>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SILVA, L. J. **Censo Varietal** - safra 2018/2019. Recife: Ridesa Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.prppg.ufrpe.br/eecac/sites/prppg.ufrpe.br/eecac/files/CENSO%20VARIETAL.pd>. Acesso em: 17 fev. 2020.

SILVA, K. J. C.; LOPES, P.M.O. Spatiotemporal variation of the vegetation index by normalized difference in the hydrographic basin of Pernambuco semiarid, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 11, p.292-301, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v11.5.p292-301>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/view/251965>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SILVA, T. G. F.; SOUZA, C. A. A.; MOURA, M. S. B.; MARIN, F. R.; CARVALHO, H. F. S.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; GALVÍNCIO, J. D. Balanço de energia, emissão foliar e eficiência do uso da radiação pela cana-de-açúcar em cultivo sem e com palhada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 34, n. 1, p. 69-78, 2019b. DOI:



<http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786334016>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/xL8h8WZPBhPkBMdL7Ld4q8K/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SUN, G.; ALSTAD, K.; CHEN, J.; CHEN, S.; FORD, C. R.; LIN, G.; LIU, C.; LU, N.; MCNULTY, S. G.; MIAO, H.; NOORMETS, A.; VOSE, J. M.; WILSKE, B.; ZEPPEL, M.; ZHANG, Y.; ZHANG, Z. A general predictive model for estimating monthly ecosystem evapotranspiration. **Ecohydrology**, Warszawa, v. 4, n. 2, p. 245-255, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.194>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eco.194>. Acesso em: 21 jan. 2022.

TANG, R.; LI, Z. L.; CHEN, K. S.; JIA, Y.; LI, C.; SUN, X. Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 174-175, p. 28-42, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.01.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192313000130?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jan. 2022.

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, Brasil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. número do fascículo, p. 462-476, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.09.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192308002566?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jan. 2022.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. EarthExplorer. 2021. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 2012.

VON RANDOW, C.; MANZI, A.; KRUIJT, B.; DE OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, New York, v.78, p. 5–26, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0041-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-004-0041-z>. Acesso em: 21 jan. 2022.

WANG, S.; GRANT, R. F.; VERSEGHY, D. L.; BLACK, T. A. Modelling plant carbon and nitrogen dynamics of a boreal aspen forest in CLASS - the Canadian Land Surface Scheme. **Ecology Modelling**, Amsterdam, v. 142, n. 1-2, p. 135-154, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00284-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00284-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380001002848?via%3Dihub>. Acesso em: 21 jan. 2022.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature– vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703003390?via%3Dihub>.

Acesso em: 21 jan. 2022.

WENG, Q.; QUATTROCHI, D. A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 104, n. 2, p. 119-122, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.05.002>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425706001763?via%3Dihub>.

Acesso em: 21 jan. 2022.

ZHOU, Y.; SHI, T. M.; HU, Y. M.; GAO, C.; LIU, M. Relationships between land surface temperature and normalized difference vegetation index based on urban land use type.

**Chinese Journal of Ecology**, Shenyang, v. 30, n. 1, p. 1504-1512, 2011. Disponível em:

[https://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTotal-STXZ201107035.htm](https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-STXZ201107035.htm). Acesso em: 21 jan.

2022.