

ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO DO AÇAÍ IRRIGADO POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO LESTE DA AMAZÔNIA

EWELYN REGINA ROCHA SILVA¹; DENILSON BARRETO DA LUZ²; DENIS DE PINHO SOUSA³; LUCAS BELÉM TAVARES⁴; BERNARDO BARBOSA DA SILVA⁵ E PAULO JORGE DE OLIVEIRA PONTE DE SOUZA⁶

¹ Mestre em Agronomia pelo programa de Pós-Graduação em Agronomia – PgAgro, Universidade Federal Rural da Amazônia, Av. Presidente Tancredo Neves, 2501, Terra Firme, 66077-830, Belém, Pará, Brasil, ewelynrocha@gmail.com.

² Graduando em Agronomia, Laboratório de Agrometeorologia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Av. Presidente Tancredo Neves, 2501, Terra Firme, 66077-830, Belém, Pará, Brasil, denilson97@gmail.com.

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Fiscal de Meio Ambiente na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará, Rua do Utinga, n° 717, bairro Curio Utinga, CEP: 66610-010, Belém, PA, Brasil, denisdepinho@agronomo.eng.br.

⁴ Mestrando no programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Av. Presidente Tancredo Neves, 2501, Terra Firme, 66077-830, Belém, Pará, Brasil, lucas.belem.tavares@gmail.com.

⁵ Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Campina Grande, 58429-900, Campina Grande, Paraíba, Brasil, bernardo.silva@ufcg.edu.br.

⁶ Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Laboratório de Agrometeorologia, professor no programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Av. Presidente Tancredo Neves, 2501, Terra Firme, 66077-830, Belém, Pará, Brasil, paulo.jorge@ufra.edu.br.

1 RESUMO

Muitas áreas na Amazônia foram modificadas, alterando as trocas energéticas neste ambiente. Essa mudança é uma das responsáveis pelas variações no saldo de radiação (R_n), pois afetam a troca de energia entre a superfície e a atmosfera. O objetivo foi estimar o R_n em uma área de açaí irrigado na Amazônia Oriental. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, do dia sequencial do ano (DSA) 151/2018 e DSA 241/2019, referente às órbitas/pontos 222/61 e 223/61, respectivamente. O R_n foi obtido por meio do algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* – SEBAL, que se fundamenta na radiação dos canais reflexivos e termal do sensor. Os resultados (sensor x superfície) mostraram-se satisfatórios com valores de erro absoluto médio (EAM) iguais a 4,92 W/m² e 15,66 W/m², erro relativo médio (ERM) iguais a 0,98 % e 3,4 % para DSA 151 e o DSA 241, respectivamente. Observou-se a capacidade do SEBAL em diferenciar tipos de coberturas do solo, o que proporcionou elaborar a distribuição espacial do R_n na cena analisada e no plantio de açaí, demonstrando assim, a sensibilidade do modelo e a importância da variabilidade espacial existente na área, essas informações podem auxiliar as tomadas de decisões quanto ao manejo de irrigação.

Keywords: sebal, variabilidade espacial, landsat 8.

SILVA, E. R. R.; LUZ, D. B.; SOUSA; D. P.; TAVARES, L.B. SILVA, B. B.; SOUZA, P. J. O. P.

ESTIMATION OF THE RADIATION BALANCE OF IRRIGATED AÇAÍ THROUGH REMOTE SENSING IN EAST AMAZONIA

2 ABSTRACT

Many areas in the Amazon have been modified, altering the energy exchanges in this environment. This change is a factor responsible for variations in the radiation balance (R_n), as they affect the energy exchange between the surface and the atmosphere. The objective was to estimate the R_n in an açai irrigated area in Eastern Amazon. Landsat 8 satellite images of the sequential day of the year (DSA) 151/2018 and DSA 241/2019, referring to orbits/points: 222/61 and 223/61, respectively, were used. The R_n was obtained through the Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL algorithm, which is based on the radiance of the reflective and thermal bands of the sensor. The results (sensor x surface) were satisfactory with mean absolute error (EAM) values equal to 4.92 W/m² and 15.66 W/m², mean relative error (ERM) equal to 0.98% and 3.4% for DSA 151 and DSA 241, respectively. SEBAL's ability to differentiate types of land cover was observed, which provided the elaboration of the spatial distribution of R_n in the analyzed scene and in the açai planting, so demonstrating the sensitivity of the model and the importance of spatial variability in the area, this information can help in decision-making regarding irrigation management.

Keywords: sebal, spatial variability, landsat 8.

3 INTRODUÇÃO

O saldo de radiação (R_n) é a soma da radiação de ondas curtas e radiação de ondas longas e, sua estimativa, é essencial para o estudo das interações solo-vegetação-atmosfera nos campos da agronomia, ciência do solo, engenharia ambiental, engenharia geotécnica e outras áreas (AN; HEMMATI; CUI, 2017). A mudança no uso e ocupação do solo e a precipitação são algumas das principais responsáveis pelas variações do R_n , pois afetam a troca de energia e massa entre a superfície e a atmosfera (ENORÉ, 2012). Com a intensificação agrícola na Amazônia Brasileira desde a década de 90, muitas áreas foram modificadas (MACEDO *et al.*, 2012), alterando consequentemente as trocas de energia nesse ambiente.

A energia oriunda do sol é um elemento vital nos diversos processos físicos que influenciam as condições inerentes ao clima e tempo na Terra. O R_n disponível à superfície é obtido pela radiação solar que chega ao solo, e é repartido em energia para o aquecimento do ar (H) e do solo (G), e para processos evaporativos da planta (λET), e a

partição dessa energia é conduzida pelo tipo e estado da superfície (ARAÚJO *et al.*, 2021). O balanço de energia das superfícies vegetadas permite estimar as trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera por meio do estudo do particionamento do R_n nos diversos processos que ocorrem na cultura, o que permite que sejam avaliadas alterações no microclima da vegetação em função dos estádios de desenvolvimento da cultura e das condições de solo e atmosfera, e isto pode auxiliar tomadas de decisões quanto ao manejo da cultura, incluindo a irrigação (FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1991).

A mensuração do R_n pode ser realizada, pontualmente, a partir de sensores próprios para sua leitura como os saldos radiômetros ou por meio da medição das suas componentes através de piranômetros, sendo esse uso, a forma mais precisa para a quantificação da radiação solar incidente na superfície (SOUZA; ESCOBEDO, 2013). Porém, a leitura realizada através desses sensores é limitada a pequenas áreas, em virtude de seu caráter pontual de leitura de dados (MACHADO *et al.*, 2014). Por isso, em função da diversidade da superfície,

essas medidas não podem ser extrapoladas diretamente para escalas regionais (BASTIAANSSSEN *et al.*, 2005), uma vez que não são representativas de áreas maiores.

Uma das possibilidades para solucionar a restrição dessas medições pontuais consiste em manusear dados de sensoriamento remoto (SR) para estimar dentre outras variáveis, o R_n . Nas últimas décadas, o fornecimento de imagens orbitais a partir do SR tem sido uma ferramenta importante para a estimativa dos componentes do balanço de energia, possibilitando observar o comportamento espaço temporal do saldo de radiação em diferentes locais e épocas do ano. Dentre os vários modelos existentes para esta finalidade, se destaca o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), proposto por Bastiaanssen em 1995, o qual estima os componentes do balanço de energia a partir da utilização de imagens termais e multiespectrais e poucos dados meteorológicos auxiliares (BASTIAANSSSEN *et al.*, 1998).

A partir de então, o modelo SEBAL tem sido usado em diversos biomas e diferentes análises em todo o mundo, obtendo resultados satisfatórios conforme as conclusões de Santos *et al.* (2014), que estudaram o R_n em áreas de pastagem e floresta na Amazônia na estação seca; Pavão *et al.* (2017), cujo objetivo foi avaliar os impactos do desmatamento sobre variáveis biofísicas no município de Apuí-AM; Alves *et al.* (2017), os quais obtiveram a estimativa do saldo de radiação à superfície para a bacia do Rio Pajeú através de imagens Landsat-8; Debastiani *et al.* (2018), que alçaram o objetivo de estimar o R_n por meio de técnicas de sensoriamento remoto, comparando-o com estimativas de dados de uma estação de

superfície no Parque Nacional de São Joaquim para o dia 30 de janeiro de 2014; e de estudos de Veloso, Silva e Ferreira (2020), que analisaram o R_n em áreas de vereda no Note de MG, no bioma Cerrado.

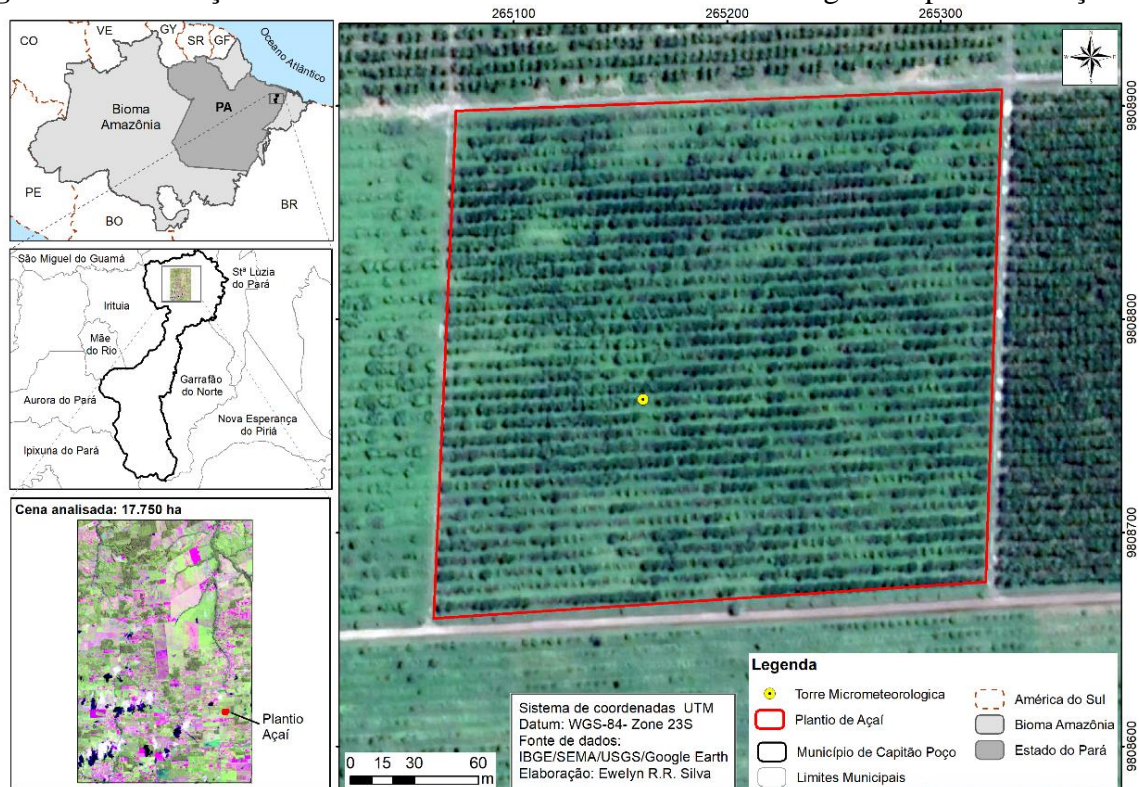
Baseado em combinações de relações empíricas e parametrizações físicas, o algoritmo possibilita o cálculo dos fluxos em superfície para áreas com diferentes coberturas de solo, calculando para cada pixel da imagem, o saldo de radiação e os componentes do balanço de energia (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002; BASTIAANSSSEN *et al.*, 1998), sem a necessidade de extensivas medidas de campo. Dessa forma, estudos comparativos entre dados estimados por imagens orbitais e coletados em campo, são importantes, visto que, percebeu-se que o advento da modelagem numérica seria uma ferramenta efetiva para suprir a carência da observação de variáveis meteorológicas em áreas remotas (PINTO *et al.*, 2010).

O presente trabalho teve como objetivo estimar o saldo de radiação, no momento da passagem do satélite, no leste da Amazônia, em uma área irrigada cultivada com açaí (*Euterpe oleraceae* M.) por meio do algoritmo SEBAL.

4 MATERIAL E METÓDOS

4.1 Área de estudo e conjunto de dados utilizados

O estudo foi realizado em uma área de 17.750 ha (Figura 1) do município de Capitão Poço, pertencente à mesorregião do nordeste Paraense no leste da Amazônia Legal. Dentro dessa área, está inserida desde o ano de 2012, na Fazenda Ornela, uma plantação de açaí para fins comerciais.

Figura 1. Localização da área de estudo e da torre micrometeorológica no plantio de açaí.

Fonte: Autores (2021).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Am (clima tropical úmido e subúmido), tendo temperatura média anual de 25°C e precipitação pluviométrica média de 2.250 mm por ano (ALVARES *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2016). Em 1 hectare do plantio, foi implantado o experimento de campo (Figura 1), o espaçamento do plantio foi de 6,0 x 4,0 m, sendo três plantas por touceira, cultivado em terra firme com irrigação diária durante o quadrimestre mais seco do ano (agosto-novembro) por meio de um sistema de microaspersão, pelo qual aplicava-se diariamente uma lâmina empírica bruta de 3,28 mm. Esse experimento foi conduzido durante duas safras do açaizeiro; a primeira entre setembro de 2017 (DSA 245) a outubro de 2018 (DSA 303) e a segunda de novembro de 2018 (DSA 305) a outubro de 2019 (DSA 303). Obteve-se dados de variáveis meteorológicas (temperatura do ar,

umidade relativa, velocidade e direção do vento, saldo de radiação, etc).

Na área experimental foi instalada uma torre micrometeorológica de 14 m de altura (Figura 1), onde foram acoplados três registradores de dados meteorológicos automáticos (*Data Loggers*), distribuídos ao longo do dossel (dois da fabricante Campbell Scientific, modelo CR1000, e um da Onset Hobo, modelo U30). A programação do sistema incluía a leitura pelos sensores a cada dez segundos, com extração de médias a cada 20 minutos. A localização da torre obedeceu às exigências mínimas de bordadura da área, apresentando “*fetch*” disponível (superior a razão 1:100) a fim de que as medidas obtidas fossem representativas da área experimental sem a influência de energia advectiva (RANA; KATERJI, 2000). Na Tabela 1 estão representados os sensores utilizados no experimento e sua disposição em relação ao solo ou ao dossel. Os dados provenientes da torre foram utilizados para comparação com

os dados de saldo de radiação estimados com o algoritmo SEBAL.

Tabela 1. Variáveis e instrumentos utilizados no experimento, assim como, a disposição dos mesmos em relação ao solo e o dossel vegetal.

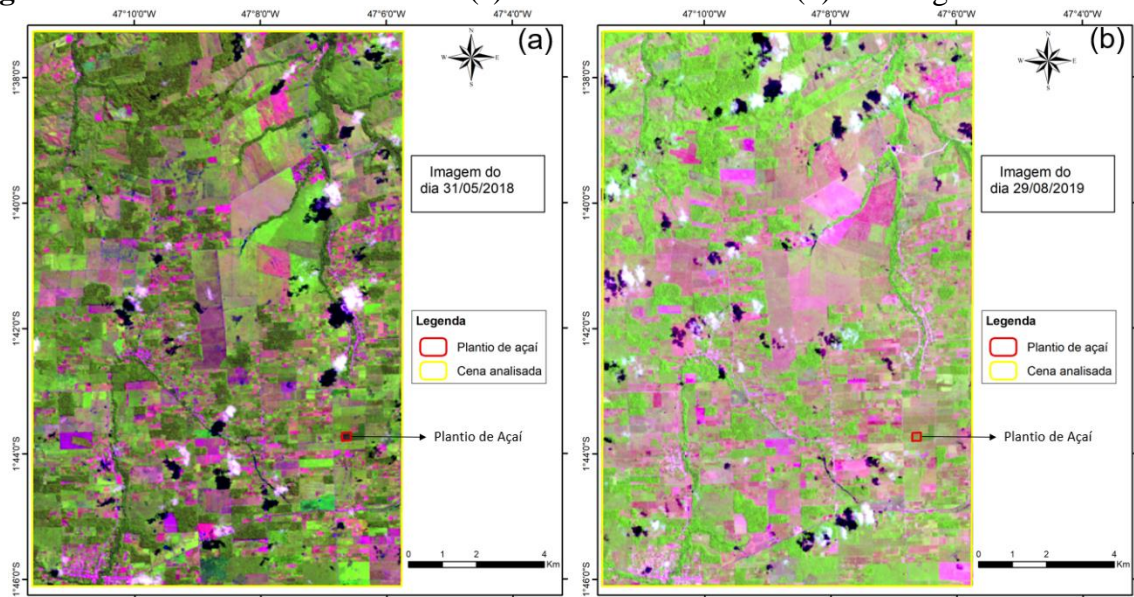
Variáveis meteorológicas	Instrumento, fabricante, modelo	Disposição no solo (m)
Temperatura do ar	<i>Vaisala thermohygrometer</i> (HMP35A)	2,0 e 8,0 acima do solo
Umidade relativa do ar	<i>Vaisala thermohygrometer</i> (HMP35A)	2,0 e 8,0 acima do solo
Temperatura do ar	<i>Hobo</i> (STHB-M002)	0,5 e 2,0 acima do dossel
Umidade relativa do ar	<i>Hobo</i> (STHB-M002)	0,5 e 2,0 acima do dossel
Umidade do solo	<i>Time Domain Reflectometer</i> (CS615)	- 0,3 da superfície do solo
Chuva	<i>Rain gauge</i> (TB4-L)	0,5 acima do dossel
Radiação global incidente	<i>Pyranometer</i> (CMP6-L)	2,0 acima do dossel
Saldo de radiação	<i>Net Radiometer</i> (NR-LITE2-L)	2,0 acima do dossel

Fonte: Denis de Pinho Sousa (2020).

Foram utilizadas duas imagens geradas pelo *Operational Land Imager* – OLI e *Thermal Infrared Sensor* – TIRS do satélite Landsat 8, adquiridas gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (earthexplorer.usgs.gov). Para a seleção dos dias, considerou-se nas imagens, a menor interferência possível de nuvens na área de estudo, principalmente, no local da

torre micrometeorológica e o período de coleta de dados da torre (referentes aos anos de 2018 e 2019). Dessa forma, foi obtida uma imagem do dia 31 de maio de 2018 (órbita/ponto 222/61), dia juliano (DSA) 151 (Figura 2a) e uma imagem do dia 29 de agosto de 2019 (órbita/ponto 223/61), DSA 241 (Figura 2b).

Figura 2. Cenas analisadas no estudo. (a) 31 de maio de 2018 e (b) 29 de agosto de 2019.

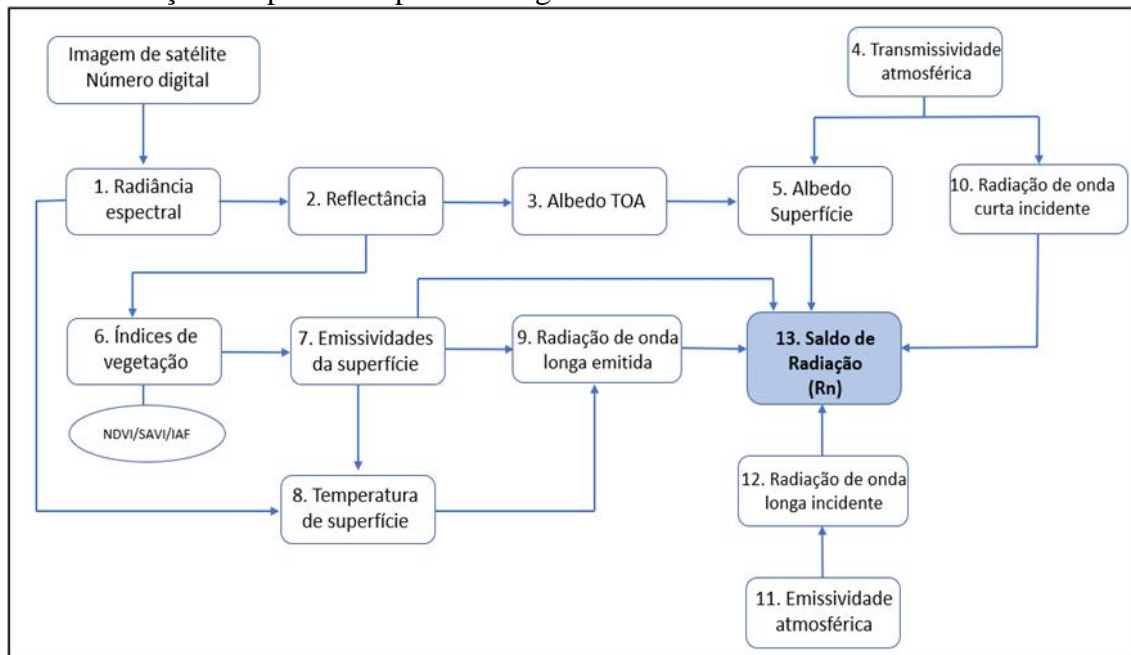


Fonte: Autores (2021).

Para a obtenção do saldo de radiação, seguiu-se a metodologia do algoritmo SEBAL, que utiliza a combinação de dados gerados por imagens de satélites orbitais e dados pontuais de estações meteorológicas. O saldo de radiação sintetiza a contabilidade

dos fluxos radiativos descendentes e ascendentes, de onda curta e onda longa, que interagem com a superfície terrestre (SILVA; BRAGA; BRAGA, 2011). O diagrama abaixo ilustra as etapas realizadas para a obtenção do R_n (Figura 3).

Figura 3. Diagrama demonstrativo das etapas computacionais para a obtenção do saldo de radiação à superfície a partir do algoritmo SEBAL.



Fonte: Adaptado de Allen, Tassumi e Trezza (2002).

O saldo de radiação à superfície (R_n) (W m^{-2}), computado para o momento da passagem do satélite, foi estimado conforme

$$R_n = R_{sol,inc} (1 - \alpha_{sup}) - R_{ol,emit} + R_{ol,atm} - (1 - \varepsilon_0) R_{ol,atm} \quad (1)$$

Em que $R_{sol,inc}$ é a radiação de onda curta incidente; α_{sup} é o albedo corrigido de cada pixel; $R_{ol,atm}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera; $R_{ol,emit}$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície e ε_0 é a emissividade de cada pixel.

$$\alpha_{toa} = (\varpi_2 \rho'_2) + (\varpi_3 \rho'_3) + (\varpi_4 \rho'_4) + (\varpi_5 \rho'_5) + (\varpi_6 \rho'_6) + (\varpi_7 \rho'_7) \quad (2)$$

Em que cada peso (ϖ) é obtido pela razão entre a constante solar específica da banda b e a somatória de todas as constantes $ESUN_{\lambda,b}$: conforme a Equação 3 (STARKS *et al.*, 1991):

a Equação 1 (BASTIAANSEN *et al.*, 1998):

O cômputo do albedo planetário (α_{toa}) foi obtido pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas (ρ') de cada uma das bandas reflectivas do sensor OLI de acordo com a Equação 2 (TASUMI; ALLEN; TREZZA, 2008):

$$\varpi_{\lambda,x} = \frac{ESUN_{\lambda,b}}{\sum ESUN_{\lambda,b}} \quad (3)$$

Em que para o Landsat-8, os valores estão na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente dos pesos (ϖ) para o cálculo do albedo planetário.

Bandas	B2	B3	B4	B5	B6	B7
ϖ_n	0,300	0,277	0,233	0,143	0,036	0,012
$ESUN_{\lambda,b}$	2011,3	1853	1532,8	956,4	237,8	80,2

Fonte: Silva *et al.* (2016).

A reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) (Equação 4) foi obtida pela razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo da radiação solar incidente (SILVA *et al.*, 2016):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{add_{ref,i} + Mult_{ref,i} \cdot ND_i}{\cos Z \cdot dr} \quad (4)$$

Para a determinação da radiância espectral monocromática ($L_{\lambda i}$) (Equação 5), foram usados os termos aditivo e multiplicativo do grupo da radiância, obtidos no metadados da imagem:

$$L_{\lambda i} = add_{rad,i} + Mult_{rad,i} \cdot ND_i \quad (5)$$

Em que para as Equações 4 e 5, i corresponde a cada banda (2, 3, 4, 5, 6 e 7)

da imagem; ρ_{λ} é a reflectância monocromática; add_{ref} e $Mult_{ref}$ são os termos aditivo e multiplicativo da reflectância das bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (extraídos do metadados de cada imagem); dr é a correção da excentricidade da órbita terrestre; L_{λ} é a radiância espectral monocromática; add_{rad} e $Mult_{rad}$ são os termos aditivo e multiplicativo de radiância da banda termal; ND é o número digital de cada pixel.

O albedo da superfície para cada pixel, ou o albedo corrigido aos efeitos atmosféricos (α) (Equação 6), foi calculado com base no modelo desenvolvido por Zhong e Li (1988), que tem sido amplamente utilizado (ALLEN; TASUMI; TREZZA,

2007; BASTIAANSEN *et al.*, 1998, 2005; SILVA; BRAGA; BRAGA, 2011):

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (6)$$

Em que α_{toa} é o albedo de cada pixel sem correção atmosférica, que combina os valores de refletância espectral para todas as bandas de ondas curtas; α_p é a refletância atmosférica, considerada neste estudo igual

$$\tau_{sw} = 0,35 + 0,627 \exp \left[\frac{-0,00146 P}{K_t \cos Z} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos Z} \right)^{0,4} \right] \quad (7)$$

Em que W foi calculado conforme a Equação 8 (GARRISON; ADLER, 1990):

$$W = 0,14 e_a \left(\frac{P}{P_o} \right) + 2,1 \quad (8)$$

Em que e_a é a pressão de vapor de saturação (kPa); P é a pressão atmosférica (hPa) e P_o é a pressão atmosférica ao nível do mar (hPa).

A radiação de ondas curtas incidente $RS_{sol,inc}$ ($W m^{-2}$) (Equação 9) na área de estudo, foi determinada pelo esquema de parametrização desenvolvido por Allen, Tasumi e Trezza (2007):

$$RS_{sol,inc} = S_o \cos Z dr \tau_{sw} \quad (9)$$

Em que S_o é a constante solar ($1367 W m^{-2}$) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica obtida na Equação 7.

A radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{ol,emit}$) ($W m^{-2}$) (Equação 10) foi calculada por meio da lei de Stefan-Boltzmann:

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

Em que T_s é a temperatura da superfície, em Kelvin; ε_0 é emissividade de

a 0,03 (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007; BASTIAANSEN *et al.*, 2005; SILVA; BRAGA; BRAGA, 2011); τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, que depende do ângulo zenital solar (Z), do coeficiente de turbidez atmosférica (k_t), da pressão atmosférica (P) (kPa) e da quantidade de água precipitável (W) (mm), de acordo com a Equação 7 (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007):

cada pixel e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$).

A temperatura da superfície (K) foi calculada utilizando a radiância e a emissividade no domínio espectral da banda termal (ε_{NB}), pela Equação 11:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{\varepsilon_{NB} \cdot K_1}{L_{\lambda,10}^{-0,29}} + 1 \right)} \quad (11)$$

Em que $K_1 = 774,89 W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ e $K_2 = 1321,08 W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$, os termos K correspondem à primeira e segunda constante de radiação da banda 10 (obtidas no metadados da imagem); $L_{\lambda,10}$ é a radiância espectral da banda termal; e $0,29 W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ é o coeficiente de calibração da radiância espectral monocromática.

As emissividades ε_{NB} e ε_0 foram estimadas com base em parametrização obtida em função do índice de área foliar (IAF) (Equações 12 e 13) (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007):

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot IAF \quad (12)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,011 \cdot IAF \quad (13)$$

Obteve-se informações sobre os índices de vegetação (IAF, SAVI E NDVI) da seguinte forma:

O Índice de Área Foliar (IAF) foi computado pela equação empírica obtida por Allen *et al.*, (2002), conforme a Equação 14:

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69-SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (14)$$

Em que o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo - *Soil Adjusted Vegetation Index* - (SAVI), foi obtido conforme a Equação 15:

$$SAVI = \frac{(1+L).(r_4-r_5)}{(L+r_4+r_5)} \quad (15)$$

Em que L é um parâmetro de solo, considerado neste estudo como L = 0,5, utilizado para densidade intermediárias de vegetação (HUETE, 1988); r_4 e r_5 são as reflectâncias espectro solar correspondentes ao infravermelho próximo (bandas 5) e ao vermelho (banda 4), respectivamente.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) foi obtido conforme a Equação 16 descrita por Rouse *et al.* (1974):

$$NDVI = \frac{r_5-r_4}{r_5+r_4} \quad (16)$$

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície $R_{ol,atm}$ ($W m^{-2}$), foi calculada pela equação de Stefan-Boltzmann (Equação 17):

$$R_{ol,atm} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (17)$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann; T_a é a temperatura do ar à superfície (K); e ε_a é a emissividade atmosférica, obtida conforme Duarte, Dias e Maggioletto (2006) (Equação 18):

$$\varepsilon_a = 0,625 \cdot \left(\frac{e_a}{T_a}\right)^{0,13} \quad (18)$$

Em que e_a é a pressão de vapor (Pa); e T_a é a temperatura do ar à superfície (K).

A análise comparativa foi feita mediante o cálculo dos erros absolutos (EA) e erro relativo (ER) dos dados de Rn estimados, de acordo com as Equações 19 (EA) e 20 (ER):

$$EA = |Rn_o * Rn_e| \quad (19)$$

$$ER = \frac{|Rn_o * Rn_e|}{Rn_o} * 100\% \quad (20)$$

Em que Rn_o é a informação observada em campo (coincidindo com o horário da passagem de satélite) na torre micrometeorológica; Rn_e é a informação estimada pelo modelo SEBAL.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

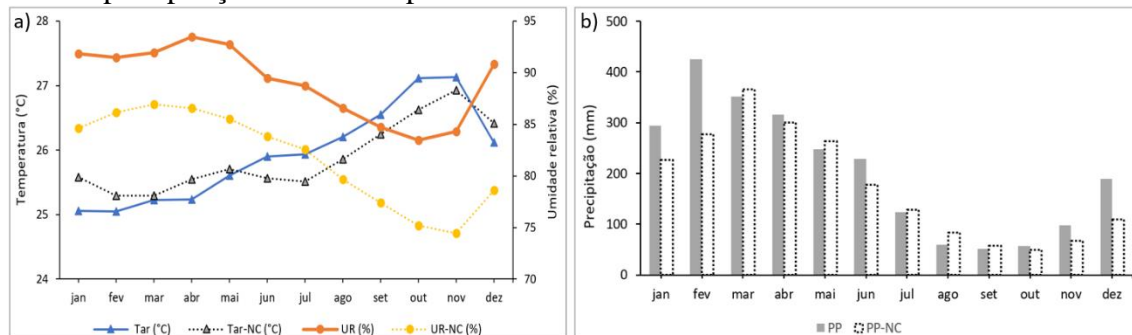
5.1 Variáveis meteorológicas da região

A Figura 4 apresenta a média dos dados coletados pelos sensores instalados na torre, que são referentes às variáveis meteorológicas: temperatura do ar (Tar), umidade relativa (UR) e precipitação (PP) para o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, assim como, são apresentados os dados médios da normal climatológica (NC) para as mesmas variáveis (Tar-NC, UR-NC e PP- NC, respectivamente). No período compreendido entre os meses de janeiro e maio, observa-se os maiores níveis de precipitação (PP) e umidade relativa do ar (UR) e as menores médias de temperatura do ar (Tar), enquanto no período entre os meses de agosto e novembro, verifica-se os menores acumulados de precipitação (PP) e maiores médias de Tar. Ao comparar os valores obtidos na torre com a normal climatológica (cujo foco é a identificação do valor médio de uma variável climática em um período delimitado), é possível notar um

padrão semelhante ao apresentado no gráfico plotado com os dados do presente estudo, verificando que para a UR, houve maior diferença (7,3%), já em relação a Tar, os valores obtidos em campo foram menores nos meses de janeiro a maio e dezembro e

maiores de junho a novembro. Observando a precipitação (PP), tem-se que fevereiro foi o mês com maior média pluviométrica e esse mês apresentou 148 mm de diferença em relação à normal climatológica.

Figura 4. (a) Média da temperatura do ar mensal e umidade relativa do ar mensal (coletados pelos sensores na torre e normal climatológica-NC) e (b) total médio da precipitação mensal no período de 2018 a 2019.



Fonte: Denis Pinho de Sousa (2019).

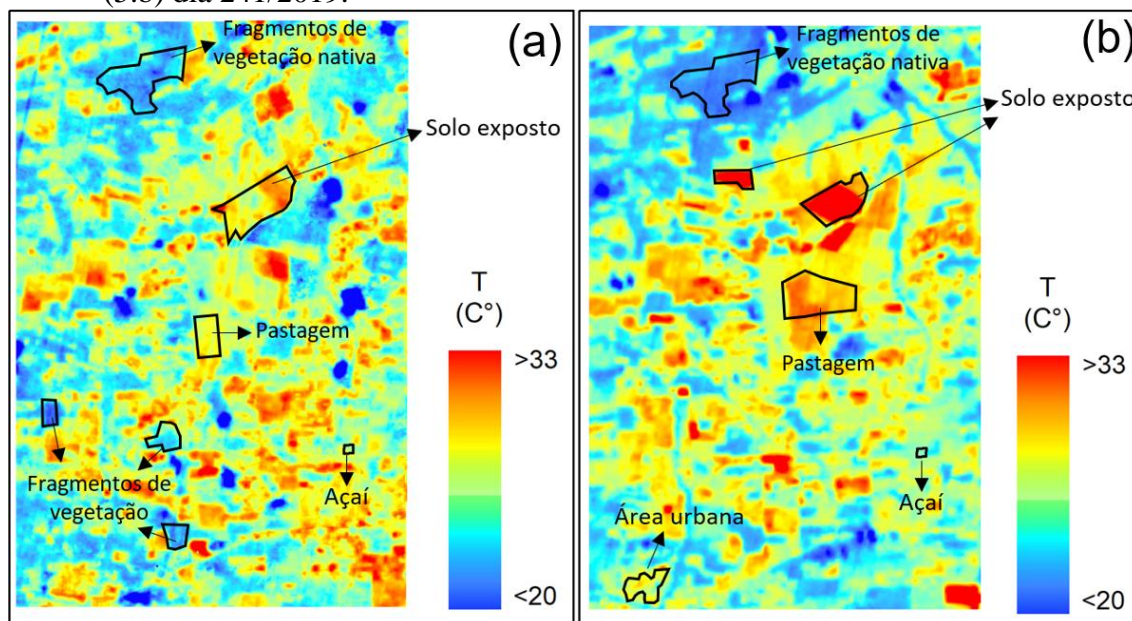
Os dados obtidos corroboram com a caracterização climática de Capitão Poço feita por Pacheco e Bastos (2001), na qual os autores definem quatro períodos distintos durante o ano para o município, denominados como: período chuvoso (dezembro a maio); período de estiagem (outubro); período seco (julho a setembro) e período de transição (junho e novembro).

5.2 Temperatura de superfície (TS) e saldo de radiação (R_n)

A TS é essencial dentro do SEBAL, pois é computada dos valores de radiação de onda longa emitida pela superfície (Equação 11). Na cena analisada, em relação à temperatura de superfície (TS) para o dia 15/1/2018, dentro do período mais chuvoso

na região, foi estimada média de 25,39 °C (com máxima de 27,47 °C e mínima de 21,28 °C), para o dia 24/1/2019, dentro do período em que os acumulados de PP diminuem, e as médias de Tar da região começam a subir, a média estimada foi de 27,2 °C (com máxima de 34,21 °C e mínima de 21,30 °C). Na Figura 5, os maiores registros de TS (em amarelo, laranja e vermelho) estão localizados em áreas destinadas à agropecuária e em áreas de solo exposto, chegando a atingir valores acima de 30 °C. Os menores valores de TS observados estão, principalmente, em regiões cobertas por vegetação densa e vegetação secundária, corpos d'água e nuvens, registrando nesses pontos uma média de temperatura em torno dos 20 °C.

Figura 5. Temperatura de superfície (TS) estimada pelo SEBAL. Em (5.a) dia 151/2018; em (5.b) dia 241/2019.



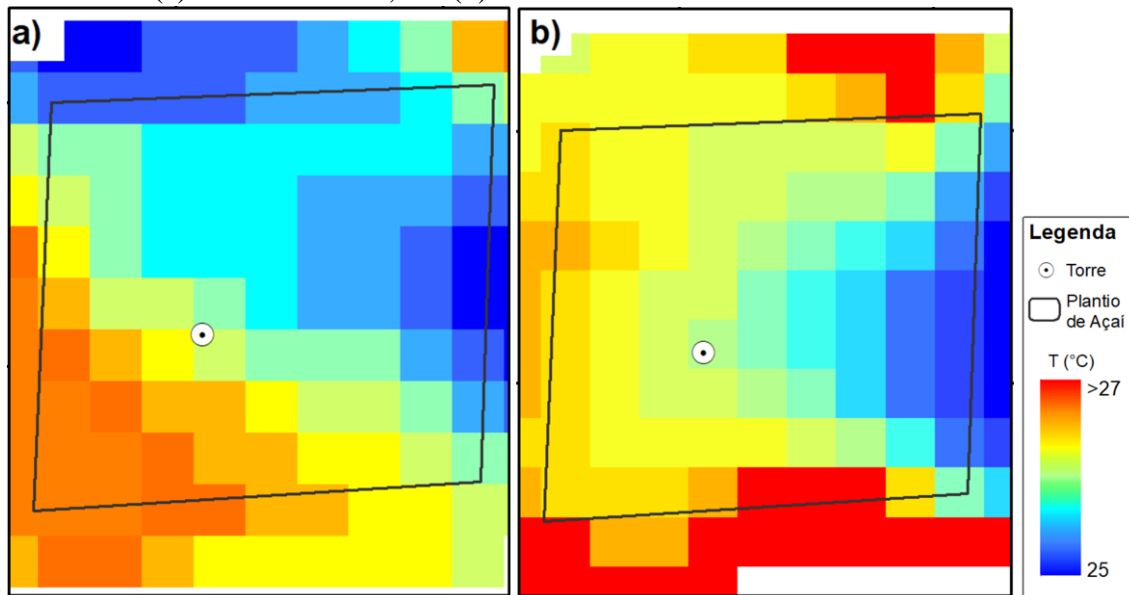
Fonte: Autores (2021).

Os resultados obtidos para TS neste estudo, corroboram com a pesquisa feita por Crispim *et al.* (2020) em Santa Luzia do Pará, município limítrofe de Capitão Poço, pertencente a mesma mesorregião, na qual os autores, ao utilizarem o sensoriamento remoto, identificaram o aumento da TS em áreas de solo exposto, registrando temperaturas acima de 29°C e a diminuição dos valores de TS em áreas com presença de vegetação densa, nuvem e corpos hídricos, onde obtiveram valores inferiores a 22°C .

Na Figura 6, observa-se a distribuição espacial da temperatura de

superfície, estimada com o SEBAL, no talhão do plantio de açaí, o qual apresentou média geral das cenas de $26,39^{\circ}\text{C}$. Para o DSA 151/2018, a máxima foi de $25,72^{\circ}\text{C}$ e a mínima de 25°C , esse (período referente à cena) é considerado o período mais chuvoso na região, como demonstrado na Figura 4.b que apresenta o total médio da precipitação mensal e para o DSA 241/2019, a máxima foi de $27,75^{\circ}\text{C}$ e a mínima de $26,10^{\circ}\text{C}$, em conformidade com o período seco (julho a setembro), caracterizado por Pacheco e Bastos (2001) em seus estudos em Capitão Poço.

Figura 6. Distribuição da temperatura de superfície estimada pelo SEBAL no plantio de açaí. Em (a) o dia 151/2018, em (b) o dia 241/2019.

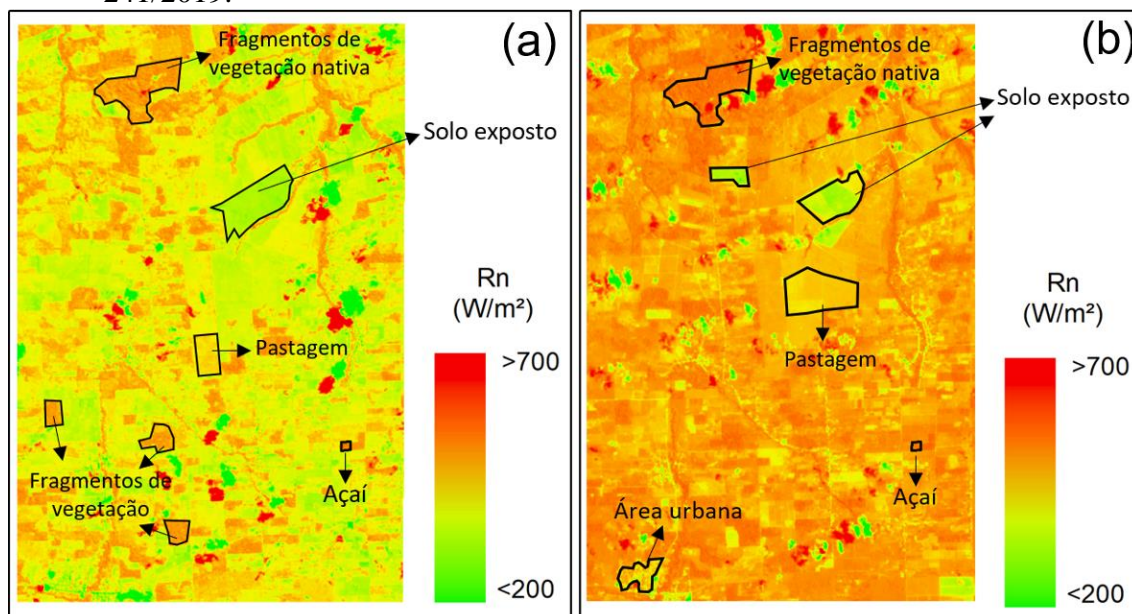


Fonte: Autores (2021).

Na cena analisada, em relação ao R_n , foi registrada a média de $575,10 \text{ W/m}^2$ para o dia 151/2018 e de $623,85 \text{ W/m}^2$ para o dia 241/2019. Na Figura 7, observa-se a distribuição dos valores estimados de R_n à superfície, verifica-se uma oscilação de valores inferiores à 200 W/m^2 (na cor verde, valores referentes a nuvens na imagem) e valores na ordem de 700 W/m^2 (em vermelho). Os picos de R_n foram registrados em áreas de floresta e vegetação secundária,

segundo Jensen (2015), isso ocorre devido a essas áreas terem alto índice de área foliar e o solo apresentar-se bem suprido de água, o que faz com que a temperatura diminua, diminuindo também a emissão de ondas longas, o que, conseqüentemente, eleva o R_n . Também foram registrados picos de R_n em áreas com a presença de corpos d'água, pois a água tem baixa reflectância, ocasionando dessa forma, uma maior absorção de energia (PEREIRA *et al.*, 2007).

Figura 7. Distribuição de R_n estimado pelo SEBAL. Em (a) o dia 151/2018, em (b) o dia 241/2019.



Fonte: Autores (2021).

Os valores mais baixos foram registrados nas áreas modificadas, como solo exposto e àquelas destinadas a atividades agropecuárias, pois nessas áreas há menor quantidade de energia armazenada à superfície devido a menor quantidade de cobertura vegetal e segundo Asner *et al.* (2000), nessas condições, a influência da componente foliar na resposta espectral é reduzida. Em outros estudos também foi relatado menores valores de R_n em áreas com baixo índice ou com ausência de cobertura vegetal (GOMES *et al.*, 2009; SANTOS; NASCIMENTO; RAO, 2011). Dessa forma, o saldo de radiação segue uma tendência de diminuição à medida que vai ocorrendo a transição de uma área de vegetação para outra que apresenta solo exposto.

A tendência de diminuição de valores estimados de R_n na transição de áreas de vegetação densa para áreas de solo exposto foi verificada também pelo estudo de Silva *et al.* (2015), na análise desses autores, foi constatada essa redução de acordo com a mudança de cobertura do solo, sendo observadas maiores médias em floresta amazônica nativa e menores médias

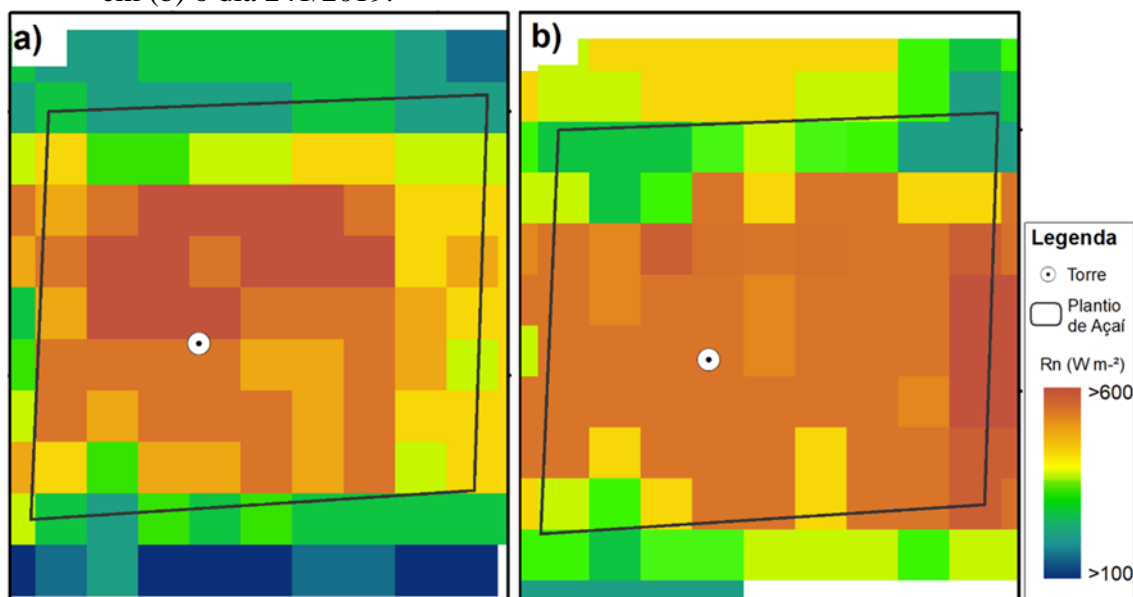
em área de pastagem, no sudoeste da Amazônia, devido em grande parte, ao maior albedo dessas coberturas (vegetação gramínea) em relação ao padrão observado em regiões de floresta. A variação do R_n do período chuvoso (151/2018) em relação ao período seco (241/2019) teve um acréscimo de aproximadamente 8%, pelo fato de que mesmo com pouco grau de nebulosidade, como observado na Figura 6.a, a atmosfera, neste período do ano, encontra-se mais úmida, contribuindo para uma maior absorção de radiação de ondas curtas incidente quando comparado ao que ocorre durante o período mais seco.

Porcentagem aproximada foi encontrada por Rothmund *et al.* (2019) na região no sul da floresta amazônica, onde os autores observaram variação de 7% e 6% do período chuvoso para o seco em área de floresta e pastagem, respectivamente. Estudos de Pavão *et al.* (2016) e Santos *et al.* (2014), ao utilizarem o SEBAL, também registraram a diminuição dos valores de R_n conforme houve nas cenas, a transição de áreas da floresta Amazônica para regiões de pastagem.

Na Figura 8, observa-se a distribuição espacial do R_n , estimados com o SEBAL no talhão do plantio de açaí, o qual apresentou média geral das cenas de 632,62 W/m^2 . Esse valor foi inferior ao de outros trabalhos realizados no bioma Amazônia. Borella *et al.* (2018), analisando o R_n por meio do SEBAL em áreas agrícolas irrigadas (de transição Cerrado-Amazônia) ao sul do bioma Amazônico, obtiveram média de

549,74 W/m^2 . De Oliveira *et al.* (2016), analisando o saldo de radiação na Amazônia, em áreas de vegetação nativa e pastagens, no sudoeste do estado do Pará, registraram R_n médio de 505,5 W/m^2 . Destaca-se que na análise feita neste estudo, o menor valor observado dentro do plantio foi de 548,91 W/m^2 no dia 15/2018 e maior valor 662,94 W/m^2 em 24/2019.

Figura 8. Distribuição de R_n estimado pelo SEBAL no plantio de açaí. Em (a) o dia 15/2018, em (b) o dia 24/2019.



Fonte: Autores (2021).

Na Figura 8, podemos observar que há no próprio talhão diferentes valores de R_n (para o dia o dia 15/2018, obteve-se média, máximo e mínimo de 616,21 W/m^2 , 633,67 W/m^2 e 548,91 W/m^2 , respectivamente, já para o dia 24/2019, esses valores foram de 648,59 W/m^2 , 662,94 W/m^2 e 627,52 W/m^2 , respectivamente), que estão sendo direcionados para diversos processos (PICCOLO, 2019), já que a energia disponível no ambiente pode ser distribuída para o aquecimento do ar e do solo assim como para os processos de transpiração das plantas (BIUDES *et al.*, 2015), o que

demonstra a importância da consideração sobre a variabilidade espacial existente na área para análises em diferentes estudos, incluindo o R_n , que é mais uma opção de auxílio em tomadas de decisões quanto ao manejo da irrigação.

A Tabela 3 apresenta as médias da temperatura de superfície (TS) estimada pelo algoritmo, os valores de R_n obtidos na estação micrometeorológica, assim como, os valores de R_n estimados por meio do SEBAL para o local da torre micrometeorológica, e o erro relativo (ER) e absoluto (EA) de R_n para as duas datas do estudo.

Tabela 3. Temperatura de superfície (TS) e R_n obtido pelos sensores da torre micrometeorológica, R_n estimado pelo SEBAL, Erro relativo (ER) e Erro absoluto (EA) do R_n estimado.

Dia Juliano	TS observado (°C)	R_n observado (W m ⁻²)	R_n estimado (W m ⁻²)	ER (%)	EA (W m ⁻²)
151/2018	29,65	608,60	603,68	0,98	4,92
241/2019	30,15	647,10	631,44	3,4	15,66

Fonte: Autores (2021).

Os erros observados neste estudo apresentaram boa estimativa e estão de acordo com a literatura sobre este assunto, pois segundo Daughtry *et al.* (1990), para estudos que envolvem medições e estimativas de R_n usando dados multiespectrais de sensoriamento remoto e dados de superfície, registradas por uma estação meteorológica automática da Campbell Scientific, os erros são menores que 7 %. Santos *et al.* (2010) e Oliveira e Moraes (2013), utilizando a metodologia para a obtenção de R_n por meio do SEBAL, encontraram resultados promissores de erro relativo para essa componente, em seus estudos na Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru) e em Rondônia, respectivamente, esses autores encontraram erros que variaram de 2% a 16%, ambos na Amazônia Legal. Estudos que envolvam estimativas de saldo de radiação usando o SEBAL ainda são poucos no estado do Pará, entretanto, observou-se que o uso dessa metodologia pode contribuir para estimar o R_n , já que esta é uma das formas de se obter respostas dos ecossistemas às condições ambientais.

6 CONCLUSÕES

Os valores de R_n e TS, estimados pelo SEBAL, sofreram alterações conforme

a modificação da paisagem de florestas densas para áreas de pastagens e solo exposto, e também conforme a estação do ano.

Os resultados obtidos a partir do uso do algoritmo SEBAL, para a componente R_n , mostraram-se satisfatórios devido ao erro relativo ser menor que 7%, estando em conformidade com a literatura.

O SEBAL foi sensível em diferenciar os tipos de cobertura do solo na cena analisada, assim como no próprio plantio de açaí, mostrando-se uma ferramenta eficaz e que pode ser utilizada no auxílio em tomadas de decisões quanto ao manejo de irrigação.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -CAPES, pela concessão, à primeira autora, da bolsa de mestrado no programa de Pós-Graduação em Agronomia -PgAgro, à Universidade Federal Rural da Amazônia -UFRA, à Universidade Federal de Campina Grande -UFCG e ao grupo de pesquisa Interação Solo Planta Atmosfera na Amazônia -ISPAAM, por ceder a estrutura física para o desenvolvimento deste trabalho.

8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) - Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, 133, n. 4, p. 395-406, 2007.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advanced Training and Users Manual**. Version 1. Idaho. 2002. Disponível em: <https://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2019
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_et_al_Koppen_climate_classBrazil_MeteoZei_2014.pdf. Acesso em: 3 set. 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, p. 117-127, 2017.
- AN, N.; HEMMATI, S.; CUI, Y-J. Assessment of the methods for determining net radiation at different time-scale of meteorological variables. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, [s. l.], v. 9, n. 2 p. 239-246, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516300944>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- ARAÚJO, W. R.; MEDEIROS, R. M.; FRANÇA, M. V.; HOLANDA, R. M.; PEREIRA, M. L. F.; SABOYA, L. M. F. Flutuação da temperatura e umidade relativa do ar em Recife-PE, Brasil. **Revista Científica Multidisciplinar**, Jundiaí, v. 2, n. 6, p. 26481, 2021.
- ASNER, G. P.; WESSMAN, C. A.; BATESON, C. A.; PRIVETTE, J. L. Impact of tissue, canopy, and landscape factors on the hyperspectral reflectance variability of arid ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 74, n. 1, p. 69-84, 2000.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 213, p. 198-212, 1998.
- 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.
- BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. A.; NEALE, C. M. U.; NOGUEIRA, J. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and**

Forest Meteorology. Amsterdam, v. 202, n. 1, p. 112-124, 2015.

BORELLA, D. R.; SIQUEIRA, F. R. P. S.; FARIA, T. O.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G. Efeito da conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas sobre variáveis biofísicas na região de transição Cerrado-Amazônia. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. e12, 2018.

CRISPIM, D. L.; BEZERRA, P. E. S.; LIMA, G. V. B. A.; PEREIRA, M. M.; FERNANDES, L. L. Análise de índice de vegetação e a temperatura da superfície no município de Santa Luzia do Pará, Amazônia. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 77-86, 2020.

DAUGHTRY, C. S. T.; KUSTAS, W. P.; MORAN, M. S.; PINTER JR, P. J.; JACKSON, R. D.; BROWN, P. W.; NICHOLS, W. D.; GAY, L. W. Spectral Estimates of Net Radiation and Soil Heat Flux. **Remote Sensing of Environment**, Beltsville, v. 32, p. 111-124. 1990.

DEBASTIANI, A. B.; SÁ, E. A. S.; MARTINS NETO, R. P.; 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.

DE OLIVEIRA, G.; BRUNSELL, N. A.; MORAES, E. C.; BERTANI, G.; SANTOS, T. V.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E. Use of MODIS sensor images combined with reanalysis products to retrieve net radiation in Amazonia. **Sensors**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 956-984, 2016.

DUARTE, H. F.; DIAS, N. L.; MAGGIOTTO, S. R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 139, n. 3-4, p. 171-181, 2006.

ENORÉ, D. P. **Estudos de saldos de radiação a superfície estimados por satélites**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 26, n. 03, p. 403-410, 1991.

GARRISON, J. D.; ADLER, G. P. Estimation of precipitable water over the United States for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components. **Solar Energy**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 225-241, 1990.

GOMES, H. B.; SILVA, B. B.; CAVALCANTE, E. P.; ROCHA, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**. Rio Claro, v. 28, n. 2, p. 153-164, 2009.

HUETE, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 4th Edition. University of South Carolina: Prentice Hall, 2015.

MACEDO, M.; DEFRIES, R.; MORTON, D.; STICKLER, C.; GALFORD, G.; SHIMABUKURO, Y. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences – PNAS**. New York. v. 109, n. 4, p.1341-1346. 2012.

MACHADO, C. C.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVINCIO, 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.

OLIVEIRA, G. de; MOAES, E. C. Validação do balanço de radiação obtido a partir de dados MODIS/TERRA na Amazônia com medidas de superfície do LBA. **Acta Amazônia**, Manaus, v. 43, n. 3, p.353-363, 2013.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização climática do município de Capitão Poço-PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001.

PAVÃO, V. M.; NASSARDEN, D. C. S.; PAVÃO, L. L.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Impacto da Conversão da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 32, n. 3, p. 343-351, 2017.

PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; BENEDITTI, C. A.; PAVÃO, L. L.; QUERINO, J. K. A. S., MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do sul do Amazonas, Brasil. **Revista Ra'ega**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 333-352, 2016.

PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 1, p. 55-61, 2007.

PICCOLO, M. C. Methods to estimate heat balance in coastal wetlands. *In*: PERILLO, G. M.E.; WOLANSKI, E.; CAHOON, D. R.; HOPKINSON, C. S. **Coastal Wetlands**. Second Edition. Amsterdam: Elsevier, 2019. Chapter 7, p. 263-288.

PINTO, L. I. C.; COSTA, M. H.; DINIZ, L. M. F.; SEDYAMA, G. C.; PRUSKI, F. F. Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 4, p. 469-478, 2010.

RANA, G.; KATERJI, N. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 13, n. 2-3, p. 125-153, 2000.

RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIERIRA, A. S. A.; PESSOA, C. L. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. **Revista Verde**, Pombal, v. 11, n. 3, p. 143-150, 2016.

- ROTHMUND, L. D.; ALMEIDA JUNIOR, E. S.; LIMA, L. P. A.; MASSAD, H. A. B.; PALÁCIOS, R. S.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. S. Impacto da alteração da cobertura do solo nos parâmetros biofísicos no sul da floresta amazônica por sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 122-137, 2019.
- ROUSE, J. W. J.; HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA special publication**, Washington, v. 351, n. 1974, p. 309-317, 1974.
- SANTOS, C. A. C. D.; BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. D.; RAO, T. V. R. Assessment of daily actual evapotranspiration with SEBAL and S-SEBI algorithms in cotton crop. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São José dos Campos, v. 25, n. 3, p. 383-392. 2010.
- SANTOS, C. A. C. dos; WANDERLEY, R. L. N.; ARAUJO, A. L.; BEZERRA, B. G. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na Amazônia (estação seca) através do sensor MODIS. **Revista Brasileira de Meteorologia**., São José dos Campos, vol.29, n.3, p.420-432. 2014.
- SANTOS, C. A. C.; NASCIMENTO, R. L.; RAO, T. V. R. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. **Atmósfera**, Ciudad de México, v. 24, n. 4, p. 435-446, 2011.
- 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.
- 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**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016.
- SILVA, L. C.; CUNHA, J. M.; MACHADO, N. G.; CAMPOS, M. C. C.; BIUDES, M. S. Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira. **Sociedade & natureza**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 341-356, 2015.
- SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F. Estimativas da radiação global incidente em superfícies inclinadas com base na razão de insolação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 483-491, 2013.
- STARKS, P. J.; NORMAN, J. M.; BLAD, B. L.; WALTER-SHEA, E. A.; WALTHALL, C. L. Estimation of shortwave hemispherical reflectance (albedo) from bi-directionally reflected radiance data. **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 38, n. 2, p. 123-134, 1991.
- TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.

VELOSO, G. A.; SILVA, L. A. P.; FERREIRA, M. E. Análise do balanço de radiação e energia em áreas de veredas no Norte de Minas Gerais, bioma cerrado. **Revista Cerrados**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 220-247, 2020.

ZHONG, Q.; LI, Y. Satellite Observation of surface albedo over the Quinghai-Xizang plateau region. **Advances in Atmospheric Sciences**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 57-65, 1988.