

Balanco de Radiação Através do Satélite Landsat-8 na Bacia do Rio Pajeú*Balance of radiation through the Landsat-8 satellite in the Pajeú River Basin*

Laurizio Emanuel Ribeiro Alves
Universidade Federal de Alagoas
laurizio.r@gmail.com

Heliofábio Barros Gomes
Universidade Federal de Alagoas
heliofab@gmail.com

Maurílio Neemias dos Santos
Universidade Federal de Alagoas
maurilioneemias2010@gmail.com

Ismael Guidson Farias de Freitas
Universidade Federal de Alagoas
ismael.guidson@gmail.com

Recebido (Received): 19/12/2016
DOI: 10.11606/rdg.v33i0.124577

Aceito (Accepted): 07/05/2017

Resumo: O presente estudo tem como objetivo realizar a estimativa do saldo de radiação à superfície- R_n através do algoritmo SEBAL e imagens do satélite Landsat-8 para a Bacia do Rio Pajeú. Os dados de Saldo de Radiação, estimados pelo SEBAL, foram comparados com medições obtidas em duas estações automáticas, localizadas nos municípios de Floresta e Serra Talhada. Foi utilizada uma imagem dos sensores OLI (Operational Land Image) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) abordo do satélite Landsat-8, órbita 216 e ponto 66, para o dia 20 de novembro de 2016. A partir das imagens se obteve a radiação e reflectividade espectral, seguido do albedo de superfície, índices de vegetação, emissividade, temperatura superficial, radiação de onda curta incidente - R_s , radiação de onda longa incidente e emitida - $R_{ol,atm}$ e $R_{ol,emi}$, respectivamente, e Saldo de Radiação. Nos resultados encontrados verificou-se que os menores valores de albedo e temperatura foram observados em corpos d'água e vegetação, já os maiores em áreas urbanas. Esses itens estão ligados diretamente aos componentes do saldo de radiação, que observou menores valores radiação de onda longa incidente e emitida que estão diretamente ligadas ao maior ou menor saldo de radiação. A validação dos dados do algoritmo SEBAL a partir das estações automáticas foi observado um erro relativo entre 9% e 11% para a imagem Landsat-8, verificando, assim, a acurácia das imagens para a estimativa do saldo de radiação à superfície na Bacia do Rio Pajeú.

Palavras-chave: Saldo de Radiação; SEBAL; Imagem Orbital; Sensoriamento Remoto.

Abstract: The present study aims to estimate the Balance of Radiation Surface- R_n through the SEBAL algorithm and images of the Landsat-8 satellite for the Pajeú River Basin. The Radiation Balance data, estimated by SEBAL, were compared with measurements obtained in two automatic stations, located in the municipalities of Floresta and Serra Talhada. An image of OLI (Operational Land Image) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) sensors on Landsat-8 satellite, orbit 216 and point 66, was used for November 20, 2016. From the images obtained if the spectral radiance and reflectance, followed by surface albedo, vegetation index, emissivity, surface temperature, short-wave radiation incident - R_s , incident and emitted long wave radiation - $R_{ol,atm}$ and $R_{ol,emi}$, Respectively, and Radiation Balance. The results showed that the lowest values of albedo and temperature were observed in bodies of water and vegetation, already the largest in urban areas. These items are linked directly to the components of the radiation balance, which observed lower values of incident and emitted long wave radiation that are directly linked to the higher or lower Radiation Balance. The validation of the SEBAL algorithm data from the automatic stations showed a relative error between 9% and 11% for the Landsat-8 image, thus verifying the accuracy of the images for the estimate of the surface radiation balance in the Pajeú River.

Keywords: Radiation Balance; SEBAL; Orbital Image; Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

As imagens da série de satélites Landsat vêm sendo utilizada a bastante tempo e têm se consolidado como uma das principais ferramentas para a análise e avaliação de impactos ambientais, uso e cobertura do solo, estimativa de parâmetros biofísicos, georreferenciamento e planejamento agrícola e ambiental por todo o mundo. Estudos realizados por Gomes (2009), Giongo (2011), Santos (2012) e Duarte (2015) utilizaram essas imagens para diferentes pesquisas com temáticas sobre: energia e uso de água na agricultura, balanço de radiação e energia, e utilização das imagens Landsat 8 como referência para o georreferenciamento de imagens orbitais, sendo esses estudos de grande relevância para a aplicação das imagens Landsat com ferramenta para auxílio de pesquisas científicas e planejamento.

A validação da estimativa do saldo de radiação pode tornar as imagens da série Landsat-8 uma alternativa para estudos de grandes dimensões espaciais e até mesmo temporal de curto prazo, tendo em vista que a série Landsat-8 teve início em 2013 e encontra-se ativa (2016), ressalta-se que o satélite Landsat-8 imageia o mesmo local a cada 16 dias. Os autores Gomes *et al.* (2009), Giongo (2011) e Santos (2012) realizaram estudos similares, estimativa do balanço de radiação e energia, com auxílio de imagens Landsat-5 e validação dessa ferramenta em diferentes áreas brasileiras, em que eles validaram a utilização das imagens em diferentes coberturas do uso do solo, viabilizando sua utilização para o planejamento agrícola, ambiental e urbano.

De acordo com Tubeles e Nascimento (1980) a soma da radiação direta com a radiação difusa corresponde a radiação global, sendo está primária para as principais fontes para todos os processos atmosféricos, com distribuição variável, pois a radiação sofre alterações em seu percurso até chegar a superfície, como reflexão, difusão e absorção.

O conhecimento do saldo de radiação é de grande relevância para o desenvolvimento de modelos de gerenciamento dos recursos naturais, pois é responsável pelas trocas de calor e massa na troposfera aquecendo o solo e o ar, além de provocar a evapotranspiração dos lagos, açudes, vegetação e das culturas agrícolas (SILVA, 2005).

De acordo com Gomes *et al.* (2009) o saldo de radiação representa a síntese da contabilidade entre os fluxos de radiação de onda curta e onda longa, no qual a radiação de onda curta incidente é representada pela radiação solar global ($W.m^{-2}$) e pela radiação solar refletida pela superfície ($W.m^{-2}$). O Saldo de Radiação é fundamental para processos de fluxos de massas de energia e evapotranspiração, logo, constituindo uma fonte extraordinária de energia para diversos fenômenos meteorológicos, além de ser fundamental para a estiva de perdas de água por superfícies vegetadas, bem como para o planejamento agrícola.

O algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) foi desenvolvido por Bastiaanssen (1995) e utiliza fórmulas semi-empíricas que tomam como variáveis de entrada imagens de satélite nos canais do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal, e alguns dados *in situ*. Seus principais produtos são o albedo de superfície, emissividades e índices de vegetação, temperatura de superfície, saldo de radiação, fluxos de calor no solo, calor sensível e latente, e, por fim, a evapotranspiração real. Além do mais, o algoritmo foi validado em vários ecossistemas mundiais, como Espanha, Brasil, Estados Unidos, China, Nigéria, etc. (TASUMI, 2003; WELIGEPOLAGE, 2005; GOMES, 2009).

Diante do exposto o presente estudo tem como objetivo realizar a estimativa do saldo de radiação à superfície para a bacia do Rio Pajeú através de imagens Landsat-8 e utilização do algoritmo SEBAL, e através das imagens geradas realizar a validação dos dados estimados junto com dados medidos das estações automáticas dos municípios de Floresta e Serra talhada, em Pernambuco, além de verificar o comportamento de suas componentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A bacia do rio Pajeú está localizada entre 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul e 36° 59' 00" e 38° 57' 45" de longitude oeste formando a Unidade de Planejamento Hídrico UP9. A bacia limita-se ao norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 – GI3 (UP22) e a bacia do rio Moxotó (UP8), a leste com a bacia do Rio Moxotó e o estado da Paraíba, e a oeste com a bacia do rio Terra nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 4 – GI4 (UP23). A bacia do rio Pajeú é a maior do Estado de Pernambuco, com uma área de 16685,63 Km², correspondendo a 16,97% da área do Estado.

O rio Pajeú nasce no município de Brejinho e percorre uma extensão de aproximadamente 353 Km, apresenta um sentido nordeste-sudoeste, até desaguar no lago Itaparica, no rio São Francisco. Apresenta relevo variando entre suave, ondulado e íngreme, retratado por declives de 7,5 a 90,7%. Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo semiárido, sendo os meses mais quentes com maior total pluviométrico (outubro a março) e os mais frios são mais secos (abril a setembro). Seu regime fluvial é intermitente e, ao longo do seu curso, margeia as cidades de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira, Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi, Serra Talhada e Floresta (APAC, 2016).

2.2 Aquisição dos dados de superfície

Os dados de superfície foram adquiridos pela plataforma das estações automáticas disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que é disponibilizado gratuitamente através do endereço eletrônico: <http://www.inmet.gov.br/>. As estações automáticas utilizadas foram: a estação de Serra Talhada-A350 e a estação de Floresta-A351. A aquisição dos dados foi para o período de 01/09/2016 à 31/10/2016, utilizando as variáveis horárias: temperatura (instantânea, máxima e mínima), umidade (instantânea, máxima e mínima), radiação e chuva. A **Figura 1** apresenta a localização das estações do INMET utilizadas para o estudo.

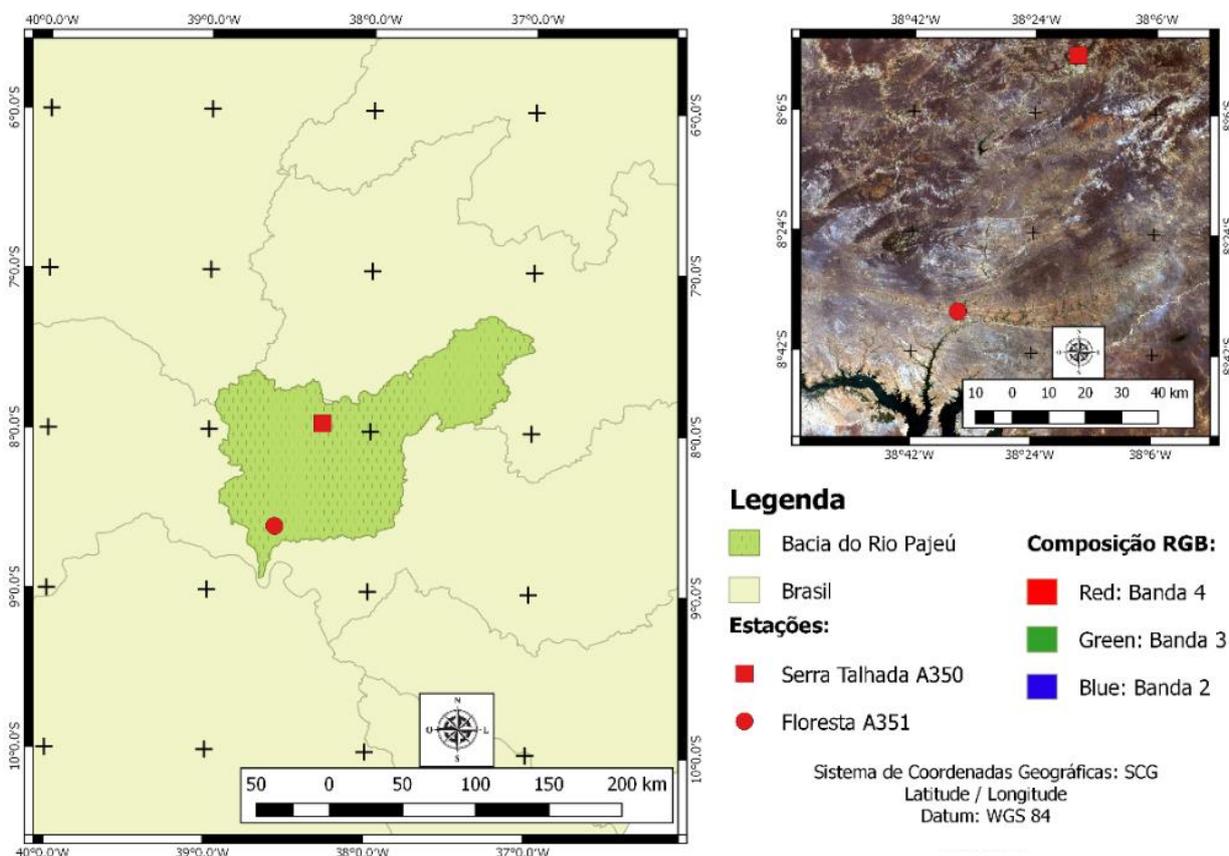


Figura 1: Localização da Bacia do Rio Pajeú e das estações automáticas.

2.3 Aquisição e tratamento das Imagens Landsat-8

A aquisição das imagens orbitais do satélite Landsat-8 foi através do endereço eletrônico: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens adquiridas são georreferenciadas, de acordo com Duarte (2015) estas mostraram-se surpreendente em sua acurácia para a proposta e resolução do sensor, alcançando escalas 1:50.000 e 1:100.000, além da possibilidade de ampliar a resolução espacial para 15 metros. As imagens adquiridas foram para o dia 20/09/2016, na órbita 216 e ponto 66 com horário de passagem às 09:42 horário local, no formato GEOTIFF. A seguir são apresentadas as etapas para a estimativa das componentes do saldo de radiação, utilizando o SEBAL, proposto por Bastiaanssen (1995), com alteração na correção radiométrica inicial (refletância e radiância).

Inicialmente foi realizado o tratamento da correção atmosférica e conversão do Número Digital (ND), níveis de cinza, em refletância (USGS, 2016):

$$\rho_{\lambda,b} = \frac{H_{\rho}Q_{CAL}+A_{\rho}}{\cos(\theta_{SE})} \quad (1)$$

Onde $\rho_{\lambda,b}$ é a Refletância monocromática de todas as bandas, H_{ρ} redimensionamento multiplicativo específico de cada banda (valor constante -0,1), A_{ρ} é ao fator aditivo (valor constante 2E-5), Q_{CAL} valor pixel a pixel de cada banda (ND) e θ_{SE} ângulo azimutal, que é calculado segundo a fórmula a seguir:

$$\theta_{SE} = 90 - \theta_{SZ} \quad (2)$$

Onde: θ_{SZ} é o ângulo de elevação do sol, disponível nos metadados.

Representando o albedo da superfície no domínio da radiação de onda curta (0,3 – 3,0 μm), porém sem correção atmosférica, sendo obtido através de combinação linear das refletâncias espectrais $\rho_{\lambda,b}$, com pesos $\varpi_{\lambda,b}$ estabelecido para cada banda, sendo a expressão:

$$\alpha_{toa} = (\varpi_2 * \rho_{\lambda,2}) + (\varpi_3 * \rho_{\lambda,3}) + (\varpi_4 * \rho_{\lambda,4}) + (\varpi_5 * \rho_{\lambda,5}) + (\varpi_6 * \rho_{\lambda,6}) + (\varpi_7 * \rho_{\lambda,7}) \quad (3)$$

Em que cada peso é obtido pela razão entre a constante solar específica da banda b e a somatória de todas as constantes $ESUN_{\lambda,b}$, qual seja:

$$\varpi_{\lambda,b} = \frac{ESUN_{\lambda,b}}{\sum ESUN_{\lambda,b}} \quad (4)$$

Onde para o LANDSAT-8 os valores são apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Coeficientes dos pesos (ϖ_n) para o cálculo do albedo planetário através do uso de imagens LANDSAT-8.

Bandas	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
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), adaptado pelo autor.

Em seguida é realizado a correção do albedo, sendo calculado de acordo com a equação a seguir, proposto por Tasumi *et al.* (2008):

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{TOA} - \alpha_{atm}}{\tau_{SW}^2} \quad (5)$$

Onde α_{atm} é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera, adotou-se 0,03 de acordo com Bastiaanssen *et al.*, (2000) e τ_{SW} é a transmitância atmosférica para dias de céu claro, Equação 6, proposta por Allen *et al.* (2002):

$$\tau_{SW} = 0,75 + 2 * 10^{-5} * MED \quad (6)$$

Onde MED é o modelo de elevação digital, representado pela altitude (m) de cada pixel.

Os cálculos dos índices de vegetação são computados utilizando a refletância monocromática. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), proposto por Tucker (1979), sendo obtido através da razão entre a diferença das refletâncias do infravermelho e do vermelho e a soma das mesmas refletâncias, conforme a equação (ALLEN *et al.*, 2002):

$$IVDN = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (7)$$

Onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às refletâncias das bandas do infravermelho e vermelho.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), proposto por Huete, (1988), este índice visa amenizar os efeitos do solo:

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (8)$$

Onde L é um fator de ajuste do solo, foi adotado L=0,5.

Em seguida é realizado o cálculo do Índice de Área Foliar (IAF), que representa a razão entre a área total das folhas contidas em dado pixel, pela área do pixel, é feito por equação empírica calibrada por Allen *et al.* (2002):

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (9)$$

Após o cálculo do IAF é calculado a Emissividade de Superfície (ϵ_0) através da equação de Plank invertida, proposta para um corpo negro. O cálculo de ϵ_0 é feito em função do IAF, como apresentado na seguinte equação:

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 * IAF \quad (10)$$

Para realizar o cálculo da temperatura da Superfície, antes deve ser computado a radiância monocromática utilizando a banda 10 do sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) LANDSAT-8. Empregando os fatores de reescalonamento da radiância fornecidos nos metadados (USGS, 2016):

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (11)$$

Onde: L_λ é a radiância monocromática, M_L é o fator de reescalonamento multiplicativo específico ($3,342 \times 10^{-4}$), A_L é o fator de reescalonamento aditivo específico (0,1), e Q_{cal} é o valor pixel a pixel da imagem de satélite, através da Equação 11:

$$TS = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (12)$$

Onde: K_2 e K_1 são constantes de calibração da banda 10, respectivamente 774,88K e 1321,08K.

Em seguida é calculado a radiação de onda longa emitida (W.m^{-2}) por cada pixel, mediante a equação de Stefan-Boltzmann, em função da temperatura T_s e da emissividade da superfície ε_0 :

$$R_{ol,emi} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (13)$$

Em que σ é a constante de Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$).

A radiação de onda longa incidente (W.m^{-2}) também é calculada segunda a equação de Stefan-Boltzmann, em função da emissividade do ar – ε_a e da temperatura do ar – T_a (obtido pela estação em superfície), dada por:

$$R_{ol,atm} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (14)$$

$$\text{em que: } \varepsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (15)$$

A radiação de onda curta incidente (W.m^{-2}) considera-se constante para a área de estudo e na carência de dados piranométricos pode ser obtida segundo o modelo (ALLEN *et al.*, 2002; GOMES, *et al.*, 2009):

$$R_s = Q \cdot \cos \theta \cdot dr \cdot \tau_{sw} \quad (16)$$

Onde Q é a constante solar (1367 W.m^{-2}); θ é o ângulo de incidência solar; dr é a distância Terra-Sol e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica (calculada segundo a equação 6).

O saldo de radiação (W.m^{-2}) é obtido segundo a equação a seguir:

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_s + R_{ol,atm} - R_{ol,emi} - (1 - \varepsilon_0) \cdot R_{ol,atm} \quad (17)$$

Onde: α é o albedo de superfície; R_s é a radiação de onda curta incidente; $R_{ol,atm}$ é a radiação de onda longa incidente; $R_{ol,emi}$ é a radiação de onda longa emitida e ε_0 é a emissividade da superfície (4 – 100 μm).

2.4 Análise dos dados orbitais

Para um maior detalhamento da área de estudo e melhor análise dos dados estimado do saldo de radiação a superfície – R_n foram destacados três pontos para verificar a acurácia dos dados estimados: (A) área com bioma Caatinga, (B) açude Serrinha e (C) área urbana de Serra Talhada, a localização dos alvos está representado na **Tabela 2**.

Tabela 2: Localização latitude e longitude dos pontos para análise.

Pontos	Latitude	Longitude
Serra do Arapuá (A)	8° 26' 26,28" S	38° 45' 32,62" O
Açude Serrinha (B)	8° 11' 29,25" S	38° 32' 1,87" O
Área urbana de Serra Talhada (C)	7° 59' 27,29" S	38° 17' 21,80" O

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os alvos selecionados para realizar a análise das componentes do R_n , foram extraídos das imagens geradas pelo algoritmo SEBAL e plotados na **Tabela 3**. De acordo com a **Tabela 3**, observa-se que o ponto (B) apresenta os menores valores de albedo, NDVI e Temperatura de superfície, ressalta-se que a extração deste ponto ocorreu sobre o corpo d'água, onde apresenta valores de NDVI negativo corroborando com valores encontrado por Oliveira (2012) que avaliou a variação do NDVI no Rio Madeira e Demarchi (2011) em estudo realizado no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP manuseando imagens Landsat-5. Eles encontram valores de NDVI entre -1 a -0,1 para corpos d'água (açudes, rios).

O ponto (C) apresenta os maiores valores de albedo e temperatura, tendo em vista que a substituição das áreas verdes por áreas impermeáveis como: estradas pavimentadas, casas, e calçadas aumentam o albedo dessa nova cobertura, além disso, aumenta a temperatura local, podendo causar o fenômeno das ilhas de calor urbano. O ponto (A) exibe os maiores valores de IVDN, destaca-se que a vegetação varia de acordo com a altitude na Serra do Arapuá, variando de espécies de cactos como: mandacaru e xiquexique, a árvores frutíferas como pinha, manga, etc. De acordo com Angelini (2015), as áreas construídas, áreas urbanas, e de solo exposto apresentam maiores valores de albedo da superfície, já áreas com vegetação densa apresentam menores valores. Ainda de acordo com Angelini (2015), a temperatura de superfície aumenta junto ao albedo nos diferentes uso e ocupação do solo da área urbana de Cuiabá, Mato Grosso, resultados similares são encontrados nesta pesquisa. A partir da avaliação da **Tabela 3** podemos observar que áreas urbanas, (C), apresenta os maiores valores de albedo e temperatura e áreas com vegetação, (A), apresenta menor albedo e temperatura, em que a diferença entre os locais citados está em torno de 4,69°C.

Tabela 3: Parâmetros instantâneos obtidos em três alvos. Para o dia 20 de setembro de 2016, para a Bacia do Rio Pajeú.

Pontos	Albedo (%)	NDVI	Temperatura de superfície (°C)
(A)	15,50	0,538	27,14
(B)	7,20	-0,295	24,85
(C)	30,00	0,189	34,77

Na **Figura 2** mostra o histograma das classes de R_n para o dia 20 de novembro de 2016 obtido através da imagem Landsat-8 e aplicação do algoritmo SEBAL. Onde se observa uma maior frequência na classe 410 – 455 $W.m^{-2}$, e menor frequência na classe $> 500 W.m^{-2}$. De acordo com Leivas *et al.* (2007) e Silva (2010) os menores (maiores) valores de R_n estão associados a maior (menor) albedo e menor (maior) NDVI, solo exposto (vegetação), que conseqüentemente terão menor (maior) energia para ser transformada em calor sensível e latente.

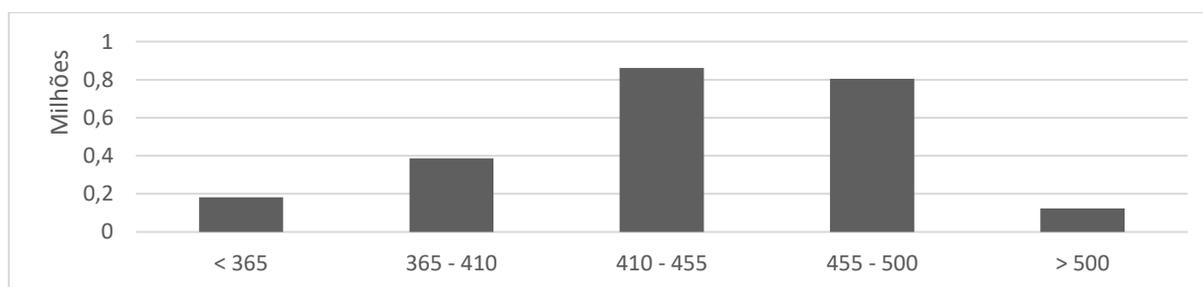


Figura 2: Histograma da frequência do Saldo de Radiação à superfície terrestre para a BH do Rio Pajeú, para o dia 20/09/2016.

Na **Figura 3** apresenta a distribuição do saldo de radiação à superfície para a bacia do Rio Pajeú, em 20 de setembro de 2016. A partir da análise do mapa do saldo de radiação, observa-se que os maiores valores sobre corpos d'água são superiores a 500 $W.m^{-2}$, o que ratifica os valores encontrados por Gomes (2009), que associou valores de saldo de radiação maiores aos corpos d'água; e Santos (2012), que correlatou valores similares. Os menores valores de saldo de radiação estão associados às áreas com vegetação, em que apresentam valores que variam entre 426 a 488 $W.m^{-2}$, relacionado a maior ou menor vigor vegetativo

relativo às alterações dessa variação do saldo de radiação. Esses resultados revalidam o estudo de Santos (2012) sucedido no baixo São Francisco, pois ele observou um aumento em área sem vegetação e uma redução nos valores de saldo de radiação e áreas com maior vegetação e menor saldo de radiação à superfície.

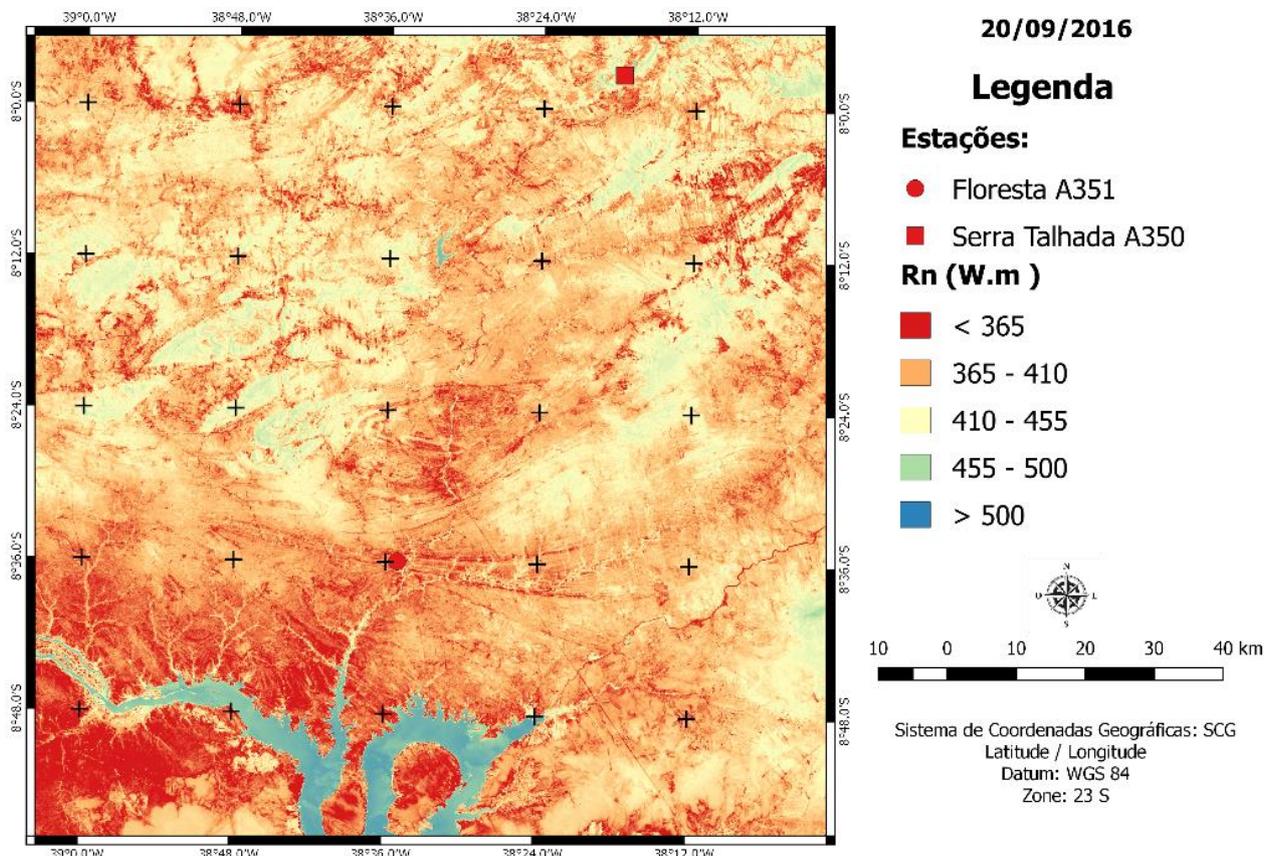


Figura 3: Mapa da distribuição espacial do saldo de radiação a superfície para a bacia do Rio Pajeú para o dia 20 de setembro de 2016, a partir da imagem do satélite Landsat-8.

Na **Tabela 4** são apresentados os componentes do saldo de radiação a superfície estimado a partir do algoritmo SEBAL e imagens do satélite Landsat-8, onde foi observado que o ponto (A) Serra do Arapuá apresentou valor de R_n de $513,85 \text{ W.m}^{-2}$ e o ponto (C) Área urbana de Serra Talhada apresentou o menor valor de R_n , $390,29 \text{ W.m}^{-2}$, que está associado a maiores valores de radiação de onda longa emitida e menor radiação de onda longa incidente, corroborando com os valores encontrados por Veloso (2014), que verificou as tendências da radiação de onda curta incidente interferem diretamente no saldo de radiação, pois quanto maior a incidência de radiação de onda curta maior será o saldo de radiação a superfície, além da interferência do uso e cobertura do solo e da interferência dos fluxos de calor no solo, latente e sensível.

Os valores de R_n são influenciados não apenas pela R_s mas também pelo uso e cobertura do solo, na **Tabela 4**, as componentes são apresentadas para diferentes coberturas de solo onde foi observado que as áreas com cobertura vegetal e corpos d'água (pontos (A) e (B)) são observados menores valores de radiação de onda longa emitida, valores inferiores ao observado em áreas urbanas (ponto (C)), assim, os valores de R_n observados em áreas urbanas são inferiores aos valores observados nos pontos (A) e (B). Ademais se observar também que os valores de radiação de onda longa emitida apresentam comportamento similar com menores valores nos pontos (A) e (B) e maiores no ponto (C), estes resultados são similares ao encontrados por Leivas *et al.* (2007), Amanajás (2013) e Veloso (2014).

Tabela 4: Componentes do balanço de radiação para três diferentes alvos, para o dia 20 de setembro de 2016, na Bacia do Rio Pajeú.

Pontos	R_s ($W.m^{-2}$)	$R_{ol,atm}$ ($W.m^{-2}$)	$R_{ol,emi}$ ($W.m^{-2}$)	R_n ($W.m^{-2}$)
(A)	736,64	347,76	443,12	513,85
(B)	727,18	339,27	440,45	568,43
(C)	728,22	383,83	485,05	390,29

Os valores do erro relativo às medições das estações em relação ao estimado pelo algoritmo SEBAL (**Tabela 5**) apresenta o erro variando entre 9% e 10 %, o qual é superior aos encontrados por Gomes (2009), que em seu estudo encontrou erro relativo em torno de 6% a 8 % para estudo realizado na Bacia do Rio Mogi-Guaçu. Ressalta-se que as áreas destacadas neste estudo apresentam características diferentes da encontrada no estudo de Gomes (2009), caracterizado por um regime pluviométrico diferentes da área abordada nesse estudo, além da diferença da latitude, e características do uso e cobertura do solo. Já Giongo (2011) encontrou valores de erro relativo em torno de 2 a 11% para a estimativa do saldo de radiação através das imagens Landsat-5, destaque para a imagem para o dia 13/09/2009 com erro relativo de 10,62%, imagem do mesmo período avaliado neste estudo que corroborou no erro relativo similar a encontrado neste estudo, verificando assim a acurácia das imagens Landsat-8 na estimativa do saldo de radiação.

Tabela 5: Valores do saldo de radiação instantâneo – R_n ($W.m^{-2}$) dos pontos das estações de Floresta e Serra Talhada obtidos através do SEBAL e medições das estações automáticas, com respectivos erros relativos (%).

Pontos	SEBAL	Medido	Erro relativo (%)
Floresta - A351	449,44	351,44	9,21
Serra Talhada -A350	383,82	406,92	10,45

4. CONCLUSÕES

Verifica-se a partir desta pesquisa que os resultados gerados apresentaram comportamento similar ao observado em pesquisas anteriores. No qual, o albedo e temperatura sobre corpos d'água e áreas vegetadas apresentaram valores inferiores aos observados em áreas urbanas. Cabe, também, ressaltar que o uso e ocupação do solo pode interferir diretamente no balanço de radiação à superfície.

A respeito das componentes radiativas do saldo de radiação à superfície verifica-se que a radiação de onda curta incidente, quanto maior sua incidência maior será o saldo de radiação à superfície. Porém, além da radiação de onda curta incidente deve-se verificar a radiação de onda longa incidente e emitida e o uso e ocupação do solo. Essas componentes a partir dos pontos destacados foram observadas que radiação de onda longa incidente e radiação de onda longa emitida em áreas de corpo d'água e vegetada apresentam valores inferiores ao observado em áreas urbana. Nessa perspectiva a impermeabilização do solo tem grande influência no balanço de radiação podendo afetar assim o microclima das áreas afetadas por estas alterações.

Salienta-se que a aplicação do algoritmo SEBAL junto as imagens do satélite Landsat-8 apresentam boa conformidade com a estimativa do saldo de radiação. Apresenta erro relativo associado às estações automáticas em torno de 9% a 11%. Desse modo evidencia que as imagens Landsat-8 podem ser empregadas para verificar o comportamento da radiação e, assim, melhor auxiliar no planejamento agrícola para aproveitamento dessa energia para as culturas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and User's Manual– Idaho Implementation**, version 1.0, 2002.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUSA, L. F.; OLIVEIRA, G. B. Estimativa do saldo de radiação à superfície em áreas de cerrado amazônico utilizando imagem Landsat 5 – TM. **Anais eletrônico... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. Foz do Iguaçu – PR. 2013.

- ANGELINI, L. P.; FAUSTO, M. A.; MUTZENBERG, D. M. S.; NASSARDEN, D. M. S.; DANELICHEN; V. H. M.; MARQUES, N. G.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S. Relação entre o albedo e temperatura da superfície estimados por sensoriamento remoto na área urbana de Cuiabá, Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVII, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: INPE, 2015.
- APAC (Agencia Pernambucana de Águas e Clima). **Bacias Hidrográficas: Rio Pajeú**. Recife-PE. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=20. Acesso em: 05 nov. 2016.
- Bastiaanssen, W.G.M. (1995). **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Tese de Doutorado, Wageningen Agricultural University, WageningenThe Netherlands. 273p.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin. Turkey. **Journal of Hydrology**. V. 229, p. 87-100. 2000.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **Raega – O espaço Geográfico em Análise**. Paraná, v.21p. 234-271, 2011.
- DUARTE, G. S.; COSTA, G. E.; OLIVEIRA, A. P.; BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. O uso da geometria do Landsat 8 como base para georreferenciamento semiautomático visando estudos espaços-temporais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVII, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: INPE, 2015.
- GIONGO, P. R. **Mapeamento do balanço de energia e evapotranspiração diária por meio de técnicas de sensoriamento remoto**. 2011. 122p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo (USO). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. São Paulo, 2011.
- GOMES, H. B. **Balanço de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. 2009. 125p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, 29 abr. 2009.
- 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. **Revista Geociências**. V. 28. N. 2, p. 153-164, 2009.
- HUETE, A. R. A. **Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**. Remote Sensing of Environment, v. 25, n. 3, p.205-309, Aug. 1988.
- LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens do satélite ASTER. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, p. 255-262. 2007.
- OLIVEIRA, L. C. B.; GUASSELLI, L. A.; ANTUNES, R. L. S. Variação espaço-temporal de NDVI no Rio Madeira, na área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio – RO. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.3, n.5 p. 1823-1832, 2012.
- SANTOS, F. B. **Estimativa do balanço de energia utilizando imagens do sensor TM/Landsat-5 no Baixo São Francisco**. 2012. 114p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Maceió, 2012.
- SILVA, A. P. N. Características do Saldo de radiação na Amazônia Ocidental. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, 2010. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém-PA, p.5, 2010.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252. 2005.
- Bernardo B. da Silva, Alexandra C. Braga, Célia C. Braga, Leidjane M. M. de Oliveira, Suzana M. G. L. Montenegro e Bernardo Barbosa Junior. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016. DOI: DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8>

- TASUMI, M. Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. PhD thesis, Dept. Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. Idaho, 2003.
- TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. L. Satellite-Based Energy Balance to Assess Within-Population Variance of Crop Coefficient Curves. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, 94-108 p., 2008.
- TUBELIS, A. E.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações**. São Paulo. Editora: Nobel. P.374. 1980.
- TUCKER, C. J.; TOWNSHEND, J. R. G.; GOFF, T. E. African land cover classification using satellite data. **Science**. V. 227, 369-375, 1985.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>. Acessado em: 22/02/2017.
- VELOSO, G. A. **Análise espaço temporal dos componentes do balanço de radiação, energia e evapotranspiração, usando técnicas de sensoriamento remoto em áreas irrigadas do projeto Jaíba-MG**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG. 2014.
- WELIGEPOLAGE, K. Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration bay satellite remote sensing – A casa study in Hupselse Beek, The Netherlands. 2005, 114 p, Dissertation (Master of Science), International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Wageningen, Netherlands, 2005.