



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO SALDO DE RADIAÇÃO INSTANTÂNEO EM BACIA HIDROGRÁFICA DA REGIÃO OESTE DA BAHIA

Elvis Bergue Mariz Moreira ^(a), ^(b) Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley

^(a) Centro das Humanidades, Universidade Federal do Oeste da Bahia,
elvis.moreira@ufob.edu.br

^(b) Instituto Federal de Alagoas/ Campus Penedo, lucassaw.13@gmail.com

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo

A quantificação da radiação disponível na superfície, saldo de radiação (Rn) proporciona o entendimento do particionamento em estudos do balanço de energia na baixa troposfera, destacando relevância no monitoramento do clima, culturas agrícolas, hidrologia e cobertura verde. Essa pesquisa objetivou analisar a distribuição espacial do saldo de radiação instantâneo na bacia hidrográfica do rio de Ondas – BA. Foram utilizadas duas imagens do satélite Landsat 8 OLI/TI nas datas 30/07/2016 e 20/10/2017. Os valores encontrados apresentaram variação do (Rn) entre < 348 a $> 534 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, com médias situadas nos intervalos $438 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ em 30/07/2016 e $479 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ na data 20/10/2017. As áreas onde há o intenso uso do solo destinado a agropecuária, eluidaram os menores valores do (Rn), enquanto as áreas com presença de vegetação e corpos hídricos destacaram a maior concentração de pixels com valores elevados. Os resultados encontrados apresentaram semelhança com a literatura pesquisada.

Palavras chave: Uso do solo, Fluxos de radiação, Áreas agrícolas



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

1. Introdução

A quantificação da radiação disponível na superfície, saldo de radiação (R_n) proporciona o entendimento do particionamento em estudos do balanço de energia na baixa troposfera (Bastiaanssen et al., 2005; Allen et al., 2007; Silva et al., 2012), destacando relevância no monitoramento do clima, culturas agrícolas, hidrologia e cobertura verde. Nesse sentido, o saldo de radiação (R_n) é o principal responsável no aquecimento do solo, ar e evapotranspiração de vegetação nativa (OLIVEIRA et al., 2014).

A obtenção do (R_n) pode ser realizado através do saldo radiômetro empregados em estações meteorológicas convencionais e automáticas, que realizam o cômputo dos fluxos de radiação de entrada e saída, em áreas com representação espacial pequena, portanto, realizam medições pontuais com elevada precisão. No entanto, são limitados em estudos regionais ou em áreas heterogêneas, além de possuírem custos elevados (GOMES et al., 2009; DI PACE et al., 2008). Diante disso, medições do saldo de radiação que representem os valores instantâneos espacializados em diversos tipos de coberturas são realizados através de sensores orbitais e técnicas de sensoriamento remoto que podem ser realizados com imagens de satélites obtidas gratuitamente.

A bacia hidrográfica do Rio de Ondas, localizada na região do oeste da Bahia, destaca-se com alto potencial hídrico e importante polo agropecuário em escala nacional, entretanto ao longo dos anos tem apresentado importantes modificações no uso e ocupação do solo, podendo assim influenciar na redução dos valores de radiação disponível na superfície.

Neste sentido, este trabalho objetivou analisar a influência do uso do solo na distribuição espacial do saldo de radiação instantâneo na bacia hidrográfica do rio de Ondas – BA, através dos sensores orbitais OLI/TI do satélite Landsat 8

2. Materiais e Métodos

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas – BA situada na região Oeste do Estado da Bahia, entre as coordenadas $11^{\circ}55'$ e $12^{\circ}34'$ de latitude sul e $46^{\circ}23'$ e $45^{\circ}0'$ de longitude oeste, (Figura 1). O limite da bacia compreende os municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, regiões em destaque no cenário nacional no setor do agropecuário e importante polos econômicos.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A região da bacia apresenta clima com variação de úmido a sub-úmido e de seco a sub-úmido, conforme classificação (AYOADE, 2007), com estações chuvosa concentrando-se entre os meses de outubro a abril e volumes de precipitações anuais entre 600mm a 1200mm, destacando a região oeste da bacia com os maiores volumes acumulados.

O período seco inicia entre os meses de abril a outubro onde o registro de precipitação fica próximo de 0,0 mm. O período da aquisição das imagens para estimativa não contemplou acumulado de precipitação, assim como nos três últimos meses que correspondem a data da passagem do satélite na região.

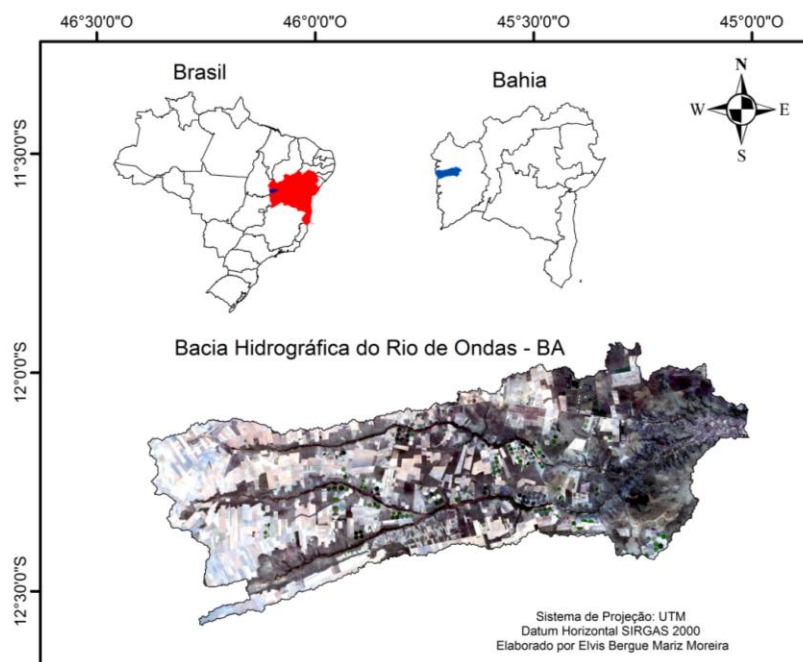


Figura 1. Imagem Landsat 8 (4,3,1), destacando a localização da Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas – B.

2.1 Processamento das imagens

Foram utilizadas duas imagens digitais gerada pelo sensores OLI/TIR a bordo do satélite Landsat 8, nos dias sequenciais do ano 211/2016 correspondendo a 30 de julho de 2016 e 294/2017 em 21 de outubro de 2017. Essas imagens passaram por etapas de empilhamento, reprojeção e mosaico, após essas etapas, iniciou-se a calibração e estimativa do balanço de radiação. O processamento desses



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

parâmetros foram realizados utilizando os softwares Erdas Imagine versão 9.3, já a elaboração dos mapas ocorreu no ArcGis versão 10.3.

Imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) foram utilizadas para delimitação do limite da bacia, assim como nas etapas de calibração para estimativa do albedo da superfície. Os dados do satélite Landat 8 e SRTMs foram obtidas gratuitamente no site da *United States Geological Survey* (USGS).

A seleção das imagens baseou-se na disponibilidade da cobertura espacial da área e no menor percentual de nebulosidade. Não foi registrada precipitação nas datas escolhidas, assim como nos três meses que antecederam a passagem do satélite na área em estudo.

O saldo de radiação R_n é uma variável fundamental para o cálculo do balanço de energia e que envolve a calibração radiométrica, cálculo da reflectância, albedo, índices de vegetação, emissividade e temperatura da superfície (SILVA et al., 2011), sendo calculado através da seguinte equação:

$$R_n = R_{S\downarrow}(1 - \lambda) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que $R_{S\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente em cada pixel, calculada através da equação:

$$R_{S\downarrow} = S \cdot \cos\theta \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (2)$$

onde S é a constante solar (1367 W m^{-2}); d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra – Sol (em unidade astronômica - UA), dada por Iqbal (1983):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} DSA \right) \quad (3)$$

em que DSA é o dia sequencial do ano

τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, que para as condições de céu claro é calculada em função da pressão atmosférica e da água precipitável (ASCE-EWRI, 2005; ALLEN et al., 2007a; GOMES et al., 2009; SILVA et al., 2011), sendo dada por:



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

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

A pressão atmosférica foi calculada por:

$$P = 101,3 \left(\frac{T_a - 0,0065Z}{T_a} \right)^{5,26} \quad (5)$$

em que: T_a (K) é a temperatura do ar, Z é a altitude da superfície que foi representada através do MDE (Modelo Digital de Elevação) local (m).

$$W = 0,14 * e_a P + 2 \quad (6)$$

é o albedo corrigido de cada pixel, é a radiação de onda longa emitida da atmosfera para superfície, é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ϵ_0 é a emissividade de cada pixel da cena estudada.

O albedo da superfície corrigido para os efeitos atmosféricos foi obtido através da equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}} \quad (7)$$

sendo α_{toa} o albedo planetário, α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04.

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície – $R_{L\downarrow}$ -foi calculada pela equação de Stefan-Boltzmann, em função da emissividade atmosférica - ϵ_a e da temperatura do ar - T_a obtida na estação meteorológica na área de estudo:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad (8)$$

Onde ϵ_a é a emissividade do ar, calculada pelo modelo de Bastiaanssen (1995), calibrado por Allen *et al.* (2002):



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

$$\varepsilon_a = 0,85 \cdot (\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (9)$$

O terceiro termo do balanço de radiação é representado pela radiação de onda longa emitida pela superfície – $R_{L\uparrow}$ obtida conforme a seguinte equação:

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

em que σ é a constante de Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), T_s é a temperatura da superfície, ε_0 é a emissividade de cada *pixel* calculada em função do IAF e SAVI. Essas etapas são encontradas em Moreira (2014).

3. Resultados e discussões

A Figura 2, apresenta os valores instantâneos do (R_n) à superfície da área em estudo, em imagens do OLI/TIR – Landsat 8, para os dias 30/07/2016 e 20/10/2017, respectivamente. As classes apresentaram variação do R_n entre < 348 a $> 534 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Os valores médios encontrados foram $438 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ em 30/07/2016 e $479 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ na data 20/10/2017, a variação em torno da média foi de 43 e 44 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ respectivamente, e mínimo de 302 e 330 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. Oliveira et al (2014), utilizando metodologia semelhante em imagens do MODIS, para Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá – PE, encontrou variação do R_n entre 400 a 700 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. As feições com intenso uso e ocupação do solo, sobretudo com fins para agricultura e pecuária, apresentaram variação entre 348 a 395 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, situados na cor verde. Justifica-se o baixo valor nessas feições alta reflexão da radiação, favorecendo assim um menor percentual disponível para aquecimento da superfície. Di Pace et al. (2008), utilizando imagens do TM Landsat 5 encontraram R_n de $431,4 \text{ W m}^{-2}$ em solo exposto.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

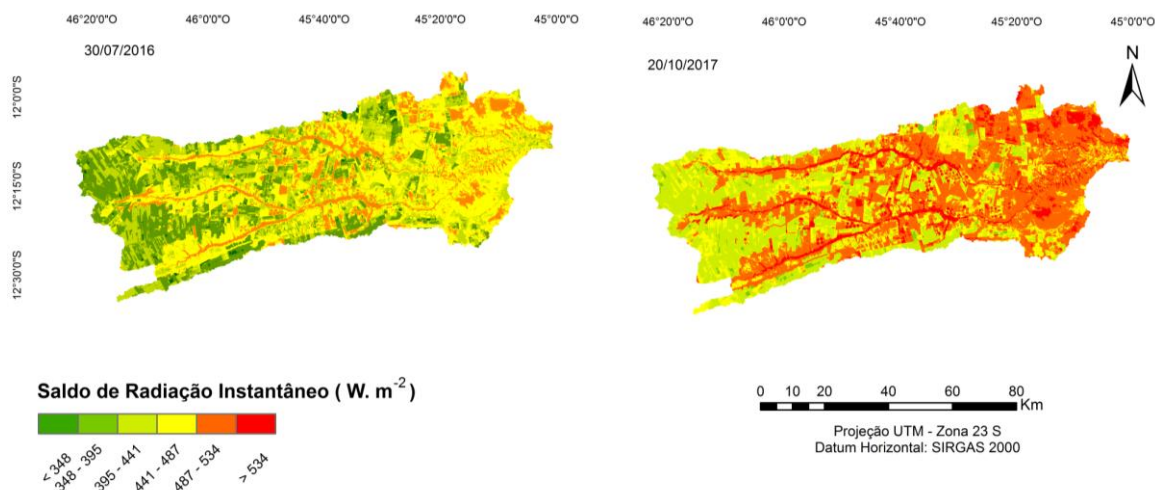


Figura 2. Imagens da distribuição espacial do (R_n) na bacia hidrográfica do rio de Ondas – BA em 30/07/2016 e 20/10/2017, respectivamente

As feições com presença de vegetação nativa, corpos hídricos e superfícies irrigadas, representadas nas classes em cor laranja e vermelho, valores elevados de radiação disponível para aquecimento da superfície e baixos de radiação refletida, destacaram intervalos situados entre 487 a 534 $W \cdot m^{-2}$ e $> 534 W \cdot m^{-2}$, respectivamente. Cavalvante et al. (2016), utilizando a mesma metodologia encontraram 731,8 e 797,14 $W \cdot m^{-2}$ em corpos hídricos.

Os valores intermediários, foram encontrados nas feições onde há o predomínio de cobertura verde de baixo porte e/ou agricultura sem uso de irrigação com pivôs, apresentaram intervalos entre 441 a 487 $W \cdot m^{-2}$, situados na classe amarela. As áreas onde o solo apresenta intensa ocupação destinado para agricultura de sequeiro ou nas feições com baixo percentual de vegetação, apresentou variação de 348 a 395 $W \cdot m^{-2}$.

A Figura 3 apresenta o percentual de pixels em cada classe do saldo de radiação nas respectivas datas. Analisando os valores e os comparado com as datas, verifica-se que as classes com maiores representações de R_n em percentuais de pixels, foram encontradas nos intervalos ($< 348 W \cdot m^{-2}$) e 487 – 534 $W \cdot m^{-2}$, com percentuais superiores a 29% no ano de 2016, enquanto o ano de 2017 apresentou nas classes 395 – 441 (30%), e 441 – 487 $W \cdot m^{-2}$ (35%). Evidenciou redução de 29% no intervalo < 348 entre o ano de 2016 a 2017 e um aumento de 25% na classe 395 – 441 $W \cdot m^{-2}$. A



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

classe com maior valor do saldo ($> 534 \text{ W. m}^{-2}$) apresentou aumento de 29% entre as datas, já a classe com o menor valor (348 W. m^{-2}) destacou redução de 29%.

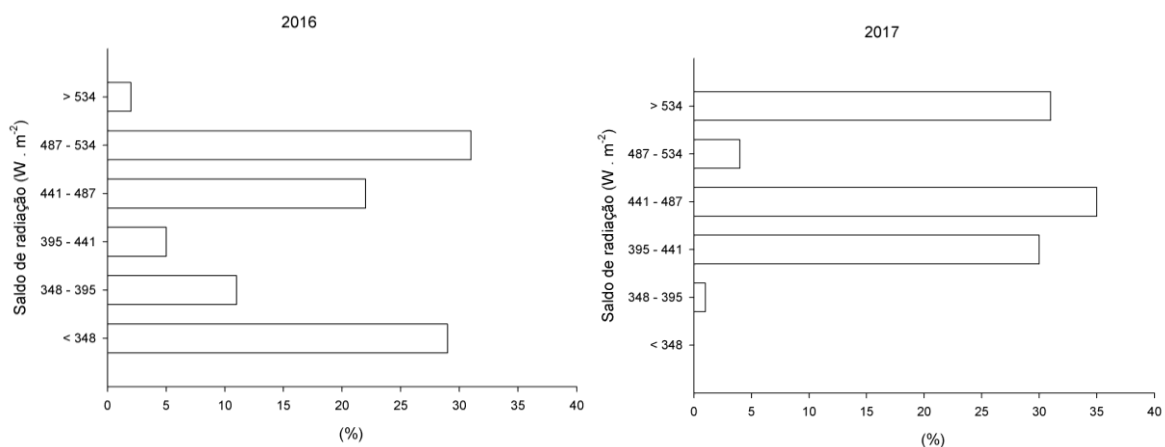


Figura 3. Percentual das classes de pixels do Rn em 20/07/2016 (a) e 20/10/2017 (b), respectivamente.

Foram selecionados e correlacionados (R^2) os valores do Rn e NDVI nos seguintes alvos: Pivô de irrigação, Solo exposto, Veredas, Cerrado, Área urbana e Agricultura de sequeiro nos 2016 e 2017, conforme Figura abaixo. Os alvos representados pelas Veredas e Cerrado, apresentaram Rn superiores a 500 W. m^{-2} e com NDVI $> 0,5$, enquanto no alvo área urbana foi encontrado o menor valor do Rn com 400 W. m^{-2} e 460 W. m^{-2} , 2016 e 2017, respectivamente. Nesse alvo o valor do NDVI ficou próximo de 0,0 %, seguido dos alvos Agricultura de sequeiro e Solo exposto, com NDVI $< 0,2\%$. O Rn nesses alvos no ano de 2016 foi $< 375 \text{ W. m}^{-2}$, já em 2017 os valores apresentaram um aumento de 42 W. m^{-2} . Esses resultados apresentaram uma forte correlação entre os maiores valores NDVI impulsionando altos valores de Rn nos dois períodos analisados, destacando (R^2) 0,8519 e 0,8068, nos respectivos anos analisados. Esse fato ocorre devido a resposta espectral da vegetação possuir características de absorção de radiação, ocasionando menor albedo e maior concentração de radiação disponível para o Rn.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

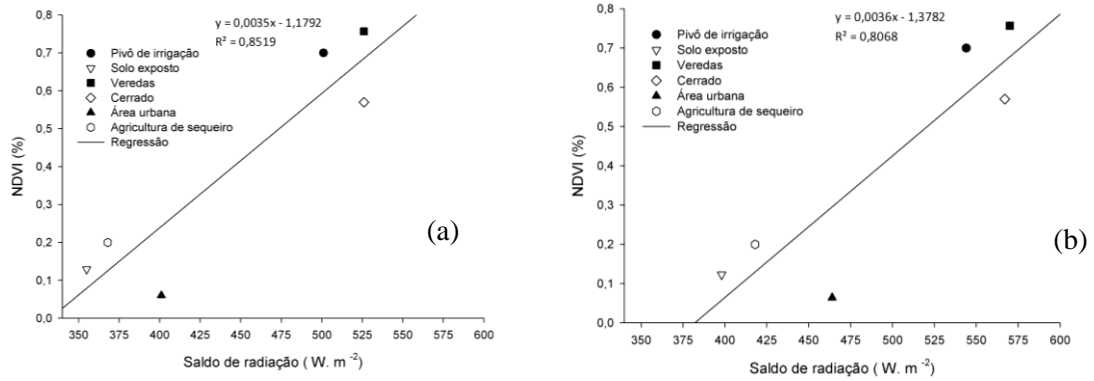


Figura 4. Correlação de alvos do (Rn) e NDVI em 30/07/2016 (a) e 20/10/2017(b).

A Figura 5 apresenta os valores médios do (Rn) e albedo da superfície em seis alvos distintos. As áreas que apresentam os menores percentuais de radiação refletida, na distribuição espacial do Rn, a relação entre os valores médios dos pixels do (Rn) e Albedo da superfície em seis alvos no período analisado foi representado na Figura 5.

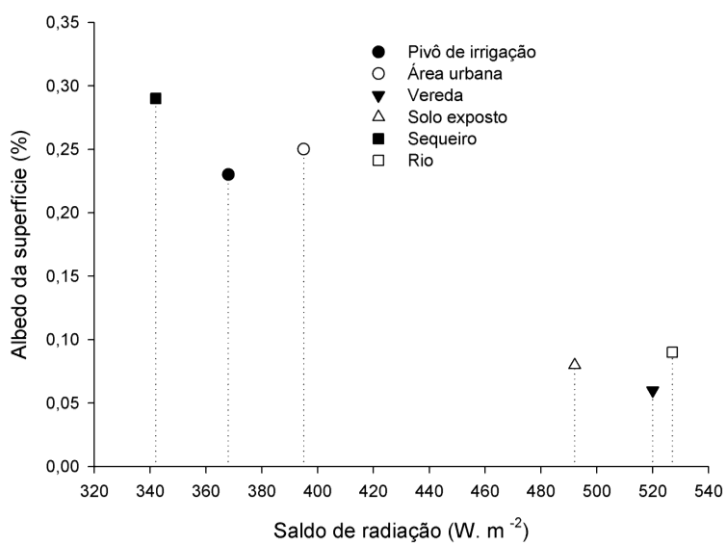


Figura 5. Valores médios de pixels do Rn e Albedo da superfície em seis feições do uso do solo.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Conforme observado, as feições com valores do R_n superior a 490 m^{-2} apresentaram albedo $< 0,9\%$, comportando-se como esperado para alvos com alta absorção de radiação e baixo percentual de radiação refletida. Já os alvos, com valores do $R_n < 400 \text{ m}^{-2}$, destacaram-se com albedo $> 0,23$. Nesses alvos o maior percentual de radiação é refletido para a atmosfera, favorecendo assim a menor quantidade de radiação na superfície, esse baixo percentual modula o comportamento do saldo.

4. Considerações Finais

O saldo de radiação instantâneo na bacia hidrográfica do rio de Ondas, estimado por imagens Landsat 8, representou satisfatoriamente a distribuição espacial dos diversos tipos de coberturas, possibilitando relacionar o comportamento da radiação disponível na superfície com os diferentes usos do solo na área em análise. As áreas onde há o intenso uso do solo destinado à agropecuária, apresentaram os menores valores do saldo de radiação, enquanto as áreas com presença de vegetação e corpos hídricos destacaram a maior concentração de pixels com valores elevados.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R., TASUMI, M., TREZZA, R. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Advanced training and Users Manual. Idaho implementation, version 1.0, 2002. 98p.

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.133, p. 380-394, 2007a.

ASCE-EWRI - American Society of Civil Engineers - Environmental and Water Resources Institute. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Rep., ASCE, 2005.

AYOADE, J. Introdução à Climatologia para os Trópicos. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos, 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 322p. 2007.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

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*, v.131, p.85–89, 2000.

CAVALCANTE, L. BARBOSA.; INÁCIO, A. S.; BARROS, G. H.; JIMÉNEZ, R. M. N. Cálculo do Saldo de Radiação Pelo Algoritmo Sebal na Porção do Baixo-Médio São Francisco, Brasil, Utilizando Um Software de Código Livre. *Revista Brasileira de Cartografia* (2016), No 68/8: 1515-1529.

DI PACE, F. T.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R.; SILVA, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.385-392, 2008.

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

IQBAL, M. *An Introduction to Solar Radiation*. Toronto: Academic Press Canada, 1983. 390 p.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B. da.; RIBEIRO, E. P. O modelo SEBAL para estudos de clima intraurbano: aplicação em Recife, Pernambuco, *Raega*, v. 39, p.247–265, 2017.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. da.; ANTONINO, A. C. D.; Moura, A. E. S. S. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.18, n.10, p.1039–1046, 2014., 2002. 24 p.

SILVA, B. B da., BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. *Revista Caatinga*, v.24, n.3, p.145-152, 2011.