



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), Eberson Pessoa Ribeiro ^(b), Lucas Suassuna de
Albuquerque Wanderley ^(c), Henrique dos Santos Ferreira ^(d)

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

^(b) Instituto Federal de Pernambuco/ Campus Recife, eberson_pessoa@yahoo.com.br

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

^(d) Universidade Federal de Pernambuco/Campus Recife, henriquehsf86@hotmail.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/TIR nas datas 30/07/2016 e 20/10/2017 e técnicas de sensoriamento remoto. Os valores encontrados apresentaram variação do (Rn) entre (< 371) a ($> 572 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), as áreas onde há o intenso uso do solo destinado a agricultura e pecuária destacaram os menores intervalos, enquanto as feições com presença de vegetação nativa, corpos hídricos e áreas irrigadas com pivôs, destacaram maior participação nos valores do Rn. Os diferentes tipos de coberturas modularam a distribuição espacial dos valores na bacia em ambos os anos.

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/TIR 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.

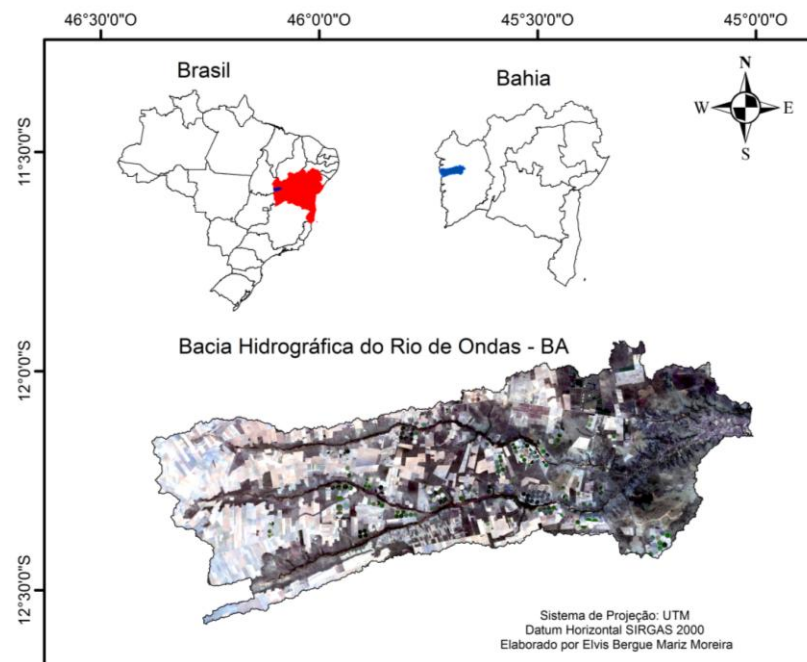


Figura 1. Imagem Landsat 8 (4,3,1), destacando a localização da Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas – B.

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, posteriormente 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

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

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).

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

λ é o albedo corrigido de cada pixel, ϵ_0 é a radiação de onda longa emitida da atmosfera para superfície, ϵ_a 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:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (7)$$

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

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

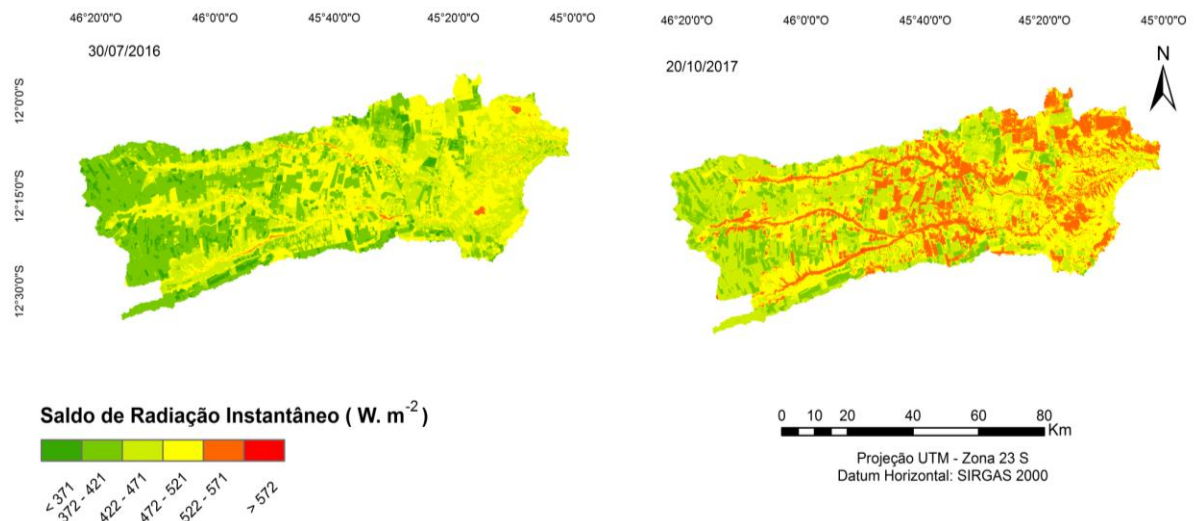
O terceiro termo do balanço de radiação é representado pela radiação de onda longa emitida pela superfície – $R_{L\uparrow}$ obtida conforme a seguinte equação:

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

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 (Rn) à superfície em imagens do OLI/TIR – Landsat 8, para os dias 30/07/2016 e 20/10/2017, respectivamente. Os valores encontrados apresentaram variação de (< 371) a ($> 572 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Os valores médios encontrados foram 438 e $479 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, em 2016 e 2017, respectivamente, e com variação em torno da média de $43 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ em 2016 e $44 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 2017 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 Rn entre 400 a $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.





XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

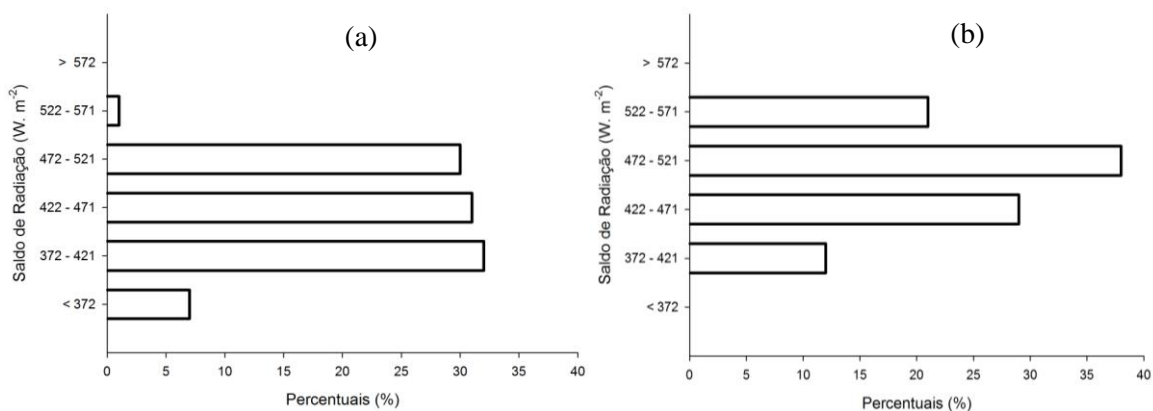
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Figura 2. Imagens da distribuição espacial do (Rn) 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 522 a 571 $W \cdot m^{-2}$ e $> 572 W \cdot m^{-2}$, 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 áreas onde há o predomínio de cobertura verde de baixo porte e/ou agricultura sem uso de irrigação com pivôs, apresentaram intervalos entre 472 a 521 $W \cdot m^{-2}$, 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 os percentuais das classes de pixels do Rn nos respectivos anos. A classe que apresentou os maiores intervalos ($> 572 W \cdot m^{-2}$) não houve representação significativa, verificou-se aumento de 20% de pixels do Rn situados na classe com elevada presença de cobertura verde e áreas irrigadas, intervalos de 522 – 571 $W \cdot m^{-2}$ no ano de 2017. No ano de 2016 a classe com maior representação do Rn, 472 – 521 $W \cdot m^{-2}$ elucidou 39% do total dos pixels da imagem.





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

Nas feições onde ocorre intenso uso do solo com elevada supressão da cobertura verde, apresentaram redução do total de pixels em já o intervalo onde ocorre intenso uso do solo os menores valores ($< 321 \text{ W. m}^{-2}$) apresentaram 7% dos pixels do Rn em 2016, e sem representação no ano de 2017. Evidenciou aumento de 8% na classe $472 - 521 \text{ W. m}^{-2}$ no ano de 2017 e, redução de 20% nos intervalos $372 - 421 \text{ W. m}^{-2}$.

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 $\text{NDVI} > 0,5$, 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 $\text{NDVI} < 0,2\%$. 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 do NDVI que impulsionou altos valores de Rn nos dois períodos analisados, destacando (R^2) 0,8519 (30/07/2016) e 0,8068 (20/10/2017). 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.

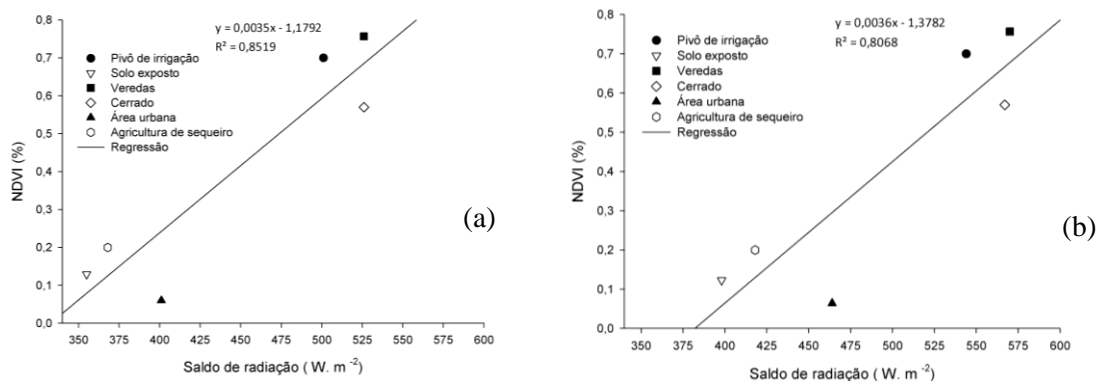


Figura 4. Correlação de alvos do (Rn) e NDVI em 30/07/2016 (a) e 20/10/2017(b)



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 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.

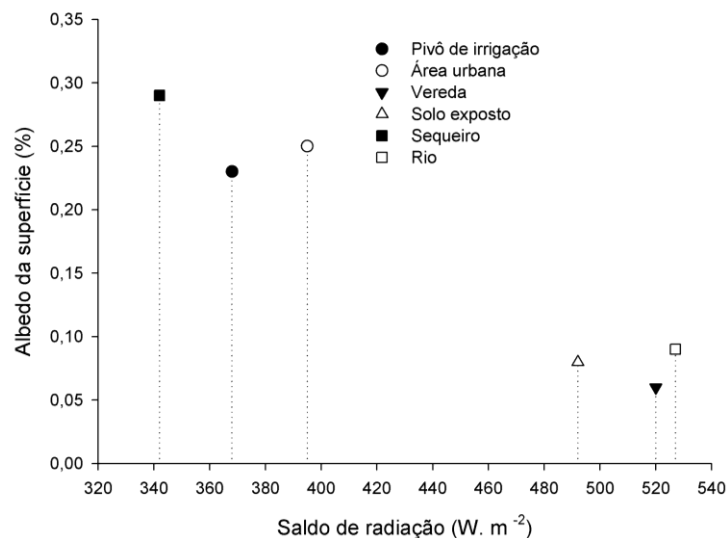


Figura 5. Valores médios de pixels do Rn e Albedo da superfície em seis feições do uso do solo

As feições com valores do Rn superior a 490 W. m⁻² apresentaram albedo < 0,9% , comportando esperado para alvos com alta absorção de radiação e baixo percentual de radiação refletida. Já os alvos, com valores do Rn < 400 W. m⁻², destacaram albedo > 0,23. Nesses alvos o maior percentual de radiação é refletido para 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,



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

possibilitando relacionar o comportamento da radiação disponível na superfície com os diferentes usos do solo. As áreas onde há o intenso uso do solo destinado a agricultura e pecuária apresentaram os menores valores, enquanto as feições com presença de vegetação nativa, corpos hídricos e superfícies irrigadas com pivôs, a maior participação nos valores do R_n . Os diferentes tipos de coberturas modularam a distribuição espacial dos valores na bacia em ambos os anos.

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.

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.



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

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.