

BALANÇO DE RADIAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO SÃO GONÇALO - PB MEDIANTE IMAGENS ORBITAIS¹

BERNARDO BARBOSA DA SILVA^{2*}, ALEXANDRA CHAVES BRAGA³, CÉLIA CAMPOS BRAGA²

RESUMO – O saldo de radiação é de grande importância em estudos relacionados às trocas de energia e massa entre a superfície terrestre e a atmosfera, embora não seja medido rotineiramente nas redes de estações meteorológicas. Nesse sentido, o uso de imagens orbitais na última década tem sido cada vez mais utilizado na sua determinação. O presente estudo teve por objetivo a determinação do balanço de radiação no Perímetro Irrigado São Gonçalo - PISG e áreas adjacentes por meio de imagens orbitais e alguns dados da estação meteorológica instalada no interior do PISG. Foram utilizadas imagens do Mapeador Temático do Landsat 5 disponíveis no ano de 2008 e procedimentos do SEBAL – Surface Energy Balance Algorithm for Land. Mapeou-se o albedo e o saldo de radiação instantâneo, e selecionaram-se alvos na área de estudo para avaliar o comportamento de diferentes componentes do balanço de radiação em diferentes tipos de cobertura do solo. Observou-se que as águas do Açude de São Gonçalo apresentaram albedo na faixa de 3,3 a 7,5%, enquanto que no solo com baixa cobertura vegetal o albedo oscilou entre 32 e 38,7%, ao longo dos dias estudados. No pomar de coqueiros irrigados o mesmo variou de 15,0 a 18,7%, enquanto que o saldo de radiação do açude e pomar se mostrou sistematicamente superior ao das outras áreas. Concluiu-se que as áreas irrigadas sistematicamente apresentam menor albedo e temperatura da superfície e, conseqüentemente, maior saldo de radiação, contribuindo para diminuir a temperatura do ar localmente.

Palavras-chave: Saldo de radiação. Albedo. Temperatura da superfície. Radiação de onda longa. Radiância espectral.

RADIATION BALANCE IN SÃO GONÇALO IRRIGATED PROJECT USING SATELLITE IMAGES

ABSTRACT - The net radiation is of great importance in studies related to energy and mass exchanges between the land surface and atmosphere, although it is not measured routinely in a meteorological network. In this sense, the use of satellite images over the last decade has been increasingly used for its determination. The present study aimed at determining the radiation balance in the Irrigated São Gonçalo Project - PISG and surrounding areas based on satellite images and a few meteorological data measured within the PISG. Landsat 5 Thematic Mapper images available in 2008 and procedures of SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land were used for mapping albedo and net radiation. Three selected areas into the study scene were used to discuss the behavior of different components of the radiation balance under different soil cover types. It was observed that the waters of São Gonçalo dam presented albedo in the range of 3.3 to 7.5%, while in the soil with low vegetation cover the albedo ranged between 32 and 38.7% over the studied period. In the irrigated coconut orchard the albedo ranged between 15.0 to 18.7%, while the net radiation values over the dam and the coconut orchard were consistently higher than those in other areas. It was concluded that the irrigated areas have lower albedo and surface temperature and thus increased net radiation, contributing to reduce the air temperature locally.

Keywords: Net radiation. Albedo. Land surface temperature. Global solar radiation. Spectral radiance.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 05/10/2010; aceito em 05/01/2011.

²Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da UFCG, Caixa Postal 10041, 58.429-140, Campina Grande – PB; bernardo@dca.ufcg.edu.br; celia@dca.ufcg.edu.br

³Programa de Pós-graduação em Meteorologia da UFCG, Caixa Postal 10041, 58.429-140, Campina Grande – PB; alexandracbraga@gmail.com

INTRODUÇÃO

O saldo de radiação - Rn sintetiza a contabilidade dos fluxos radiativos descendentes e ascendentes, de onda curta e onda longa, que interagem com a superfície terrestre. Essa variável é essencial em estudos do balanço de energia, sendo de grande importância no monitoramento do clima, previsão de tempo, modelagem hidrológica e meteorologia agrícola (BISHT et al., 2005). O Rn não é usualmente medido em estações meteorológicas, uma vez que depende muito da natureza da superfície e, portanto, sofre grande influência do albedo e temperatura da superfície. Com maior frequência são realizadas medições de Rn em estudos destinados à obtenção das componentes do balanço de energia (AZEVEDO et al., 2003 e 2007; SILVA et al., 2007; ZHANG et al., 2008). Tais medições são representativas de condições específicas de cada cultura e quando há interesse na sua determinação em áreas heterogêneas, pode-se recorrer ao sensoriamento remoto. Nesse sentido, Silva et al. (2005) obtiveram Rn em áreas do Semiárido brasileiro, enquanto Di Pace et al. (2008) avaliaram o impacto da topografia no cômputo do Rn. Já Gomes et al. (2009) investigaram alterações que a substituição da vegetação nativa por culturas agrícolas e floresta de crescimento rápido provoca nos balanços de radiação e energia.

Em várias aplicações são necessários valores do Rn diário e para tanto são usados, além das imagens, alguns dados de superfície, particularmente, de radiação solar global diária (BASTIAANSEN et al., 1998; BEZERRA et al., 2008; LI et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2009). BISHT et al. (2005) inovaram ao mapear Rn apenas com produtos MODIS. Uma restrição ao uso dessa metodologia é que a mesma é válida apenas para dias sem ocorrência de nebulosidade e por considerar Rn nulo em todo o período noturno.

Parametrizações têm sido desenvolvidas na estimativa de componentes do balanço de radiação a partir da temperatura e umidade do ar (BRUTSAERT, 1975; PRATA, 1996; SRIDAR; ELLIOT, 2002). Souza et al. (2008) propuseram modelo estocástico para a radiação solar, enquanto Tan e Li (2008) e Wang e Liang (2009) empregaram imagens no cômputo da radiação atmosférica e saldo de onda longa instantâneo. As validações resultantes demonstram ser possível obter com precisão Rn instantâneo, apenas com imagens orbitais. A extrapolação de Rn instantâneo em valor diário tem validade apenas para dias com total ausência de nuvens, o que torna sua aplicação bastante restrita. Deste modo, o Rn diário que conjuga imagens orbitais com dados de superfície apresenta resultados bem mais confiáveis e de grande cunho prático (SILVA et al., 2005; ALLEN et al., 2007).

Interações entre componentes do balanço de radiação condicionam as trocas de calor e massa entre superfície e atmosfera e possibilitam identificar alterações naturais ou antrópicas decorrentes de mudanças no uso do solo. Em diversos projetos irrigados do planeta tais mudanças são capazes de com-

prometer a fertilidade do solo com sua salinização, que resulta em aumento no albedo e temperatura da superfície. Essas alterações podem resultar em mudanças climáticas localmente e, portanto, deve-se investigar se imagens de média resolução espacial são capazes de detectá-las. Nesse sentido, o presente estudo tem por objetivo a determinação de diferentes componentes do balanço de radiação no PISG e suas adjacências, por meio de imagens TM – Landsat 5 e procedimentos do SEBAL, e as implicações climáticas localmente decorrente das áreas irrigadas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Perímetro Irrigado São Gonçalo – PISG, formado principalmente por fruticultura irrigada, açude de São Gonçalo (com capacidade hídrica de 44,6 milhões m³), áreas de vegetação nativa e agricultura de sequeiro (Figura 1). O recorte selecionado para a pesquisa possui 17,2 mil hectares, com destaque para os rios Piranhas e do Peixe. O clima da região de estudo é classificado como semiárido, tipologia DdA', segundo classificação de Thornthwaite (VAREJÃO-SILVA et al., 1984), com estação chuvosa concentrada no período fevereiro a maio. As médias anuais de temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial - ETp são respectivamente iguais a 25,3 °C, 995,5 mm e 1480 mm. Os solos predominantes na área são Latossolos e Cambissolos e a vegetação natural é classificada como Contato Caatinga-Floresta Estacional e Formações Pioneiras com Influência Fluvio-marinha (IBGE, 1985).



Figura 1. Recorte da área de estudo com destaque para o Perímetro Irrigado São Gonçalo, Sousa, PB, rios do Peixe e Piranhas e o Açude da São Gonçalo, em combinação RGB123 de imagem TM – Landsat 5 de 01 de novembro de 2008.

Foram obtidas imagens geradas pelo Mapeador Temático – TM do satélite Landsat 5, órbita 216 e ponto 65, junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Cada imagem é composta de sete bandas espectrais com resolução espacial de 30 m x 30 m, exceto a banda 6 (banda termal), que possui resolução de 120 m x 120 m. A passagem do Landsat 5 na área de estudo ocorreu aproximadamente às 09h30 (tempo local) dos dias estudados. Dados empregados no cômputo de diferentes componentes do balanço de radiação estão representados na Tabela 1.

Na determinação do saldo de radiação instantâneo à superfície foram utilizados procedimentos do algoritmo SEBAL – Surface Energy Balance Algori-

thm for Land (BASTIAANSEN et al., 1998; ALLEN et al., 2002; SILVA et al., 2005), sintetizado no diagrama da Figura 2, que representa as etapas de cômputo das diferentes componentes do balanço de radiação. Informações adicionais sobre a obtenção da radiancia, reflectância, índices de vegetação, emissividade, temperatura da superfície e albedo podem ser encontradas em Allen et al. (2002), Silva et al. (2005), Santos e Silva (2008) e Gomes et al. (2009).

Conforme a Figura 2, a primeira etapa do balanço de radiação consiste na determinação da radiancia, seguida da reflectância e dos índices de vegetação. Com estes, calcularam-se as emissividades e a temperatura da superfície (T_{sup}).

Tabela 1. Dados das imagens do TM, ângulo de elevação do Sol - E (grau), quadrado da razão entre a distância Terra-Sol e seu valor médio - d_r , sen E, temperatura do ar - T_a (°C), umidade relativa - UR (%), pressão atmosférica - p_o (kPa), radiação solar instantânea ($W m^{-2}$) e transmitância atmosférica (-) no momento da passagem do satélite na área de estudo.

Data	E (grau)	d_r	sen E	T_a (oC)	UR (%)	p_o (kPa)	$R_{s,ist}$ (Wm^{-2})	$\tau_{oc,ins}$
29/agosto	54,70	0,9824	0,8161	29,1	46,2	98,1	808,0	0,737
14/setembro	58,16	0,9906	0,8495	29,2	47,1	98,9	851,0	0,740
1/novembro	62,06	1,0169	0,8834	29,5	45,0	98,7	914,0	0,744
17/novembro	60,52	1,0240	0,8705	28,6	46,3	98,3	909,0	0,745
19/dezembro	56,47	1,0323	0,8336	29,6	47,5	93,4	867,0	0,737

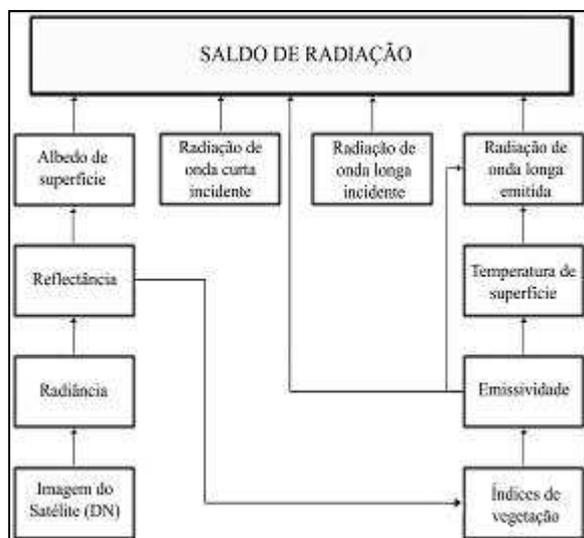


Figura 2. Diagrama das etapas computacionais do processamento de obtenção do saldo de radiação à superfície – R_n .

Na etapa de cálculo da radiação de onda longa emitida pela superfície - $R_{L\uparrow}$ ($W m^{-2}$) foi utilizada a equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_{sup}^4 \dots\dots\dots(1)$$

em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$), ϵ_0 a emissividade (-) e T_{sup} a

temperatura da superfície (K). Na sequência foi obtida a radiação solar incidente - $R_{S\downarrow}$ ($W m^{-2}$), que representa o fluxo de radiação solar (direta mais difusa) que atinge a superfície terrestre, que para condição de céu claro é dada por (BASTIAANSEN, 2000; ALLEN et al., 2007; SILVA et al., 2005):

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

em que S é a constante solar ($1367 W m^{-2}$), z é o ângulo zenital do Sol, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e τ_{sw} é a transmitância atmosférica no domínio da radiação solar, dada por (ALLEN et al., 2007):

$$\tau_{sw} = 0,35 + 0,627 \exp \left[\frac{-0,00146 p_o}{k_t} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos z} \right)^{0,4} \right] \dots\dots(3)$$

em que p_o é a pressão atmosférica (kPa), W a água precipitável ($g cm^{-2}$) e K_t coeficiente de turbidez atmosférica. A radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície - $R_{L\downarrow}$ ($W m^{-2}$) também foi obtida através da equação de Stefan-Boltzmann com emissividade atmosférica dada por:

$$\epsilon_{atm} = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{sw})^{0,09} \dots\dots\dots$$

e temperatura do ar - T_{ar} (K) medida na estação meteorológica do Perímetro Irrigado São Gonçalo. Por fim, foi obtido o saldo de radiação instantâneo à superfície - R_n ($W m^{-2}$) pela equação (ALLEN

et al., 2002; SILVA et al., 2005; BEZERRA et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2009):

$$Rn = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (4)$$

em que $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente ($W m^{-2}$), α é o albedo corrigido de cada pixel (-), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel ($W m^{-2}$), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel ($W m^{-2}$) e ε_o é a emissividade de cada pixel (-). Já o saldo de radiação diário - Rn_{24h} ($W m^{-2}$) foi obtido mediante modelo calibrado para condições verificadas no semiárido brasileiro por Teixeira et al. (2009):

$$Rn_{24h} = Rs (1 - \alpha) - 143 \tau_{24h} \dots \dots \dots (5)$$

em que Rs ($W m^{-2}$) é a radiação solar diária medida em estação meteorológica interior à área de estudo e τ_{24h} é a transmitância atmosférica média diária (-). Para converter o saldo diário - Rn_{24h} em $MJ m^{-2}$, usado em várias aplicações, multiplicar o Rn_{24h} (Equação 5) pelo fator 0,0864.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão representados os mapas temáticos do albedo relativos aos cinco dias selecionados para a pesquisa. As áreas em tons azuis representam áreas com menores valores, tendo seu mínimo sido registrado no espelho d'água do Açude de São Gonçalo, com albedo da ordem de 5%. Os maiores valores estão representados nas áreas em tons avermelhados, com máximos situados em áreas com baixa cobertura vegetal e na zona urbana da cidade de Sousa. No entanto, no dia 17 de setembro (Figura 3b) há presença marcante de nuvens sobre o nordeste da área de estudo com valores bem superiores aos obtidos nas demais áreas do PISG (em cor vermelha). Nos mapas de agosto e setembro percebe-se clara predominância do azul, resultante da contribuição proporcionada pela umidade estocada no solo durante a estação chuvosa local.

Nos dias seguintes, há um aumento perceptível do albedo da cena como um todo, destacando-se vários pixels com tons avermelhados. Nas áreas irrigadas do PISG há maior estabilidade do albedo, resultante das culturas perenes que predominam na área, principalmente coqueiro e bananeira. Esses valores estão de acordo com os encontrados por Silva et al. (2005) e Silva et al. (2008), em áreas irrigadas do projeto Nilo Coelho em Petrolina - PE e áreas de Quixeré - CE, respectivamente. Na espacialização do albedo do dia 14 de setembro percebe-se clara semelhança com a do dia 29 de agosto, exceto pela presença marcante de nuvens no mapa de setembro, com correspondente diminuição do albedo nas áreas sombreadas por essas nuvens, o que evidencia a ocorrência de pixels com valores de albedo muito baixos, ou seja, inferiores a 5%. É oportuno registrar que na sombra das nuvens, há efetiva diminuição na

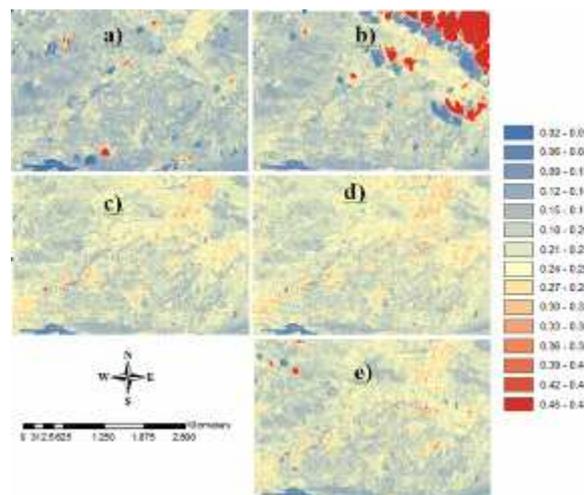


Figura 3. Mapas temáticos do albedo para os dias: (a) 29 de agosto, (b) 14 de setembro, (c) 01 de novembro, (d) 17 de novembro e (e) 19 de dezembro de 2008.

intensidade da radiação solar global; portanto, a radiação solar refletida por tais áreas será menor do que ocorreria na ausência das nuvens. Como se admitiu ser a radiação solar global instantânea constante em toda a cena de estudo resulta que o albedo das áreas sombreadas está subestimado. Na representação do dia 01 de novembro (Figura 3c), há uma presença muito maior de pixels com albedo superior a 25%. Nas áreas irrigadas, não bem definidas na Figura 3, predominam valores de albedo na classe de 15 a 20%. Silva e Bezerra (2006) observaram em duas imagens TM - Landsat 5, de dezembro de 2000 e outubro de 2001, para o lago de Sobradinho na Bahia, trechos a montante do Rio São Francisco e demais açudes da cena de estudo, valores de albedo que variaram de 7% a 14%, com uma média de 11%. Para algumas áreas irrigadas com frutíferas e vegetação nativa típica do bioma Caatinga, foram observados valores ligeiramente superiores aos obtidos neste estudo. As duas imagens utilizadas apresentaram, ainda, para solos desprovidos de cobertura, albedos superiores a 28%. Estes valores corroboram com os encontrados por Gomes et al. (2009) na reserva Cerrado Pé de Gigante, em São Paulo, que em áreas com grande exposição do solo os valores do albedo ficaram na faixa de 24 a 27%.

Na Figura 4 estão representados os mapas temáticos do saldo de radiação instantâneo - Rn ($W m^{-2}$). Observa-se que nos dias 20 de agosto (Figura 4a) e 14 de setembro (Figura 4b) há grande semelhança nos valores e padrões apresentados, exceto pela presença de nuvens e sombras correspondentes, principalmente na imagem de setembro. No entanto, nos demais dias estudados percebe-se grande destaque no valor do saldo das culturas irrigadas (valores entre $700 - 750 W m^{-2}$) do PISG e no espelho d'água do açude de São Gonçalo, os valores de Rn chegam a superar os $750 W m^{-2}$, resultante dos baixos valores do albedo e da T_s . Gomes et al. (2009) encontraram valores de $731 W m^{-2}$ para espelho d'água na reserva Cerrado Pé de Gigante em São Paulo, enquanto Silva et al. (2005) obtiveram valores próximos para o lago de Sobradinho na Bahia.

Os saldos das áreas em cor vermelha mais intensa compreendem pixels com marcante presença de nuvens. Deve-se observar, no entanto, que as sombras provocadas pelas nuvens (Figura 4b) possuem albedo subestimado, conforme já explicado anteriormente, o que resulta em aumento no R_n que não retratam adequadamente o valor esperado nessas mesmas áreas. As áreas em vermelho menos intenso são relativas a áreas com baixa cobertura vegetal e a área urbana da cidade de Sousa. Bastiaanssen et al. (1998) obtiveram valores de R_n na bacia do rio Heihe na China da ordem 650 W m^{-2} em oásis e 400 W m^{-2} nas áreas desérticas. Em outro estudo na bacia de Gediz na Turquia, Bastiaanssen (2000) obteve valores de R_n que variaram entre 300 W m^{-2} e 600 W m^{-2} .

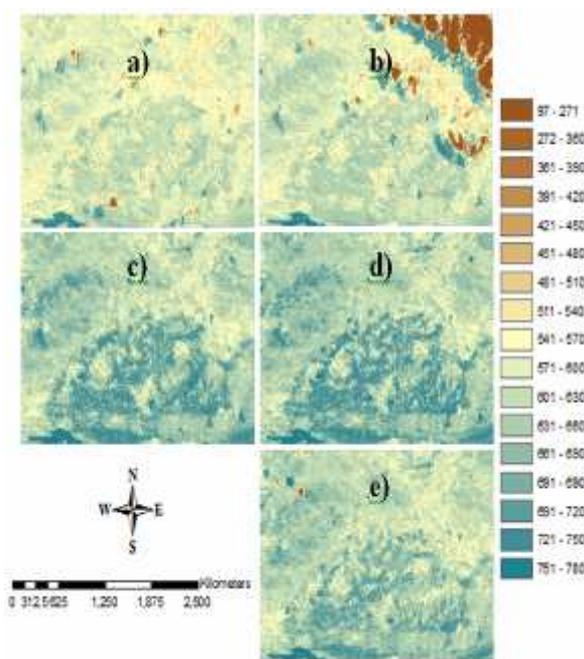


Figura 4. Mapas temáticos do Saldo de Radiação Instantâneo (W m^{-2}) para os dias: (a) 29 de agosto; (b) 14 de setembro e (c) 1 de novembro de 2008.

Em áreas irrigadas do Projeto Nilo Coelho Silva et al. (2005) obtiveram valores de R_n com padrões semelhantes aos obtidos neste estudo, embora nas áreas do rio São Francisco e lago de Sobradinho, tenham obtido albedo bem maior aos obtidos neste estudo para o Açude de São Gonçalo, o que impactaram diferentemente R_n . Uma variação de 100 W m^{-2} no saldo de radiação nas áreas do PISG, principalmente nos meses de novembro e dezembro, deve-se provavelmente à heterogeneidade da área, com plantações de coco e banana em idades diferentes.

Na Tabela 2 estão representadas algumas componentes do balanço de radiação, além do fluxo de calor no solo (no caso do açude, fluxo de calor para a água) para três diferentes áreas: espelho de água do Açude de São Gonçalo - ASG, pomar de coqueiro irrigado e área de solo sem cobertura vegetal. Pode-se observar que o albedo variou de 3,3% em 29 de agosto, a 7,5% em 17 de novembro, enquanto que no pomar de coqueiros o albedo situou-se

entre 15% (29 de agosto) a 18,3% (17 de novembro). A radiação de onda longa emitida por cada um desses três tipos de superfície atingiu $434,3 \text{ W m}^{-2}$ em 01 de novembro no solo exposto e $380,8 \text{ W m}^{-2}$ no Açude de São Gonçalo, portanto, muito dependente das temperaturas da superfície que foram respectivamente iguais a 299,6 K e 288,8 K, ou seja, uma diferença de T_{sup} de 10,8 K. Os valores do R_n na ASG foram substancialmente superiores àqueles obtidos no solo nu, resultante da combinação do albedo e T_{sup} de tais áreas. Uma variável com grande importância prática é o saldo diário - $R_n, 24\text{h}$, com valores máximo ($16,99 \text{ MJ m}^{-2}$ no ASG em 19 de dezembro) e mínimo ($8,26 \text{ MJ m}^{-2}$ em 14 de setembro) no solo nu. A distribuição espacial do $R_n, 24\text{h}$ (MJ m^{-2}) para 17 de novembro de 2008 está representada na Figura 5. Percebe-se claramente que os menores valores (de 7,0 a $11,0 \text{ MJ m}^{-2}$) dessa variável ocorrem na área urbana de Sousa, em afloramento rochoso no interior do PISG, em três vilas de irrigantes do mesmo Perímetro e em áreas com grande exposição do solo. Os maiores valores (de 13,0 a $16,0 \text{ MJ m}^{-2}$) situam-se nas áreas irrigadas e no espelho de água do ASG e outro grande reservatório da cena estudada.

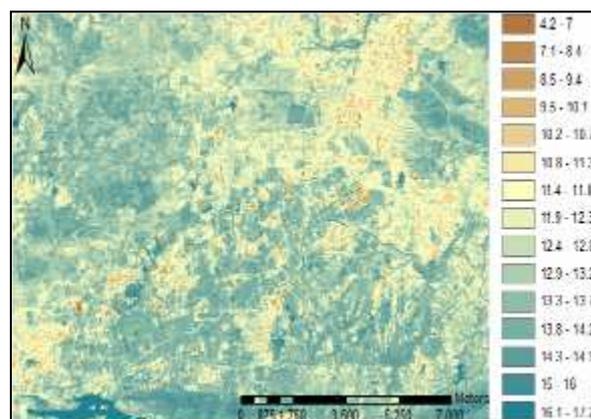


Figura 5. Mapa temático do Saldo de Radiação Diário (MJ m^{-2}) de 17 de novembro de 2008.

As implicações climáticas da presença do PISG ficam mais nítidas ao se analisar a Figura 6, em que está representado o mapa temático da temperatura da superfície - T_{sup} (K) para o dia 17 de novembro de 2008. Fica evidenciado que as áreas com os menores valores de T_{sup} são as áreas irrigadas e os espelhos de água. As diferenças entre as temperaturas de tais áreas chegam a 10,0 K, o que contribui efetivamente para baixar a temperatura do ar na região. Além da menor temperatura as parcelas irrigadas contribuem para aumentar o fluxo de vapor para a atmosfera e que também concorre para subtrair da atmosfera uma maior quantidade de carbono, portanto, afetando ainda mais o clima local. Na bacia do Mogi-Guaçu em São Paulo tem sido observado um fenômeno oposto, qual seja, a substituição da vegetação primária por áreas agrícolas tem contribuído para aumentar a temperatura da superfície e de ar (GOMES et al., 2009).

Tabela 2. Datas relativas aos dias de estudo, áreas selecionadas (Açude São Gonçalo – ASG, pomar de bananeiras irrigado - Pomar e área de solo nu - Solo Exposto e componentes do balanço de radiação (Albedo (%), fluxo de calor no solo (Wm^{-2}) - G, Temperatura da superfície - T_{sup} (K), saldo de radiação instantâneo - R_n ($W m^{-2}$) e saldo de radiação diário - R_n ,24h (MJm^{-2}).

Datas	Áreas selecionadas	Albedo (%)	G (Wm^{-2})	$R_{o,emi}$ (Wm^{-2})	T_{sup} (K)	R_n,int (Wm^{-2})	$R_n,24h$ (MJm^{-2})
29 Agosto	ASG	3,3%	224,6	388,3	288,8	748,8	16,16
	Pomar	15%	42,5	401,4	291,9	637,2	13,31
	Solo Exposto	32%	70,3	421,6	297,4	471,4	9,18
14 setembro	ASG	6,7%	225,5	398,4	290,6	751,8	14,98
	Pomar	16,1%	50,3	414,2	294,2	652,7	12,69
	Solo Exposto	34,3%	76,7	429,2	298,7	474,3	8,26
01 novembro	ASG	6,9%	241,1	405,9	292,0	803,8	16,87
	Pomar	17,2%	59,0	412,8	294,3	697,1	14,10
	Solo Exposto	38,7%	82,9	434,3	299,6	471,8	8,34
17 novembro	ASG	7,5%	243,9	380,8	287,4	812,9	16,72
	Pomar	18,3%	50,2	392,6	290,6	697,3	13,79
	Solo Exposto	34,3%	78,0	419,3	296,9	518,4	9,48
19 dezembro	ASG	6,6%	232,9	385,8	288,3	776,4	16,99
	Pomar	17,1%	50,1	394,3	291,1	671,1	14,23
	Solo Exposto	34,2%	66,3	402,0	293,8	509,1	9,72

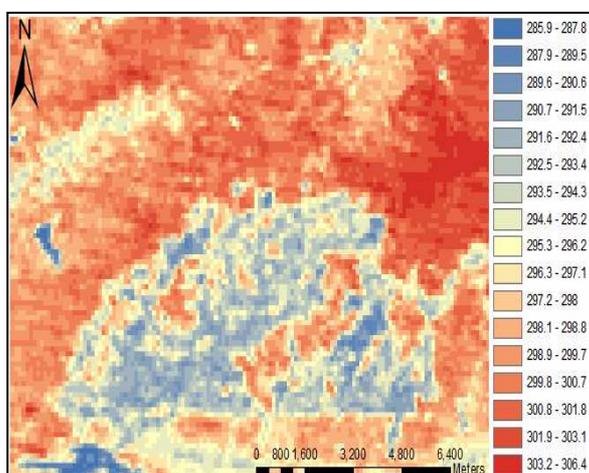


Figura 6. Mapa temático da temperatura da superfície (K) de 17 de novembro de 2008.

CONCLUSÕES

O saldo de radiação instantâneo apresenta padrões espaciais em grande concordância com os apresentados pelo albedo;

Os valores do saldo e albedo obtidos nos alvos selecionados estão em consonância com aqueles obtidos em outras áreas irrigadas do semiárido brasileiro, evidenciando sua sensibilidade a diferentes ocupações do solo;

A presença das áreas irrigadas na cena de estudo contribui substancialmente para reduzir a temperatura da superfície e, conseqüentemente, contribui para diminuir a temperatura do ar, afetando o clima localmente.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa e de Doutorado, ao primeiro e segundo autor, respectivamente; ao INMET pela cessão dos dados meteorológicos empregados na pesquisa e aos revisores do Corpo Editorial pelo valioso trabalho e contribuições.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. **Surface energy balance algorithm for land. Advance training and user's manual**, version 1.0. Kimberly: University of Idaho, 2002. p. 98.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**

neering, v. 133, n. 4, p. 380-394, 2007.

AZEVEDO, P. V. et al. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Requirement**, v. 58, n. 3, p. 241-254, 2003.

AZEVEDO, P. V. de et al. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment. **Agricultural Water Requirement**, v. 88, n. 1-3, p. 201-208, 2007.

BASTIAANSEN, W. G. M. et al. Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) - Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, n. 1-2, p.87-100, 2000.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BISHT G. et al. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 1, p. 52-67, 2005.

BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resources Research**, v. 11, n. 5, p. 742-744, 1975.

DI PACE, F. T. et al. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 385-392, 2008.

GOMES, H. B. et al. Balanço de radiação em diferentes biomas de São Pulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, Rio Claro, v. 28, n. 2, p. 153-164, 2009.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Atlas nacional do Brasil (região nordeste)**. Rio de Janeiro, 1985. (sem paginação)

LI, H. et al. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 11, p. 1271-1278, 2008.

PRATA, A. J. A new long-wave formula for estimating downward clear sky radiation at the surface.

Quarterly Journal Royal Meteorological Society, v. 122, n. 553, p. 1127-1151, 1996.

SANTOS, C. A.; SILVA, B. B. da. Estimativa da evapotranspiração da bananeira em região semi-árida através do algoritmo S-SEBI. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 16, p. 9-20, 2008.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA B. B. da. Surface energy fluxes and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 6, p. 1391-1396, 2007.

SOBRINO, J. A. et al. Application of a simple algorithm to estimate daily evapotranspiration from NOAA-AVHRR images for the Iberian Peninsula. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, n. 2, p. 139-148, 2007.

SOUZA, J. D.; SILVA, B. B. da; CEBALLOS, J. C. Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. 31-44, 2008.

SRIDHAR, V.; LLIOTT, R. L. On the development of a simple downwelling long-wave radiation scheme. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 112, n. 3-4, p. 237-243, 2002.

TANG, B.; LI, Z. L. Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud-free data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3482–3492, 2008.

TEIXEIRA, A. H. de C. et al. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part B: Application to the regional scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 3-4, p. 477-490, 2009.

WANG, W.; LIANG, S. Estimation of high-spatial resolution clear sky longwave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 4, p. 745-754, 2009.

ZHANG, B et al. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 10, p. 1629-1640, 2008.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. 2. ed. Brasília-DF: PAX Gráfica e Editora, 2001. 449 p.