

R. Ra'e Ga
Curitiba, v.35, p.126 - 146 , Dez/2015

www.ser.ufpr.br/raega
ISSN: 2177-2738



DETERMINAÇÃO DO ALBEDO DE SUPERFÍCIE EM ÁREAS IRRIGADAS DO PROJETO JAÍBA (MINAS GERAIS) MEDIANTE IMAGENS LANDSAT 5 - TM

DETERMINATION OF THE SURFACE ALBEDO OF JAÍBA PROJECT IRRIGATED AREAS (MINAS GERAIS) FROM LANDSAT 5 - TM IMAGES

Gabriel Alves Veloso

*Instituto de Estudos Sócio-Ambientais – Laboratório de processamento de Imagens e Geoprocessamento
Universidade Federal de Goiás - UFG
Goiânia, GO, Brasil
e-mail: gabrielveloso.geo@gmail.com*

Manuel Eduardo Ferreira

*Instituto de Estudos Socio-Ambientais – Laboratório de processamento de Imagens e Geoprocessamento
Universidade Federal de Goiás – UFG
Goiânia, GO, Brasil
e-mail: mferreira.geo@gmail.com*

Roberto Rosa

*Instituto de Geografia
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, MG, Brasil
e-mail: rosa.geo@gmail.com*

Bernardo Barbosa da Silva

*Centro de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, PE, Brasil
e-mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com*

Recebido em: 05/02/2015

Aceito em: 09/11/2015

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo determinar o albedo de áreas irrigadas do projeto Jaíba, localizado no norte do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas UTM de 595204/626309 e 8308401/8341257 N - Zona 23. Na elaboração do trabalho foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 5 - TM, órbita/ponto 219/70, obtidas nos dias 31 de janeiro, calendário/dia Juliano 31 (DJ31), 21 de abril (DJ111), 24 de junho (DJ175), 10 de julho (DJ191) e 12 de setembro (DJ255), todas do ano de 2011. A determinação do albedo de superfície foi realizada segundo os procedimentos do algoritmo SEBAL

(*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), que se baseia na radiância dos canais refletivos do TM. A pesquisa obteve valores de albedo de superfície dos dias 31 e 111 para o rio São Francisco, na ordem de 9 a 13%, associados ao aumento da carga de sedimentos provocado pela estação chuvosa. Os resultados do albedo de vegetação nativa foram os que demonstraram maior variação, com valores na ordem de 9 a 16%. Este resultado pode estar associado à dinâmica que as estações do ano imprimem na vegetação e na pastagem, sendo que o dia 255 apresentou maior variação no período analisado, correspondente à seca. Os valores observados nas áreas irrigadas foram na ordem de 16 a 23%, enquanto os valores na vegetação degradada, pastagem e solo exposto variaram na ordem de 23 a 32%, sendo estes coerentes com a literatura científica.

Palavras-chave: Albedo de superfície, SEBAL, Agricultura, Mudanças climáticas.

ABSTRACT

The present study aimed to determine the surface albedo in irrigated areas of the Jaíba Project, located in the north of Minas Gerais state, between the coordinates UTM of 595204/626309 and 8308401/8341257 N - Zone 23. In the preparation of this project, it was used satellite images from Landsat 5 –TM, path/row 219/70, with images from January 31, Julian Day 31 (JD 31), April 21 (JD 111), June 24 (JD 175), July 10 (JD 191) and September 12 (JD 255) of the year 2011. The determination of surface albedo was performed according to the procedures of the algorithm SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) based on the radiance of reflective channels of the TM sensor. The values of surface albedo of days 31 and 111 (San Francisco River) were in order of 9 to 13%, associated with the increased of sediment load caused by the rainy season. The results of the albedo in natural vegetation places showed greater variation, in order of 9 to 16%. This result may be associated to the hole of seasonality over native vegetation and pasture, where the day 255 has presented the larger variation in the analyzed period, corresponding to the dry season. The values observed in the irrigated areas were in order of 16 to 23%, while the values in degraded vegetation, pasture and bare soil varied in order of 23 to 32%, consistent with the scientific literature.

Keywords: Surface Albedo, SEBAL, Agriculture, Climate change.

1. INTRODUÇÃO

O uso das Geotecnologias tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, nas diversas áreas do conhecimento. Nas Ciências Exatas e da Terra, por exemplo, esta apresenta uma grande importância no mapeamento do uso da terra, nos aspectos da geologia, geomorfologia e hidrografia, nos impactos ambientais, dentre outras análises de cunho espacial.

Como esperado, as Geotecnologias tornaram-se fundamentais para os estudos e gerenciamento dos recursos naturais, ao agregar um conjunto de técnicas e dados de ordem cartográfica. O Sensoriamento Remoto (SR) se destaca dentre estas técnicas, por apreender as informações da superfície terrestre sem um contato físico com o objeto de estudo, em escalas espaciais e temporais diferentes, o que possibilita uma melhor eficácia na caracterização do meio ambiente.

Neste sentido, o SR vem assumindo grande destaque no monitoramento de diversos fenômenos meteorológicos, subsidiando as previsões do tempo e, de uma forma indireta, proporcionando um melhor entendimento sobre as mudanças climáticas (SILVA et al., 2005). Com isso, esta técnica tem se tornado uma importante ferramenta na gestão dos recursos naturais, como a água, o solo e a vegetação.

Quando aplicado à agricultura, o SR oferece grandes vantagens, pois pode ser estendido para escalas regionais e com séries temporais de imagens, revelando aspectos importantes para o planejamento agrícola das áreas irrigadas, diferentemente dos métodos tradicionais com estações meteorológicas, que fazem análises pontuais em determinadas áreas do espaço geográfico.

Dentre estes fenômenos meteorológicos, destaca-se o balanço de radiação. O entendimento do mesmo é de suma importância para o desenvolvimento de modelos para o gerenciamento dos recursos naturais, sobretudo os de caráter hídrico, já que, segundo Silva et al. (2005), trata-se do processo responsável pelas trocas de calor e massa na troposfera, aquecendo o solo, o ar e, principalmente, provocando a evapotranspiração da vegetação.

O albedo de superfície é uma das componentes mais importantes do balanço de radiação, pois exerce um controle na quantidade de energia que é absorvida pela superfície terrestre, atuando no balanço final de radiação e energia (GOMES, 2009). Este, por sua vez, pode ser definido pela razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o incidente, sendo de grande importância em estudos ambientais, como de desertificação, queimadas e mudanças no clima local (SILVA et al., 2005). Este dependerá das características de uso e

ocupação da superfície (tais como, tipo de vegetação, nível de exposição do solo, presença de água, etc.), ângulo zenital do sol, condições de umidade do ar e superfície, unidade e tipo de solo, além de sofrer interferência das nuvens.

A importância do albedo de superfície está também na possível detecção de alterações na superfície terrestre, resultantes de processos naturais e/ou antropogênicos (SILVA et al., 2005). De acordo com Paiva (2005), o albedo de superfície pode ser determinado por sensoriamento remoto, pois os satélites medem a reflectância espectral em bandas estreitas, no topo da atmosfera; alguns outros trabalhos confirmam esta aplicação, tais como Tanre e Duhaut (1990), Daughtry et al. (1990), Saunders (1990), Hall et al. (1991), Arino et al. (1992), Bastiaanssen (1995), Jupp (1998), Grover et al. (2000) e Fox et al. (2000).

Existem vários algoritmos empregados em imagens orbitais dos sensores NOAA/AVHRR, MODIS, Landsat ETM+, entre outros, destinados à determinação do albedo de superfície, onde é feita a combinação da reflectância de diferentes bandas espectrais.

Um dos algoritmos com grande aceitação da comunidade científica é o SEBAL, desenvolvido por Bastiaanssen em 1995, o qual desde então, vem sendo aplicado em várias partes do mundo para a obtenção deste parâmetro. Este algoritmo tem como objetivo calcular a evapotranspiração usando imagens de satélites e alguns dados de superfície. Através de procedimentos computacionais, o SEBAL propicia a determinação dos balanços de radiação e de energia, gerando subprodutos como: NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), albedo, temperatura de superfície, dentre outros, sendo todos de fundamental importância no monitoramento ambiental e hídrico.

Originalmente, o SEBAL utilizava apenas as imagens dos satélites Landsat 5 e 7; mais ultimamente, o mesmo tem sido empregue com qualquer satélite com imageador óptico, propiciando o cálculo do albedo, índices de vegetação e da temperatura da superfície. Isto pode ser feito com sensores orbitais nas faixas do espectro visível, infravermelho próximo, médio e distante, e, em especial, na região do infravermelho termal (BEZERRA, 2004).

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo analisar a variação espacial e temporal do albedo em áreas irrigadas do projeto Jaíba e circunvizinhas, no estado de Minas Gerais, referente ao ano de 2011, com base nas imagens obtidas pelo satélite Landsat 5 - TM e o algoritmo SEBAL.

1.1 O projeto Jaíba / Área de Estudo

O projeto Jaíba tem como objetivo o desenvolvimento agrícola regional, por meio da construção de uma infraestrutura de lotes agrícolas e a disponibilização de linhas de crédito para os produtores (Figura1). A sua criação resultou na materialização de um polo de produção agrícola que tem fomentado o crescimento econômico e social da região, criando novos sistemas de produção e comercialização (REZENDE, 2002). A instalação de projetos de irrigação no norte do semiárido mineiro é uma alternativa de desenvolvimento socioeconômico da região. No entanto, os impactos ambientais e econômicos podem ser negativos caso estes projetos não estejam conciliados a um planejamento e gestão dos recursos naturais disponíveis, sobretudo os recursos hídricos.

A área de estudo está localizada no norte de Minas Gerais, mais especificamente na região conhecida como Mata do Jaíba, nos municípios de Jaíba e Matias Cardoso, margem direita do rio São Francisco e esquerda do Verde Grande, entre as coordenadas UTM 595204/626309 E e 8308401/8341257 N, Zona 23.

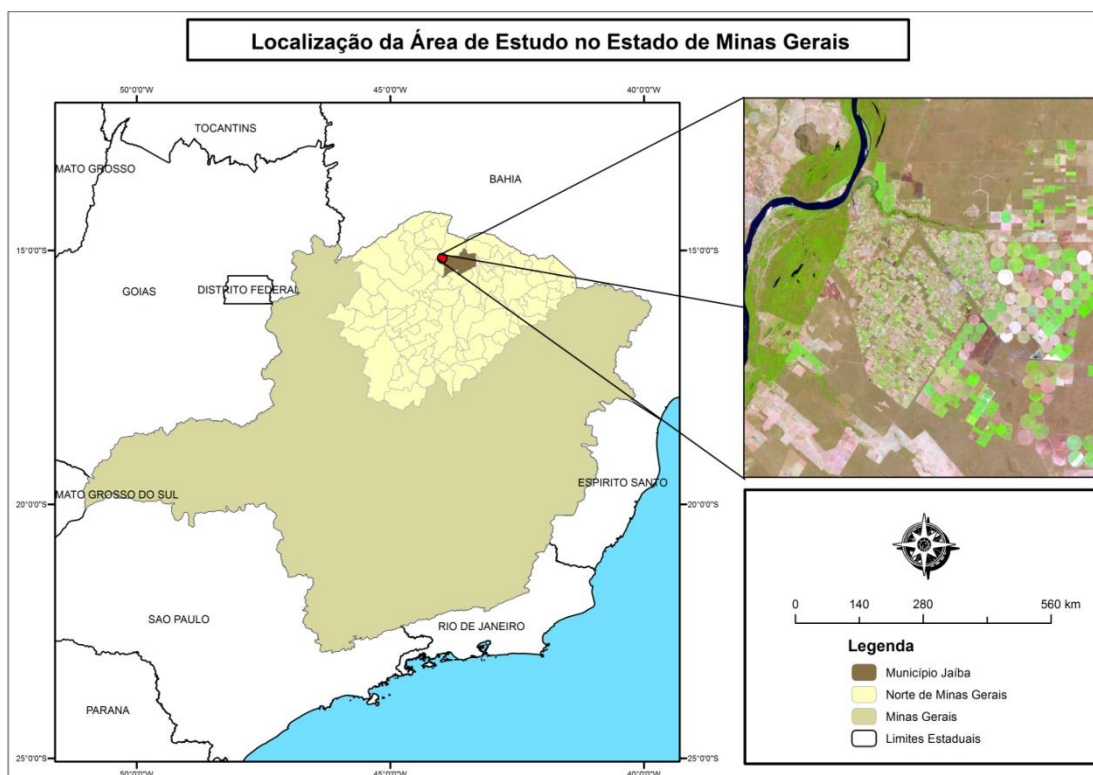


Figura 1 -Localização da área de estudo no município de Jaíba (MG).

O perímetro irrigado do Jaíba é um dos mais importantes da região, com uma área total irrigada de cerca de 57 mil ha, sendo 26.790 ha na primeira etapa e 30.800 ha na segunda etapa, tendo como meta de expansão atingir 100.000 hectares (MOURA, 2007). O clima é classificado como tropical quente do subtipo semiárido, com período seco igual ou superior a seis meses. O índice de umidade relativa atinge 60%, sendo os meses mais úmidos, dezembro e janeiro, e os mais secos, agosto e setembro (PATRUSET et al., 2000 *apud* FREITAS et al., 2008). O regime pluviométrico anual apresenta variações, sendo que os menores índices são inferiores aos 800 mm. Freitas et al. (2008), analisando os dados climatológicos da região de 1996 a 2006, apontam uma precipitação média anual de 858,7 mm, concentrada principalmente entre os períodos de novembro e março, com índices baixos para abril e setembro.

A temperatura média anual para o mesmo período é de 26,6°C, sendo junho o mês mais frio, com média de 24,5°C, e outubro o mês mais quente, com média de 28,9°C. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

(2005), a cobertura vegetal no município de Jaíba é composta principalmente pela Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, típica do clima quente e semiárido, tendo o domínio de vegetação caducifolia (perda das folhas na estação seca), com características xerofíticas, isto é, espécies adaptadas para regiões semiáridas, apresentando estratos como gramíneas, arbustos e árvores, entremeados com cactáceas e bromeliáceas (IBAMA, 2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como mencionado, este trabalho visa a estimativa do albedo de superfície em áreas irrigadas do projeto de irrigação Jaíba, com auxílio do satélite Landsat 5 - TM.. As imagens TM foram adquiridas no portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), correspondente à órbita/ponto 219/70, obtidas aproximadamente às 9h30min, nos dias sequenciais do calendário/dia Juliano (DJ)31 (31 de janeiro), 111 (21 de abril), 175 (24 de junho), 191 (10 de julho) e 255 (12 de setembro), todas do ano de 2011. Estes dias foram escolhidos por não apresentarem cobertura de nuvens sobre a área de estudo, sobretudo durante a passagem do satélite.

Uma área específica nas cenas, abrangendo parte do projeto de irrigação, foi definida, já que este está situado na intercessão das órbitas 218 e 219 do Landsat. Sabendo-se que os parâmetros de iluminação e tempo mudam de um dia para outro nas imagens, decidiu-se pesquisar as áreas localizadas na órbita 219 ponto 70, que abrange maior parte do projeto de irrigação.

O processamento digital das imagens de satélite foi executado no software ERDAS (versão 9.2), onde as operações matemáticas intra e inter bandas espectrais foram desenvolvidas com apoio da ferramenta ModelMaker. A obtenção do albedo de superfície com o SEBAL, a partir de imagens Landsat 5 - TM, compreende uma sequência de etapas descritas a seguir.

2.1 Calibração radiométrica

De posse das imagens, inicia-se o procedimento metodológico com a etapa de calibração radiométrica, que é a conversão dos números digitais (ND)

ou níveis de cinza dos pixels da imagem, em radiância espectral monocromática para as bandas 1,2,3,4,5 e 7, sendo utilizada a Equação 1:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde **a** e **b** correspondem às radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), presentes na Tabela 1, sendo ND os números digitais da imagem que variam de 0 a 255, enquanto i corresponde às bandas do Landsat 5 (1, 2, ... e 7).

TABELA 1 – Constantes de calibração do Landsat 5 - TM para o ano de 2011.

Bandas	a	b
	$(Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$	
1	-1,52	169
2	-2,84	333
3	-1,17	264
4	-1,51	221
5	-0,37	30,2
6	1,2378	15,303
7	-0,15	16,5

Fonte: Adaptado de Machado et al. (2011).

2.2 Reflectância monocromática

Em seguida, calcula-se a refletância monocromática (ρ_{λ_i}) no topo da atmosfera para cada uma das bandas do visível e infravermelho, dada pela razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente, de acordo com a Equação 2, proposta por Bastiaanssen (1995):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$, Tabela 2), Z é o ângulo zenital obtido no cabeçalho das imagens, e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DJ), o qual, de acordo com Iqbal (1983), é dado pela Equação 3:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(DJ.2\pi/365) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde DJ representa o dia sequencial do ano e o argumento da função \cos está em radianos. Quando a área de estudo é pequena, ou mesmo com declividade nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol, ou seja, com a Equação 4:

$$\cos z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) = \text{sen}(E) \quad (\text{Eq. 4})$$

TABELA 2 – Irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$).

Bandas	1	2	3	4	5	6	7
k_{λ_i}	1957	1826	1554	1036	215,0	-	80,67

2.3 Albedo Planetário

O albedo planetário (α_{toa}) representa o albedo de cada pixel sem correção atmosférica, que foi obtido pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas (Equação 5):

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293 \rho_1 + 0,274 \rho_2 + 0,233 \rho_3 + 0,157 \rho_4 + 0,033 \rho_5 + 0,011 \rho_7 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, respectivamente.

2.4 Albedo da Superfície

Em seguida, passa-se para o cálculo do albedo de superfície ou albedo corrigido das imagens. Segundo Meireles (2007), a atmosfera de nosso planeta interfere na radiação solar incidente e na radiação refletida, fazendo-se necessário corrigir o albedo no topo da atmosfera, devido aos efeitos de espalhamento e absorção. Esta correção é feita pela Equação 6:

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_p}{\tau_{\text{sw}}^2} \quad (\text{Eq.6})$$

Onde α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a reflectância da própria atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04 (no modelo SEBAL tem sido recomendado o valor de 0,03, com base em Bastiaanssen e Chandrapala (2003) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica (ALLEN et al., 2007; GOMES, 2009).

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

Em que Z é o ângulo zenital solar obtido; P é a pressão atmosférica média em *kPa*; k_t é o coeficiente de turbidez da atmosfera, sendo $k_t= 1$ para céu claro e $k_t= 0,5$ para turbidez extrema (ALLEN, 1996); W é a água precipitável em *mm*, que foi calculada de acordo com a Equação 8:

$$W = 0,14e_a P_{air} + 2.1 \quad (\text{Eq. 8})$$

A pressão atmosférica foi obtida conforme ASCE-EWRI (2005), por meio da Equação 9:

$$P = 101,3 \left(\frac{T_a - 0,0065}{T_a} \right)^{5,26} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde P é a pressão atmosférica, T_a é a temperatura do ar, em Kelvin.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cena de estudo é composta pelas classes área urbana (município de Itacarambi), vegetação nativa, agricultura irrigada, água e solo exposto, conforme apresentado na Figura 2 (composição colorida RGB, bandas 4, 5, 3). As áreas em vermelho representam a vegetação natural (mata ciliar) com boa disponibilidade hídrica, localizada às margens do rio São Francisco e áreas irrigadas do Projeto Jaíba. As áreas de vegetação nativa com Floresta Estacional Decidual e Semidecidual apresentam-se com coloração mais esverdeada, se diferenciando bem das áreas irrigadas. A área localizada na porção norte da cena faz parte da reserva legal do projeto Jaíba. As áreas com maior exposição de solo são identificadas em tons de azul claro e branco; estas áreas aparecem em diversas partes da área de estudo, e representam solos preparados para cultivo, bem como áreas de vegetação rala e pastagem.

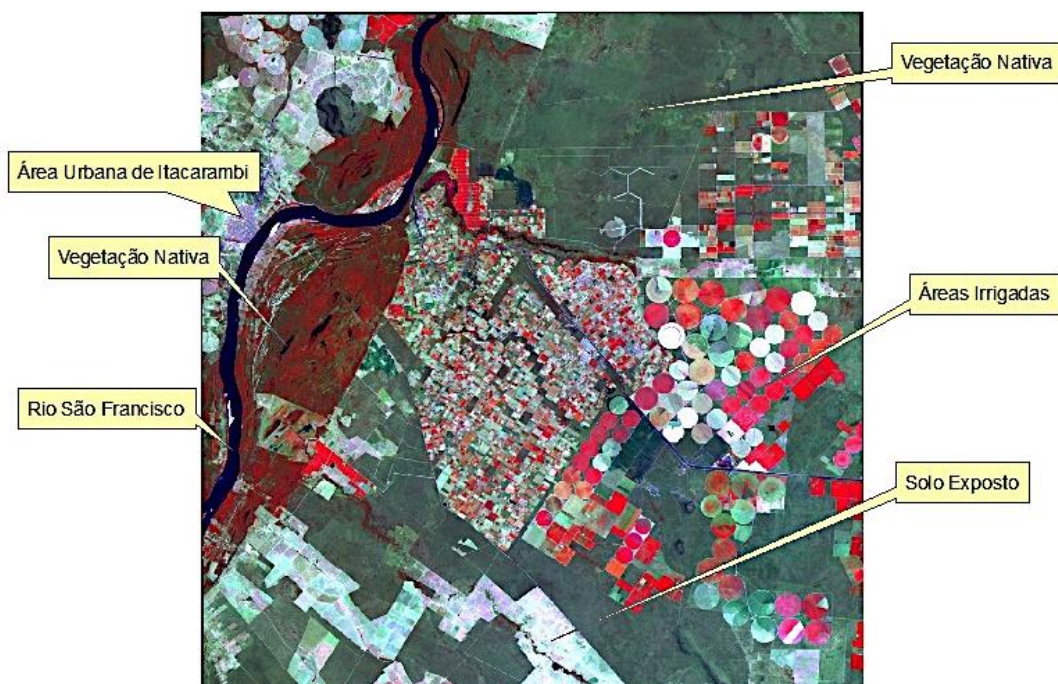


Figura 2 -Área de estudo representada pela imagem Landsat 5.

A Figura 3 representa os mapas de albedo de superfície para a área de estudo, nos dias 31 (31 de janeiro), 111 (21 de abril), 175 (24 de junho), 191 (10 de julho) e 255 (12 de setembro). O albedo de superfície exerce um controle na quantidade de energia que é absorvida pela superfície, atuando no balanço final de radiação e energia (GOMES, 2009). Os valores de albedo da área de estudo variaram entre 9 e 32%.

Na imagem do dia 111 há agrupamentos de pixels com variação superior a 30%, devido a presença de nuvens (elevado albedo), localizados no canto superior esquerdo da imagem (representados na Figura 3 - B) com cor avermelhada.

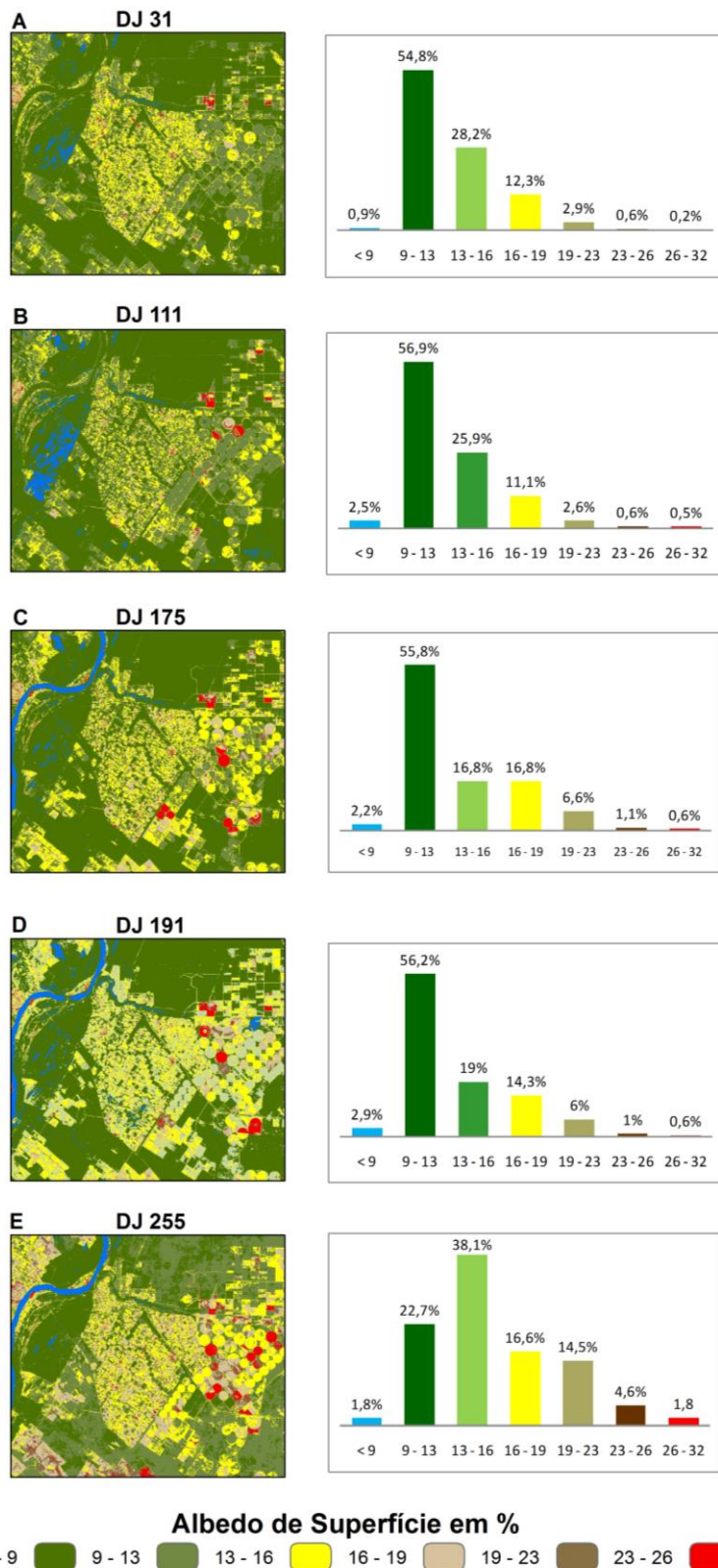


Figura 3 - Albedo de Superfície calculado para a área de estudo.

Por este motivo, imediatamente ao lado destes pixels contaminados com nuvens evidenciam-se os pixels com valores inferiores a 9% (representados na Figura 3 - B com a cor azul claro). Tal resultado comprova que as sombras projetadas pelas nuvens diminuem bruscamente a intensidade da radiação global. Sendo assim, a radiação solar refletida pela superfície coberta por nuvens é significativamente menor na ausência das mesmas (OLIVEIRA, 2012). Nas áreas com presença de água, dias 31 e 111, mais especificamente no leito principal do rio São Francisco, a variação do albedo foi de 9 e 13% (Figura 3 - A e B, na cor verde escuro).

Estes valores também foram confirmados por Silva et al. (2005) no rio São Francisco na região nordeste, com valores na ordem de 9 a 12%; para estes autores, os valores altos de albedo para o leito do São Francisco são provocados pela turbidez da água, podendo atingir valores na ordem de 15%. Estas datas correspondem com o período chuvoso, o que provoca um aumento do material em suspensão (sedimentos) do rio, elevando os valores de albedo. Nestes mesmos dias os valores inferiores a 9%, localizados às margens do rio São Francisco, correspondem a áreas alagadas com pouco material em suspensão, o que diminui os valores de albedo.

Nos dias 175, 191 e 255 os valores de albedo foram inferiores a 9% (azul claro), semelhantes aos da pesquisa de Gomes (2009) no leito do rio Mogi-Guaçu, também inferiores a 9%. Já Meireles (2007), em estudo realizado na bacia do rio Acaraú-CE, encontrou valores para corpos hídricos na ordem de 3 a 10%, enquanto Veloso e Rosa (2013), em estudo da variação do albedo no perímetro irrigado do Gorutuba, norte de Minas Gerais, encontraram valores na ordem de 6 a 9% na barragem bico da pedra, em ambos casos com menor material em suspensão.

Nas áreas de vegetação nativa prevalecem valores de albedo na ordem de 9 a 16%, chegando em 13 a 16% na imagem do dia 255. Estes padrões podem estar associados à dinâmica que a estação chuvosa imprime na vegetação e na pastagem, sendo este período correspondente ao de estiagem (GOMES, 2009). Os valores de albedo da vegetação nativa podem ser observados com maior precisão na reserva legal do projeto Jaíba, localizada no

canto superior direito da imagem. Estes valores são similares aos encontrados por Menezes (2008), com variação de 5 a 16% em áreas de vegetação nativa na região central do Estado de Minas Gerais, dos valores de 13 a 15% em áreas de cerrado e eucalipto, no estado de São Paulo, encontrados por Gomes (2009), ou mesmo dos valores de albedo no perímetro irrigado do Gorutuba, na ordem de 10 a 15%, obtidos por Veloso e Rosa (2013).

Neste estudo, em alguns pontos da imagem, percebe-se uma mistura dos valores de vegetação nativa com os de áreas irrigadas, na ordem de 13 a 16% de albedo. Nas áreas com apenas agricultura irrigada, os valores de albedo variaram entre 16 e 23%. Há uma variação nesta classe de uso entre as datas das imagens, de forma que no dia 255 os valores predominantes eram de 19 a 23%.

Ainda sobre as áreas de cultivos irrigados, vale destacar o estudo de Dantas et al. (2010), realizado em áreas de frutíferas irrigadas na fazenda Frutacor, nas proximidades do Quixeré Cearense (Ceará), com valores de albedo na ordem de 13 e 20%, similares aos dados encontrados neste trabalho. Veloso e Rosa (2013) encontraram valores na ordem de 16 e 19%, prevalecendo os valores entre 17 e 19%. Gomes (2009) encontrou valores de albedo de superfície em áreas de cana-de-açúcar de 16% e 20% no estado de São Paulo. Segundo o referido autor, foram observados valores similares nos trabalhos de Tasumi (2003), com valores de 16 e 24%, e de 15 e 20% no trabalho de Shuttleworth (1993), para as culturas de cana-de-açúcar, trigo e outras de menor porte, como a beterraba.

As áreas de solo exposto, vegetação rala, pastagem e a área urbana de Itacarambi correspondem às classes com albedo entre 23 e 32%. É perceptível um aumento gradual destas áreas com valores de 23 a 26% nas datas consideradas neste estudo. Neste caso, as áreas de solo preparado para cultivo e solo exposto compreendem os valores de 26 a 32%. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Gomes (2009) em áreas de bioma Cerrado no estado de São Paulo, na ordem de 24 a 27% de albedo de superfície. Silva (2005) encontrou valores na Caatinga de 20 a 30%, sendo que os maiores valores correspondem a solos expostos; segundo este autor, tais valores

correspondem àqueles observados por OKE (1987), que encontrou albedo de superfície de 40% em regiões desérticas.

Analisando-se alguns dados de referência de albedo de superfície e os encontrados nesta pesquisa, nota-se uma coerência com os valores obtidos por Tubelis e Nascimento (1990) para o albedo da água, estimado em 5%, solo claro, em 27%, e grama, em 25%, semelhantes aos encontrado nas áreas irrigadas do projeto Jaíba.

Para melhor analisar a variação do albedo de superfície na área estudada, foram recortadas áreas homogêneas de floresta estacional decidual e semidecidual, área de cultivo e solo exposto, pastagem e vegetação rala. Na Tabela 3 é apresentado um resumo estatístico das classes selecionadas. A variação do albedo de superfície na área de floresta estacional decidual apresentou valores de 9 e 15% para os dias 31 e 255, respectivamente, sendo este resultado caracterizado pela influência na mudança da estação chuvosa para a seca.

No período da estação chuvosa, as áreas de floresta estacional decidual apresentam maior capacidade de absorção da energia incidente, devido à folhagem verde em pleno desenvolvimento; no entanto, no período seco esta vegetação perde as folhas, aumentando o poder de reflexão da superfície e, conseqüentemente, elevando os valores de albedo. Os valores médios de albedo tiveram variação de 10% (DJ 111 e 175) a 14% (DJ 255), como demonstrado na Tabela 3. As áreas de Floresta Estacional Semidecidual apresentaram variação de 9 e 14% nos dias 31 e 255, respectivamente, com médias de 11 a 12%. Varejão-Silva (2000) cita valores médios para a vegetação tropical na ordem de 13%, sendo este valor próximo aos encontrados neste trabalho. Querino et al. (2006) encontraram valores médios de albedo de superfície para floresta na ordem de 13%, com variação dos valores entre o período chuvoso e seco.

TABELA 3 – Resumo estatístico dos valores de albedo (%) das áreas/classes selecionadas.

DJ	Parâmetros	FED	FESD	Área Irrigada	Solo exposto/ Pastagem /Vegetação rala
31	Mínimo	9%	9%	11%	12%
	Máximo	12%	13%	20%	23%
	Médio	11%	11%	15%	17%
	Desv. Padrão	0,2	0,5	0,3	1,9
111	Mínimo	9%	8%	12%	11%
	Máximo	11%	12%	20%	22%
	Médio	10%	10%	17%	16%
	Desv. Padrão	0,2	0,8	1	1,9
175	Mínimo	9%	9%	13%	15%
	Máximo	11%	11%	21%	25%
	Médio	10%	10%	17%	19%
	Desv. Padrão	0,2	0,3	0,9	1,5
191	Mínimo	10%	10%	13%	15%
	Máximo	12%	13%	23%	27%
	Médio	11%	12%	18%	20%
	Desv. Padrão	0,2	0,4	1	1,6
255	Mínimo	13%	10%	17%	20%
	Máximo	15%	14%	26%	30%
	Médio	14%	12%	21%	27%
	Desv. Padrão	0,2	0,4	1,4	1,5

Os valores de albedo de superfície encontrados nas áreas de agricultura irrigada variaram entre 11 e 26% nos dias 31 e 255, respectivamente. Este resultado está associado à dinâmica de uso do solo das áreas agrícolas, onde os valores mais baixos estão relacionados com o período de desenvolvimento da cultura, e os mais altos como período de colheita; por consequência, o solo fica exposto, aumentando os valores de albedo.

Nota-se que a dinâmica de uso do solo em áreas irrigadas influencia diretamente a quantidade de energia solar absorvida ou refletida pela superfície, podendo interferir na mudança do clima local. Os valores médios de albedo na área de agricultura irrigada variaram entre 15 e 21%, obtidos nos dias 31 e 255, respectivamente, como observado na Tabela 3. Os valores médios encontrados por Giongo (2008) em áreas de cana-de-açúcar foram de 13,5 a 23,1% no município de Santa Rita do Passa Quatro - SP, enquanto que Varejão-Silva (2000) apresentou valores de albedo para as latitudes de 7 graus na ordem de 15%, sendo estes valores semelhantes ao deste trabalho.

As áreas de solo exposto, pastagem e vegetação rala apresentaram a maior variação de albedo de superfície neste estudo, partindo de 12 até 30%, variação explicada pela influência que o regime hídrico tem sobre as áreas de pastagem e vegetação rala. Na imagem referente ao DJ 31 os valores permaneceram baixo devido ao suprimento hídrico disponível nesta data (período chuvoso), no entanto, no decorrer do período analisado, percebe-se um aumento gradual dos valores de albedo, sendo um padrão associado à dinâmica que a estação chuvosa imprime na vegetação e na pastagem.

4. CONCLUSÃO

Esta análise possibilitou identificar padrões que diferenciam áreas irrigadas das não irrigadas, apontando diferenças na variação do albedo de superfície em cada alvo/classe avaliado com as cenas Landsat - TM. Ampliasse, assim, nosso conhecimento sobre as consequências de mudanças na cobertura e uso do solo de uma região com tais características no Cerrado.

Em outras palavras, as mudanças no padrão de cobertura e uso do solo, catalisadas por práticas agrícolas intensivas, podem interferir no balanço de energia de uma dada região (como demonstrado no Projeto Jaíba), ocasionando, em médio a longo prazo, mudanças climáticas locais e/ou regionais.

De um modo geral, os resultados encontrados estão em consonância com a literatura científica, ratificando a eficiência do algoritmo SEBAL na estimativa do albedo de superfície na área de estudo. Com base nestes resultados, conclui-se que os efeitos da estação chuvosa causam um aumento do albedo de superfície nas águas do rio São Francisco (graças ao aumento da carga de sedimentos), sendo estimado para os dias 31 e 111 os valores de 9 a 13%, respectivamente. Os resultados do albedo de vegetação nativa demonstraram variação na ordem de 9 a 16%, associado à dinâmica que a sazonalidade climática imprime na vegetação, com destaque para o DJ 255 (12 de setembro), com maior variação no período de estiagem.

Estudos complementares, com base em dados satelitários de múltiplas escalas espaciais/temporais e no SEBAL, aplicados em outras porções do

Cerrado (igualmente marcadas pela intensa conversão agropecuária), podem auxiliar no entendimento sobre as variações biofísicas (atuais ou futuras), com vistas a uma otimização e conservação dos recursos naturais neste bioma.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor, e ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida ao segundo e quarto autores. Cleberson Ribeiro colaborou com a edição das figuras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. Assessing integrity of weather data for use in reference evapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.122, p. 97-106, 1996.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. L.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; KRAMBER, W.; LORITE, I.; ROBISON, C. W. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) – Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, v. 133, n. 4, p. 395-406, 2007.

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

ARINO, O.; DEDIEU, G.; DESCHAMPS, P. Y. Determination of land surface spectral reflectances using Meteosat and NOAA/AVHRR shortwave channel data. *International Journal of Remot Sensing*, v. 13, n. 12, p. 2263-2287, 1992.

BASTIAANSSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 1995. 237 p.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; CHANDRAPALA, L. Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. *Agricultural Water Management*, v. 58, p. 171-192, 2003.

BARROS, K. O. ÍNDICE DE ARIDEZ COMO INDICADOR DA SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA MESORREGIÃO NORTE DE MINAS. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Geografia). Universidade Federal de Viçosa - MG, 2010.

BEZERRA, M. V. C. Balanço de Energia em Áreas Irrigada Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto. 108f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2004.

DAUGHTRY, C. S.; KUSTA, W. K.; MORAN, M. S.; PINTER, P. J.; JACKSON, R. D.; BROWN, P. W.; NICHOLS, W. D.; GAY, L. W. Spectral estimates of net radiation and soil heat flux. *Remote Sensing of Environment*, v. 32, p. 111-124, 1990.

FOLHES, M. T. Modelagem da Evapotranspiração para a Gestão Hídrica de Perímetros Irrigados com Base em Sensoriamento Remoto. 189f. Tese (Doutor em Sensoriamento Remoto). Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP, 2007.

FREITAS A. M.; PEREIRA, C.; COSTA, D. A. Geologia e Hidrogeologia de Jaíba, Verdelandia e Varzelândia, Norte de Minas Gerais. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais - MG, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br>

FOX, N. I.; SAICH, P.; COLLIER, C. G. Estimating the surface water and radiation balance in an upland area from space. *International Journal of Remote*, v. 21, n. 16, p. 2985–3002, 2000.

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

GIONGO, P. R. Estimativa do Balanço de Radiação com Técnicas de Sensoriamento Remoto e dados de Superfície. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PB, 2008.

GOMES, H. F. B. Balanços de Radiação e Energia em Áreas de Cultivo de Cana-de açúcar e Cerrado no Estado de São Paulo Mediante Imagens Orbitais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande - PB, 2009.

GROVER, K. D.; STEVEN, D. M.; RONDEAUX, G. Estimating albedo from limited spectral and angular data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 1, p. 155-165, 2000.

HALL, F. G; HUEMMIRICH, K. F; GOWARD, S. N. Use of narrow-band spectra to estimate the fraction of absorbed photosynthetically active radiation. *Remote Sensing of Environment*, v. 32, p. 47-54, 1990.

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press. 1983. 212 p.

JUPP, D. L. B. Directional radiance and emissivity measurement models for remote sensing of the surface energy balance. *Environment Modelling Software*, v. 13, p. 341-351, 1998.

MEIRELES, M. Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem Landsat 5 - TM na bacia do Acaraú - CE, Dissertação de Mestrado, UFCE, Fortaleza, CE, Brasil, 2007.

MENEZES, S. J. M. C. Evapotranspiração Regional Utilizando o Sebal em Condições de Relevo Montanhoso. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2006.

OLIVEIRA, L. M. M. Estimativa da evapotranspiração real por sensoriamento remoto na bacia do rio Tapacurá – PE. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco - PE, 2012.

SAUNDERS, R. W. The determination of broad band surface albedo from AVHRR visible and near-infrared radiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 11, p. 49-67, 1990.

SEVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte - MG, 2010.

SILVA, B. B. da; MENDONÇA, R. R. O. ; SILVA, S. T. A. da; FERREIRA, R. C. Mapeamento do albedo de áreas heterogêneas do Estado da Ceará com imagens TM - Landsat 5. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 25, p. 33-52, 2008.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. A. determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

SILVA, A. C. DILEMAS DA AGRICULTURA FAMILIAR IRRIGADA NO PROJETO JAÍBA, MG. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa - MG, 2006.

REZENDE, J. F. R. Gestão de Informações utilizando a Tecnologia de Geoprocessamento para o Projeto Jaíba – Etapa II. Trabalho de conclusão de curso (Especialista em Geoprocessamento). Universidade Federal de Minas Gerais - MG, 2002.

RURALMINAS. PROJETO JAÍBA ETAPA II. LICITAÇÃO DE LOTES AGRÍCOLAS. Belo Horizonte - MG, 2012.

TANRE, D. C; DUHAUT, P. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. International Journal of Remote Sensing, v. 11, p. 659-668, 1990.

TASUMI, M. Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. Idaho, PhD Thesis – Department Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho, 2003. 357 p.

TUBELIS, A. E.; NASCIMENTO, F. J. L. do. Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. Eds. Antônio Tubelis, Fernando José Lino do Nascimento. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

VELOSO, G. A; ROSA. R. Avaliação do Albedo de Superfície Utilizando Imagens do Satélite Landsat 5 TM e o algoritmo SEBAL. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. Anais XVI Simpósio Brasileiro de sensoriamento Remoto - SBSR, p. 8098-8105, 2013.