

Análise da Variação Temporal da Temperatura de Superfície em áreas irrigadas do Projeto Jaíba por Sensoriamento Remoto

Gabriel Alves Veloso¹
Roberto Rosa²
Manuel Eduardo Ferreira¹
Bernardo Barbosa da Silva³
Manoel Reinaldo Leite¹

¹Universidade Federal de Goiás - UFG
Instituto de Estudos Socioambientais - IESA
Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento - LAPIG
Campus Samambaia, 74001-970, Goiânia - GO, Brasil
gabrielvelos.geo@gmail.com, mferreira.geo@gmail.com, manoelreinaldo@ig.com.br

²Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Av. João Naves de Ávila 2121, Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia - MG, Brasil

³Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Av. Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário
58429-140 - Campina Grande - PB, Brasil
bbdasilva.ufpe@gmail.com

Abstract: This study aims to estimate the surface temperature through the use of remote sensing in irrigated of Jaíba and surrounding areas project, in Minas Gerais state. The study area is located in north of Minas Gerais, between the UTM coordinates 671572 and 694429 E and 8249910 and 8272242 N. During its preparation were used 5 images of orbital sensor Landsat 5 - TM, orbit/point 219/70, from January-September 2011, preferably without clouds. The estimated surface temperature was obtained through the parameterization of heat fluxes based on spectral analysis of satellite images using the algorithm SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). The values of surface temperature showed variation in the period studied, related to seasonal climate throughout the year, causing changes in the elements of the surface, especially in areas of deciduous forest, raising the temperature values in these areas. Areas with lower temperature values correspond to irrigated agriculture, water bodies and areas of semi deciduous forest located on the banks of the São Francisco River. The technique used was efficient in estimating surface temperature, indicating a good correlation with data from the local weather station, while reinforcing the SEBAL algorithm as an important tool for environmental analysis, including the management of water resources.

Palavras-Chave: Surface Temperature, SEBAL, Irrigation Project Jaíba, Temperatura de superfície, SEBAL, Projeto de Irrigação Jaíba.

Introdução

Há décadas, técnicas de sensoriamento remoto vêm trazendo suporte a vários estudos sobre a superfície da Terra, com destaque à obtenção de variáveis climatológicas, sobretudo, aquelas ligadas à mensuração da temperatura, como um importante fator para o planejamento ambiental de qualquer região. As possibilidades de obtenção de informações climatológicas através de técnicas remotas, tais como por meio de imagens orbitais, permitem uma análise sinóptica de grandes áreas, em maior escala se comparadas aos dados pontuais disponibilizados pelas estações de controle em solo.

A obtenção de temperatura por sensores remotos possui como base os estudos das variáveis oriundas do balanço de radiação na superfície, como os fluxos de radiação de ondas

curtas e, principalmente, os de ondas longas que envolvem a região do infravermelho, além da interação da radiação com os constituintes da superfície e da atmosfera terrestre.

Por sua vez, os instrumentos sensores a bordo de plataformas orbitais apresentam importante papel na identificação de alterações na superfície terrestre, em diferentes áreas e escalas, oferecendo flexibilidade e disponibilidade no que se refere ao tempo e aos recursos para se recobrir determinados processos, e por isso considerado como um método prático e rápido na determinação dos componentes do balanço de radiação e energia. Dessa forma, vários algoritmos surgem com a finalidade de quantificar os componentes do balanço de radiação e de energia por imagens de satélites, dentre estes o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*); trata-se de um algoritmo semi-empírico, utilizado no cômputo dos componentes do balanço de energia e fluxos da superfície baseados em dados de estações meteorológicas (*in loco*) e medição dos parâmetros espectrais das imagens de satélites (SILVA et al., 2005). Em sua formulação inicial, o SEBAL utiliza as imagens dos satélites Landsat 5 e 7, mas pode ser empregado com qualquer satélite/sensor imageador que propicie o cálculo do albedo, índices de vegetação e temperatura da superfície. Isso pode ser feito com sensores que imageiam faixas do espectro visível, infravermelho próximo, médio e distante, e, em especial, na região do infravermelho termal (BEZERRA, 2004). A utilização dessa técnica se justifica na compreensão do padrão de variação espacial e temporal da temperatura de superfície, importante para o desenvolvimento de modelos para o uso mais eficiente dos recursos hídricos, sobretudo no gerenciamento de áreas irrigadas e bacias hidrográficas.

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo estimar a temperatura de superfície em áreas irrigadas e em áreas circunvizinhas do projeto Jaíba (norte de Minas Gerais), com base nas imagens obtidas pelo sensor TM do satélite Landsat 5, referente ao ano de 2011, e no algoritmo SEBAL.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado na região conhecida como Mata do Jaíba, nos Municípios de Jaíba e Matias Cardoso, norte de Minas Gerais, na margem direita do rio São Francisco e esquerda do Verde Grande, entre as coordenadas UTM 595204 e 626309 E e 8308401 e 8341257 N. 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. O mesmo favoreceu a criação de um polo de produção agrícola nestes municípios, com vistas a fomentar o crescimento econômico e social, com retorno no desenvolvimento tecnológico, sistemas de produção e comercialização (REZENDE, 2002). O clima da região 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 (FREITAS et al., 2008).

O regime pluviométrico anual apresenta variações, sendo que os menores índices são inferiores a 800 mm. Freitas et al. (2008), analisando os dados climatológicos da região de 1996 a 2006, aponta uma precipitação média anual de 858,7mm, concentradas principalmente entre os meses de novembro a março, com índices mais baixos de abril a setembro. A temperatura média anual é de 26,60 °C, sendo junho o mês mais frio, com média de 24,50 °C, e outubro o mês mais quente, com média de 28,90 °C.

2.2 Processamento das imagens Landsat – TM

Como mencionado, este trabalho visa estimar a temperatura de superfície em áreas irrigadas do projeto Jaíba, com auxílio das imagens do satélite Landsat 5 - TM. Estas imagens

foram adquiridas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), correspondente à órbita/ponto 219/70, nos dias 31 de janeiro, dia sequencial do ano 31 (DJ31), 21 de abril (DJ111), 24 de junho (DJ175), 10 de julho (DJ191) e 12 de setembro (DJ255), todas do ano de 2011. Estes dias foram escolhidos por não apresentar coberturas com nuvens sobre a área de estudo no ano de 2011. O processamento digital das imagens de satélite foi executado no software ERDAS (versão 9.2), com as operações matemáticas intra e interbandas espectrais desenvolvidas com a ferramenta Modal Maker. As etapas para a obtenção da temperatura de superfície estão apresentadas no fluxograma da figura 1. Detalhes deste procedimento são encontrados nos trabalhos de Leite (2012), Silva (2011) e Veloso (2014).

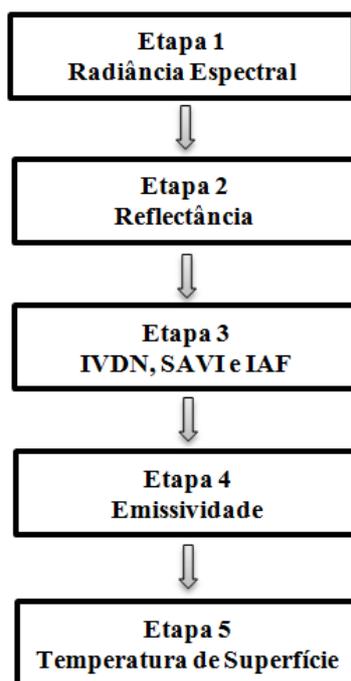


Figura 1 – Fluxograma do processo metodológico.

3. Resultados e Discussão

A cena de estudo é formada por classes de área urbana (Itacarambi), vegetação nativa, agricultura irrigada, corpos hídricos, áreas de solo exposto, pastagem e vegetação rala. As classes de solo exposto, pastagem e vegetação rala foram englobadas, devido ao elevado grau de confusão espectral. A figura 2 apresenta a composição R5 G4 B3 do satélite Landsat 5 - TM. As áreas com tonalidade em vermelho representam extensões com vegetação nativa (Floresta estacional semidecidual) com boa disponibilidade hídrica, localizada nas margens do rio São Francisco e em áreas irrigadas do Projeto Jaíba. Apresentam-se também áreas de vegetação nativa (Floresta estacional decidual), com coloração mais esverdeada. Diferenciando-se 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 podem ser identificadas em tons de azul claro e branco. Essas áreas estão distribuídas por diversas partes da área de estudo, representando solos preparados para cultivo, somadas às áreas de vegetação rala e pastagem.

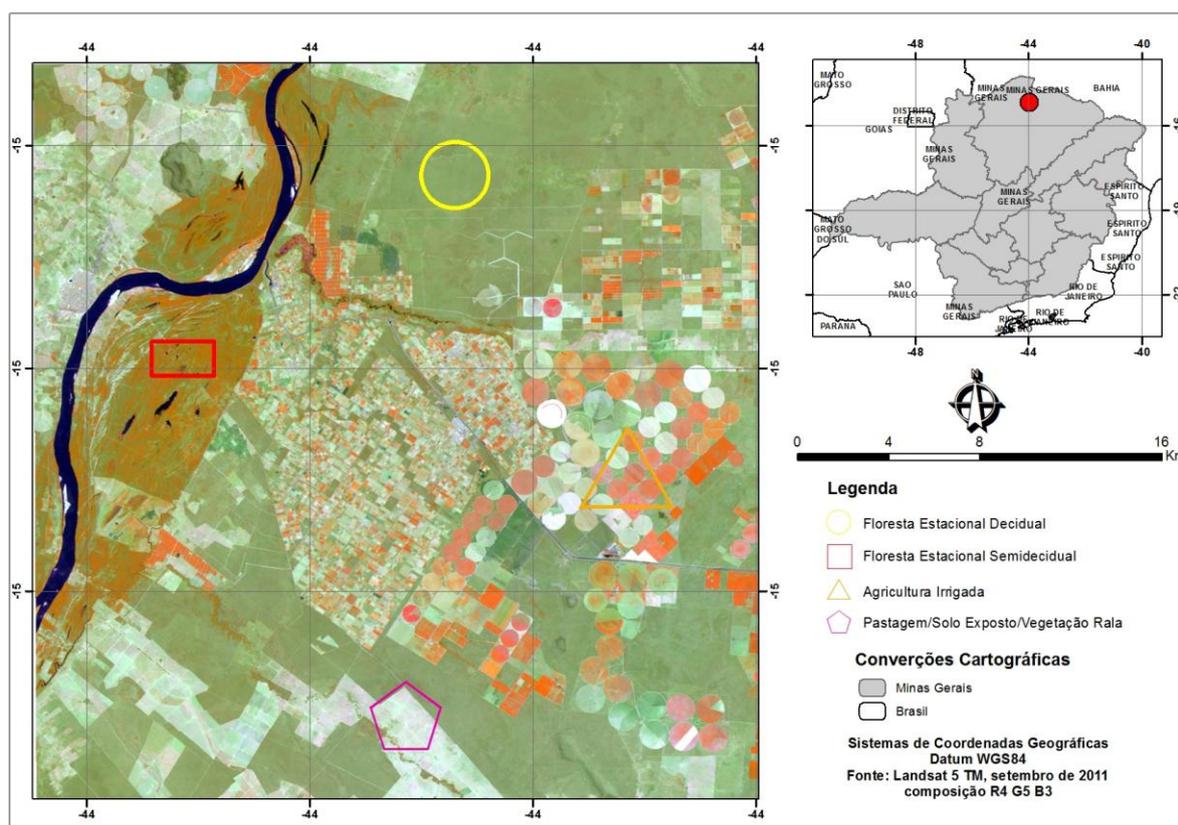


Figura 2 – Carta-imagem da área de estudo, retratada com imagem Landsat 5 - TM de 12 de setembro de 2011, cena 219/70.

Nesta pesquisa procurou-se avaliar a distribuição espaço temporal da temperatura de superfície em áreas irrigadas do Projeto Jaíba utilizando o algoritmo SEBAL, nas condições climáticas do norte de Minas Gerais. Para tanto, foram elaborados mapas temáticos para os dias 31 de janeiro (DJ 31), 21 de abril (DJ 111), 24 de junho (DJ 175), 10 de julho (DJ 191) e 12 de setembro (DJ 255), todos esses dias referentes ao ano de 2011, apresentados na figura 3. A tabela 1 mostra alguns parâmetros de calibração do algoritmo para os dias estudados. Observou-se que os valores de temperatura de superfície apresentaram uma nítida tendência ao aumento, o que pode ser explicado pelas mudanças na cobertura do solo, sobretudo associadas aos períodos de colheita na agricultura, como também à dinâmica da transição entre a estação chuvosa e de estiagem, influenciando diretamente na temperatura de superfície.

Tabela 1 – Data das imagens do Landsat 5 - TM (Data), Hora local (Hora), ângulo de elevação do sol (E), seno de Z, quadrado da distância terra-sol e seu valor médio (dr), Transmissância atmosférica (Tsw).

Data	Hora	E	senZ	dr	Tsw
31/janeiro	9:51:54	56,88	0,8375	1,0284	0,739
21/abril	9:51:58	49,81	0,7640	0,9890	0,722
24/junho	9:51:13	41,01	0,6563	0,9673	0,719
10/julho	9:51:08	41,33	0,6605	0,9674	0,721
12/setembro	9:50:54	54,35	0,8126	0,9895	0,762

As maiores variações na temperatura foram verificadas no dia 255 (12 de setembro), com mínima de 22 °C e máxima de 40 °C, sendo esta última é relacionada com áreas de exposição

de solo. A menor temperatura foi registrada no dia 191 (10 de julho), com mínima de 19 °C verificada no rio São Francisco. A temperatura registrada neste rio ficou em torno de 19 a 22 °C, correspondente ao verificado por Silva et al. (2005), que encontraram temperaturas na ordem de 21 °C no lago de Sobradinho e no rio São Francisco.

As áreas de agricultura irrigada de frutíferas, localizadas no centro das imagens, apresentaram variações estáveis na temperatura nos dias 31 (31 de janeiro), 111 (21 de abril), 175 (24 de junho) e 191 (10 de julho), permanecendo na ordem de 24 a 27 °C; no entanto, no dia 255 (12 de setembro) observou-se um aumento na variação, chegando a atingir em alguns pontos 34 °C. Di Pace (2004), em estudo do projeto de irrigação em Petrolina (PE), usando o SEBAL, observou temperatura média em áreas agrícolas em torno de 29 °C.

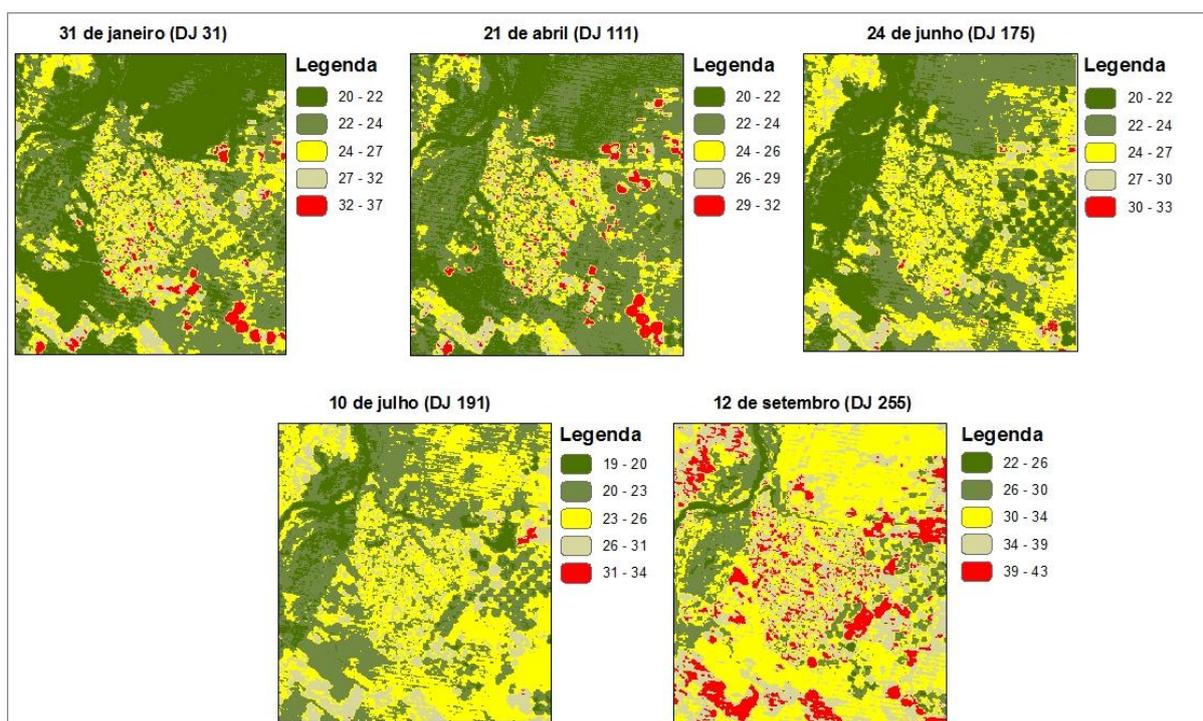


Figura 3 – Temperatura de Superfície para os dias analisados na cena 219/70.

As áreas de vegetação nativa e as áreas irrigadas foram os principais fatores para a variação da temperatura de superfície no período analisado. Observa-se que nos dias 31, 111, 175 e 191 a temperatura de superfície predominante variou na ordem de 20 a 27 °C, correspondendo, em sua maioria, em área de vegetação nativa e áreas irrigadas, sendo que no primeiro dia de análise (31) a temperatura concentrou-se entre 20 e 22 °C. Nos dias subsequentes a temperatura foi aumentando gradualmente, sobretudo nas áreas de floresta estacional decidual, como pode ser observado na reserva legal do projeto Jaíba, localizado no canto superior direito das imagens, chegando em alguns pontos a atingir 34 °C no dia 255. É bom salientar que o aumento da temperatura nas áreas de floresta estacional decidual é provocado pela deciduidade da vegetação no período seco (correspondente ao dia 255), quando a resposta dessa área é muito caracterizada pelo material lenhoso e solo exposto, elevando-se os valores de temperatura de superfície.

Nota-se, ao analisar os mapas temáticos de temperatura de superfície dos dias 31 ao 255, que a variação climática no decorrer do ano provoca mudanças nos elementos da superfície, sobretudo nas áreas de floresta estacional decidual, elevando-se os valores de temperatura, e com este a evapotranspiração. As áreas com menores valores de temperatura correspondem à agricultura irrigada (pivôs centrais), espelho d'água e área de floresta estacional semidecidual localizada às margens do rio São Francisco. Este padrão está associado à disponibilidade

hídrica dessas áreas, e maior cobertura do solo, apresentando com isso menores temperaturas. Para além da menor temperatura, as áreas irrigadas contribuem para o aumento do fluxo de vapor para a atmosfera, podendo afetar o clima local (SILVA et al., 2011).

Os maiores valores de temperatura são correspondentes às áreas de vegetação rala, pastagem e solo exposto, que apresentaram variação na ordem de 29 a 40 °C. Esses valores são semelhantes aos do estudo realizado no nordeste brasileiro, no qual foi utilizado o algoritmo SEBAL, em regiões irrigadas dos municípios de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), quando Silva et al. (2005) observaram variações na temperatura, em áreas de solo exposto, na ordem de 40 °C.

Ao analisar os mapas da figura 3 percebe-se um nítido aumento da temperatura de superfície no decorrer do período analisado. Já na tabela 2 estão apresentados os dados estatísticos das áreas selecionadas para uma análise mais detalhada do comportamento da temperatura de superfície, incluindo as classes de cultivo (área irrigada), floresta estacional decidual (FED) e semidecidual (FESD), e áreas de vegetação rala, pastagem e solo exposto.

Tabela 2 - Resumo dos parâmetros estatísticos da Temperatura de Superfície para as áreas de estudo.

DJ	Parâmetros	FED	FESD	Área Irrigada	Solo exposto/ Pastagem /Vegetação rala
31	Mínimo	21,06	21,18	21,31	25,20
	Máximo	22,53	22,49	29,74	30,47
	Médio	21,62	21,62	23,06	27,72
	Desv. Padrão	0,34	0,26	1,30	0,94
111	Mínimo	21,62	21,16	21,31	24,47
	Máximo	23,06	22,64	24,98	26,75
	Médio	22,35	21,93	22,81	25,66
	Desv. Padrão	0,35	0,32	0,69	0,41
175	Mínimo	21,83	19,84	19,97	26,29
	Máximo	23,65	21,78	24,20	27,65
	Médio	22,85	20,64	21,28	26,87
	Desv. Padrão	0,37	0,42	0,85	0,41
191	Mínimo	21,91	19,34	16,63	25,47
	Máximo	23,70	21,33	24,03	27,24
	Médio	22,85	19,85	21,23	26,53
	Desv. Padrão	0,40	0,34	0,84	0,35
255	Mínimo	32,31	25,64	26,93	36,41
	Máximo	35,20	29,26	39,19	40,41
	Médio	33,50	27,13	28,94	38,56
	Desv. Padrão	0,56	0,89	1,60	0,84

As áreas de floresta estacional semidecidual foram as mais homogêneas nos dias julianos (DJ) 31, 111, 175 e 191, apresentando o menor desvio padrão, conforme apresentado na Tabela 3. Esses resultados estão associados ao bom suprimento hídrico em que a vegetação se encontra durante o período; entretanto, no dia 255 houve um aumento no desvio padrão. A temperatura média, na referida classe, variou de 21,62 °C no dia 31 para 27,13 °C no dia 255.

A área de floresta estacional decidual demonstrou uma maior regularidade nos valores do desvio padrão; no entanto, analisando o período como um todo, se observa uma diferença nos valores de temperatura média dos dias 31 para 255 de aproximadamente 11 °C. Esse resultado está associado à sazonalidade do clima no decorrer do ano nas áreas de floresta estacional

decidual, sendo que no período seco a vegetação perde sua folhagem, tendo como resultado valores mais elevados de temperatura para os dias seco, devido à maior exposição do material lenhoso e do solo. Com isso, a mudança da estação chuvosa para a estação seca imprime mudanças na variação de temperatura nessa vegetação.

A área de agricultura irrigada apresentou valores médios de desvio padrão, com maior regularidade. No entanto, nos dias 31 e 255 verificaram-se valores elevados no desvio padrão, caso associado à dinâmica de uso do solo em áreas irrigadas, incidindo em variações na temperatura de superfície. As classes de vegetação rala, pastagem e solo exposto demonstraram-se mais dispersas no período analisado, apresentando média de 27,72 °C a 38,56 °C.

Para a validação dos dados obtidos pelo algoritmo SEBAL, foi considerado os dados da estação de controle para esta região, coletados às 10h00min (Horário Local) e disponibilizados pelo INMET. Para comparação dos valores absolutos de temperatura de superfície, as coordenadas da estação foram convertidas em ponto e o mesmo foi sobreposto às imagens. A comparação, nesse caso, foi feita de forma direta, comparando-se simultaneamente os valores absolutos de temperatura da estação de controle e os valores de temperatura nos pixels das imagens coincidentes com a localização da estação.

Na sequência, fez-se a análise estatística dos valores de temperatura da estação de controle e dos obtidos pelo SEBAL, conforme a tabela 3. A menor diferença entre a temperatura da estação e a temperatura do SEBAL foi de 0,57 °C, observada no dia 175, revelando um coeficiente de variação de 3,51 e desvio padrão de 0,81. Esse resultado foi semelhante nos dias 191 e 255, em que os coeficientes de variação apontaram para uma correlação entre os dados de temperatura obtidos pelo SEBAL e os dados de temperatura da estação de controle.

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos e coeficiente de variação entre os dados da estação de controle e o algoritmo SEBAL.

DJ	Estação	SEBAL	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
31	27,30	21,35	24,32	4,21	17,31
111	28,00	22,92	25,46	3,59	14,10
175	23,80	22,65	23,22	0,81	3,51
191	22,90	21,76	22,33	0,81	3,61
255	30,10	31,40	30,75	0,92	3,00

No entanto, nos dias 31 e 111, a diferença de temperatura da estação de controle e o SEBAL foi de 5,95 °C e 2,54 °C, apresentando coeficientes de variação de 17,31 e 14,10, respectivamente. Esse resultado evidencia a necessidade de mais dados de calibração para o período, como também um maior número de dados para validação.

4. Conclusão

Diante dos resultados obtidos pelo algoritmo na análise espacial e temporal de temperatura do projeto Jaíba, nota-se que a mesma (temperatura de superfície) apresentou variação no período analisado, entre os dias 31 e 255, sendo relacionada com a sazonalidade do clima no decorrer do ano, mas também pelo tipo de uso empregado na região. Tal variação tem provocado alterações nos elementos da superfície, sobretudo nas áreas de floresta estacional decidual, elevando-se os valores de temperatura nestas áreas. As áreas com menor variação de temperatura correspondem àquelas com agricultura irrigada (pivôs centrais), seguida do espelho d'água e da área de floresta estacional semidecidual, localizada nas margens do rio São Francisco. Apesar da menor variação de temperatura, as áreas irrigadas

contribuem para o aumento do fluxo de vapor para a atmosfera, justificando-se o monitoramento satelitário e o maior detalhamento *in loco* para outras variáveis ambientais.

5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado, e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilidade dos dados da estação meteorológica automática de Mocambinho (MG).

6. Referências

Bezerra, M. V. C. **Balço 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.

Di Pace, F. T. Estimativa do Balço de Radiação à Superfície Terrestre Utilizando Imagens TM - Landsat 5 e Modelo de Elevação Digital. 120f. Tese (**Doutorado em Recursos Naturais**). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. 2004

Freitas *et al.* **Geologia e Hidrogeologia de Jaíba, Verdelândia e Varzelândia, Norte de Minas Gerais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geologia) Universidade Federal de Minas Gerais – MG, 2008.

Leite, M.R. **Sensoriamento Remoto Aplicado a Análise Temporal da Relação Uso da Terra/ Temperatura e Albedo de Superfície na Bacia do Rio Vieira no Norte de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado em Geografia – Uberlândia, MG. Universidade Federal de Uberlândia – UFU. 111p, 2012.

Silva, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. **Balço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

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

Silva, B. B. da. **Apostila do mini-curso de Determinação da Evapotranspiração com imagens Landsat 5-TM e SEBAL**. UFCG / UFPE. 21p, 2011.

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.

Veloso, G. A. **Análise Espaço Temporal dos Componentes do Balço de Radiação, Energia e Evapotranspiração, Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto em Áreas Irrigadas do Projeto Jaíba/MG**. Uberlândia, 2013. 152p. Dissertação de Mestrado em Geografia. – Instituto de Geografia/IG, Universidade Federal de Uberlândia, UFU, 2014.