

**Estimativa da evapotranspiração em áreas de pastagens usando algoritmo
SEBAL e imagens Landsat 5 - TM****Estimation of evapotranspiration in pasture areas using SEBAL algorithm and
Landsat 5 - TM images**

Recebimento dos originais: 12/06/2018

Aceitação para publicação: 25/08/2018

Ricardo Guimarães Andrade

Doutor em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Endereço: Rua Eugênio do Nascimento, 610. Bairro Dom Bosco, Juiz de Fora-MG, Brasil

E-mail: ricardo.andrade@embrapa.br

Marcos Cicarini Hott

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Endereço: Rua Eugênio do Nascimento, 610. Bairro Dom Bosco, Juiz de Fora-MG, Brasil

E-mail: marcos.hott@embrapa.br

Walter Coelho Pereira de Magalhães Junior

Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de São Carlos

Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Endereço: Rua Eugênio do Nascimento, 610. Bairro Dom Bosco, Juiz de Fora-MG, Brasil

E-mail: walter.magalhaes@embrapa.br

RESUMO

O conhecimento da perda total de água por evapotranspiração é essencial para o crescimento das plantas e avaliações de desenvolvimento. A informação de sensoriamento remoto tem sido usada por vários modelos e algoritmos para obter parâmetros da superfície da Terra. O SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) é um algoritmo para estimativa de evapotranspiração em larga escala. Ele é processado por meio de etapas computacionais, que preveem uma avaliação completa da radiação solar e da energia na superfície da Terra. Para isso, utiliza dados de sensores que coletam comprimentos de onda nas bandas do visível, infravermelho próximo e termal. Este trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração diária ($ET_{diária}$) em áreas de pastagem da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, por meio do algoritmo SEBAL e cenas Landsat 5-TM. Para áreas de pastagens, a $ET_{diária}$ variou de 0,50 a 3,50 mm d⁻¹ com uma média de 1,90 mm d⁻¹. De forma geral, a aplicação metodológica gerou resultados consistentes de $ET_{diária}$, sendo possível utilizá-la no como indicador das condições hídricas das pastagens, contribuindo para tomada de decisão que favoreça a produção da pecuária com sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Estresse hídrico; Sensoriamento remoto; Geoprocessamento; Pecuária.

ABSTRACT

The knowledge of the total water loss by evapotranspiration is essential for plant growth and development assessments. Remote sensing information has been used by several models and algorithms for obtaining parameters of the Earth's surface. The Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL) is an algorithm for evapotranspiration estimation for large scale. It is processed by means of computational steps, which predict a full assessment of the solar radiation and energy on the Earth's surface. For that it uses data of sensors that collect wavelengths in the visible, near-infrared and thermal bands. This study aimed at estimating daily evapotranspiration (ET_{daily}) in pasture areas at Embrapa Beef Cattle's Experimental Farm, located in the municipality of Campo Grande, Mato Grosso do Sul State, Brazil, by means of the SEBAL algorithm and Landsat 5-TM images. For pasture areas, the ET_{daily} varied from 0.50 to 3.50 mm d⁻¹ with an average of 1.90 mm d⁻¹. In general, the methodological application generated consistent results from ET_{daily} , and it is possible to use it as an indicator of the hydric conditions of pastures, contributing to decision making that favors the production of livestock with environmental sustainability.

Keywords: Water stress; Remote sensing; Geoprocessing; Livestock.

1 INTRODUÇÃO

Estudos mostram que o sucesso da pecuária brasileira está diretamente ligado ao fato do gado ser criado em pastagens, o que possibilita competitividade da pecuária brasileira frente ao mercado internacional. No entanto, muitos fatores influenciam a capacidade produtiva das pastagens e, conseqüentemente, a produção de carne e leite. Entre elas, há variações na precipitação, causando períodos de déficit hídrico mesmo durante as estações chuvosas, o que torna a evapotranspiração um fator importante no diagnóstico das condições climáticas e ambientais das áreas de pastagem.

A evapotranspiração (ET) pode ser definida pela perda total de água do sistema solo-planta para atmosfera a partir da combinação dos processos de evaporação e transpiração (Pereira et al., 2013). O conhecimento da taxa evapotranspirativa das plantas é de fundamental importância para o manejo dos recursos hídricos de forma a contribuir racionalmente para o aumento da produção agropecuária. Entre suas aplicações, destacam-se cálculos do balanço hídrico, perdas de água em reservatórios e modelagens hidroclimatológicas (Lima et al., 2014).

A ET possui grande variação no espaço e no tempo e até mesmo as formas mais avançadas de estimá-la com auxílio de torres em sistemas de covariância de vórtices turbulentos não seria a melhor forma de avaliá-la em larga escala. Nesse caso, as técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo aplicadas com eficiência, pois permite sua estimativa em grandes áreas sem a necessidade de quantificar outros processos hidrológicos (Andrade et al., 2012). Essas técnicas permitem estimar a ET por meio de imagens de sensoriamento remoto ao aplicar algoritmos e modelos (Andrade et al.,

2016; Lima et al., 2014; Warren et. al., 2013), destacando-se entre eles o SEBAL - *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (Bastiaanssen et al., 1998a, 1998b).

O SEBAL tem como uma das vantagens a possibilidade de ser aplicado com poucas medições a nível de superfície. Considerando que muitas áreas do mundo não possuem dados meteorológicos adequados ou suficientes, o SEBAL surge como uma opção atraente. A aproximação do SEBAL tem demonstrado boa precisão no mapeamento da ET ao redor do mundo, com precisões de cerca de 85% e 95%, respectivamente, a níveis diários e sazonais (Bastiaanssen et al., 2005).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou estimar a evapotranspiração diária ($ET_{diária}$) em áreas de pastagem da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. Para tanto, foram utilizados algoritmo SEBAL e cenas Landsat 5-TM.

2 METODOLOGIA

A área de estudo está inserida no território do município de Campo Grande, localizado no Estado de Mato Grosso do Sul. Especificamente, nos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região situa-se numa faixa de transição entre clima temperado úmido com verão quente (Cfa) e clima tropical com estação seca de inverno (Aw), com precipitação média anual de 1.500 mm e temperatura do ar média anual de 22,8 °C. De acordo com Barbosa (2004), na região predomina solos da classe Latossolo Vermelho Distrófico (textura argilosa, PH ácido, baixa saturação por bases e alta concentração de alumínio).

No presente estudo, foram utilizados dados meteorológicos (temperatura do ar, radiação e velocidade do vento) provenientes da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), latitude 20,45°S, longitude 54,6166°W e altitude de 530 metros, Campo Grande, MS, e cenas Landsat 5 - TM das seguintes datas: 11/05/2009, 28/06/2009, 30/07/2009 e 02/10/2009. As cenas possuem resolução espacial de 30 m nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e de 120 m na banda 6 (termal), adquirida por meio do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, ao acessar o sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

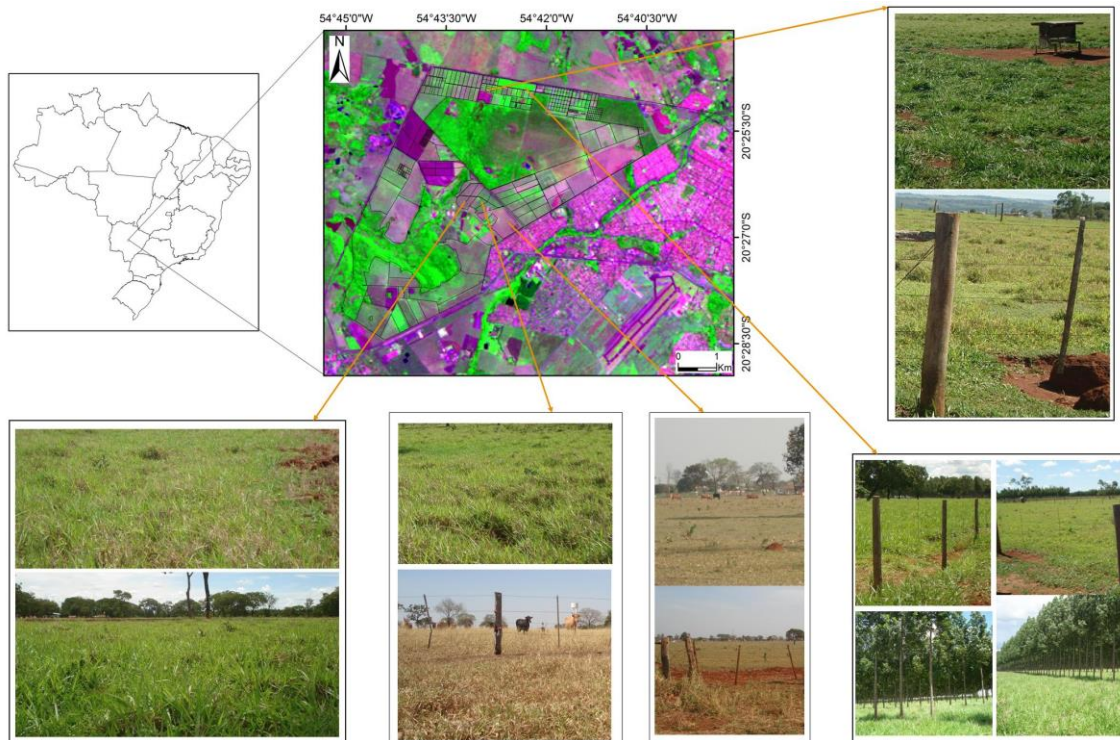


Figura 1. Localização da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte. Os polígonos representam as áreas de pastagens da fazenda.

Por meio do algoritmo SEBAL foram estimados os componentes do balanço de energia, sendo que o fluxo de calor latente (LE) foi estimado como resíduo das demais componentes do balanço de energia pela seguinte equação (Bastiaanssen et al., 1998a):

$$LE = Rn - H - G \quad (01)$$

Em que, Rn é o saldo de radiação ($W m^{-2}$), H é o fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) e G é o fluxo de calor no solo ($W m^{-2}$).

Dentre as componentes, o saldo de radiação foi a primeira a ser obtida, sendo estimada por (Allen et al., 2002):

$$Rn = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (02)$$

Em que, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente ($W m^{-2}$), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície ($W m^{-2}$), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida na direção da atmosfera ($W m^{-2}$) e ε_o é a emissividade da superfície (adimensional), α é o albedo da

superfície (adimensional). Na Figura 2 tem-se o fluxograma das etapas de estimativa de R_n . Detalhes de todo o processo de cálculo estão disponíveis em Allen et al. (2002).

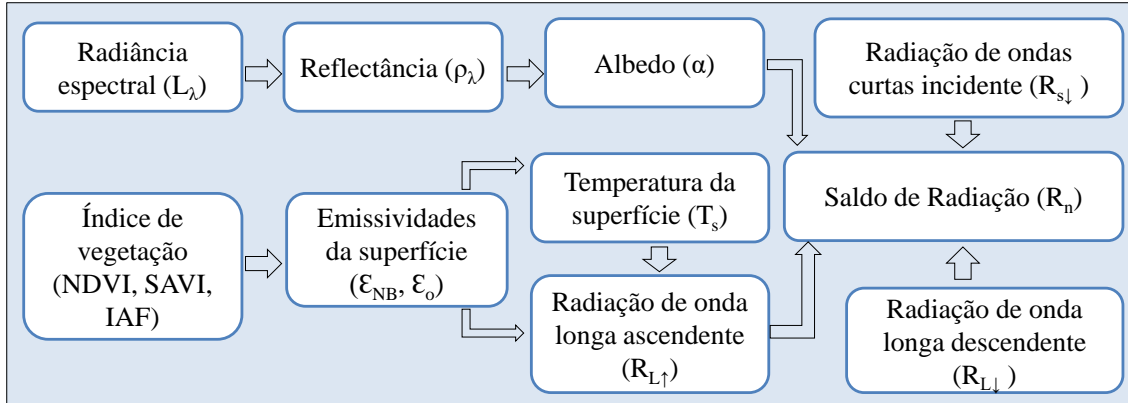


Figura 2. Fluxograma para estimativa do saldo de radiação (R_n).

Em seguida, calculou-se o fluxo de calor no solo (G , $W\ m^{-2}$) por meio da equação (Bastiaanssen, 2000):

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \alpha + 0,0074 \alpha^2) (1 - 0,98 NDVI^4) \right] R_n \quad (03)$$

Em que, T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}C$), α é o albedo da superfície (adimensional), NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e R_n é o saldo de radiação. Para efeito de correção dos valores do fluxo de calor no solo para corpos d'água ($NDVI < 0$), considerou-se $G = 0,3R_n$ (Silva e Bezerra, 2006). Posteriormente, foi estimado o fluxo de calor sensível (H , $W\ m^{-2}$). Para tanto, efetuou-se uma sequência de etapas de cálculo conforme descrito no fluxograma da Figura 3.

Todas as etapas, em detalhes, para estimativa de H também se encontram disponíveis em Allen et al. (2002). De posse de R_n , G e H estimou-se LE conforme equação 1. Na sequência, estimou-se a fração evaporativa (λ) por (Andrade, 2013):

$$\lambda = \frac{LE}{LE + H} = \frac{LE}{R_n - G} \quad (04)$$

Estudos micrometeorológicos indicam que a fração evaporativa (λ) pode ser considerada constante durante o período diurno (Crago, 1996). Assim, para estimativa da evapotranspiração real diária ($ET_{diária}$, mm d^{-1}), em larga escala, foi empregada a equação proposta por Ayenew (2003):

$$ET_{diária} = \frac{\lambda Rn_{diário}}{28} \quad (05)$$

Em que, $Rn_{diário}$ é o saldo de radiação para o período de 24 horas (detalhes são apresentados por Ayenew, 2003) e o escalar no denominador representa o fator de conversão de unidades (W m^{-2} para mm d^{-1}).

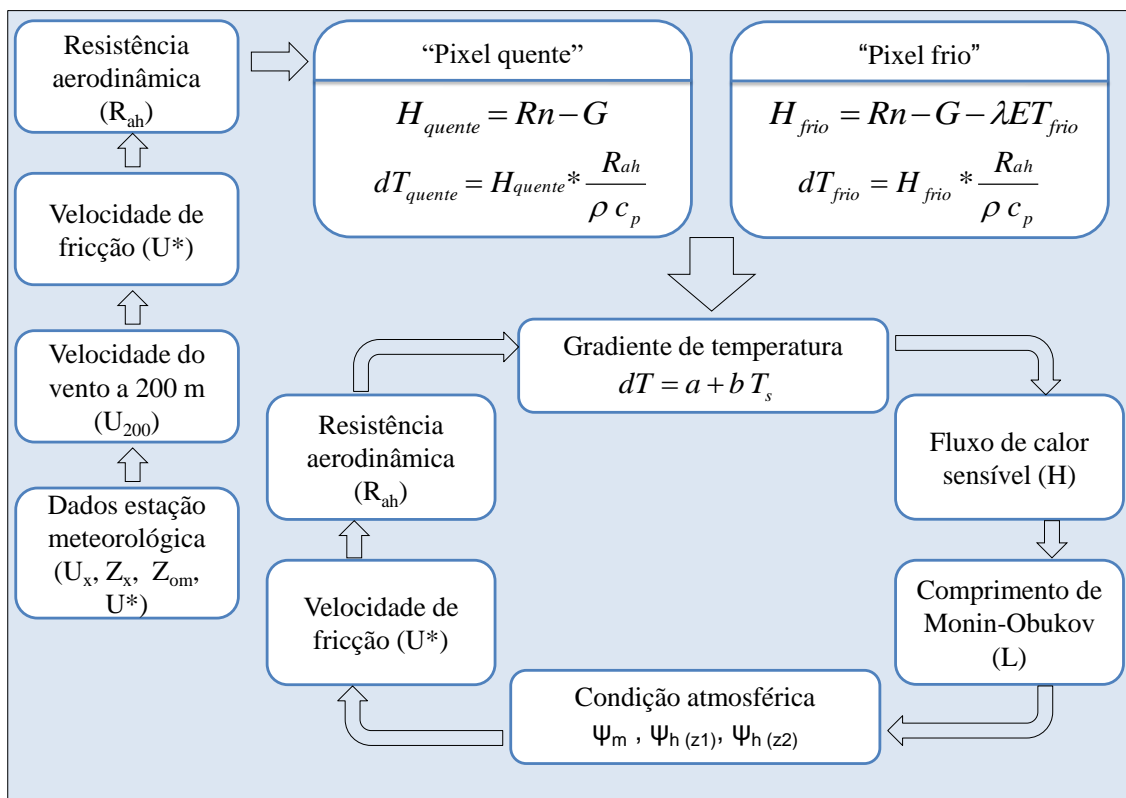


Figura 3. Fluxograma de estimativa do fluxo de calor sensível (H).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 visualiza-se, para áreas de pastagens, os valores médios de NDVI, IAF (Índice de Área Foliar), Albedo e ET. O NDVI médio variou de $0,41 \pm 0,11$ a $0,46 \pm 0,09$, neste caso, a menor média foi no mês de outubro (02/10/2009) e uma das justificativas pode estar na defasagem de resposta da vegetação em relação ao início do período chuvoso. Assim, na média, as pastagens apresentaram o menor vigor vegetativo no mês de outubro, o que pode indicar baixa disponibilidade

de biomassa verde, ou seja, havia maior disponibilidade de biomassa seca. Este fato pode ser justificado pelos valores médios de IAF e Albedo estimados para a cena de 02/10/2009. A biomassa seca possibilita maior refletividade da superfície de pastagem e, por conseguinte, indica maior valor na estimativa de albedo ($0,23 \pm 0,02$). Moura et al. (1999) obtiveram, para áreas de pastagens, valores médios de albedo horário de 0,204 e 0,197, respectivamente, na época seca e chuvosa.

Por outro lado, ao analisar os valores médios de ET, nota-se que, o mês de outubro foi o que apresentou o maior valor ($2,2 \pm 0,7 \text{ mm d}^{-1}$) e a justificativa pode estar na própria definição de ET, ou seja, soma das componentes transpiração das plantas com a evaporação do solo. Assim, com o início do período chuvoso, o solo permanece úmido por um período maior e contribui para o aumento dos valores de ET.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão de parâmetros biofísicos estimados em áreas de pastagens

Data	NDVI	IAF (m^2/m^2)	Albedo	ET (mm d^{-1})
11/05/2009	$0,46 \pm 0,09$	$1,67 \pm 0,32$	$0,17 \pm 0,02$	$1,9 \pm 0,4$
28/06/2009	$0,45 \pm 0,10$	$1,50 \pm 0,57$	$0,19 \pm 0,02$	$1,7 \pm 0,8$
30/07/2009	$0,43 \pm 0,12$	$1,75 \pm 0,54$	$0,20 \pm 0,02$	$1,8 \pm 0,6$
02/10/2009	$0,41 \pm 0,11$	$1,78 \pm 0,49$	$0,23 \pm 0,02$	$2,2 \pm 0,7$

Nas Figuras 4a a 4d tem-se a variação espacial da evapotranspiração diária ($ET_{\text{diária}}$, mm d^{-1}) para a área de delimitação da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte. De acordo com os mapas é possível observar que os maiores e os menores valores de ET estão representados pelos tons de azul e bege, respectivamente. Neste caso, os maiores valores de ET ocorreram em áreas representadas por florestas e corpos d'água. Já os menores valores de ET estão localizados em áreas de pastagens com exposição de solo, entretanto, ressalta-se que na cena de 02/10/2009 diminuiu significativamente as manchas de ET em tons de bege ($ET_{\text{diária}} \leq 0,5 \text{ mm d}^{-1}$), possivelmente, devido a maior umidade do solo no mês de outubro.

Espacialmente, para áreas de pastagens, há predominância dos valores de ET em classes intermediárias que estão representadas por tons de verde ($0,5 < ET_{\text{diária}} \leq 3,5 \text{ mm d}^{-1}$, com média de $1,90 \text{ mm d}^{-1}$). Silva et al. (2005), ao utilizar o método da razão de Bowen e lisímetro de pesagem em áreas de pastagem (capim Tanzânia) irrigada por pivô-central, encontraram ET média (período de um ano) de $4,13 \text{ mm d}^{-1}$ e $4,34 \text{ mm d}^{-1}$ por meio do balanço de energia e lisímetro de pesagem, respectivamente. Entretanto, Meirelles et al. (2003), ao aplicar o método da razão de Bowen numa pastagem de *Brachiaria brizantha*, na região do Cerrado brasileiro, encontraram valores médios diários de ET da ordem de $5,19 \pm 1,9 \text{ mm d}^{-1}$.

Nota-se que os valores de $ET_{diária}$ estimados a partir do uso do algoritmo SEBAL e imagens Landsat 5 – TM apresentou valores um pouco mais baixos quando comparado com a literatura. Uma das possíveis justificativas pode estar no fato das pastagens em estudo estarem sujeitas às variações hídricas (excesso ou déficit) conforme o volume precipitado (sem irrigação).

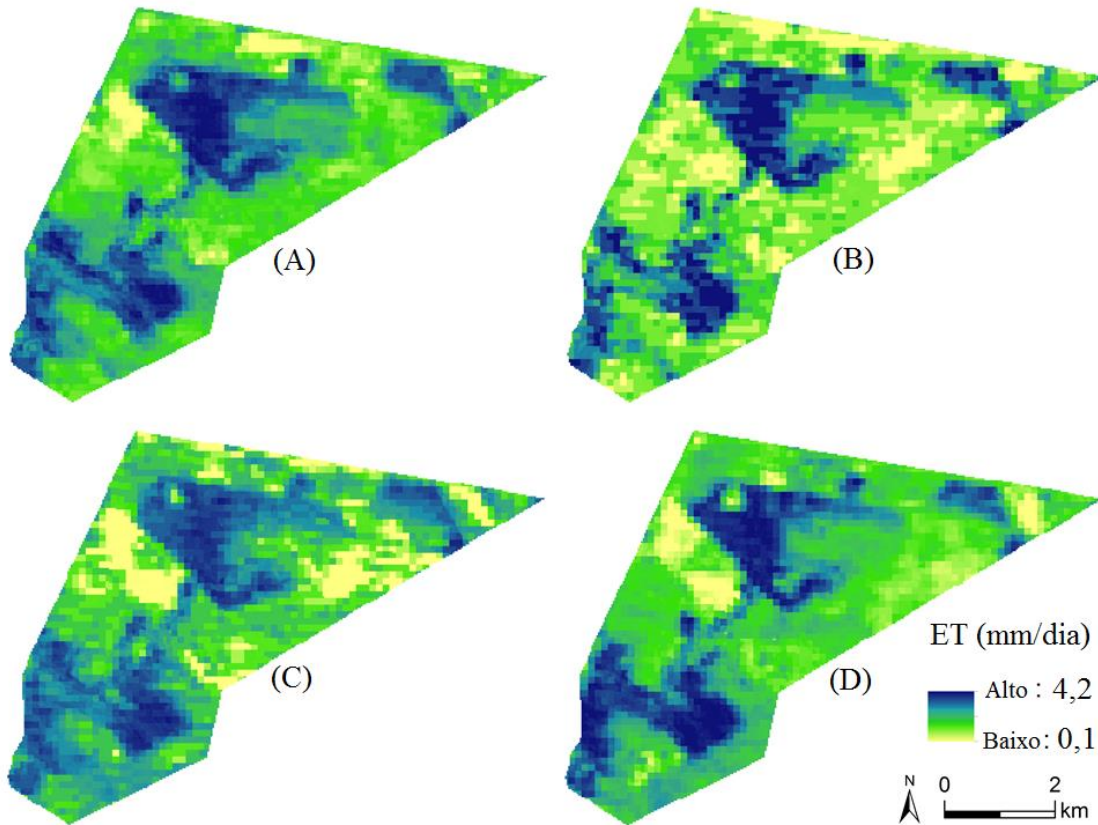


Figura 4. Evapotranspiração estimada para as cenas de: 11/05/2009 (A), 28/06/2009 (B), 30/07/2009 (C) e 02/10/2009 (D).

4 CONCLUSÃO

As estimativas de $ET_{diária}$ apresentaram resultados consistentes, sendo que os valores mínimos ocorreram em áreas de pastagens com solo exposto e vegetação seca. Já os valores máximos ocorreram em áreas de floresta e corpos d'água. Porém, nas áreas de pastagens predominaram os valores de $ET_{diária}$ variando de 0,50 a 3,50 $mm\ d^{-1}$, com média de 1,90 $mm\ d^{-1}$.

De forma geral, a metodologia de estimativa de $ET_{diária}$ em larga escala tem potencial para ser aplicada como indicador das condições hídricas das pastagens, contribuindo para tomada de decisão que favoreça a produção da pecuária com sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 56**. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998. 300p.

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation**, version 1.0, 2002. 98p.

ANDRADE, R. G. **Evapotranspiração por Sensoriamento Remoto**. In: Antônio Roberto Pereira, Gilberto Chohaku Sedyama, Nilson Augusto Villa Nova. (Org.). **Evapotranspiração**. 1^a ed. Campinas, SP: FUNDAG, 2013, p. 271-300.

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; FACCO, A. G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1227-1234, 2012.

ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; NOGUEIRA, S. F. Analysis of evapotranspiration and biomass in pastures with degradation indicatives in the Upper Tocantins River Basin, in Brazilian Savanna. **Revista Ceres**, v. 63, p. 754-760, 2016.

AYENEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highland. **Journal of Hydrology**, v. 279, p. 83-93, 2003.

BARBOSA, R. A. **Características morfofisiológicas e acúmulo de forragem em capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia) submetido a frequências e intensidades de pastejo**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 116p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p.87-100, 2000.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212/213, p. 198-212, 1998a.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212/213, p. 213-229, 1998b.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; NOORDMAN, E. J. M.; PELGRUM, H.; DAVIDS, G. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 1, p. 85-93, 2005.

CRAGO, R. D. Conservation and variability of the evaporative fraction during the daytime. **Journal of Hidrology**, v. 180, p. 173-194, 1996.

LIMA, E. de P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; LOPES, V. D.; SILVA, B. B. da. Evapotranspiração real diária em sub-bacias do Paracatu, utilizando produtos do sensor Modis. **Revista Ceres**, v. 61, n.1, p. 017-027, 2014.

MEIRELLES, M. L., FARIAS, S. E. M., FRANCO, A. C. **Balanco de energia de uma pastagem cultivada no cerrado**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. 2003. 14p.

MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; BENINCASA, M.; SOUZA, J. S.; NASCIMENTO FILHO, M. F. Variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 163-168, 1999.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. Campinas, SP: Fundag, 2013. 323 p.

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**, v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.

SILVA, L. D. B., FOLEGATTI, M. V., VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 25, n. 3, p. 705-712, 2005.

WARREN, M. S.; RODRIGUES, L. N.; CAMPANA, N. A. Métodos para a desagregação espacial da temperatura da superfície terrestre (Thermal Sharpening) obtida pelo sensor Modis. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65, v. 5, p. 923-937, 2013.