

Documentos 75

On-line

ISSN 0103-78110
Novembro, 2009

**Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto
no Mapeamento da Evapotranspiração de
Pastagens**





*INSS 0103-78110
Novembro, 2009*

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Monitoramento por Satélite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos On-line 75

Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto no Mapeamento da Evapotranspiração de Pastagens

Ricardo Guimarães Andrade
Mateus Batistella
Daniel de Castro Victoria
Rodrigo Amorim Barbosa
Adriano Rolim da Paz

Embrapa Monitoramento por Satélite
Campinas, SP
2009

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Área de Comunicação e Negócios

Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão

CEP 13070 115 Campinas, SP – BRASIL

Telefone: + 55 (19) 3211 6200 Fax: + 55 (19) 3211 6222

<http://www.cnpm.embrapa.br>

sac@cnpm.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *José Roberto Miranda*

Secretário-Executivo: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Carlos Cesar Ronquim*

Daniel de Castro Victoria

Davi de Oliveira Custódio

Graziella Galinari

Luciane Dourado

Meire Volotão Stephano

1ª edição

1ª impressão (2009)

Fotos: Arquivo da Unidade

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Monitoramento por Satélite

Andrade, Ricardo Guimarães

Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto no Mapeamento da Evapotranspiração de Pastagens/ Ricardo Guimarães Andrade, Mateus Batistella, Daniel de Castro Victoria, Rodrigo Amorim Barbosa e Adriano Rolim da Paz. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009.

44 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 75).

ISSN 0103-78110

1. Balanço de energia 2. Evapotranspiração 3. SEBAL 4. Pastagem I. Imagens TM – Landsat 5. II. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas, SP) III. Título. IV. Série.

CDD 621.3678

© Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009

Autores

Ricardo Guimarães Andrade

Engenheiro Agrícola
Doutor em Meteorologia Agrícola
Embrapa Monitoramento por Satélite
ricardo@cnpm.embrapa.br

Mateus Batistella

Biólogo
Doutor em Ciências Ambientais
Embrapa Monitoramento por Satélite
mb@cnpm.embrapa.br

Daniel de Castro Victoria

Engenheiro Agrônomo
Mestre em Ecologia Aplicada
Embrapa Monitoramento por Satélite
daniel@cnpm.embrapa.br

Rodrigo Amorim Barbosa

Engenheiro Agrônomo
Doutor em Zootecnia
Embrapa Gado de Corte
rodrigo@cnpgc.embrapa.br

Adriano Rolim da Paz

Engenheiro Civil
Mestre em Recursos Hídricos
Embrapa Monitoramento por Satélite
adriano@cnpm.embrapa.br

Sumário

1 - Introdução	10
2 - Objetivo	13
3 - Material e Métodos.....	14
4 - Resultados e Discussão.....	24
5 - Conclusões.....	40
6 - Referências.....	41

Figuras

- Figura 1: Delimitação da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. Imagem do sensor TM do satélite Landsat 5 na composição RGB (bandas 3, 2, 1)..... 14
- Figura 2: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (T_s , Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (R_n inst, $W\ m^{-2}$) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, $W\ m^{-2}$) do dia 11/05/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS..... 27
- Figura 3: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, $W\ m^{-2}$); (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, $W\ m^{-2}$); (c) saldo de radiação diário (R_n diário, $W\ m^{-2}$) e (d) evapotranspiração diária (ET diário, $mm\ d^{-1}$) do dia 11/05/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. 29
- Figura 4: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (T_s , Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (R_n inst, $W\ m^{-2}$) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, $W\ m^{-2}$) do dia 28/06/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS..... 31
- Figura 5: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, $W\ m^{-2}$), (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, $W\ m^{-2}$), (c) saldo de radiação diário (R_n diário, $W\ m^{-2}$) e (d) evapotranspiração diária (ET diário, $mm\ d^{-1}$) do dia 28/06/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. 32
- Figura 6: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (T_s , Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (R_n inst, $W\ m^{-2}$) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, $W\ m^{-2}$) do dia 30/07/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS..... 34
- Figura 7: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, $W\ m^{-2}$); (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, $W\ m^{-2}$); (c) saldo de radiação diário (R_n diário, $W\ m^{-2}$) e (d) evapotranspiração diária (ET diário, $mm\ d^{-1}$) do dia 30/07/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. 35
- Figura 8: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (T_s , Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (R_n inst, $W\ m^{-2}$) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, $W\ m^{-2}$) do dia 02/10/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS..... 37

Figura 9: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H_{inst} , $W m^{-2}$); (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE_{inst} , $W m^{-2}$); (c) saldo de radiação diário ($Rn_{\text{diário}}$, $W m^{-2}$) e (d) evapotranspiração diária ($ET_{\text{diário}}$, $mm d^{-1}$) do dia 02/10/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.
..... 38

Tabelas

Tabela 1 - Descrição das bandas do sensor TM do satélite Landsat 5, apresentando os coeficientes de calibração (Lmin e Lmax) após 5 de maio de 2003 e a Irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera.....	15
Tabela 2 - Processo iterativo do dia 11 de maio de 2009.....	24
Tabela 3 - Processo iterativo do dia 28 de junho de 2009.....	24
Tabela 4 - Processo iterativo do dia 30 de julho de 2009.....	25
Tabela 5 - Processo iterativo do dia 2 de outubro de 2009.....	25

Resumo

A atividade pecuária brasileira tem participação significativa no Produto Interno Bruto (PIB). O baixo custo de produção de carne bovina, fundamentalmente pela exploração das áreas de pastagem de forma extensiva, coloca o país como o principal exportador mundial. No entanto, existem inúmeros fatores que influenciam no ganho de peso satisfatório do rebanho, dentre estes o déficit hídrico se destaca principalmente pelas irregularidades do regime pluvial. Assim, os processos evapotranspirativos tornam-se relevantes no diagnóstico das condições ambientais das áreas sob pastagem. A identificação de períodos críticos ao longo das estações do ano contribui para o controle da intensificação de processos inerentes à degradação das pastagens. As técnicas de sensoriamento remoto tem sido muito promissoras para o desenvolvimento de medidas mais confiáveis e economicamente viáveis para a produção vegetal em grandes áreas. O algoritmo Sebal (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), por exemplo, possibilita o cálculo do fluxo de calor latente pela diferença na equação clássica do balanço de energia. A aplicação do Sebal tem sido realizada extensivamente em diversas regiões do mundo, que possuem diferentes características climáticas, com resultados bastante promissores. Utilizando imagens TM - Landsat 5 das áreas sob pastagens da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte e o algoritmo SEBAL, realizou-se o mapeamento de diversas variáveis do balanço de energia. A evapotranspiração média estimada variou de 1 a 2 mm d⁻¹, em concordância com outros valores de literatura.

1 - Introdução

A atividade pecuária é um dos setores mais importantes da agropecuária brasileira. Ela gera milhares de empregos diretos e indiretos e tem uma participação significativa no produto interno bruto (PIB). Segundo o IBGE (2008), o país tem se firmado como um grande fornecedor mundial do grupo carnes, sendo o líder isolado nas exportações de carne bovina, com volume exportado 56% superior ao da Austrália, segundo maior exportador. Um dos fatores que se destacam para o sucesso da produção de carne bovina é o baixo custo de produção, visto que cerca de 89% da criação de bovinos é realizada exclusivamente em pastagens e o restante tendo utilizado áreas de pasto em alguma fase do processo de criação (FAGUNDES, 2004).

Pesquisas realizadas pelo IBGE (2008) apontam que o rebanho efetivo de bovinos está ao redor de 200 milhões de cabeças, ocupando uma área de aproximadamente 20% do território nacional. Além disso, estimativas apresentadas pelo IBGE mostram que de janeiro a setembro de 2008 foram abatidas cerca de 22 milhões de cabeças, o que gerou um peso total de carcaças de aproximadamente 5,05 milhões de toneladas.

Apesar de o Brasil ser líder na produção de carne bovina e possuir baixos custos de produção, por seguir o sistema de criação a pasto, verifica-se que a sazonalidade da produção de forrageiras é uma característica marcante na curva de crescimento dos animais. Durante o ano, os períodos de ganho de peso satisfatório ocorrem na estação chuvosa e as dificuldades em manter o peso corporal, na estação seca (MORAES, 2006).

Muitas vezes, os pesquisadores ignoram a importância da evapotranspiração regional como componente fundamental na modelagem do ciclo hidrológico. Desconsidera-se, por exemplo, que a evapotranspiração (ET), em algumas épocas do ano, é maior que a precipitação e o escoamento superficial. Assim, para estabelecer um manejo otimizado das pastagens é de fundamental importância o monitoramento do crescimento das forrageiras e a avaliação da relação entre a produção e os processos climáticos. Nesse sentido, tem crescido o número de pesquisas que empregam técnicas de sensoriamento remoto na identificação de áreas de cultivo, bem como, na estimativa de parâmetros biofísicos a serem utilizados em modelos de crescimento, balanço hídrico, produtividade etc.

Silva (2006) relata que as técnicas de sensoriamento remoto possibilitam o diagnóstico e a geração de mapas de forma dinâmica. Os sensores dos satélites captam imagens da terra de modo contínuo, abrangendo extensas áreas e fornecendo informações atualizadas, que são extraídas por meio de técnicas de interpretação visual e de processamento automático das imagens. De acordo com Bastiaanssen (2000), o sensoriamento remoto aplicado à agricultura oferece grandes vantagens, como a obtenção de informações que possibilitam a geração de séries temporais da região em estudo, facilitando a comparação entre elas. Ao mesmo tempo, proporciona o

oferecimento de ampla cobertura espacial, favorecendo a análise de toda a região e a obtenção de informações que podem ser representadas espacialmente.

French et al. (2005) citam que é reconhecido que a variabilidade espacial da evapotranspiração (ET) é grande e que até mesmo as maneiras mais avançadas de medir a ET em torres, por meio de sistemas de covariância de vórtices turbulentos, não é frequentemente o mais representativo da ET numa escala regional. Consequentemente, a incorporação de dados de sensoriamento remoto é requerida, devido ser esta a única maneira de se observar, simultaneamente, grandes áreas de superfície da terra (FRENCH et al., 2005).

Por essa razão, alguns estudos tem sido desenvolvidos com o objetivo de determinar a ET com base na equação do balanço de energia à superfície, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens de satélite por meio de estimativas do fluxo de calor latente (LE) (ANDRADE, 2008; AYENNEW, 2003; BASTIAANSSEN et al., 1998a; 1998b; FOLHES, 2007; FRENCH et al., 2005; MEDINA et al., 1998; MENEZES, 2006; MOHAMED et al., 2004; TEIXEIRA et al., 2009; TIMMERMANS; MEIJERINK, 1999).

O SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) foi desenvolvido por Bastiaanssen et al. (1998a; 1998b) e possibilita o cálculo do fluxo de calor latente pela diferença na equação clássica do balanço de energia. O mesmo utiliza-se da temperatura da superfície, da reflectância hemisférica da superfície, índices de vegetação (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI, Índice de Vegetação Ajustado para o Solo - SAVI e Índice de Área Foliar - IAF) e de alguns dados complementares de superfície, normalmente obtidos em estações meteorológicas automáticas. Esse algoritmo tem sido amplamente empregado em várias áreas irrigadas do globo, a exemplo da bacia do Bear River (ALLEN et al., 2002).

Bastiannssen et al. (1998a) apresentam detalhadamente a formulação do SEBAL e mostram várias razões que o coloca numa situação de destaque em relação a outros algoritmos de balanço de energia. Segundo Allen et al. (2002), o SEBAL pode ser utilizado para a estimativa da ET em escala operacional, o que vem ocorrendo em estados norte-americanos. O processo pelo qual esta estimativa é estabelecida considera uma série de cálculos, tais como: o saldo de radiação à superfície, o fluxo de calor no solo e o fluxo de calor sensível. Com estes parâmetros, obtém-se o fluxo de energia "residual" por meio da diferença do saldo de radiação à superfície e fluxos de calor no solo e de calor sensível.

O SEBAL é constituído, quase que totalmente, por parametrizações físicas bem estabelecidas e pouco complexas (PAIVA, 2005), sendo que do total de passos existentes no algoritmo, poucos são aqueles que envolvem parametrizações empíricas (emissividade e temperatura da superfície, emissividade da atmosfera, fluxo de calor no solo e comprimento da rugosidade aerodinâmica para o transporte de momentum). Além disso, essas parametrizações foram confrontadas com dados de campo em diferentes partes do mundo, apresentando resultados promissores. Ayenew (2003) ressalta que as

parametrizações do SEBAL mostraram-se de grande importância na demonstração da diferença espacial da ET em condições de escassez de dados.

Medina et al. (1998) citam que o SEBAL contém um número menor de relações empíricas e requer poucos parâmetros experimentais quando comparado a outros algoritmos. Para Bastiaanssen e Ali (2003), isso é uma grande vantagem, uma vez que as aproximações empíricas necessitam de excessivos programas de coleta de dados em campo que, em escala regional, são bastante laboriosos e onerosos. Esse algoritmo também tem como destaque o fato de ser construído de forma modular, o que permite modificações parciais, podendo ser utilizado com dados de radiômetros com diferentes resoluções temporais e espaciais. Além disso, a física envolvida no SEBAL permite o cálculo dos fluxos em superfície para uma ampla gama de uso da terra e calcula o balanço completo de radiação e de energia para cada pixel da imagem (BASTIAANSSEN; ALI, 2003) sem a necessidade de extensivas medições de campo, ou seja, com um número reduzido de dados meteorológicos, facilmente obtidos (TIMMERMANS; MEIJERINK, 1999; MOHAMED et al., 2004).

2 - Objetivo

Realizar o mapeamento da evapotranspiração de pastagens com uso de técnicas de sensoriamento remoto e do algoritmo SEBAL na área da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Tal aplicação tem como objetivo contribuir para o diagnóstico das condições climáticas e ambientais das áreas sob pastagens e auxiliar na prevenção de possíveis riscos à produção sustentável de carne bovina.

3 - Material e Métodos

Foram utilizados os dados meteorológicos (temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento) das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do município de Campo Grande, MS, para o ano de 2009. A Embrapa Gado de Corte forneceu um arquivo no formato CAD (*Computer-Aided Design*), onde foi possível identificar as classes de uso e cobertura das terras da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte (área de 1612 ha).

Imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 nas sete bandas espectrais, para os dias 11 de maio, 28 de junho, 30 de julho e 2 de outubro de 2009, foram obtidas do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, ao acessar o sítio: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Tais datas foram selecionadas pela disponibilidade de imagens sem a presença de nuvens, duas delas correspondendo ao período seco (28 de junho e 30 de julho), uma ao início (2 de outubro) e outra ao final (11 de maio) do período chuvoso.

Com o auxílio do *software* Erdas Imagine, versão 9.3, foi possível realizar as etapas de geoprocessamento de união das bandas. Em seguida, efetuou-se um recorte abrangendo somente a Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte e sua vizinhança. Posteriormente, realizou-se um georreferenciamento no *software* ArcGis, versão 9.2, tendo como referência o arquivo CAD de delimitação da Fazenda. A Figura 1 mostra a delimitação territorial da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte (originado dos dados CAD cedido pela Embrapa Gado de Corte) sobreposto ao recorte da imagem TM - Landsat 5.



Figura 1: Delimitação da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. Imagem do sensor TM do satélite Landsat 5 na composição RGB (bandas 3, 2, 1).

O processo de aplicação do algoritmo SEBAL foi todo desenvolvido na ferramenta “MODELER – SPATIAL MODELER – MODEL MAKER” do *software* Erdas Imagine, versão 9.3. A primeira rotina computacional destinou-se à obtenção do saldo de radiação à superfície. Para tanto, uma série de etapas foram efetuadas, sendo que a etapa inicial refere-se à determinação da radiância espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$), dada por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\min} + \frac{(L_{\max} - L_{\min}) ND}{255} \quad (1)$$

Em que, ND é o número digital de cada pixel, já os coeficientes Lmax e Lmin são as radiâncias espectrais máximas e mínimas ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), os quais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição das bandas do sensor TM do satélite Landsat 5, apresentando os coeficientes de calibração (Lmin e Lmax) após 5 de maio de 2003 e a Irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de calibração ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)		Irradiância solar espectral no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)
		Lmin	Lmax	E_{λ_i}
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365	1829
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264	1557
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,90	-1,51	221	1047
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	219,3
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	74,52

Fonte: Chander e Markham (2003).

Posteriormente, calculou-se a reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}) com a equação sugerida por Allen et al. (2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{E_{\lambda_i} \cos \theta_z d_r} \quad (2)$$

Em que, L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, E_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$, Tabela 1), θ_z é o ângulo zenital solar e d_r é a distância relativa terra-sol (em unidade astronômica - UA).

Com a reflectância de cada banda, foi possível obter o albedo no topo da atmosfera (α_{toa}) e, por sua vez, o albedo considerando os efeitos atmosféricos ou albedo da superfície (α):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,154\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_6 \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_{\text{p}}}{\tau_{\text{sw}}^2} \quad (4)$$

Em que, α_{p} é o albedo da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04; τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que, para condições de céu claro, é obtida por:

$$\tau_{\text{sw}} = 0,75 + 2.10^{-5} z_a \quad (5)$$

Em que, z_a é a altitude.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) foi obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_{V}) e a soma das mesmas (ALLEN et al., 2002):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}}}{\rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}}} \quad (6)$$

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* - SAVI), utilizou-se a expressão de Huete (1988):

$$\text{SAVI} = \frac{(1+L)(\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}})}{(L + \rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}})} \quad (7)$$

O SAVI é um índice que busca diminuir a influência da resposta espectral do solo, mediante a inclusão de um fator de ajuste (L) que é variável com o grau de fechamento do dossel, permitindo uma melhora na interpretação das variáveis da vegetação. Neste estudo foi utilizado o valor de L igual a 0,5.

No cálculo do Índice de Área Foliar (IAF), definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, foi adotada a equação empírica sugerida por Allen et al. (2002):

$$\text{IAF} = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - \text{SAVI}}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

Para obtenção da temperatura da superfície (T_s , em kelvin), utilizou-se a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (9)$$

Em que, K_1 ($607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) e K_2 ($1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) são constantes de calibração da banda termal do sensor TM - Landsat 5 e $L_{\lambda,6}$ é a radiância espectral da banda termal. Como cada superfície não emite radiação eletromagnética como se fosse um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal (ϵ_{NB}). Assim, quando for calculada a radiação de onda longa emitida da superfície, deverá ser considerada a emissividade da banda larga (ϵ_0) ($6 - 14 \mu\text{m}$). As emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 foram obtidas, para $\text{NDVI} > 0$ e $\text{IAF} < 3$, pelas expressões:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \text{IAF} \quad (10)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{IAF} \quad (11)$$

Sendo adotado o valor de $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$, para pixels com $\text{IAF} \geq 3$ (ALLEN et al., 2002). Para corpos d'água ($\text{NDVI} < 0$ e $\alpha < 0,47$), adotou-se os valores de $\epsilon_{NB} = 0,99$ e $\epsilon_0 = 0,985$, também recomendados por Allen et al. (2002).

Após o cálculo de ϵ_0 , utilizou-se a equação de Stefan-Boltzman para obter a radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$, em W m^{-2}):

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \sigma T_s^4 \quad (12)$$

Em que, σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

A estimativa da radiação de onda longa incidente, emitida pela atmosfera na direção da superfície ($R_{L\downarrow}$, em W m^{-2}), também foi calculada por meio da equação de Stefan-Boltzman, só que considerando a temperatura do ar e a emissividade atmosférica, que é expressa por:

$$\varepsilon_a = 0,85 (-\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (13)$$

A radiação incidente de onda curta ($R_{s\downarrow}$, em $W m^{-2}$), definida como o fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre, foi estimada para a condição de céu claro, da seguinte forma:

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \cos \theta_z d_r \tau_{sw} \quad (14)$$

Em que, G_{sc} é a constante solar ($1367 W m^{-2}$); θ_z é o ângulo zenital solar; d_r é o inverso do quadrado da distância relativa terra-sol (em unidade astronômica - UA); τ_{sw} é a transmissividade atmosférica. Calculado o valor de $R_{s\downarrow}$, estimou-se então o saldo de radiação à superfície (R_n , em $W m^{-2}$):

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (15)$$

Em seqüência, obteve-se o fluxo de calor no solo (G , em $W m^{-2}$) por meio da aplicação da função empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000):

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98NDVI^4) \right] R_n \quad (16)$$

Em que, T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}C$), α é o albedo da superfície e NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada, calculados pixel a pixel. Para efeito de correção dos valores do fluxo de calor no solo para corpos d'água ($NDVI < 0$), utilizou-se a expressão (ALLEN et al., 2002):

$$G = 0,3 R_n \quad (17)$$

Obtido o valor de G , iniciou-se uma nova série de passos necessários para a obtenção do fluxo de calor sensível (H).

Para estimativa de H , o processo teve início considerando a condição de atmosfera neutra. Primeiramente, obteve-se o parâmetro de rugosidade inicial ($z_{om\ inicial}$) ao aplicar a equação sugerida por Allen et al. (2002):

$$z_{om\ inicial} = 0,12 h \quad (18)$$

Em que, h é a altura média da vegetação (m).

Posteriormente, calculou-se a velocidade de fricção (u_*) para a condição de atmosfera neutra:

$$u_* = \frac{k u_2}{\ln\left(\frac{z_2}{z_{om\ inicial}}\right)} \quad (19)$$

Em que, k é a constante de von Karman (0,41), u_2 é a velocidade do vento ($m\ s^{-1}$) na altura (z_2) de 2,0 m.

Com as informações de $z_{om\ inicial}$ e u_* , foi possível estimar a velocidade do vento a uma altura (z) de 100 m (u_{100} , $m\ s^{-1}$), chamada de "blending height" (altura de mistura), assumindo que nesta altura os efeitos da rugosidade da superfície são desprezíveis:

$$u_{100} = u_* \frac{\ln\left(\frac{100}{z_{om}}\right)}{k} \quad (20)$$

Em seguida, ainda para condição de atmosfera neutra, calculou-se a resistência aerodinâmica inicial ($r_{ah\ inicial}$):

$$r_{ah\ inicial} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}{u_* k} \quad (21)$$

Em que, z_1 e z_2 são as alturas de 0,1 e 2,0 m, respectivamente.

Nos passos seguintes, z_{om} foi obtido por meio da expressão proposta por Bastiaanssen et al. (1998a):

$$z_{om} = \exp(-5,809 + 5,62\ SAVI) \quad (22)$$

Segundo Allen et al. (2002), no algoritmo SEBAL são necessários a utilização de dois pixels denominados “pixels âncoras” para fixar condições limite para o balanço de energia à superfície. Estes pixels também são chamados de “quente” e “frio” e ficam situados na área de estudo. O pixel “frio” pode ser selecionado numa superfície de cultura bem irrigada, que cobre completamente o solo com a vegetação, ou sobre a superfície de um lago. Neste caso, selecionou-se o pixel “frio” sobre a superfície de um lago. A temperatura do ar próxima à superfície e a temperatura da superfície são consideradas iguais para esse pixel. Assim, assumiu-se que o fluxo de calor sensível é igual a zero e, então, determinou-se o fluxo de calor latente máximo por meio da equação:

$$LE_{frio} = Rn - G \quad (23)$$

O pixel “quente” foi selecionado num campo agrícola seco, com solo exposto ou sem vegetação, onde se assumiu que o fluxo de calor latente é igual a zero, podendo assim obter o fluxo de calor sensível máximo ao empregar a equação:

$$H_{quente} = Rn - G = \frac{\rho c_p (a + b T_s)}{r_{ah}} \quad (24)$$

Em que, a e b são parâmetros de ajuste, ρ é a densidade do ar úmido (kg m^{-3}), c_p o calor específico do ar à pressão constante ($1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), r_{ah} é a resistência aerodinâmica, T_s é a temperatura da superfície (K). Por meio dos pixels âncoras, foi possível encontrar os coeficientes de correlação a e b para obtenção de dT em cada pixel. Como no pixel frio $dT = 0$, ou seja, $a + bT_s = 0$, tem-se um sistema com duas equações e duas incógnitas, o que possibilitou o cálculo de a e b. Logo, obteve-se o fluxo de calor sensível inicial ($H_{inicial}$):

$$H_{inicial} = \rho c_p \frac{dT}{r_{ah}} \quad (25)$$

No entanto, os valores de $H_{inicial}$ obtidos não são adequadamente representativos do H em cada pixel e serve, tão somente, como valores iniciais de um processo iterativo, que nas etapas seguintes foram consideradas, efetivamente, a condição de estabilidade atmosférica em cada pixel. Com isso, devido aos efeitos de turbulência do ar e aquecimento da superfície afetar as condições atmosféricas e a resistência aerodinâmica, foi aplicada a teoria da similaridade de Monin-Obukhov (L, em m) para saber qual é a condição de estabilidade da atmosfera, ou seja, se ela é instável ($L < 0$), estável ($L > 0$) ou neutra ($L = 0$):

$$L = -\frac{\rho_{ar} c_p u_*^3 T_s}{k g H} \quad (26)$$

Em que, k é a constante de von Karman; g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$); u_* é a velocidade de fricção (m s^{-1}); ρ_{ar} é a densidade do ar úmido (kg m^{-3}); C_p o calor específico do ar à pressão constante ($1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T_s é a temperatura da superfície (K), H é o fluxo de calor sensível (W m^{-2}).

Ao determinar a condição de estabilidade da atmosfera, os valores das correções de estabilidade para o transporte de momentum (Ψ_m) e de calor (Ψ_h) foram considerados. Para tanto, utilizou-se das formulações sugeridas por Allen et al. (2002):

Se $L < 0$; condição instável:

$$\Psi_{m(100m)} = 2 \ln\left(\frac{1+x_{(100m)}}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x_{(100m)}^2}{2}\right) - 2ARCTAN(x_{(100m)}) + 0,5\pi \quad (27)$$

$$\Psi_{h(2m)} = 2 \ln\left(\frac{1+x_{(2m)}^2}{2}\right) \quad (28)$$

$$\Psi_{h(0,1m)} = 2 \ln\left(\frac{1+x_{(0,1m)}^2}{2}\right) \quad (29)$$

em que,

$$x_{(100m)} = \left(1 - 16 \frac{100}{L}\right)^{0,25} \quad (30)$$

$$x_{(2m)} = \left(1 - 16 \frac{2}{L}\right)^{0,25} \quad (31)$$

$$x_{(0,1m)} = \left(1 - 16 \frac{0,1}{L}\right)^{0,25} \quad (32)$$

Se $L > 0$; condição estável:

$$\Psi_{m(100m)} = -5 \left(\frac{100}{L} \right) \quad (33)$$

$$\Psi_{h(2m)} = -5 \left(\frac{2}{L} \right) \quad (34)$$

$$\Psi_{m(0,1m)} = -5 \left(\frac{0,1}{L} \right) \quad (35)$$

Se $L = 0$; condição neutra: ψ_m e $\psi_h = 0$.

A velocidade de fricção considerando a condição atmosférica foi estimada por:

$$u_* = \frac{k u_{100}}{\ln \left(\frac{z}{z_{0m}} \right) - \Psi_{m(100m)}} \quad (36)$$

De posse do valor corrigido de u_* , obteve-se o valor corrigido de r_{ah} :

$$r_{ah} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_1} - \Psi_{h(2m)} + \Psi_{h(0,1m)}}{u_* k} \quad (37)$$

Em seguida, retornou-se ao cálculo da função da diferença de temperatura (dT), repetindo-se os cálculos mencionados anteriormente até que se obteve estabilidade nos valores sucessivos de dT e r_{ah} para o pixel quente. E, então, foi realizada a estimativa de LE pela simples diferença entre o saldo de radiação (Rn), o fluxo de calor no solo (G) e o fluxo de calor sensível (H).

Em seqüência, foi possível estimar a fração evaporativa (λ):

$$\lambda = W = \frac{LE}{LE + H} = \frac{LE}{Rn - G} \quad (38)$$

Para estimativa da evapotranspiração real diária (mm d^{-1}), empregou-se a equação sugerida por Ayenew (2003):

$$ET_{\text{diário}} = \frac{\lambda Rn_{\text{diário}}}{28} \quad (39)$$

Em que, a constante (28) no denominador foi requerida para conversão de unidades. Ou seja, W m^{-2} para mm d^{-1} , $Rn_{\text{diário}}$ é o saldo de radiação integrado em 24 horas, obtido por meio de dados de estação meteorológica.

4 - Resultados e Discussão

As Tabelas de 2 a 5 apresentam os valores de monin obukov, resistência aerodinâmica (r_{ah}), velocidade de fricção (u^*), coeficientes a e b e o intervalo de variação da temperatura (dT) para o pixel quente escolhido na realização do processo iterativo de obtenção do fluxo de calor sensível corrigido levando em conta a condição da atmosfera (neutra, estável e instável).

Tabela 2 - Processo iterativo do dia 11 de maio de 2009

Iteração	Monin Obukov (pixel quente)	r_{ah} (pixel quente)	u^* corrigido	a	b	dT
Início	-3,1270	27,3540	0,2670	-22,5379	1,0353	12,6080
1 (corrigido)	-11,2780	9,9460	0,4080	-8,1948	0,3764	4,5840
2 (corrigido)	-7,6690	17,9260	0,3590	-14,7698	0,6785	8,2630
3 (corrigido)	-8,6030	16,6880	0,3730	-13,7498	0,6316	7,6920
4 (corrigido)	-8,3060	17,0610	0,3700	-14,0571	0,6457	7,8640
5 (corrigido)	-8,3950	16,9470	0,3710	-13,9632	0,6414	7,8110
6 (corrigido)	-8,1380	17,1380	0,3660	-14,1206	0,6487	7,8990
7 (corrigido)	-8,2170	17,0360	0,3670	-14,0365	0,6448	7,8520
8 (corrigido)	-8,1960	17,0590	0,3670	-14,0555	0,6457	7,8630
9 (corrigido)	-8,2020	17,0510	0,3670	-14,0489	0,6454	7,8590
10 (corrigido)	-8,2030	17,0530	0,3670	-14,0505	0,6454	7,8600

Tabela 3 - Processo iterativo do dia 28 de junho de 2009

Iteração	Monin Obukov (pixel quente)	r_{ah} (pixel quente)	u^* corrigido	a	b	dT
Início	-30,0000	11,7430	0,6220	-32,9612	1,6150	5,3330
1 (corrigido)	-50,0000	8,5390	0,7590	-23,9680	1,1743	3,8780
2 (corrigido)	-63,6070	9,5790	0,7200	-26,8871	1,3174	4,3500
3 (corrigido)	-60,6500	9,8100	0,7200	-27,5355	1,3491	4,4550
4 (corrigido)	-61,2220	9,7650	0,7220	-27,4092	1,3429	4,4340
5 (corrigido)	-61,0890	9,7740	0,7220	-27,4345	1,3442	4,4380
6 (corrigido)	-61,1230	9,7720	0,7220	-27,4289	1,3439	4,4380
7 (corrigido)	-61,1230	9,7720	0,7220	-27,4289	1,3439	4,4380

Tabela 4 - Processo iterativo do dia 30 de julho de 2009

Iteração	Monin Obukov (pixel quente)	r_{ah} (pixel quente)	u^* corrigido	a	b	dT
Início	-25,6120	12,9140	0,5660	-68,3299	3,6464	6,6730
1 (corrigido)	-49,3640	8,9370	0,7040	-47,2870	2,5235	4,6180
2 (corrigido)	-42,4270	10,4600	0,6700	-55,3454	2,9535	5,4050
3 (corrigido)	-43,8560	10,2870	0,6770	-54,4300	2,9046	5,3150
4 (corrigido)	-43,5270	10,3250	0,6750	-54,6311	2,9154	5,3350
5 (corrigido)	-43,6040	10,3170	0,6760	-54,5888	2,9131	5,3310
6 (corrigido)	-43,5810	10,3190	0,6760	-54,5994	2,9137	5,3320
7 (corrigido)	-43,5910	10,3180	0,6760	-54,5941	2,9134	5,3320
8 (corrigido)	-43,5910	10,3180	0,6760	-54,5941	2,9134	5,3320

Tabela 5 - Processo iterativo do dia 2 de outubro de 2009

Iteração	Monin Obukov (pixel quente)	r_{ah} (pixel quente)	u^* corrigido	a	b	dT
Início	-14,2140	14,9530	0,4870	-17,4196	0,7898	9,2860
1 (corrigido)	-30,9380	9,1530	0,6310	-10,6629	0,4834	5,6840
2 (corrigido)	-25,5280	11,5650	0,5920	-13,4727	0,6108	7,1820
3 (corrigido)	-26,0420	11,2790	0,6000	-13,1396	0,5957	7,0040
4 (corrigido)	-26,5650	11,3100	0,5990	-13,1757	0,5974	7,0230
5 (corrigido)	-26,4470	11,3390	0,6010	-13,2095	0,5989	7,0410
6 (corrigido)	-26,4710	11,3330	0,6010	-13,2025	0,5986	7,0380
7 (corrigido)	-26,4720	11,3340	0,6010	-13,2036	0,5986	7,0380
8 (corrigido)	-26,4720	12,3340	0,6010	-13,2036	0,5986	7,0380

Nas Figuras 2a a 2f tem-se o albedo da superfície, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), o índice de área foliar (IAF), a temperatura da superfície (T_s , Kelvin), o saldo de radiação instantâneo (R_n inst, $W\ m^{-2}$) e o fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, $W\ m^{-2}$) para a cena do dia 11 de maio de 2009.

O albedo variou de 0,08 (floresta) a 0,31 (solo exposto). Em média, para as áreas sob pastagem e floresta, o albedo foi de 0,17 e 0,13, respectivamente. Nas análises realizadas por Pereira et al. (2007) com imagens TM – Landsat 5 (cenas de 30/09/2000, 16/02/2005, 04/03/2005 e 10/07/2005) na região de Passo do Lontra, Corumbá, MS, foram encontrados valores médios de albedo para campo alagado de 0,07, para campo sujo de 0,11, para mata ciliar de 0,14 e para o cerrado de 0,13. Moura et al. (1999) obtiveram, na região amazônica, albedo médio horário de 0,204 e 0,139 para áreas de pastagem e floresta, respectivamente, na época da seca, enquanto para época chuvosa foi de 0,197 para pastagem e de 0,124 para a floresta. Em grande parte da região do Pantanal, Andrade et al. (2009d) encontraram valores de albedo oscilando entre 0,11 e 0,20. No entanto, em algumas áreas antrópicas (agricultura, pecuária etc) o albedo variou entre 0,16 e 0,25. Nas áreas ocupadas pela classe de formações pioneiras, o albedo teve valores entre 0,06 e 0,15, sendo justificados pela presença de áreas inundadas.

Valores negativos de NDVI foram encontrados para áreas sob corpos d'água. As áreas com forte presença de solo exposto apresentou valores de NDVI entre 0,01 e 0,2 (classe cor laranja). Já os valores mais elevados de NDVI (0,61 a 0,80) predominaram nas áreas sob floresta. No entanto, áreas sob pastagem apresentaram classes de valores intermediários de NDVI (0,01 a 0,60). Para cena do dia 08/03/2009 que abrange a Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Andrade et al. (2009a) encontraram em áreas sob pastagem oscilação do NDVI no intervalo de 0,052 a 0,786. Quanto ao IAF (Figura 2c), observou variação espacial de 0,00 (áreas com solo exposto) a 3,33 (vegetação densa, algumas áreas de floresta e pastagem representada pelas classes em tons de verde).

A T_s mínima (295,2 K) e a T_s máxima (307,4 K) foi observada nas áreas sob floresta e de solo exposto, respectivamente (Figura 2d). Em pesquisas realizadas na região de Eldorado do Sul, RS, Leivas et al. (2007) observaram que as maiores temperaturas da superfície foram em áreas urbanizadas e em solo exposto e as mais baixas estavam localizadas sobre áreas de corpos d'água.

O saldo de radiação instantâneo (R_n inst) apresentou valores abaixo de 700 W m^{-2} em praticamente toda a área sob floresta. Já as áreas sob pastagem, a variabilidade de R_n inst apresentou um intervalo de variação mais amplo, ou seja, de 700 W m^{-2} a 800 W m^{-2} . Em pesquisas realizadas por Folhes et al. (2007) em região próxima ao município de Petrolina, PE, foram obtidos R_n inst entre 765 W m^{-2} a 810 W m^{-2} em áreas sobre o curso do Rio São Francisco para uma cena do dia 12/10/2004. No entanto, para área do projeto de irrigação Jaguaribe-Apodi, localizado no Estado do Ceará, Folhes (2007) encontrou médias de R_n inst da ordem de 629 W m^{-2} , 586 W m^{-2} , 551 W m^{-2} e 561 W m^{-2} para cenas dos dias 24/10/2005, 28/01/2006, 23/07/2006 e 08/08/2006, respectivamente.

Na Figura 2f tem-se o fluxo de calor no solo (G inst) para a cena do dia 11/05/2009. Nota-se que G inst variou de 48 W m^{-2} (áreas de floresta) a 180 W m^{-2} (superfície de corpos d'água). Em média, para as áreas sob pastagem, G inst variou de 80 W m^{-2} a 100 W m^{-2} . Silva e Bezerra (2006), ao aplicar o algoritmo SEBAL e imagem TM - Landsat 5 na região do perímetro irrigado do projeto Senador Nilo Coelho, de abrangência dos municípios de Petrolina, PE e Juazeiro, BA, encontraram para o dia 04/12/2000 e 04/10/2001 valores médios do G inst da ordem de $94,5 \text{ W m}^{-2}$ e $112,3 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente. Em estudo realizado no Triângulo Mineiro, analisando uma série de 22 imagens TM - Landsat 5 entre os anos de 2004 e 2007, Andrade (2008) observou que o valor médio do G inst foi de $81,91 \text{ W m}^{-2}$. No entanto, na série, os valores médios do G inst oscilaram entre $45,66 \text{ W m}^{-2}$ e $269,47 \text{ W m}^{-2}$, de acordo com o mês e o ano analisado.

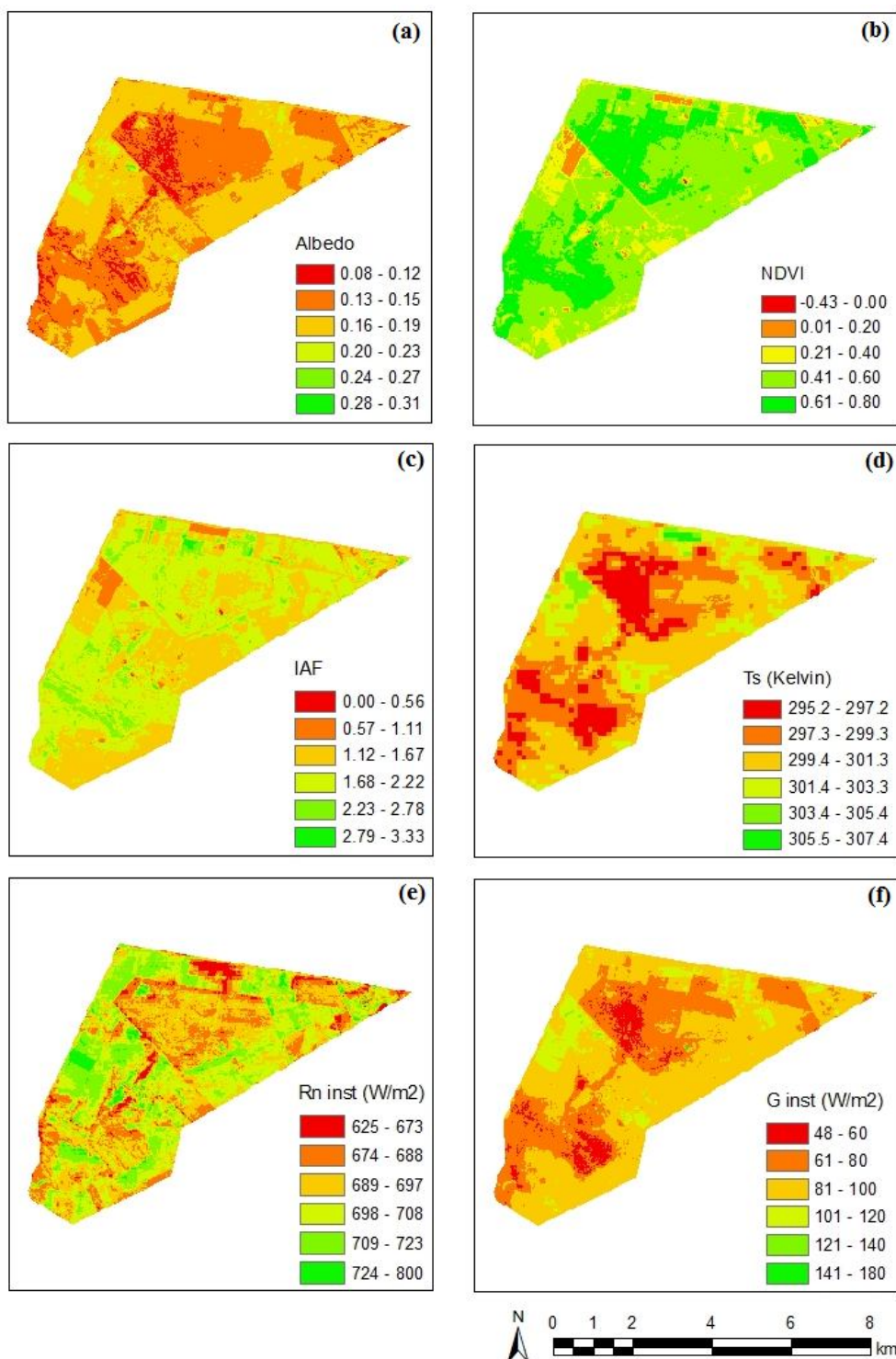


Figura 2: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (Ts, Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (Rn inst, W m⁻²) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, W m⁻²) do dia 11/05/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

As Figuras 3a a 3d mostram a variabilidade espacial do fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, W m⁻²), do fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, W m⁻²), do saldo de radiação diário (Rn diário, W m⁻²) e da evapotranspiração diária (ET diário, mm d⁻¹) para a cena do dia 11/05/2009. O H inst variou de 12 W m⁻² (floresta) a 608 W m⁻²

(solo exposto). Em média, as áreas sob pastagem apresentaram H_{inst} de 220 W m^{-2} . O LE_{inst} variou de 0 W m^{-2} (solo exposto) a 639 W m^{-2} (floresta). Com relação às áreas sob pastagem, observaram LE_{inst} no intervalo entre 110 W m^{-2} (pastagem com exposição do solo) a 550 W m^{-2} (pastagem densa com bom desenvolvimento).

O R_n diário (Figura 3c) apresentou variabilidade espacial no intervalo de 90 W m^{-2} a 100 W m^{-2} em praticamente toda a área sob floresta. Já em boa parte das áreas sob pastagem, o R_n diário variou no intervalo de 71 W m^{-2} a 80 W m^{-2} (classe amarela). Oliveira et al. (2006), ao estudar a região de Passo do Lontra pertencente ao município de Corumbá, MS, no período de setembro de 2000 a junho de 2002, verificaram que as maiores médias diárias do saldo de radiação ocorreram nos meses de novembro a fevereiro, quando atinge cerca de 231 W m^{-2} , enquanto que nos meses referentes ao período de inverno no hemisfério sul, a média diária foi da ordem de 130 W m^{-2} . No mês de julho de 2001, os valores diários do saldo de radiação foram inferiores a 130 W m^{-2} . Em estudo conduzido por Fraga (2009) entre fevereiro de 2007 e janeiro de 2008, numa área de cambará sazonalmente inundada, município de Barão de Melgaço, MT, foi observada variação do R_n diário entre a estação seca e úmida, apresentando valores de $97,7 \text{ W m}^{-2}$ e $140,4 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

Quanto à ET diária (Figura 3d), verificou-se variação de $0,0 \text{ mm d}^{-1}$ a $4,0 \text{ mm d}^{-1}$. As áreas sob floresta mais uma vez foram as que tiveram maiores taxas evapotranspirativas. Já as áreas sob pastagem apresentaram em grande parte variação de ET diária no intervalo entre $1,0 \text{ mm d}^{-1}$ e $2,0 \text{ mm d}^{-1}$ (classe de cor laranja). Numa área de cambará sazonalmente inundada, município de Barão de Melgaço, MT, Fraga (2009) obteve valores médios diários de ET_r variando de $2,7 \text{ mm d}^{-1}$ (nos meses de junho, julho e setembro de 2007) a $5,2 \text{ mm d}^{-1}$ (nos meses de março e dezembro de 2007).

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 $4,13 \text{ mm d}^{-1}$, segundo o balanço de energia e $4,34 \text{ mm d}^{-1}$, obtida pelo lisímetro de pesagem. 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 $5,19 \pm 1,9 \text{ mm d}^{-1}$.

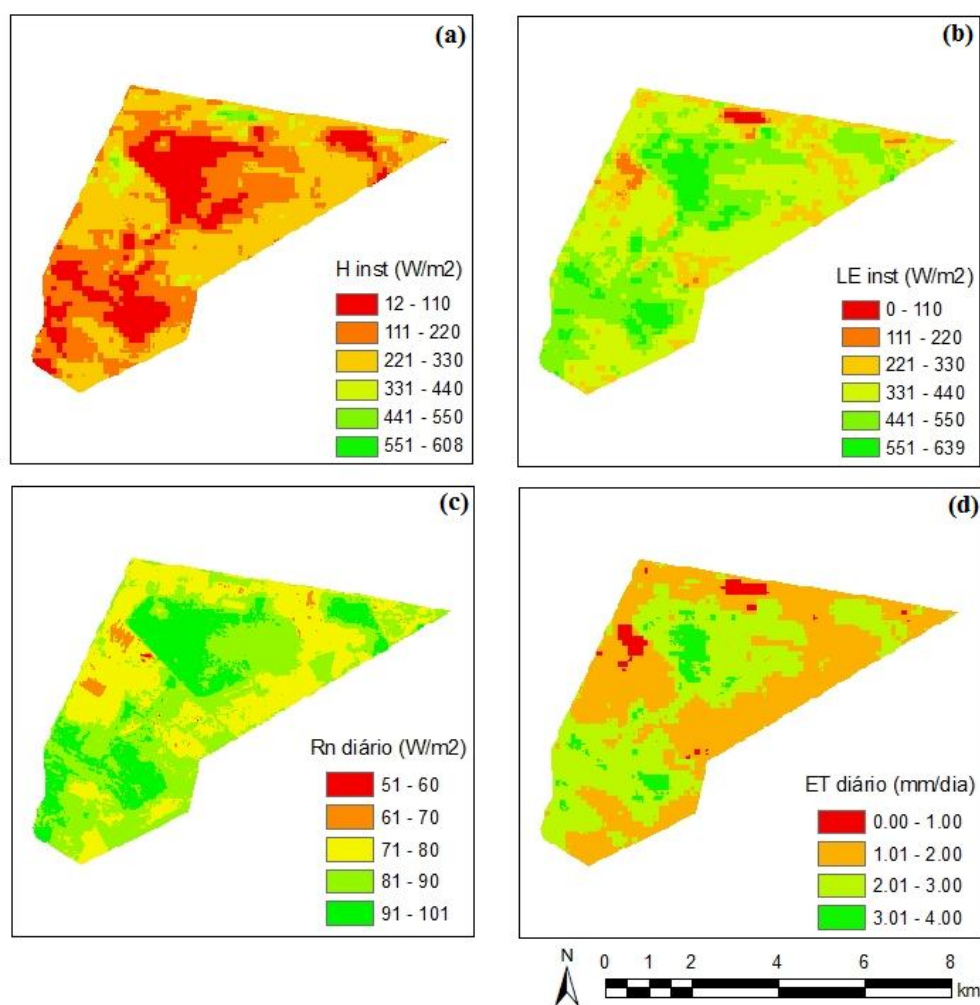


Figura 3: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H_{inst} , $W m^{-2}$); (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE_{inst} , $W m^{-2}$); (c) saldo de radiação diário ($Rn_{diário}$, $W m^{-2}$) e (d) evapotranspiração diária ($ET_{diário}$, $mm d^{-1}$) do dia 11/05/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

As Figuras de 4a a 4f apresentam a variação espacial do albedo da superfície, do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), do índice de área foliar (IAF), da temperatura da superfície (T_s , Kelvin), do saldo de radiação instantâneo (Rn_{inst} , $W m^{-2}$) e do fluxo de calor no solo instantâneo (G_{inst} , $W m^{-2}$) para a cena do dia 28/06/2009. Em praticamente toda a área sob floresta, o albedo da superfície ficou no intervalo de 0,06 a 0,10 (classe de cor vermelha). No entanto, em algumas áreas sob floresta também foi verificado valores de albedo no intervalo de 0,11 a 0,13 (classe laranja). Para boa parte das áreas sob pastagem, prevaleceu a classe de cor amarela com valores de albedo no intervalo de 0,14 a 0,16, mas também foram observados valores nas classes laranja (0,11 a 0,13) e amarela (0,17 a 0,19). Já em algumas áreas com solo exposto prevaleceram as classes em tons de verde (valores no intervalo entre 0,20 e 0,25). Leivas et al. (2007), ao realizar pesquisas na Estação Experimental Agrônômica (EEA), em Eldorado do Sul, RS, obtiveram albedo para área de solo exposto e urbanizada de 0,21 e 0,41, respectivamente.

Quanto ao NDVI (Figura 4b), as áreas predominantemente com solo exposto estão representadas na Figura 5b pela classe laranja, com valores no intervalo de 0,01 a 0,2.

Já o NDVI das áreas sob pastagem variou de 0,21 a 0,60, de acordo com a densidade vegetal dessas áreas. Com relação ao NDVI das áreas sob floresta, o intervalo de variação espacial foi de 0,41 a 0,79. No que diz respeito ao IAF, que é calculado por meio de uma equação empírica em função do índice de vegetação ajustado para solo (SAVI), verificou-se variação espacial de 0 a 3,91. Sendo que, na maior parte das áreas sob pastagem, o IAF ficou no intervalo de 1,31 a 1,96 (cor amarela).

A T_s (Figura 4d) apresentou variação espacial entre 293 K e 298,1 K. Os valores mais elevados de T_s foram observados em áreas com predominância de solo exposto (classe de cor verde) e os menores valores de T_s ocorreram sobre áreas de floresta e de corpos d'água. A T_s média das áreas sob floresta e pastagem foi de 294K e 296,2 K, respectivamente.

No que diz respeito ao R_n inst (Figura 4e), foram verificadas variações no intervalo de 554 W m^{-2} a 685 W m^{-2} de acordo com o tipo de cobertura vegetal. Em média, as áreas sob pastagem apresentaram R_n inst de 600 W m^{-2} . Leivas et al. (2007) obtiveram, para cena de 02/10/2002, da região de Eldorado do Sul, RS, médias de R_n inst da ordem de 662 W m^{-2} , 585 W m^{-2} , 606 W m^{-2} e 604 W m^{-2} para áreas de corpos d'água, solo exposto, vegetação e urbanas, respectivamente.

Já o G inst espacialmente variou de 37 W m^{-2} (floresta) a 120 W m^{-2} (predominância de solo exposto e corpos d'água). Para as áreas sob floresta, foram encontrados valores de G inst no intervalo de 37 W m^{-2} a 53 W m^{-2} , com média de 45 W m^{-2} . Já para as áreas sob pastagem, observaram-se variações espaciais no intervalo de 41 W m^{-2} a 120 W m^{-2} , com média 65 W m^{-2} . Silva e Bezerra (2006), ao estudar uma região que abrange o Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, encontraram valor médio de G da ordem de $94,5 \text{ W m}^{-2}$ e valores mínimos e máximos de $29,7 \text{ W m}^{-2}$ e $222,1 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente, para a cena de 04/12/2000. Entretanto, para a cena de 04/10/2001 encontraram valor médio de G da ordem de $112,3 \text{ W m}^{-2}$ e valores mínimos e máximos de $54,5 \text{ W m}^{-2}$ e $224,1 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

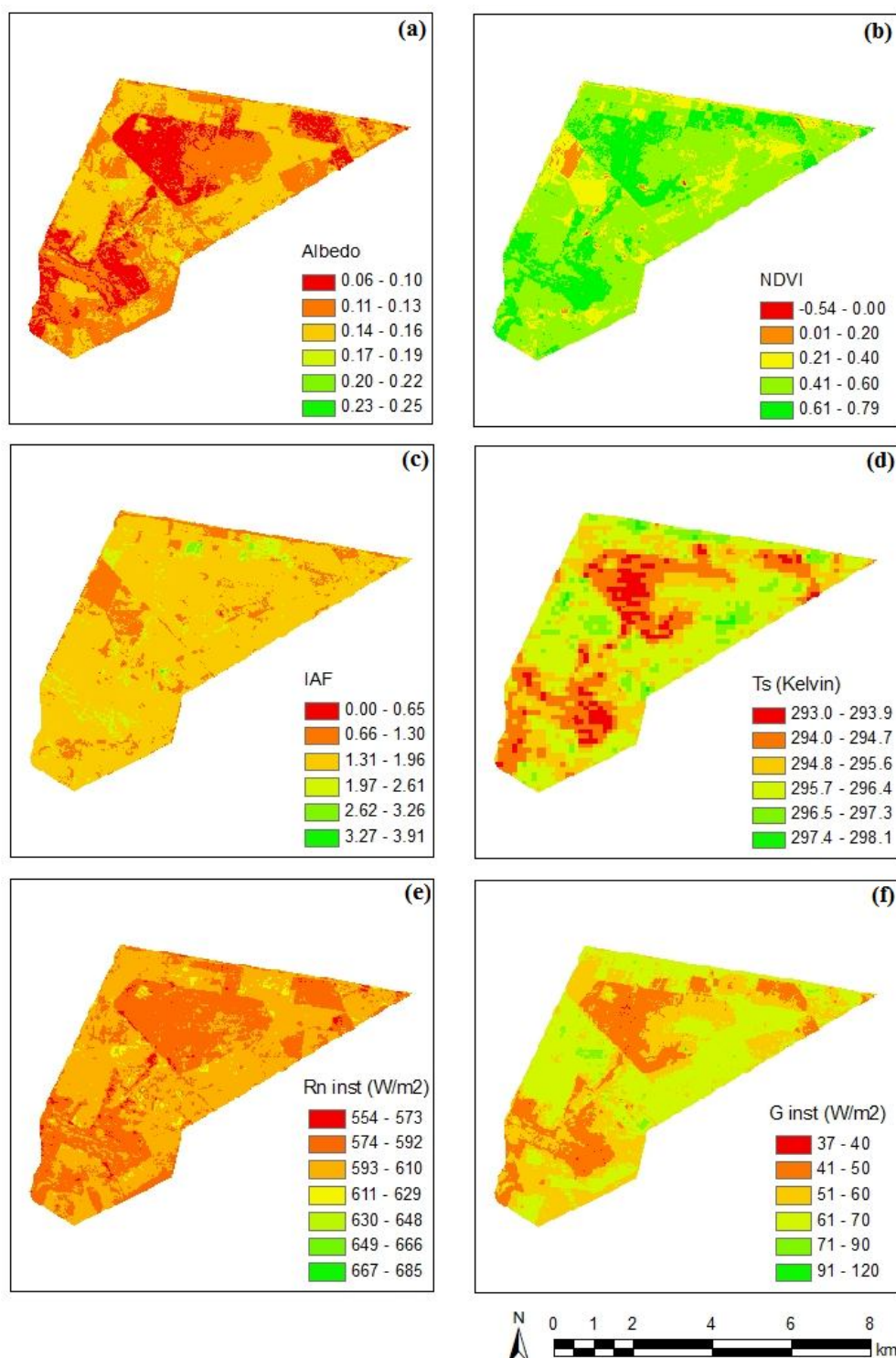


Figura 4: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (Ts, Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (Rn inst, W m⁻²) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, W m⁻²) do dia 28/06/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

As Figuras 5a a 5d apresentam a variação espacial do fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, W m⁻²), do fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, W m⁻²), do saldo de radiação diário (Rn diário, W m⁻²) e da evapotranspiração diária (ET diário, mm d⁻¹) para o dia 28/06/2009. Para as áreas sob floresta, o H inst variou de -36 W m⁻² a

305 $W m^{-2}$, com média de 160 $W m^{-2}$. Em áreas de plantios de eucaliptos pertencentes à CENIBRA, no entorno do município de Santa Bárbara, MG, Menezes (2006) obteve H_{inst} variando de 76,67 $W m^{-2}$ a 223,18 $W m^{-2}$, 180,72 $W m^{-2}$ a 216,86 $W m^{-2}$, -32,62 $W m^{-2}$ a 188,41 $W m^{-2}$, para cenas dos dias 20/06/2003, 24/09/2003 e 22/06/2004, respectivamente.

De forma geral, para as áreas sob pastagem, foi verificada variação espacial entre 150 $W m^{-2}$ e 600 $W m^{-2}$, de acordo com a porcentagem de cobertura vegetal. Áreas com grande exposição do solo apresentaram os maiores valores de H_{inst} (751 $W m^{-2}$ a 816 $W m^{-2}$).

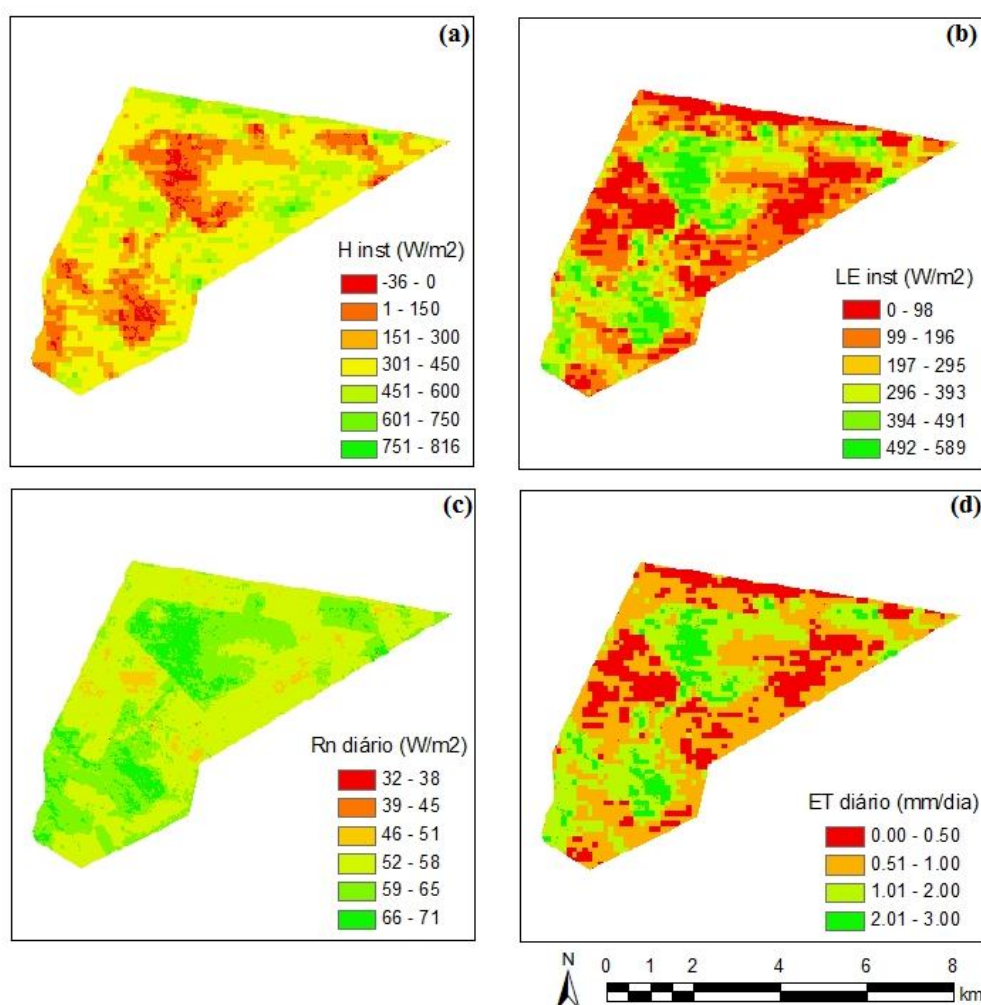


Figura 5: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H_{inst} , $W m^{-2}$), (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE_{inst} , $W m^{-2}$), (c) saldo de radiação diário ($Rn_{diário}$, $W m^{-2}$) e (d) evapotranspiração diária ($ET_{diário}$, $mm d^{-1}$) do dia 28/06/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Com relação ao LE_{inst} (Figura 5b), nota-se que em boa parte das áreas sob pastagens predominou a classe de cor vermelha, que apresenta valores entre 0 $W m^{-2}$ e 98 $W m^{-2}$. No entanto, em média, o LE_{inst} das áreas sob pastagem foi de 195 $W m^{-2}$. Para as áreas sob floresta, o LE_{inst} variou de 290 $W m^{-2}$ a 589 $W m^{-2}$, com média de 395 $W m^{-2}$.

O R_n diário (Figura 5c) variou de 32 W m^{-2} em algumas áreas de solo exposto a 71 W m^{-2} em áreas sob floresta. Em média, as áreas sob pastagem apresentaram R_n diário de 53 W m^{-2} . Já a ET diária teve variação de 0 mm d^{-1} (solo exposto) a $3,0 \text{ mm d}^{-1}$ (maior parte nas áreas sob floresta). Em média, a ET diária das áreas sob pastagem foi de $1,00 \text{ mm d}^{-1}$. Estes valores mais baixos de ET diária podem ter como explicação a época do ano (período de inverno), a qual representa o período de seca e/ou de baixa precipitação, acarretando baixa disponibilidade hídrica na zona radicular das pastagens e penalizando assim a taxa evapotranspirométrica das forrageiras.

As Figuras 6a a 6f apresentam a variação espacial do albedo da superfície, do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), do índice de área foliar (IAF), da temperatura da superfície (T_s , Kelvin), do saldo de radiação instantâneo ($R_n \text{ inst}$, W m^{-2}) e do fluxo de calor no solo instantâneo ($G \text{ inst}$, W m^{-2}) para a cena do dia 30/07/2009.

O albedo da superfície (Figura 6a) variou de 0,07 (floresta) a 0,27 (solo exposto). No entanto, para a maior parte das áreas de floresta e pastagem, o albedo médio foi de 0,11 e 0,16, respectivamente. Andrade et al. (2009b) encontraram para áreas sob pastagem valores médios de albedo de 0,23 e 0,22, para os dias 05/03/2008 e 08/03/2009, respectivamente. Já para áreas sob floresta, os autores encontraram valores de albedo médio da ordem de 0,18 e 0,17, para as cenas dos dias 05/03/2008 e 08/03/2009, respectivamente. Em média, o NDVI das áreas de floresta e pastagem foi de 0,60 e 0,45, respectivamente. Já o IAF variou de 0 a 4,83. Para as áreas sob floresta e pastagem, o IAF médio foi de 1,80 e 1,56, respectivamente. Quanto à T_s , observaram-se variações no intervalo de 288,5 K (floresta) a 294,7 K (solo exposto). Em média, para as áreas sob floresta e pastagem, a T_s foi de 290,4 K e de 292,3 K, respectivamente.

No que se refere ao saldo de radiação instantâneo ($R_n \text{ inst}$, Figura 6e), foram verificadas variações no intervalo de 624 W m^{-2} a 756 W m^{-2} . Nas áreas sob floresta, o $R_n \text{ inst}$ variou de 624 W m^{-2} a 690 W m^{-2} , com média de 657 W m^{-2} . No entanto, para as áreas sob pastagem a variação de $R_n \text{ inst}$ ficou no intervalo entre 633 W m^{-2} a 750 W m^{-2} , com média de 672 W m^{-2} . Conforme Figura 6f, o $G \text{ inst}$ variou espacialmente no intervalo de 36 W m^{-2} (algumas áreas sob floresta) a 140 W m^{-2} (algumas áreas sob superfícies de corpos d'água). Para as áreas sob floresta, o $G \text{ inst}$ variou no intervalo de 36 W m^{-2} a 65 W m^{-2} , com média de 45 W m^{-2} . Já nas áreas sob pastagem, o $G \text{ inst}$ variou no intervalo de 41 W m^{-2} a 84 W m^{-2} , com valor médio de 60 W m^{-2} .

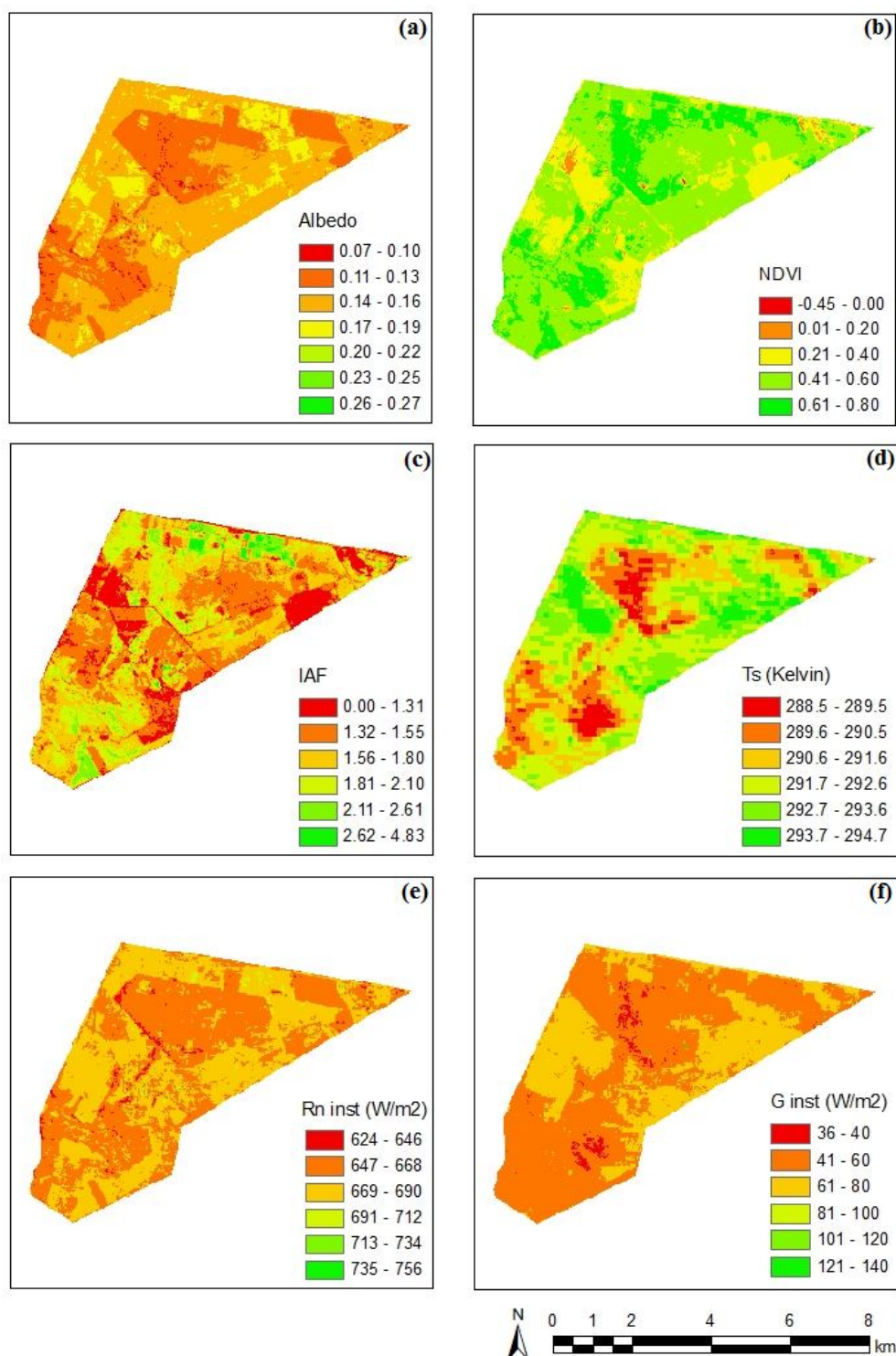


Figura 6: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (Ts, Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (Rn inst, W m⁻²) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, W m⁻²) do dia 30/07/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Nas Figuras 7a a 7d, tem-se a variação espacial do fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, W m⁻²), do fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, W m⁻²), do saldo de radiação diário (Rn diário, W m⁻²) e da evapotranspiração diária (ET diário, mm d⁻¹) da cena do dia 30/07/2009. Em boa parte das áreas sob floresta, o H inst apresentou

valores negativos (classe de cor vermelha). Para as áreas sob pastagem, o H inst (Figura 7a) variou de -5 W m^{-2} a 950 W m^{-2} , com média de 175 W m^{-2} . Com relação ao LE inst nas áreas sob pastagem, foram encontrados valores entre 0 W m^{-2} (solo exposto) e 900 W m^{-2} , com média de 445 W m^{-2} . Já nas áreas sob floresta, o LE inst variou de 301 W m^{-2} a 955 W m^{-2} , com média de 762 W m^{-2} .

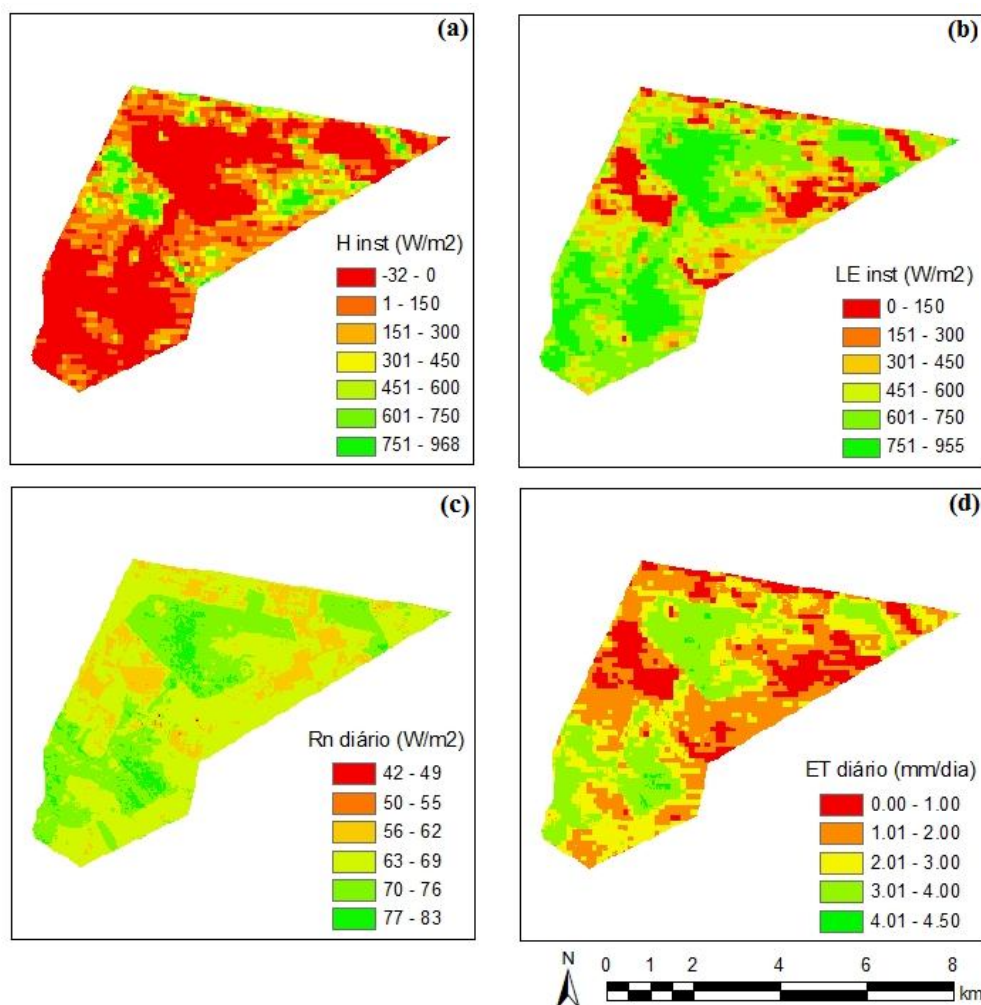


Figura 7: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, W m^{-2}); (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, W m^{-2}); (c) saldo de radiação diário (Rn diário, W m^{-2}) e (d) evapotranspiração diária (ET diário, mm d^{-1}) do dia 30/07/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

O Rn diário (Figura 7c) para as áreas sob floresta variou espacialmente no intervalo de 61 W m^{-2} a 83 W m^{-2} , com média de 74 W m^{-2} . Já o Rn diário das áreas sob pastagem teve variação espacial no intervalo de 42 W m^{-2} a 78 W m^{-2} , com média de 65 W m^{-2} . Quanto à evapotranspiração diária (ET diária, Figura 7d), foi encontrada variação espacial no intervalo de 0 mm/dia (solo exposto) a $4,50 \text{ mm d}^{-1}$ (floresta). Em média, as áreas sob floresta e pastagem apresentaram ET diária de $3,31 \text{ mm d}^{-1}$ e $1,70 \text{ mm d}^{-1}$, respectivamente.

As Figuras 8a a 8f mostram a variação espacial do albedo da superfície, do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), do índice de área foliar (IAF), da

temperatura da superfície (T_s , Kelvin), do saldo de radiação instantâneo (R_n inst, $W m^{-2}$) e do fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, $W m^{-2}$) para a cena do dia 02/10/2009.

O NDVI foi negativo sob áreas de corpos d'água (Figura 8b) e máximo sob áreas de floresta. Nas áreas sob floresta, o NDVI variou de 0,41 a 0,76, com média de 0,63. Já nas áreas sob pastagem, o NDVI apresentou variação espacial no intervalo de 0,03 (solo exposto) a 0,69 (vegetação densa), sendo a média do NDVI das pastagens de 0,41. No que diz respeito ao IAF (Figura 8c), observaram-se variações no intervalo de 0 a 5,06. Em média, as áreas sob floresta e pastagem apresentaram IAF de 2,62 e 1,74, respectivamente.

A T_s (Figura 8d) variou no intervalo de 293,4 K (floresta) a 308,9 K (forte exposição do solo). Em média, a T_s das áreas sob floresta e pastagem foi de 296,6 K e 301,1 K, respectivamente. Já na Figura 8e, nota-se que a variação espacial do R_n inst foi no intervalo de 853 $W m^{-2}$ a 998 $W m^{-2}$. Assim como nas estimativas de R_n inst dos dias 21/12/2003, 05/03/2008 e 08/03/2009, também pode ser indicado como uma das explicações para os valores mais elevados de R_n inst a maior disponibilidade de energia para a partição do balanço. Em média, as áreas sob floresta e pastagem apresentaram R_n inst de 953 $W m^{-2}$ e 960 $W m^{-2}$, respectivamente.

Quanto ao G inst (Figura 8f), nota-se variação espacial no intervalo de 78 $W m^{-2}$ (floresta) a 200 $W m^{-2}$ (corpos d'água). Para as áreas sob floresta, o G inst variou de 78 $W m^{-2}$ a 140 $W m^{-2}$, com média de 100 $W m^{-2}$. Já nas áreas sob pastagem, o G inst variou de 90 $W m^{-2}$ a 190 $W m^{-2}$, com média de 145 $W m^{-2}$. Para uma cena MODIS/Terra do dia 21/07/2008, Andrade et al. (2009d) obtiveram, para a região do Pantanal, valores de G inst variando na cena de 35 $W m^{-2}$ a 210 $W m^{-2}$, com média de 95 $W m^{-2}$. Em áreas ocupadas por pecuária (pastagem plantada), savana (cerrado) e savana estépica (chaco), apresentaram G inst oscilando entre 91 $W m^{-2}$ e 150 $W m^{-2}$. Entretanto, verificaram-se valores entre 61 $W m^{-2}$ e 90 $W m^{-2}$ em áreas próximas a classe de formações pioneiras. Nas áreas de formações pioneiras e áreas de vegetação sobre inundação, observaram que os valores de G variaram entre 35 $W m^{-2}$ e 90 $W m^{-2}$. Já em áreas de corpos d'água completamente exposto (sem vegetação), foram encontrados os máximos valores de G .

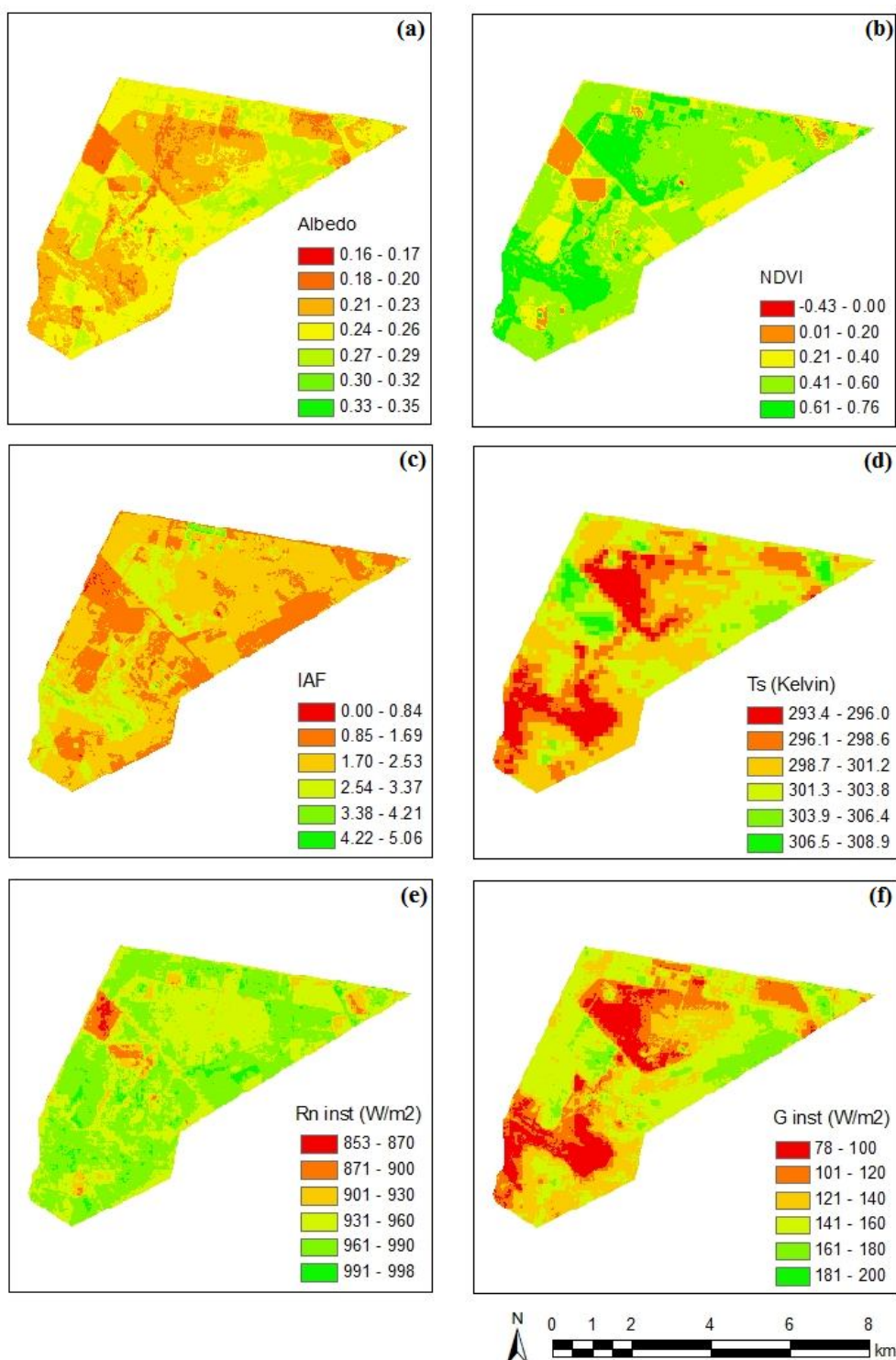


Figura 8: (a) albedo da superfície; (b) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI); (c) índice de área foliar (IAF); (d) temperatura da superfície (Ts, Kelvin); (e) saldo de radiação instantâneo (Rn inst, W m⁻²) e (f) fluxo de calor no solo instantâneo (G inst, W m⁻²) do dia 02/10/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Nas Figuras 9a a 9d tem-se a variação espacial do fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, W m⁻²), do fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, W m⁻²), do saldo de radiação diário (Rn diário, W m⁻²) e da evapotranspiração diária (ET diário, mm d⁻¹) para a cena do dia 02/10/2009.

As áreas sob floresta apresentaram valores negativos de H inst (Figura 9a). No entanto, em média, nas áreas sob floresta o H inst foi de 108 W m^{-2} . Já nas áreas sob pastagem o H inst médio foi de 385 W m^{-2} . Quanto ao LE inst (Figura 9b), a variabilidade espacial ficou no intervalo entre 0 W m^{-2} (solo exposto) e 966 W m^{-2} (vegetação densa). Em média, o LE inst das áreas de floresta e pastagem foi de 745 W m^{-2} e 431 W m^{-2} , respectivamente.

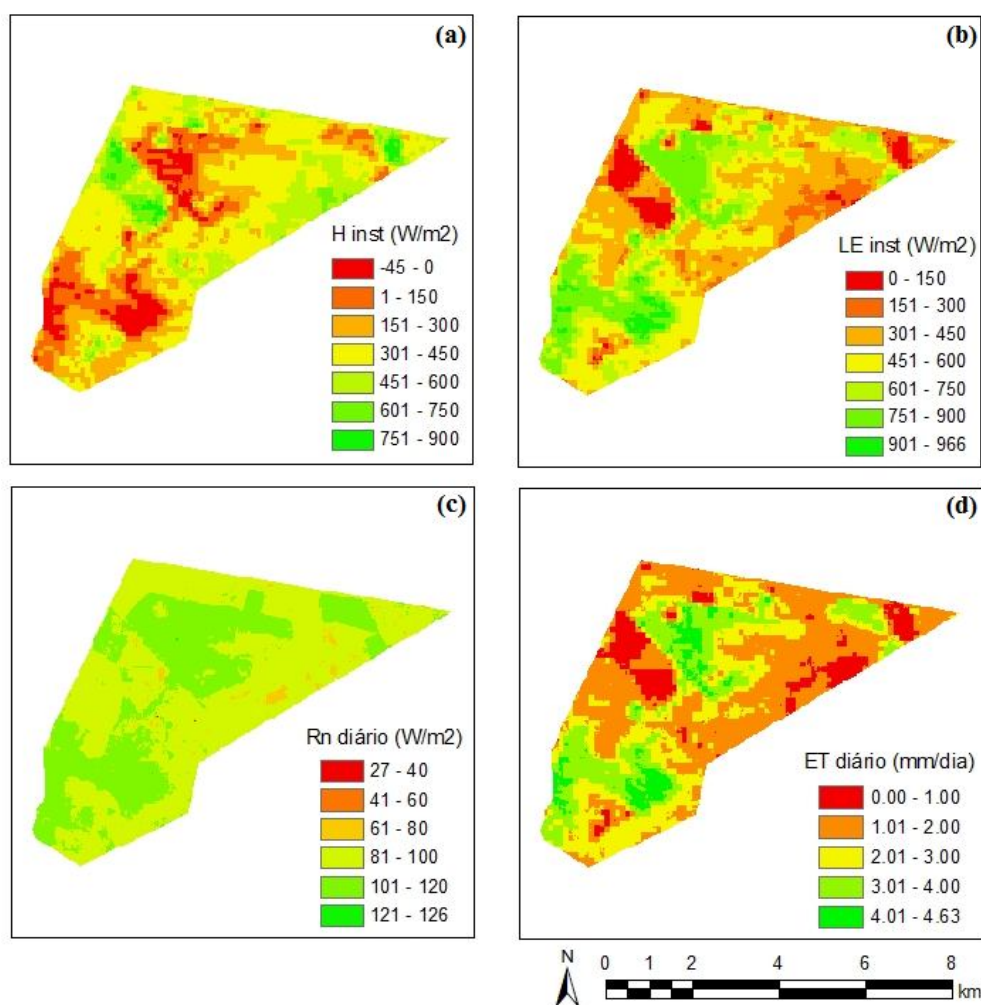


Figura 9: (a) fluxo de calor sensível instantâneo (H inst, W m^{-2}); (b) fluxo de calor latente instantâneo (LE inst, W m^{-2}); (c) saldo de radiação diário (Rn diário, W m^{-2}) e (d) evapotranspiração diária (ET diário, mm d^{-1}) do dia 02/10/2009 dentro dos limites territoriais da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

O Rn diário (Figura 9c) variou de 27 W m^{-2} (solo exposto) a 126 W m^{-2} (presença de corpos d'água). Nas áreas sob floresta, o Rn diário variou de 89 W m^{-2} a 122 W m^{-2} , com média de 110 W m^{-2} . No entanto, nas áreas sob pastagem, o Rn diário variou de 32 W m^{-2} (forte exposição do solo) a 115 W m^{-2} (vegetação densa), com média de 93 W m^{-2} . Na Figura 9d, observa-se variação espacial das estimativas de ET diária no intervalo de 0 mm d^{-1} (solo exposto) a $4,63 \text{ mm d}^{-1}$ (vegetação densa com boa disponibilidade hídrica). Em média, para a cena do dia 02/10/2009, a ET diária das áreas sob floresta foi de $3,43 \text{ mm d}^{-1}$. No entanto, para as áreas sob pastagem foi de $1,75 \text{ mm d}^{-1}$.

Para a cena do dia 08/03/2009, Andrade et al. (2009c) encontraram para as áreas sob pastagem valores de ET diária variando de 0,51 mm d⁻¹ a 2,50 mm d⁻¹, com média de 1,50 mm d⁻¹.

5 - Conclusões

Os valores de albedo, NDVI, IAF, temperatura da superfície, saldo de radiação, fluxos instantâneos de calor no solo, sensível e latente e a evapotranspiração diária apresentaram variabilidade espacial de acordo com os dias dos meses analisados para o ano de 2009. Estes resultados concordam com os dados encontrados na literatura para cada tipo de uso e cobertura do solo.

Conforme as datas analisadas, valores mínimos de albedo da superfície foram verificados em áreas de corpos d'água e de floresta. Já o albedo máximo foi observado em áreas com predominância de solo exposto. Para as áreas sob pastagem, encontraram-se valores médios de albedo entre 0,15 e 0,24. Essa variação foi de acordo com os dias dos meses analisados. O menor e o maior valor médio de albedo foram observados nas cenas dos dias 28/06/2009 e 02/10/2009, respectivamente.

Para as áreas sob pastagem, foram encontrados valores médios do saldo de radiação diário entre 53 W m^{-2} e 93 W m^{-2} . O menor e o maior valor médio do saldo de radiação diário foram verificados nas cenas dos dias 28/06/2009 e 02/10/2009, respectivamente.

A evapotranspiração diária apresentou valores mínimos em áreas com predominância de solo exposto e os valores máximos foram observados em áreas de floresta e corpos d'água. Para as áreas sob pastagem, foram encontrados valores médios de evapotranspiração diária entre $1,0 \text{ mm d}^{-1}$ e $2,0 \text{ mm d}^{-1}$. O menor e o maior valor de evapotranspiração média diária foram observados nas cenas dos dias 28/06/2009 e 02/10/2009, respectivamente.

Os resultados aqui obtidos sugerem que o algoritmo SEBAL tem grande potencial de aplicação no mapeamento dos fluxos de energia e da evapotranspiração diária das áreas sob pastagem. Com relevância para diagnóstico das condições ambientais das áreas sob pastagem por meio da identificação de períodos críticos ao longo das estações do ano, contribuindo assim para tomadas de decisões que favoreçam o controle da intensificação de processos inerentes à degradação das pastagens em grandes áreas de produção de carne bovina.

6 - Referências

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

ANDRADE, R. G. **Aplicação do algoritmo Sebal na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar**, 2008. 135 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; BARBOSA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; LIMA, E. P. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na estimativa da biomassa vegetal de pastagem no Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009a, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2009a. p. 1-5.

ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; AMARAL, T. B.; MENEZES, S. J. M. C. Estimativa do albedo em áreas de pastagem e floresta no Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009b, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009b. p. 1-5.

ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; AMARAL, T. B.; MENEZES, S. J. M. C. Análise preliminar da variabilidade espacial da evapotranspiração de pastagens com o uso de imagens orbitais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009c, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009c. p. 1-5.

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; BATISTELLA, M.; VICTORIA, D. C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; NOGUEIRA, S. F. Mapeamento de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração no Pantanal usando técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009d, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária / INPE, 2009d. p. 695-704.

AYENEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highland. **Journal of Hydrology**, v. 279, n. 1/4, p. 83-93, 2003.

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.

BASTIAANSEN, W. G. M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 94, n. 3, p. 321-340, 2003.

BASTIAANSEN, 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.

BASTIAANSEN, 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.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat - 5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n.11, p. 2674-2677, 2003.

FAGUNDES, J. L. **Características morfogênicas e estruturais do pasto de *Brachiaria Decumbens Stapf.* adubado com nitrogênio.** 2004. 76 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

FOLHES, M. T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos.** 2007. 186 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

FOLHES, M. T.; SOARES, J. V.; RENNÓ, C. D.; CORREIA, A. H. Estimativa de fluxos de energia por meio do modelo METRIC em região semi-árida. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3349-3356.

FRAGA, C. I. M. **Evapotranspiração e fator de desacoplamento em área de cambarazal no Pantanal.** 2009. 56 f. UFMT. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

FRENCH, A. N.; JACOB, F.; ANDERSON, M. C.; KUSTAS, W. P.; TIMMERMANS, W.; GIESKE, A.; SU, Z.; SU, H.; MCCABE, M. F.; PRUEGER, J.; BRUNSELL, N. Surface energy fluxes with the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). **Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 55-65, 2005.

HUETE, A. R. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 89-105, 1988.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal.** Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2008, p. 162, 35 v.

LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens do satélite ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 255-262.

MEDINA, J. L.; CAMACHO, E.; RECA, J.; LÓPEZ, R.; ROLDÁN, J. Determination and analysis of regional evapotranspiration in Southern Spain based on Remote Sensing and GIS. **Physical Chemical. Earth**, v. 23, n. 4, p. 427-432, 1998.

MOHAMED, Y.A.; BASTIAANSEN, W. G. M.; SAVENIJE, H. H. G. Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques. **Journal of Hydrology**, v. 289, p. 145-164, 2004.

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

MENEZES, S. J. M. C. **Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo montanhoso**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MORAES, E. H. B. K. de. **Desempenho e exigências de energia, proteína e minerais de bovinos de corte em pastejo, submetido a diferentes estratégias de suplementação**. 2006. 136 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

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.

OLIVEIRA, M. B. L.; RANDOW, C. V.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; SÁ, L. D. A.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SOUZA, A. Fluxos turbulentos de energia sobre o Pantanal sul mato-grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 3b, v. 21, p. 159-165, 2006.

PAIVA, C. M. **Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR**. Rio de Janeiro: UFRJ. 2005. 218 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59, v. 1, p. 55-61, 2007.

SILVA, E. P. da. **Geoprocessamento na discriminação de pastagens degradadas utilizando rede neural artificial em imagem IKONOS II**. 2006. 78 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

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.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M-UD-D, BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 462-476, 2009.

TIMMERMANS, W. J.; MEIJERINK, A. M. J. Remotely sensed actual evapotranspiration: implications for groundwater management in Botswana. **JAG**, v. 1, p. 222-233, 1999.



Monitoramento por Satélite

*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Av. Soldado Passarinho 303 Fazenda Chapadão
13070 115 Campinas SP
Telefone (19) 3211 6200 Fax (19) 3211 6222
www.cnpm.embrapa.br sac@cnpm.embrapa.br*

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

