



Utilização do algoritmo SEBAL na estimativa da Evapotranspiração em diferentes coberturas na região de Tangará da Serra, Mato Grosso

Julia Gallo Barreto¹, Rivanildo Dallacort², Vanessa Rakel de Moraes Dias^{3,*}, Rafael Cesar Tieppo² e Wini da Rocha Clarindo¹

¹ Acadêmicas do curso de Agronomia, Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT, Campus Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra-MT;

² Professores Doutores do curso de Agronomia e do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, UNEMAT, Tangará da Serra-MT;

³ Doutora em Física Ambiental, Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, UNEMAT, Tangará da Serra-MT.

* Autor correspondente: vanessadias@unemat.br

Recebido: 26/08/2022; Aceito: 18/12/2022

Resumo: Devido à evapotranspiração ser um dos principais causadores de perda de água para a atmosfera e o principal componente do ciclo hidrológico, sua determinação torna-se indispensável para a dinâmica climática regional, principalmente para o Mato Grosso devido ao potencial agrícola. Deste modo, objetivou-se estimar variáveis biofísicas e a evapotranspiração real diária de diferentes coberturas vegetais no município de Tangará da Serra-MT. Utilizou-se imagens do satélite Landsat-8, adquiridas para o dia 19/04/2019, na órbita-ponto 227-70. Na cena estudada foram escolhidos quatro alvos (solo exposto, pastagem, vegetação nativa e área cultivada com Milho) para análise das variáveis biofísicas e Evapotranspiração real diária. O NDVI médio na vegetação nativa foi 29,41% maior do que na pastagem e 164,61% maior do que no solo exposto, apontando a eficiência do índice como indicativo de biomassa. O albedo da área de milho, quando comparado com a vegetação nativa, pastagem e solo exposto, foi 28,5%, 46,15% e 12,31% maior, respectivamente. Quanto menor o NDVI, resultou em maiores temperaturas de superfície. Nas áreas de milho, pastagem e solo exposto o saldo de radiação instantâneo foi 4,62%, 10,48% e 8,53% menores do que na vegetação nativa. Ao comparar os valores de evapotranspiração diária das áreas de milho, pastagem e solo exposto notou-se que estas foram 6,46%, 37,65% e 78,02%, respectivamente, menores do que na área de vegetação nativa. Concluindo assim que houve diferenças no padrão espacial das variáveis analisadas em função do tipo do uso e cobertura da terra.

Palavras-chave: Balanço de Energia; SEBAL; Variáveis Biofísicas.

Evapotranspiration estimated from satellite images in the Tangará da Serra region, Mato Grosso

Abstract: Due to the evapotranspiration to be one of the main causes of water loss to the atmosphere and the main component of the hydrological cycle, its determination becomes indispensable for regional climate dynamics, especially for Mato Grosso due to agricultural potential. In this way, it was aimed to estimate the real daily evapotranspiration of different vegetable covers in the city of Tangará da Serra-MT, Brazil. Images of the Landsat-8 satellite, acquired in 04/19/2019, in orbit 227-70. In the studied scene, four targets were chosen for analysis of biophysical variables and real daily evapotranspiration. The targets were: exposed soil, pasture, native vegetation and corn cultivated area. The mean NDVI in the native vegetation was 29.41% higher than in the pasture and 164.61% higher than in the exposed soil, pointing out the efficiency of the index as indicative of biomass. The albedo of the corn area, when compared to the native vegetation, pasture and exposed soil, was 28.5%, 46.15% and 12.31% higher, respectively. The higher the albedo and the lower the NDVI resulted in higher temperature. In the areas of maize, pasture and soil exposed the R_n was 4.62%, 10.48% and 8.53% smaller than in native vegetation. When comparing the evapotranspiration of corn areas, pasture and exposed soil, it was noticed that

these were 6.46%, 37.65% and 78.02%, respectively, smaller than in the area of native vegetation. Concluding that there were differences in the spatial pattern of the variables analyzed according to the type of land cover.

Key-words: Biophysical variables; Energy balance; SEBAL.

1. INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso tem três biomas diferentes, Cerrado, Pantanal e Floresta Amazônica, sendo composto por um mosaico de terras agrícolas, pastagens, florestas naturais e manejadas (SILVA et al., 2011, BIUDES et al., 2015), onde a agricultura compreende uma das principais atividades econômicas, sendo responsável por cerca de 27% da produção nacional de grãos, em que a soja, o milho, o arroz e o algodão foram as principais culturas produzidas na safra 2017/18 (CONAB, 2019).

A diversidade no uso e ocupação do solo implica em mudanças na distribuição de energia solar disponível ao ambiente (SILVA et al., 2011, BIUDES et al., 2015), sendo que essa energia é utilizada nos processos de aquecimento do ar e do solo, e na transferência de vapor d'água da superfície para a atmosfera, sendo assim o estudo dos componentes do balanço de radiação à superfície, principalmente em relação às perdas de água da superfície para a atmosfera é de suma importância (MACHADO et al., 2020).

Devido à evapotranspiração (ET) ser um dos principais mecanismos de transferência de água da superfície para a atmosfera e o principal componente do ciclo hidrológico, sua determinação torna-se indispensável para a dinâmica climática regional, principalmente quando se diz respeito ao manejo da agricultura irrigada e balanço hídrico das bacias hidrográficas (ZHOU et al., 2016).

Apesar de existirem vários métodos para determinação da ET, diretos e indiretos (SANCHES et al., 2015; FERRONATO et al., 2016), esses requerem muitas informações da superfície e só são eficientes quando utilizados em pequenas áreas com ambientes homogêneos, falhando assim quando o interesse é a obtenção de evapotranspiração em áreas heterogêneas e extensas (OLIVEIRA, et al., 2014).

Com os recentes avanços das técnicas de sensoriamento remoto aplicado à estimativa de ET, possibilitou-se a determinação mais precisa e em escala regional deste importante componente, assim como de outras variáveis biofísicas e produtividade (CLARINDO et al., 2022).

Na literatura encontra-se a potencialidade e a capacidade de diversos sensores remotos para determinação da ET usando informações de imagens, envolvendo balanços energéticos e modelos empíricos, como o Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), o mais destacado algoritmo do sensoriamento remoto para estudos de fluxos de energia e estimativa de evapotranspiração, desenvolvido por Bastiaanssen (1998). O mesmo estima o balanço de energia à superfície utilizando imagens de satélites complementados com poucas informações da superfície.

A grande vantagem do SEBAL é de proporcionar a estimativa do balanço de energia à superfície de maneira efetiva e econômica, além de possibilitar grande cobertura territorial e boa resolução espacial dependendo do sensor, constituindo-se de um importante instrumento na espacialização da evapotranspiração real (ET_r), o qual permite a avaliação de grandes áreas irrigadas, manejo de irrigação e gerenciamento das alterações climáticas e de produtividade (BASTIAANSSEN et al., 2005; SILVA et al., 2013; CLARINDO et al., 2022). Assim, a hipótese

A evapotranspiração real é mensurada pelo SEBAL a partir da determinação do fluxo de calor latente, e este é obtido como resíduo da equação do balanço de energia (BASTIAANSSEN, 1998; ALLEN et al., 2001; ALLEN et al., 2002; UDA et al., 2013). Pode-se utilizar imagens de qualquer sensor orbital que realize medidas de radiação no infravermelho próximo, termal e no visível.

A principal vantagem do algoritmo SEBAL é a baixa demanda por informações da superfície e a disponibilidade gratuita das imagens de alguns satélites, como as provenientes dos sensores OLI (Operational Terra Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) a bordo do satélite Landsat 8 em operação desde 2013 (ALLEN et al., 2001). Esses sensores possuem faixa de imageamento de 170 km norte-sul por 185 km leste-oeste, resolução temporal de 16 dias, resolução espacial de 30m para as bandas do visível, 15m para banda pancromática e 100m para as bandas termais (TIRS) (USGS, 2020). As imagens provenientes desses sensores trazem inovações importantes para os usuários que demandam de mapeamentos em mesoescala.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar variáveis biofísicas e a evapotranspiração real diária de áreas com diferentes usos de solo no município de Tangará da Serra-MT.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As quatro áreas de estudo (Figura 1) estão localizadas no município de Tangará da Serra-MT, nas coordenadas geográficas 14° 39' S, 57° 25' O e elevação de 440 metros, o clima da região é classificado, conforme Köppen, como AW (tropical úmido megatérmico), é característico desta região um período seco, de maio a setembro, e um chuvoso, de outubro a abril, com precipitação média anual de 1830 mm, temperaturas médias anuais de 24,4 °C e umidade relativa média entre 70 a 80% (DALLACORT et al., 2011). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006).

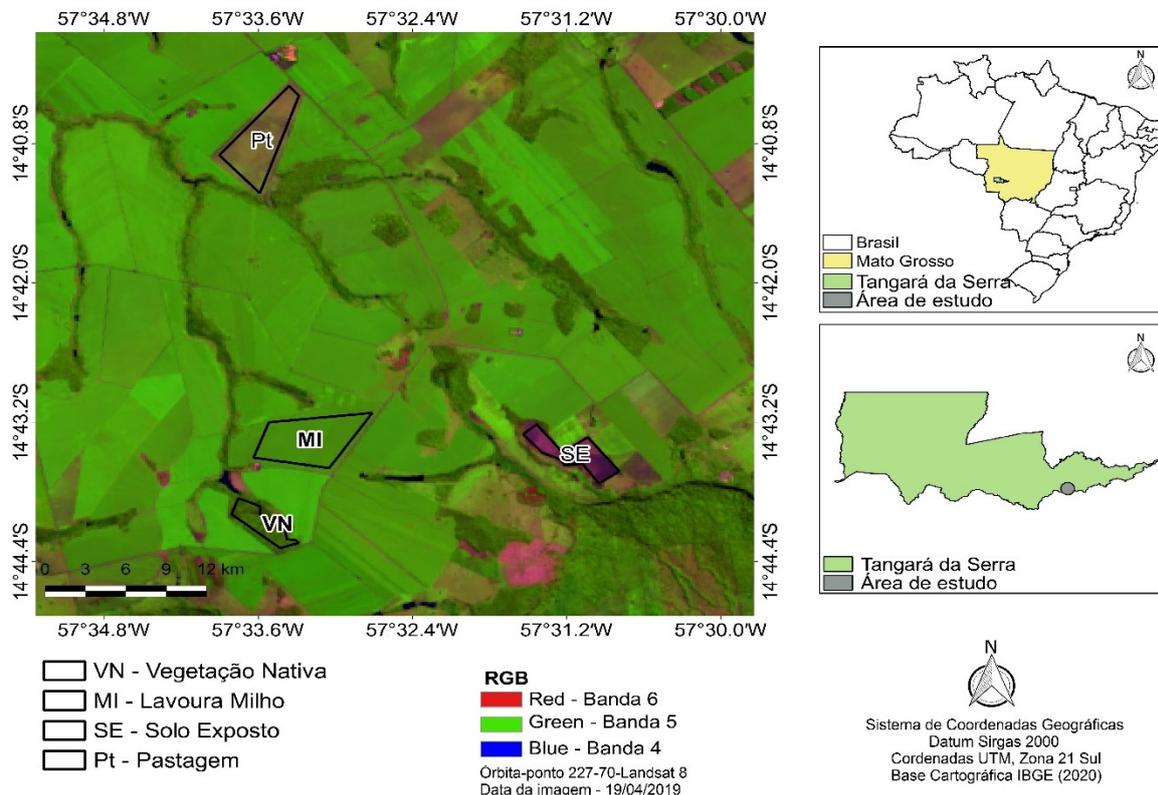


Figura 1. Áreas de estudo no município de Tangará da Serra-MT.

A área de vegetação nativa e de lavoura de milho estão dentro do domínio territorial da Fazenda Três Irmãos localizada nas coordenadas 14° 43' 33,97" S, 57° 33' 40,18" O. Já as áreas de pastagem e de solo exposto estão nas proximidades da fazenda de forma a melhor representar os dados. Estas foram escolhidas com o auxílio de uma composição RGB das bandas 654, respectivamente, do satélite Landsat 8, de 19 de abril de 2019, que permitiu a diferenciação das áreas.

A lavoura de milho da área de estudo foi semeada no dia 05 de fevereiro de 2019, com a cultivar NS50PRO2 da Nideira sementes, que possui ciclo superprecoce, e sua colheita ocorreu de 125 a 140 dias. De acordo com dados do produtor, no dia 28 de março de 2019 foi feita uma aplicação na lavoura e a mesma encontrava-se em estágio reprodutivo R1 (Florescimento). Na data de estudo, a cultura estava no estágio R3 (Grão pastoso) levando em conta que o milho atinge este estágio aproximadamente 18 a 22 dias após o florescimento.

As imagens do satélite Landsat-8 e o modelo Digital de Elevação (MDE) foram obtidos diretamente do site do United States of Geological Survey (USGS) (<<http://earthexplorer.usgs.gov/>>). As imagens adquiridas foram para o dia sequencial do ano (DSA) 109 (19/04/2019) que apresentou menor presença de nuvens, na órbita-ponto 227-70, com horário de passagem às 09:50:50 horas (horário local), no formato GEOTIFF.

Utilizou-se a ferramenta Model Maker do software Erdas Imagine® versão 9.2 para o processamento das imagens e execução do algoritmo SEBAL, e o software livre QGis versão 2.18.0 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019) para a elaboração dos mapas e cartas temáticas.

Os dados meteorológicos (Tabela 1) necessários para a determinação da evapotranspiração foram obtidos na estação meteorológica do Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicado à produção de Biodiesel (CETEGEO-SR), no campus da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, que fica 13 a 17 Km das quatro áreas de estudo.

A obtenção da temperatura (°C) e umidade relativa (%) na estação é feita pelo sensor CS215, a radiação solar (MJ m⁻²) pelo piranômetro CMP3, a velocidade (m s⁻¹) e direção do vento (graus) pelo anemômetro 03002-R M Young Wind, a precipitação (mm) pelo pluviômetro CS700.

Tabela 1. Elevação solar (E), radiação solar instantânea (Rs_{inst}) e 24 h (Rs_{24h}), temperatura do ar instantânea (T_{inst}) e 24 h (T_{24h}), umidade relativa do ar instantânea (UR_{inst}) e 24 h (UR_{24h}), velocidade do vento instantânea, registrados em 19/04/2019 pela estação meteorológica do CETEGEO-SR

E (°)	Rs _{inst} (W m ⁻²)	Rs _{24h} (W m ⁻²)	T _{inst} (°C)	T _{24h} (°C)	UR _{inst} (%)	UR _{24h} (%)	Vel. Vento _{inst} (m s ⁻¹)
51.504	771,4	243,98	29,98	27,02	74,27	74,27	1,69

Para a análise das variáveis NDVI, albedo, temperatura da superfície, saldo de radiação e evapotranspiração real diária das áreas escolhidas fez-se recorte nas mesmas obtendo um total de 156 pixels em cada área e, posteriormente, exportou-se os dados de cada variável para análise em planilha de Excel®. Para analisar a correlação entre as variáveis estudadas para cada tipo de uso do solo foi realizada a correlação de Pearson (R), através do software livre R Core Team (2019).

Os coeficientes de correlação foram classificados de acordo com Hopkins (2000): Muito baixo: 0,0 a 0,1; Baixo: 0,1 a 0,3; Moderado: 0,3 a 0,5; Alto: 0,5 a 0,7; Muito alto: 0,7 a 0,9; Quase perfeito: 0,9 a 1,0.

2.1 Estimativa de evapotranspiração real pelo algoritmo SEBAL

Por meio do algoritmo SEBAL, a evapotranspiração é calculada a partir de imagens de satélites e dados meteorológicos e a ET é obtida como resíduo da equação do balanço de energia da superfície (ALLEN et al., 2002), ou seja, o fluxo de calor latente (LE), na qual considera-se que o LE representa a quantidade de calor utilizada no processo de evapotranspiração, podendo ser calculada quando os demais parâmetros forem conhecidos (ALLEN et al., 1998; BASTIAANSEN, 1998; ALLEN et al., 1998, 2002), segundo a equação:

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

Em que, LE - fluxo de calor latente (W m⁻²); R_n - balanço de radiação na superfície (W m⁻²); G - fluxo de calor do solo (W m⁻²); e H - fluxo de calor sensível (W m⁻²).

Para resolver a equação do balanço de energia, uma série de etapas foram realizadas como, por exemplo, a calibração radiométrica, a determinação da reflectância no topo da atmosfera corrigida com o ângulo solar em que o número digital (ND) de cada pixel é convertido em valores de reflectância. Posteriormente, a determinação dos valores de radiância para a banda 10, foram convertidos em temperatura. Estas etapas estão descritas em USGS (2020).

O saldo de radiação da superfície (R_n) corresponde a energia radiante real disponível na superfície e é estimado por meio da equação:

$$R_n = R_{oc, inc} (1 - \alpha) + R_{ol, atm} - R_{ol, emi} - (1 - \epsilon_o) R_{ol, atm} \quad (2)$$

Em que: R_{oc, inc} é a radiação de onda curta incidente (W m⁻²); α, albedo de superfície (adimensional); R_{ol, atm}, radiação de longa onda incidente (W m⁻²); R_{ol, emi}, radiação de onda longa emitida (W m⁻²); e ε_o, emissividade térmica da superfície (adimensional).

Após estimado o saldo de radiação à superfície, utilizando a equação do balanço de radiação à superfície (Eq. 2), foi obtido o fluxo de calor no solo (G), segundo equação desenvolvida por Bastiaansen (1998), sendo:

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \alpha + 0,0074 \alpha^2) (1 - 0,98 NDVI^4) \right] R_n \quad (3)$$

Em que: T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$); α , albedo de superfície (adimensional); NDVI, índice de vegetação da diferença normalizada (adimensional) e R_n , saldo de radiação (W m^{-2}). Para a correção dos valores do fluxo de calor no solo para corpos d'água ($\text{NDVI} < 0$), utilizou-se a seguinte expressão (ALLEN et al., 2002): $G = 0,5 R_n$.

Obtidos o valor do fluxo de calor no solo (G), iniciou-se uma série de passos para obtenção do fluxo de calor sensível (H), estes estão descritos em Allen et al. (2002).

O fluxo de calor sensível é a taxa de perda de calor para o ar, devido à diferença de temperatura. O fluxo de calor sensível utilizado no SEBAL considera a atmosfera neutra, mas na sequência quando identificada a condição de estabilidade são promovidas as correções necessárias. Segundo Bastiaanssen (1998), H pode ser obtido pela seguinte equação:

$$H = \frac{\rho \times c_p \times dT}{r_{ah}} \quad (4)$$

Em que: ρ é a densidade do ar úmido (kg m^{-3}); c_p , o calor específico do ar ($1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); dT , a diferença de temperatura ($T_1 - T_2$) entre as duas alturas Z_1 e Z_2 ; e r_{ah} , a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (m s^{-1}).

Após a primeira estimativa, realizou-se um processo iterativo para correção dos fatores r_{ah} , p_{ar} , dT , e de H . As etapas necessárias para realização do processo iterativo encontram-se descritas em Allen et al. (2002).

O SEBAL utiliza dois pixels denominados “pixels âncoras” para fixar condições limites para o balanço de energia. Estes pixels são chamados de “quente” e “frio” e são selecionados na área de estudo. O SEBAL considera que existe uma relação linear entre a diferença de temperatura do ar T_{ar} e a temperatura da superfície T_{sup} , definido como dT . A partir dos pixels âncoras obtêm-se os coeficientes de correlação a e b para cálculo de dT em cada pixel. A escolha dos pixels para a área de estudo foi feita conforme orientações de Allen et al. (2002).

O pixel “frio” foi escolhido em uma área na qual havia vegetação que cobria o solo e que estava bem irrigada. A temperatura do ar próxima a superfície e a temperatura da superfície são consideradas iguais para esse pixel, neste caso assume-se que o fluxo de calor sensível é igual a zero, ou seja, toda energia disponível do ar é utilizada para evaporar a água.

Já o pixel “quente” foi selecionado num campo agrícola seco, apresentando solo exposto ou sem vegetação, assumindo que o fluxo de calor latente é igual a zero.

Baseado na determinação dos componentes do balanço de energia e a partir da aplicação da equação 1, na qual se calcula o fluxo de calor latente como resíduo do balanço de energia, obteve-se a fração evaporativa instantânea (FE_i) e a fração evaporativa 24h (FE_{24h}), nas seguintes equações:

$$FE_i = \frac{LE}{R_n - G} \quad (5)$$

$$FE_{24h} = \frac{LE_{24h}}{R_{n24h}} \quad (6)$$

Admite-se que $G_{24h} = 0$. Dessa forma, a LE_{24h} é dada por:

$$LE_{24h} = FE_{i24h} \times R_{n24h} \quad (7)$$

A partir do saldo de radiação e fração evaporativa, determinou-se a evapotranspiração diária (mm dia^{-1}):

$$ET_{diária} = 0,035 \times [(1 - \alpha) R_{s\downarrow 24h} - 110 \tau_{sw\downarrow 24h}] \quad (8)$$

Em que: α é o albedo da superfície; τ_{sw} é a transmissividade atmosférica.

O índice de vegetação da diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) foi obtido pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \tag{9}$$

Em que ρ_{IV} e ρ_V correspondem às reflectâncias das bandas 5 e 4 do sensor OLI do Landsat 8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O NDVI é um dos índices de vegetação mais citados em trabalhos científicos, devido a sua variação finita (-1 a 1), facilitando assim a interpretação dos dados. Na área cultivada com milho, o NDVI foi 3,6% maior que na vegetação nativa, e este foi 29,412% maior do que na pastagem. Já quando comparado com solo exposto, o NDVI médio da vegetação nativa foi 164,61% maior, apontando a eficiência do índice como indicativo de biomassa (Tabela 2).

Estes valores são semelhantes aos descritos por Silva et al. (2015) em que as pastagens apresentam valores menores de NDVI quando comparados com vegetação fechada, sendo valores acima de 0,4 indicativo de raleamento das pastagens e valores de 0,5 a 0,6 referem-se a superfícies bem cobertas pela pastagem.

Tabela 2. Médias (\pm DP) de NDVI, albedo da superfície, temperatura da superfície (T_{sup}), saldo de radiação instantâneo (Rn_{inst}) e evapotranspiração real diária ($ET_{diária}$) em diferentes usos do solo, em 19/04/2019, Tangará da Serra-MT.

Uso do solo	NDVI	Albedo	T_{sup} (K)	Rn_{inst} ($W\ m^{-2}$)	$ET_{diária}$ ($mm\ dia^{-1}$)
Vegetação Nativa	0,77 ($\pm 0,02$)	0,13 ($\pm 0,01$)	296,67 ($\pm 0,14$)	599,59 ($\pm 6,61$)	4,46 ($\pm 0,08$)
Milho	0,80 ($\pm 0,00$)	0,17 ($\pm 0,00$)	296,54 ($\pm 0,05$)	571,88 ($\pm 0,71$)	4,17 ($\pm 0,01$)
Pastagem	0,60 ($\pm 0,02$)	0,19 ($\pm 0,00$)	299,66 ($\pm 0,06$)	536,76 ($\pm 3,27$)	2,78 ($\pm 0,04$)
Solo exposto	0,29 ($\pm 0,07$)	0,15 ($\pm 0,01$)	303,71 ($\pm 0,76$)	548,42 ($\pm 7,57$)	0,98 ($\pm 0,52$)

DP: desvio padrão

Os altos valores de NDVI para as áreas que continham milho podem ser explicados porque na data avaliada esta encontrava-se em pleno crescimento, assim continha elevado conteúdo de biomassa.

As áreas que apresentam cores verde clara a verde escuro na carta temática abaixo indicam a presença de vegetação mais densa, enquanto que as áreas com coloração amarela à vermelha apresentam menor densidade de vegetação, bem como solos expostos (Figura 2).

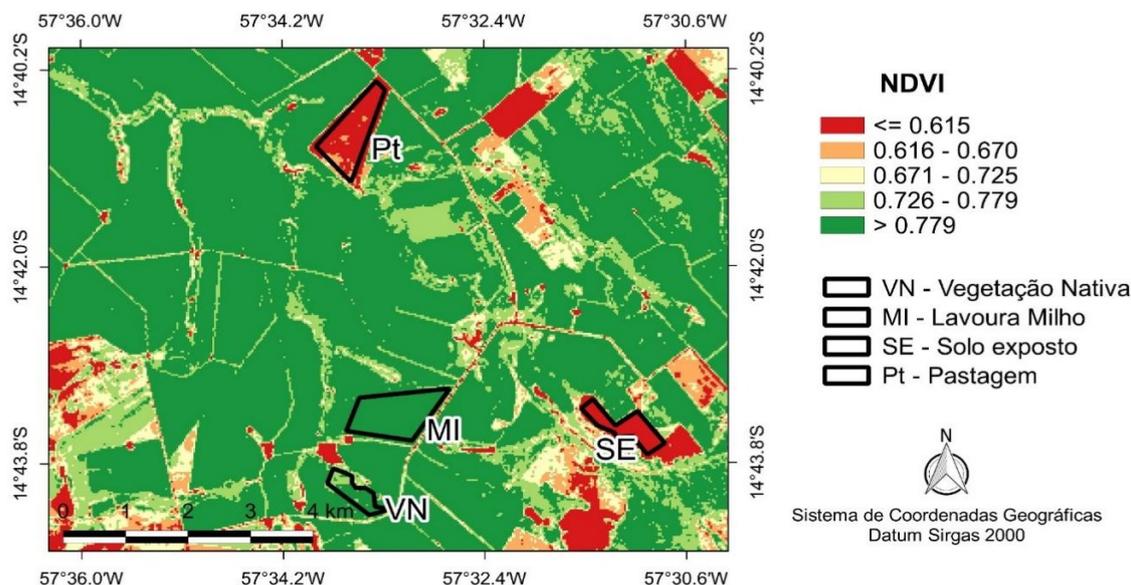


Figura 2. Distribuição espacial do NDVI na área de estudo no dia 19/04/2019, Tangará da Serra-MT.

Os baixos valores positivos de NDVI foram para a área de solo exposto e pastagem. Nota-se que a variação espacial do NDVI na área de pastagem pode ser explicada devido a presença de água no solo em função da precipitação acumulada de cerca de 59 mm observados no decorrer dos 18 dias anteriores à imagem, o que permite o maior acúmulo de biomassa pela pastagem (ZANCHI et al., 2009).

Os maiores valores positivos foram obtidos na área de floresta e de milho, com NDVI acima de 0,69. Segundo Fausto et al. (2014), altos valores de NDVI em áreas de floresta nativa se dá devido ao maior índice de biomassa na vegetação. Valores estes que corroboram com Pavão et al. (2016) que estimaram NDVI superior a 0,60 para áreas de floresta no Sul do Amazonas e Silva et al. (2015) que verificaram médias de 0,70 e 0,72 no sudoeste da Amazônia.

De acordo com Braga et al. (2014), os altos valores de NDVI da vegetação verde ocorrem devido à alta absorção da radiação eletromagnética no comprimento de onda do vermelho pela clorofila, nas folhas verdes, juntamente com a alta reflectância na faixa do infravermelho próximo em função da presença de clorofila e turgidez das folhas saudáveis. Entretanto, os menores valores estão relacionados às áreas de vegetação estressada, menos densas ou até mesmo áreas desnudas, ou seja, com solo exposto (JENSEN, 2009).

Segundo estudos, o NDVI está relacionado com variáveis biofísicas da vegetação, como biomassa e índice de área foliar (BRAZ et al., 2015). Além disso, valores de NDVI próximos a zero indicam que há a ausência de vegetação, ao passo que valores de NDVI próximos a 1 significa que há uma grande densidade de folhas verdes, já valores perto de -1 indica a presença de água (BRAZ et al., 2015).

A outra variável analisada e necessária para a estimativa da evapotranspiração foi o albedo da superfície que apresentou variação entre os usos do solo (Figura 3). Quando comparado com a vegetação nativa, o albedo da área de milho, pastagem e solo exposto foram 28,5%, 46,15% e 12,31% maiores, respectivamente.

A área de vegetação nativa apresentou menores valores de albedo devido à presença de biomassa, sendo que esta possui alta capacidade de absorção da radiação e utilização da mesma no processo de evapotranspiração (BIUDES et al., 2014).

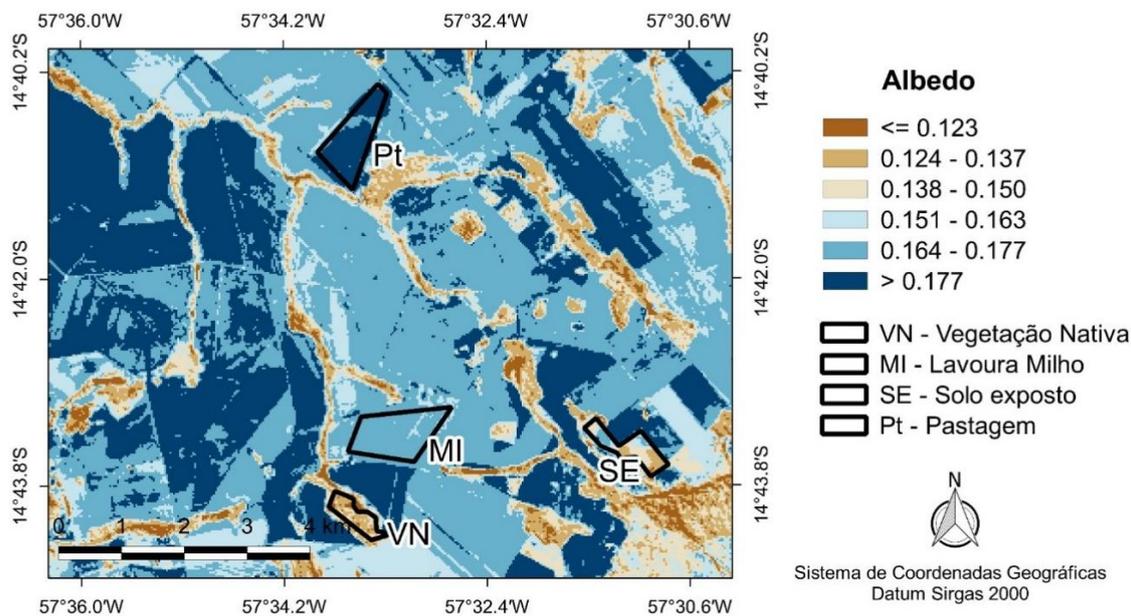


Figura 3. Distribuição espacial do albedo de superfície na área de estudo no dia 19/04/2019, Tangará da Serra-MT.

Segundo Pavão et al. (2015), as áreas de pastagens tendem a apresentar maiores valores de albedo, já que a radiação eletromagnética que incide nestas superfícies é pouco utilizada em processos fotossintéticos em razão do baixo índice de área foliar, acarretando assim em aumento do espelhamento em virtude das múltiplas reflexões.

Menores valores de albedo no solo exposto podem ser justificados pela presença de umidade no solo, decorrente das precipitações ocorridas dias antes do imageamento. Visto que em solos mais úmidos a reflectância do alvo é menor e, conseqüentemente, o albedo também é menor, levando a um aumento da energia líquida dos fluxos de radiações de onda curta e onda longa recebidas na superfície (GIONGO, 2011).

Os valores de albedo estimados neste estudo para a área com cultivo de milho estão de acordo com Giongo et al. (2010), que observaram valores entre 0,13 e 0,21 em áreas agrícolas e Silva et al. (2016), em áreas agrícolas do Perímetro Irrigado da São Gonçalo, com variação de albedo entre 0,13 e 0,20. Os valores obtidos na área de vegetação nativa corroboram com valores de outros autores como Santos et al. (2013) que, utilizando imagens MODIS, estimaram valor médio de albedo de 0,14 e Silva et al. (2015) que estimaram valores no intervalo de 0,11 a 0,15.

De acordo com Silva et al. (2011), maiores valores de albedo podem ser obtidos em superfícies lisas, secas e com cores claras. Em contrapartida, superfícies escuras e ásperas apresentam os menores valores. Ainda, a presença de umidade no solo, sub-bosque e composição estratificada das folhas contribuem para diminuição desta variável (BIUDES et al., 2014).

Nos diferentes usos e ocupação do solo, geralmente, há uma relação entre a temperatura da superfície e o albedo, em que uma variável aumenta junto com a outra, o que se pode observar em relação à vegetação nativa e a pastagem. Na figura 4, que representa a distribuição espacial da temperatura da superfície em Kelvin, e na figura 3 da distribuição espacial do albedo, os maiores valores destas duas variáveis, exceto solo exposto, são na pastagem. Onde há vegetação, percebe-se uma associação em que maior albedo e menor NDVI resulta em maior temperatura da superfície. Fato observado neste estudo, exceto para a área de solo exposto onde o albedo foi menor devido à umidade no solo e a sua coloração mais escura devido ser um solo argiloso no município de Tangará da Serra, consequentemente, com menor reflectância.

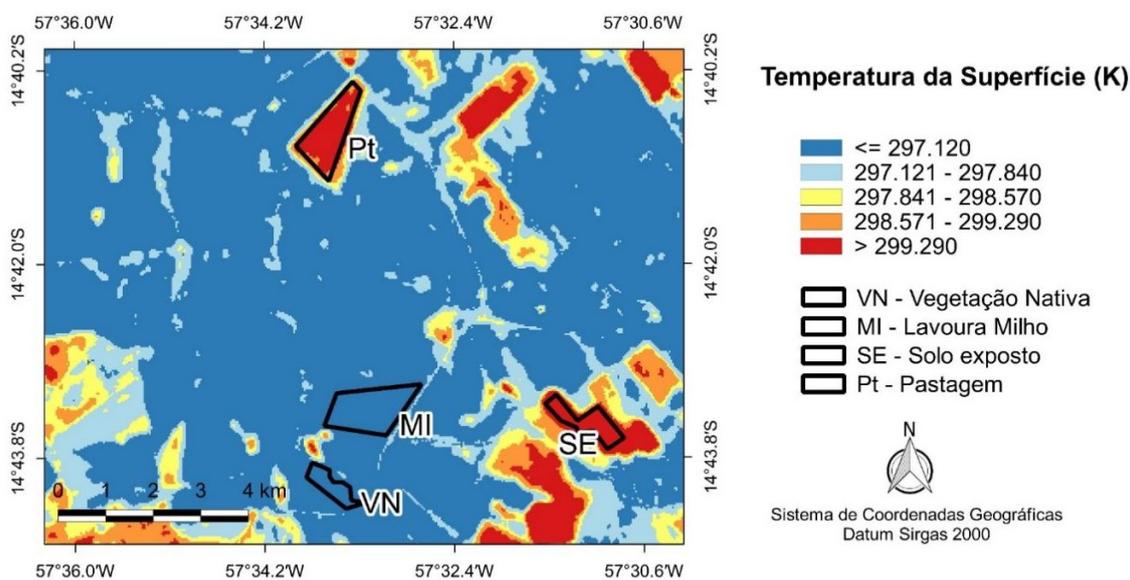


Figura 4. Distribuição espacial da temperatura de superfície (K) na área de estudo no dia 19/04/2019, Tangará da Serra-MT.

Martins et al. (2015), ao estudarem uma área agrícola no município de Campo Novo do Parecis-MT, estimaram médias de temperatura da superfície de 292,85, 293,28 e 300,58 K, respectivamente, para área de Reserva legal, borda da floresta e área desmatada. Valores estes que estão próximos aos estimados neste estudo.

Gusmão et al. (2012) estimaram valores superiores a 301 K em locais antropizados na região da Ilha do bananal em Tocantins. E também Pavão et al. (2015), na região de Humaitá-AM, em áreas de campo limpo onde apresentam maiores áreas de solo exposto, obtiveram valor médio de 301,75 K, corroborando com dados obtidos neste estudo.

As altas temperaturas na área de solo exposto e pastagem ocorrem devido a menor biomassa em relação a vegetação nativa, de modo que, a energia que está disponível no ambiente é empregada principalmente para aquecimento do ar e do solo. Em áreas com maior densidade de vegetação a energia disponível é direcionada ao processo de evapotranspiração, em forma de calor latente, resfriando a superfície vegetada, isso se deve ao fato de que a biomassa atua como termorregulador (BIUDES et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2014).

À medida que a vegetação se torna mais densa há uma diminuição gradativa da temperatura da superfície. De acordo com Biudes et al. (2015), em regiões com menor vegetação a energia continua sendo utilizada como calor sensível o que, consequentemente, favorecerá o maior aquecimento da superfície em relação as áreas vegetadas.

O saldo de radiação foi a principal variável na estimativa dos fluxos de calor no solo e sensível pelo SEBAL, saldo este que interfere diretamente na evapotranspiração. Segundo Martins & Rosa (2019), a evapotranspiração varia de acordo com o saldo de radiação, de modo que, quanto maior o saldo de radiação maior será a evapotranspiração real.

Os valores mais elevados do Rn_{inst} (Figura 5) se encontram nas áreas de vegetação nativa e cultivo de milho já os menores valores são encontrados em áreas com maior interferência antrópica, sendo a pastagem e o solo exposto. Os usos do solo: milho, pastagem e solo exposto apresentaram Rn_{inst} 4,62%, 10,48% e 8,53% menores quando comparados com a área de vegetação nativa (Tabela 2).

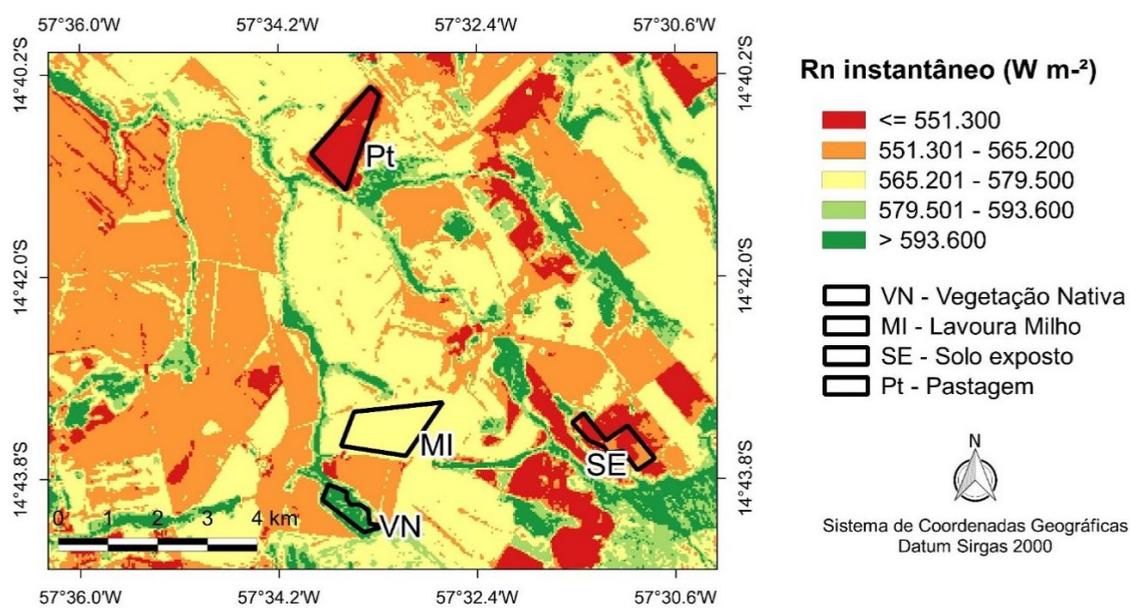


Figura 5. Distribuição espacial do saldo de radiação instantâneo ($W m^{-2}$) na área de estudo no dia 19/04/2019, Tangará da Serra-MT

Leite et al. (2018) verificou que quanto maior a incidência de radiação de onda curta maior será o Rn à superfície, observando assim que há uma interferência direta deste componente no saldo de radiação, bem como interferência do tipo de cobertura do solo e dos fluxos de calor latente, sensível e no solo.

Os referidos valores estão próximos aos estimados por Uda et al. (2013), que em estudo comparando diferentes usos e coberturas do solo, obtiveram valores de Rn em mata nativa variando de 460 a 600 $W m^{-2}$ e média de 537 $W m^{-2}$, pastagem variando de 397 a 532 $W m^{-2}$ e áreas de solo exposto escuro a variação ocorreu de 391 a 570 $W m^{-2}$. Estes valores estão ligeiramente menores aos obtidos neste trabalho fato que se deve, provavelmente, a maior incidência de raios solares.

De acordo com Silva et al. (2015), as médias do saldo de radiação diminuem em função da menor cobertura vegetal e são maiores para as áreas de vegetação nativa. Sendo assim, os valores estimados neste estudo estão condizentes com as respectivas classes de uso do solo.

Segundo Uda et al. (2013), áreas com menor albedo geram menores reflexões de ondas curtas e menor temperatura da superfície, como resultado tem-se menor emissão de ondas longas, favorecendo o Rn .

As estimativas de Rn por sensoriamento remoto, quando comparadas com dados de superfície, tem demonstrado resultados eficientes. Giongo (2011), usando dados de estação meteorológica e sensoriamento remoto, verificou correlação de 0,98 em área de cana-de-açúcar e 0,994 em área de Cerrado. E também Fausto et al. (2014), comparando dados de estações meteorológicas com estimativas feitas pelo SEBAL, observou correlação de 0,996 e 0,998 para Rn_{inst} .

Na figura 6 está apresentada a carta temática dos valores diários de evapotranspiração real ($ET_{diária}$) determinados a partir do fluxo de calor latente. Essa variável apresenta grande variabilidade espacial.

Como uma das maiores vantagens do uso de sensoriamento remoto para estimar evapotranspiração tem-se a análise da variação desse fenômeno, principalmente, quando se trata de grandes áreas, visto que esta varia no espaço de acordo com os elementos componentes da cena, variação dos componentes climáticos e sua variação temporal (VELOSO et al., 2017).

As áreas com tonalidade vermelha representam aquelas com valores de $ET_{diária}$ menores que $2,84 \text{ mm dia}^{-1}$. Observa-se que a área de pastagem e solo exposto as médias foram $2,87$ e $0,98 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente (Tabela 2). As áreas com valores de $ET_{diária}$ maiores que $3,95 \text{ mm dia}^{-1}$ estão representadas pela cor azul, que correspondem às áreas com cultivo de milho e vegetação nativa.

Analisando a tabela 2 fica evidente a baixa magnitude da $ET_{diária}$ nas áreas de solo exposto e de vegetação rala; contrastantemente, as áreas de vegetação nativa e milho apresentam maiores valores. Observando os valores das classes analisadas, percebe-se baixos valores de desvio padrão para cada alvo estudado.

Ao comparar as $ET_{diária}$ na plantação de milho, pastagem e solo exposto nota-se que estas foram $6,46\%$, $37,65\%$ e $78,02\%$ menores do que na área de vegetação nativa.

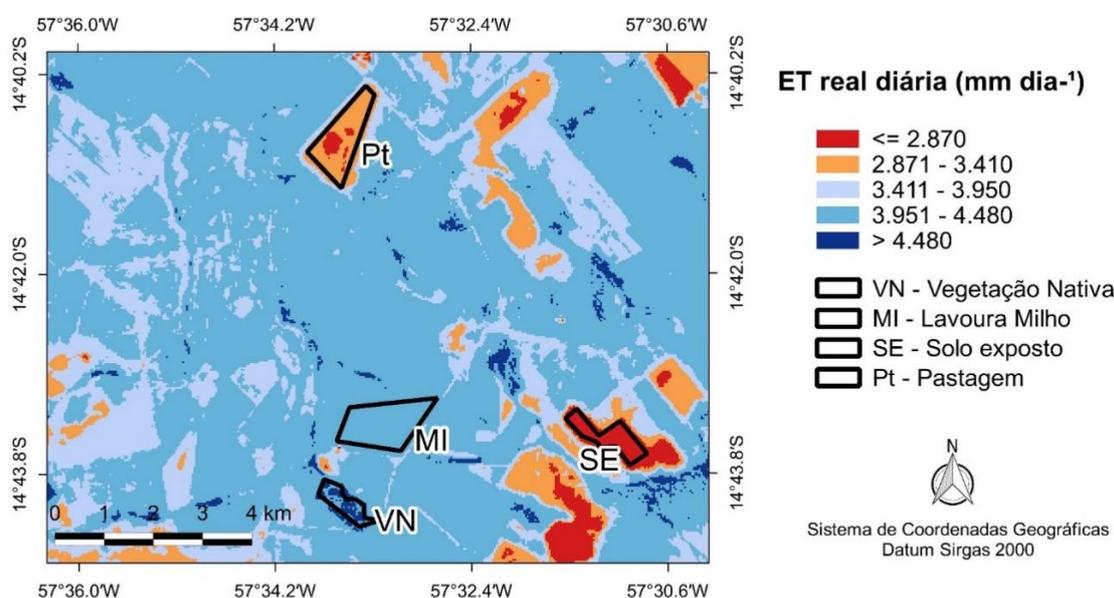


Figura 6. Distribuição espacial da Evapotranspiração real diária (mm dia^{-1}) na área de estudo no dia 19/04/2019, Tangará da Serra-MT.

O comportamento da evapotranspiração diária acompanha os padrões de NDVI, de modo que, altos valores do índice de vegetação estão relacionados com altos valores de $ET_{diária}$, o contrário também ocorre, visto que as áreas de pastagem e de solo exposto possuem NDVI menores e, conseqüentemente, a $ET_{diária}$ destas áreas também são menores.

De acordo com Allen et al. (1998), a ET das culturas agrícolas depende da demanda evaporativa da atmosfera, bem como seu estágio de desenvolvimento fenológico e condições hídricas do solo. Em razão da baixa cobertura vegetal no início do desenvolvimento da cultura a evapotranspiração é constituída, principalmente, de evaporação das superfícies d'água. E ao passo que a cultura se desenvolve, há uma diminuição da evaporação e aumento da transpiração das plantas, conseqüentemente, a evapotranspiração da cultura aumenta.

Em razão disso, o valor médio de $4,17 \text{ mm dia}^{-1}$ de evapotranspiração estimada para a cultura do milho é em função do seu estágio de desenvolvimento avançado, em concordância com Arraes et al. (2012) que obtiveram médias entre $4,06$ e $5,48 \text{ mm dia}^{-1}$.

Ainda Uda et al. (2013), ao estimarem a evapotranspiração em diferentes usos/coberturas do solo da Bacia do Rio Negrinho-SC, obtiveram oscilação da evapotranspiração de $0,0$ a $5,3 \text{ mm dia}^{-1}$, sendo que os menores valores se encontravam nas regiões com maior interferência antrópica, valores intermediários foram observados em regiões de agricultura, pastagem e solo exposto escuro e altos valores correspondiam às áreas de vegetação densa e corpos d'água.

Martins & Rosa (2019), ao estimarem valores de evapotranspiração para a região da Bacia do Rio Paranaíba, obtiveram valores inferiores a 2 mm dia^{-1} em áreas de solo de agricultura descobertos e pastagens degradadas. Também Monteiro et al. (2014), ao estimarem a evapotranspiração para áreas de cultivo de soja no sul do Brasil, utilizando imagens Landsat 5, observaram valores inferiores a $3,4 \text{ mm dia}^{-1}$ para as áreas de solo exposto.

O algoritmo SEBAL, além de permitir estimar a evapotranspiração, possibilita detectar áreas em processo de degradação ou já degradadas, haja vista que, áreas com NDVI e evapotranspiração muito baixas e albedo elevado indicam áreas degradadas, pouco vegetadas e secas, assim como áreas de solo exposto.

Na tabela 3 estão apresentados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas para a data de estudo.

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson entre a Evapotranspiração real (ET_{real}), albedo da superfície, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), saldo de radiação instantâneo (R_{inst}) e temperatura da superfície (T_{sup}) para o dia 19/04/2019.

	ET_{real}	Albedo	NDVI	R_{inst}	T_{sup}
Vegetação Nativa					
ET_{real}	1				
Albedo	-0.87***	1			
NDVI	-0.44***	0.75***	1		
R_{inst}	0.92***	-0.99***	-0.70***	1	
T_{sup}	-0.24***	-0.27***	-0.65***	0.16*	1
Milho					
ET_{real}	1				
Albedo	-0.44***	1			
NDVI	-0.25***	0.67***	1		
R_{inst}	0.74***	-0.90***	-0.64***	1	
T_{sup}	-0.76***	-0.21**	-0.26***	-0.12	1
Pastagem					
ET_{real}	1				
Albedo	-0.76***	1			
NDVI	-0.70***	0.77***	1		
R_{inst}	0.82***	-0.99***	-0.79***	1	
T_{sup}	-0.31***	-0.37***	-0.21**	0.28***	1
Solo exposto					
ET_{real}	1				
Albedo	0.33***	1			
NDVI	0.77***	0.71***	1		
R_{inst}	0.28***	-0.82***	-0.25***	1	
T_{sup}	-0.99***	-0.46***	-0.84***	-0.14	1

Nos usos de solo estudados as correlações apresentaram-se significativas com exceção da temperatura da superfície e saldo de radiação instantâneo em milho e solo exposto.

Observa-se que a correlação entre albedo e evapotranspiração real foi muito alta nos usos de solo com vegetação nativa e pastagem, de modo que à medida que o albedo diminui a evapotranspiração real aumenta. Em contrapartida, essa correlação foi moderada em milho e solo exposto, sendo em milho uma correlação também inversamente proporcional e em solo exposto à medida que uma variável aumenta a outra também aumenta. NDVI e ET real apresentaram correlação moderada e baixa em vegetação nativa e milho, respectivamente, enquanto em pastagem e solo exposto essa correlação foi muito alta.

Já entre o saldo de radiação instantâneo e a ET real a correlação foi quase perfeita em vegetação nativa, muito alta em milho e pastagem e baixa em solo exposto. Apresentando correlação diretamente proporcional, ou seja, à medida que o saldo de radiação aumenta a ET também aumenta.

Em solo exposto a correlação entre a temperatura da superfície e a ET real foi quase perfeita, muito alta em milho e moderada e baixa em pastagem e vegetação nativa, respectivamente. Estas correlações foram inversamente proporcionais em todos uso de solo.

4. CONCLUSÕES

Houve diferenças no padrão espacial das variáveis biofísicas analisadas em função do tipo do uso e cobertura do solo, bem como da evapotranspiração real diária, variando de 0,39 a 4,60 mm dia⁻¹ nas áreas estudadas, sendo que os maiores valores registrados foram na área de vegetação nativa e os menores na área de solo exposto, como esperado.

A estimativa de variáveis biofísicas por meio do algoritmo SEBAL com imagens de satélite possibilitou estimar e evidenciar a variabilidade espacial da evapotranspiração, além de ser uma ferramenta prática no monitoramento da necessidade hídrica das culturas e gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; MORSE, A.; TASUMI, M.; BASTIAANSEN, W.; KRAMBER, W.; ANDERSON, H. Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for water rights management and compliance with multi-state water compacts. In: IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. **Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium** (Cat. No.01CH37217), 2001, pp. 830-833 vol.2, DOI: 10.1109/IGARSS.2001.976651.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome**, 1998. Disponível em: <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>.
- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R. **Surface energy balance algorithms for land. Advance training and users manual**. Kimberly. University of Idaho, version 1.0, 98p., 2002. Disponível em: <https://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf>.
- ARRAES, F.D.D.; ANDRADE, E.M.; SILVA, B.B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, v.25, n.1, p.119-127, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/2024>.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) I. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-201, p. 198-212, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4).
- BASTIAANSEN, 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. 85-89, 2005. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9437%282005%29131%3A1%2885%29>.
- BIUDES, M.S.; CAMPELO JR., J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimate of energy balance in cambarazal and pasture in the north of Pantanal by Bowen ratio method. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p.135-143, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200003>.
- BIUDES, M.S.; MACHADO, N.G.; DANELICHEN, V.H.M.; SOUZA, M.C.; VOURLITIS, G.L.; NOGUEIRA, J.S. Ground and remote sensing-based measurements of leaf area index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v.58, n.6, p.1181-1193, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0713-4>.
- BIUDES, M.S.; VOURLITIS, G.L.; MACHADO, N.G.; ARRUDA, P.H.Z.; NEVES, G.A.R.; LOBO, F.A.; NEALE, C.M.U.; NOGUEIRA, J.S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.202, p.112–124, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>.
- BRAGA, A.C. Vegetation Index in the São Gonçalo Irrigated Perimeter - PB. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 4, n. 2, p. 65-74, 2014. DOI: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v4.2.p65-74>.
- BRAZ, A.M.; ÁGUAS, T.A.; GARCIA, P.H.M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria-MS. **Revista Percurso**, v.7, n.2, p.5-22, 2015. DOI: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percurso/article/view/49650>.
- CETEGEO-SR. **Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra-MT. 2019. <https://pesquisa.unemat.br/geoclimamt/>.
- CLARINDO, W.R.; DALLACORT, R.; DIAS, V.R.M.; RIEPPO, R.C.; BARRETO, J.G. Estimativa de Produtividade da Cultura do Milho Safrinha por Imagens de Satélite Landsat 8. **Enciclopédia Biosfera**, v.19, n.40, p.201-2015, 2022. DOI: 10.18677/EnciBio_2022B16.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Informações Agropecuárias: Safras. 2019**. Disponível em: www.conab.gov.br.
- DALLACORT, R.; MARTINS, J.A.; INOUE, M.H.; FREITAS, P.S.L.; COLETTI, A. J. Rain distribution in Tangará da Serra, mid-northern Mato Grosso state, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.3, n.2, p.193-200, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v3i2.5838>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 2006. 412p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>.
- FAUSTO, M.A.; MACHADO, N.G.; NOGUEIRA, J.S.; BIUDES, M.S. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Applied Remote Sensing**, v.8, n.1, p.083541, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083541>.

- FERRONATO, A.; CHIG, L.A.; GOULART, D.B.; CAMPELO JR., J.H.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Santo Antônio do Leverger-MT. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14, n.1, p.110-118, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5327/rcaa.v14i1.1418>.
- GIONGO, P.R.; MOURA, B.A.; SILVA, A.P.N.; MEDEIROS, S.R.R. Uso de sensoriamento remoto para estimar o saldo de radiação em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.19, p.8-21, 2011. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/site/e/agronomia-19-edicao-junho-de-2011.html#tab575>.
- GIONGO, P.R.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B.; ROCHA, H.R.; MEDEIROS, S.R.R.; NAZARENO, A.C. Surface albedo from Landsat 5 images in areas of sugar cane and cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.279-287, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000300007>.
- GUSMÃO, A.C.V.L.; SILVA, B.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; GALVÍNICO, J.D. Determination of the net radiation in Bananal Island, TO with orbital images. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1107-1114, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000011>.
- HOPKINS, W.G. **A new view of statistics**. Internet Society for Sport Science. 2000. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/>.
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2009. 2a Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São Paulo, Parêntese, 672p.
- LEITE, M.E.; VELOSO, G.A.; LEITE, M.R.; SILVA, L.A.P. Análise do Comportamento do Saldo de Radiação Instantâneo em Áreas de Cerrado por Produtos Orbitais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.6, p.2067-2081, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p2067-2080>.
- MACHADO, N.G.; BIUDES, M.S.; ANGELINI, L.P.; QUERINO, C.A.S.; ANGELINI, P.C.B.S. Impact of Changes in surface cover on energy balance in a tropical city by remote sensing: A study case in Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.20, p.100373, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100373>.
- MARTINS A.L.; CUNHA, C.R.; PEREIRA, V.M.R.; DANELICHEN, V.H.M.; MACHADO, N.G.; LOBO, F.A.; MUSIS, C.R.; BIUDES, M.S. Changes in biophysical indices due to the change of land cover in native cerrado area in Mato Grosso State. **Revista Ciência e Natura**, v.37, n.3, p.152-159, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X16145>
- MARTINS, A.P.; ROSA, R. Real evapotranspiration estimate from images of MODIS/AQUA sensor and SEBAL algorithm in Paranaíba river basin – Brazil. **Caderno de Geografia**, v.29, n.57, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n57p351-367>.
- MONTEIRO, P.F.C.; FONTANA, D.C.; SANTOS, T.V.; ROBERTI, D.R. Estimation of energy balance components and evapotranspiration in soybean crop in southern Brazil using TM - Landsat 5 images. **Bragantia**, v.73, n.1, p.72–80, 2014. <https://doi.org/10.1590/brag.2014.005>.
- OLIVEIRA, L.M.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, B.B.; ANTONINO, A.C.D.; MOURA, A.E.S.S. Real evapotranspiration in catchment area of northeastern Brazil through the SEBAL and MODIS products. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1039-1046, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1039-1046>.
- PAVÃO, V.M.; QUERINO, C.A.S.; BENEDITI, C.A.; PAVÃO, L.L.; QUERINO, J.K.A.S.; MACHADO, N.G.; BIUDES, M.S. Temperatura e Albedo da superfície por Imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do Solo no sudoeste da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.16, p.169-183, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40128>.
- PAVÃO, V.M.; QUERINO, C.A.S.; BENEDITI, C.A.; PAVÃO, L.L.; QUERINO, J.K.A.S.; MACHADO, N.G.; BIUDES, M.S. Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do sul do Amazonas, Brasil. **Revista Raega**, v.37, p.333-352, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v37i0.42469>.
- QGIS Development Team (2019). **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- SANCHES, F.M.; XIMENES, A.R.; CORADI, P.C.; ROQUE, C.G.; CUNHA, F.F. Estimativa da evapotranspiração de referência na região norte do Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.13, n.2, p. 19-31, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5327/rcaa.v13i2.1179>.

- SANTOS, F.A.; SANTOS, C.A.C.; ARAÚJO, A.L.; BRAGA, A.C. Changes in the radiative balance in pastures and forest areas through orbital MODIS images. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.5, p.1023 - 1036, 2013. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6i5.233093>.
- SILVA, B.B; BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo-PB mediante imagens orbitais. **Revista Caatinga**, v.24, n.3, p.145-152, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/2282>.
- SILVA, B.B; BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C.; OLIVEIRA, L.M.M.; MONTENEGRO, S.M.G.; BARBOSA JR., B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.3-8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8>.
- SILVA, B.B; GALVÍNIO, J.D.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MACHADO, C.C.C.; OLIVEIRA, L.M.M.; MOURA, M.S.B. Assessment of gross primary production - GPP in the irrigated perimeter São Gonçalo - PB using remote sensing. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.1, p.57-64, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000100006>.
- SILVA, B.B; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, V.P.R.; ROCHA, H.R.; GALVÍNIO, J.D.; OLIVEIRA, L.M.M. Determination of instantaneous and daily net radiation from TM – Landsat 5 data in a subtropical watershed. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.135, p.42-49, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2015.09.020>.
- UDA, P.K.; CORSEUIL, C.W.; KOBAYAMA, M.; SILVA, F.V. Análise da evapotranspiração real diária para diferentes usos e coberturas do solo da bacia do rio Negrinho-SC por meio do modelo SEBAL e imagens ASTER. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 16, Foz do Iguaçu, 2013, Anais eletrônicos... INPE, n. 1999, p. 5856-5863, 2013. Disponível em: https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/UDA_et_al_16SBSR.pdf.
- USGS. United States Geological Survey. **Product guide: Landsat 8 surface reflectance code (LaSRC) product**. Versão 3. 2020. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-collection-1-land-surface-reflectance-code-product-guide>.
- VELOSO, G.A.; FERREIRA, M.E.; SILVA, B.B. Determination of Real Evapotranspiration Daily in Areas of Jaiba Irrigated Project (Minas Gerais, Brazil) through Images Landsat 5-TM. **Revista Cerrados**, v.15, n.1, p.53-76, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22238/rc24482692v15n12017p53a76>.
- ZANCHI, F.B.; WATERLOO, M.J.; AGUIAR, L.J.G.; RANDOW, C.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F.L.; MANZI, A.O. Estimate of the Leaf Area Index (LAI) and Biomass in pasture in the state of Rondônia - Brazil. **Acta Amazonica**, v.39, n.2, p.335-348, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000200012>.
- ZHOU, X.; HUANG, W.; KONG, W. YE, H.; LUO, J.; CHEN, P. Remote estimation of canopy nitrogen content in winter wheat using airborne hyperspectral reflectance measurements. **Advances in Space Research**, v. 58, n. 9, p. 1627-1637, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.06.034>