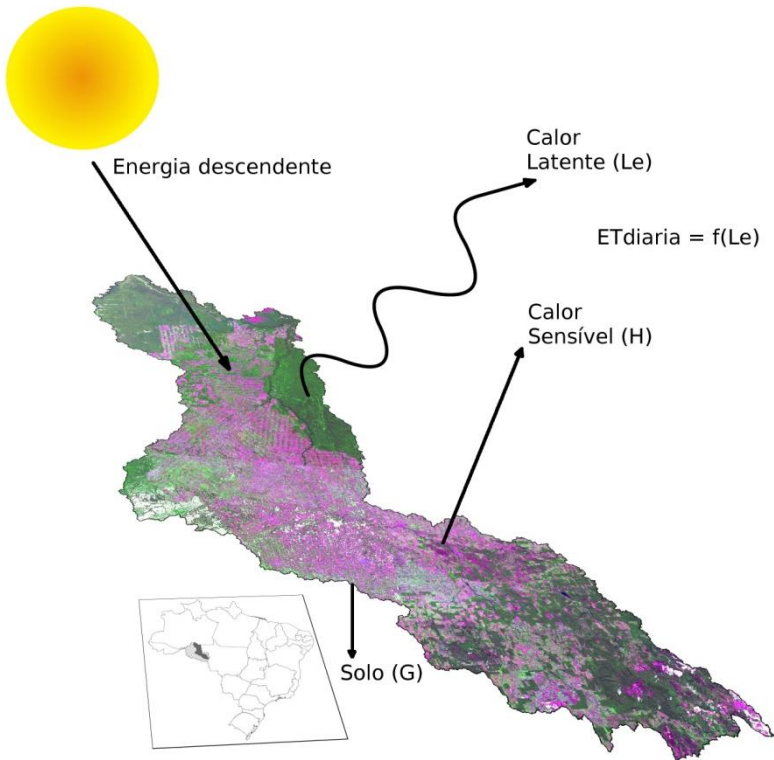


Estimativa dos fluxos de energia à superfície e da evapotranspiração real diária utilizando imagens do sensor MODIS/Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO



Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 13

**Estimativa dos fluxos de energia
à superfície e da evapotranspiração
real diária utilizando imagens do
sensor MODIS/Aqua na Bacia do Rio
Ji-Paraná, RO**

*Ricardo Guimarães Andrade
Daniel de Castro Victoria
Sandra Furlan Nogueira
Gregory Oliveira Massagli
Maurício Lopes Agnese*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP

Telefone: (19) 3211 6200

Fax: (19) 3211 6222

sac@cnpm.embrapa.br

www.cnpm.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Cristina Criscuolo*

Secretária-Executiva: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Bibiana Teixeira de Almeida, Daniel de Castro Victoria, Davi de Oliveira Custódio, Graziella Galinari, Luciane Dourado, Vera Viana dos Santos*

Supervisão editorial: *Cristina Criscuolo*

Revisão de texto: *Bibiana Teixeira de Almeida*

Normalização bibliográfica: *Vera Viana dos Santos*

Tratamento de ilustrações e editoração eletrônica: *Shirley Soares da Silva*

Ilustrações: *Daniel de Castro Victoria (capa) e Ricardo Guimarães Andrade (publicação)*

1ª edição

1ª impressão (2010): versão digital

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

Estimativa dos fluxos de energia à superfície e da evapotranspiração real diária utilizando imagens do sensor MODIS/Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO / Ricardo Guimarães Andrade, Daniel de Castro Victoria, Sandra Furlan Nogueira, Gregory Oliveira Massagli, Maurício Lopes Agnese. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010

26 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 13).

ISSN 1806-3322

1. Bacia hidrográfica. 2. Clima. 3. Evapotranspiração. 4. Fluxos de energia. 5. Sensoriamento remoto I. Victoria, Daniel de Castro. II. Nogueira, Sandra Furlan. III. Massagli, Gregory Oliveira. IV. Agnese, Maurício Lope. V. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas, SP). VI. Título. VII. Série.

CDD 621.3678

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e métodos	8
Resultados e discussão.....	13
Considerações finais	23
Agradecimentos.....	23
Referências	24

Índice de figuras

Figura 1.	Localização da área de estudo que abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná, porção leste do Estado de Rondônia.	9
Figura 2.	Estação meteorológica automática (CACOAL – A939) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010).	10
Figura 3.	Histogramas de frequência das estimativas do índice de área foliar (IAF, em $m^2 m^{-2}$) (A) e da temperatura da superfície (Ts, em K) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.	13
Figura 4.	Histogramas de classes de frequência das estimativas do índice de área foliar (IAF, em $m^2 m^{-2}$) (A) e da temperatura da superfície (Ts em K) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.	14
Figura 5.	Estimativas do índice de área foliar (IAF, em $m^2 m^{-2}$) (A), e da temperatura da superfície (Ts, em K) (B), para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. As manchas de cor preta presentes nas figuras representam nuvens.	16
Figura 6.	Histogramas de frequência das estimativas do fluxo de calor no solo (G, em $W m^{-2}$) (A) e do fluxo de calor sensível (H, em $W m^{-2}$) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.	17
Figura 7.	Histogramas de classes de frequência das estimativas do fluxo de calor no solo (G, em $W m^{-2}$) (A) e do fluxo de calor sensível (H, em $W m^{-2}$) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.	18
Figura 8.	Estimativas do fluxo de calor no solo (G, em $W m^{-2}$) (A) e do fluxo de calor sensível (H, em $W m^{-2}$) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. As manchas de cor preta presentes nas figuras representam nuvens.	19
Figura 9.	Histogramas de frequência das estimativas do fluxo de calor latente (LE, em $W m^{-2}$) (A) e da evapotranspiração real diária (ET _{r24} , em $mm d^{-1}$) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.	20
Figura 10.	Histogramas de classes de frequência das estimativas do fluxo de calor latente (LE, em $W m^{-2}$) (A) e da evapotranspiração real diária (ET _{r24} , em $mm d^{-1}$) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.	21
Figura 11.	Estimativas do fluxo de calor latente (LE, em $W m^{-2}$) (A) e da evapotranspiração real diária (ET _{r24} , em $mm d^{-1}$) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. As manchas de cor preta presentes nas figuras representam nuvens.	22

Estimativa dos fluxos de energia à superfície e da evapotranspiração real diária utilizando imagens MODIS/Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO

*Ricardo Guimarães Andrade*¹

*Daniel de Castro Victoria*²

*Sandra Furlan Nogueira*³

*Gregory Oliveira Massaghl*⁴

*Maurício Lopes Agnese*⁵

Resumo

Pesquisas relacionadas com análises dos fluxos de energia e demandas de água em uma dimensão regional são fundamentais para a compreensão do comportamento espaço-temporal da mudança de uso e cobertura da terra e sua influência no clima em escala local, regional e global. Nos últimos anos, técnicas de sensoriamento remoto juntamente com modelos e/ou algoritmos têm sido aplicados de forma bastante promissora para a estimativa dos fluxos de energia e evapotranspiração de áreas extensas. Nesse sentido, o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) tem sido empregado de forma bem-sucedida em diversas pesquisas ao redor do mundo. Assim, esta pesquisa objetivou estimar os fluxos de energia à superfície e a evapotranspiração real diária com aplicação de imagem do sensor MODIS/Aqua e do algoritmo SEBAL na Bacia do Rio Ji-Paraná, situada no Estado de Rondônia. Para obter os fluxos de energia e evapotranspiração real diária foram utilizados produtos de reflectância e temperatura da superfície (MYD09GA e MYD11A1, respectivamente), juntamente com dados meteorológicos obtidos na estação meteorológica automática (CACOAL – A939) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia. Os resultados obtidos indicam que os valores das estimativas dos fluxos de energia e da evapotranspiração real diária mostraram-se coerentes com a literatura, no entanto, pesquisas complementares com maior controle experimental devem ser realizadas.

Termos para indexação: bacia hidrográfica, clima, evapotranspiração, fluxos de energia, sensoriamento remoto.

¹ Doutor em Agrometeorologia na Agricultura, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, ricardo@cnpm.embrapa.br

² Doutor em Ciências – Química na Agricultura e no Ambiente, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, daniel@cnpm.embrapa.br

³ Doutora em Química na Agricultura e no Ambiente, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP, sandra@cnpm.embrapa.br

⁴ Graduando em Engenharia Ambiental, bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas- SP

⁵ Graduando em Engenharia Agrícola, bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas- SP

Estimation of daily energy fluxes at the surface and evapotranspiration using MODIS/Aqua images applied to the Ji-Paraná river basin, RO, Brazil

Abstract

The study of surface energy fluxes and water demands on regional scales are invaluable to understand the influences of land-use and cover change on local, regional and global climate. In recent years, remote sensing techniques along with models and algorithms have been used to estimate the surface energy fluxes and evapotranspiration (ET) for extensive regions. One example is the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), which has been used successfully at several locations around the world. Here, we estimated the surface energy fluxes and daily ET using imagery from the MODIS sensor onboard Aqua satellite and the SEBAL for the Ji-Paraná river basin (RO, Brazil). MODIS reflectance and surface temperature products (MYD09GA e MYD11A1), along with measured meteorological data from the National Meteorology Institute (Inmet) were used. Results obtained were similar to findings reported in the literature for the study region. However, more detailed meteorological-datasets-controlled experiments are still necessary.

Index terms: watershed, climate, evapotranspiration, energy flow, remote sensing.

Introdução

A comunidade científica mundial tem enfatizado nos mais diversificados meios de comunicação a importância das florestas tropicais para o controle do clima regional e global. Nesse contexto, a Floresta Amazônica é reconhecida como uma importante fonte de energia e umidade. No entanto, essa região tem passado por um acelerado processo de mudanças em sua paisagem, com a expansão das fronteiras agrícolas, a urbanização desordenada dos novos polos e a ocupação indiscriminada das margens das rodovias que ligam a região amazônica ao Centro-Sul do País (SILVA et al., 2010). Tais mudanças são determinantes na regulação do clima local, regional e até global, pois afetam os processos de transferência de massa, calor e *momentum* em diversas escalas (FOLHES et al., 2007).

As trocas de energia na interface vegetação-atmosfera, por meio das componentes do balanço de radiação e dos fluxos de calor sensível e latente, são essenciais para a modelagem climática, sendo que a magnitude desses fluxos e de suas variações são importantes na parametrização e calibração de modelos de circulação global e de impactos climáticos globais resultantes de alterações fisiográficas da superfície (PAIVA, 2005). Para Rocha et al. (2004), o padrão regional de precipitação na Amazônia está ligado aos padrões de grande escala da evaporação da superfície da terra (ROCHA et al., 2004). A redução da precipitação é uma consequência das mudanças no balanço de energia e de água (FOLEY et al., 2003). Segundo Aguiar (2005), o particionamento de energia na superfície é uma complexa função das interações de longo prazo entre o ciclo biogeoquímico e o clima e das interações de curto prazo entre a fisiologia das plantas e o desenvolvimento da camada limite atmosférica.

Nos últimos anos, devido à escassez de informações meteorológicas de algumas regiões e à dificuldade de obtenção de alguns parâmetros de superfície de forma representativa em escala regional, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido imprescindíveis na detecção de informações em áreas extensas de forma rápida e efetiva (ANDRADE et al., 2009a). Compaoré et al. (2008), por exemplo, citam que, na paisagem heterogênea do Planalto Central da Espanha, 13 medições de evapotranspiração (ET) em uma área relativamente pequena (5.000 km²) não foram suficientes para prever com precisão a taxa de ET média da área. Assim, além das medições aproximadas da ET por meio das técnicas de covariância de vórtices turbulentos, razão de Bowen e lisímetros de pesagem serem métodos caros, também consomem muito tempo em uma aplicação contínua para que se tenha, em escala regional, uma densidade de pontos suficiente para estimativas especializadas da ET.

Diversas pesquisas têm utilizado técnicas de sensoriamento remoto em análises espaço-temporais dos fluxos de energia e da evapotranspiração de grandes áreas (ALLEN et al., 2002; ANDRADE, 2008; ANDRADE et al., 2009a; BASTIAANSSEN et al., 1998a, 1998b; BASTIAANSSEN et al., 2000; BEZERRA, 2004; COSTA, 1997; FOLHES et al., 2007; LIMA et al., 2009; PAIVA, 2005; SILVA; BEZERRA, 2006) Para a obtenção dos fluxos de energia a partir de imagens orbitais, são utilizados algoritmos e/ou modelos. Entre esses algoritmos e/ou modelos, o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) tem obtido destaque em estudos que envolvem estimativas dos fluxos de energia e da evapotranspiração em áreas extensas.

Diante do exposto, este trabalho objetivou estimar os fluxos de energia à superfície e a evapotranspiração real diária com aplicação de imagem do sensor MODIS/Aqua e do algoritmo SEBAL na Bacia do Rio Ji-Paraná, situada no Estado de Rondônia.

Material e métodos

A área de estudo localiza-se na porção leste do Estado de Rondônia e abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná (Figura 1), situada no Bioma Amazônia. Krusche et al. (2005) comentam que a bacia hidrográfica do Rio Ji-Paraná apresenta uma das maiores taxas de desmatamento do Estado de Rondônia. A parte média da Bacia do Rio Ji-Paraná apresenta elevado grau de alteração antrópica, com grandes extensões de pastagens. No entanto, as partes alta e baixa da bacia ainda apresentam baixa alteração em sua cobertura vegetal original (KRUSCHE et al., 2005).

No presente trabalho, foram utilizados os produtos de reflectância (MYD09GA) e temperatura da superfície (MYD11A1) do sensor MODIS/Aqua para o dia 24 de junho de 2010. Para a completa cobertura da área de estudo foram necessárias quatro cenas (*tiles*) MODIS. Esses produtos foram obtidos gratuitamente no formato hdf (NASA, 2010) e foram unidos, reprojatados e convertidos para o formato GeoTIFF (coordenadas geográficas, projeção WGS84) com a utilização do programa MODIS Reprojection Tool (MRT).

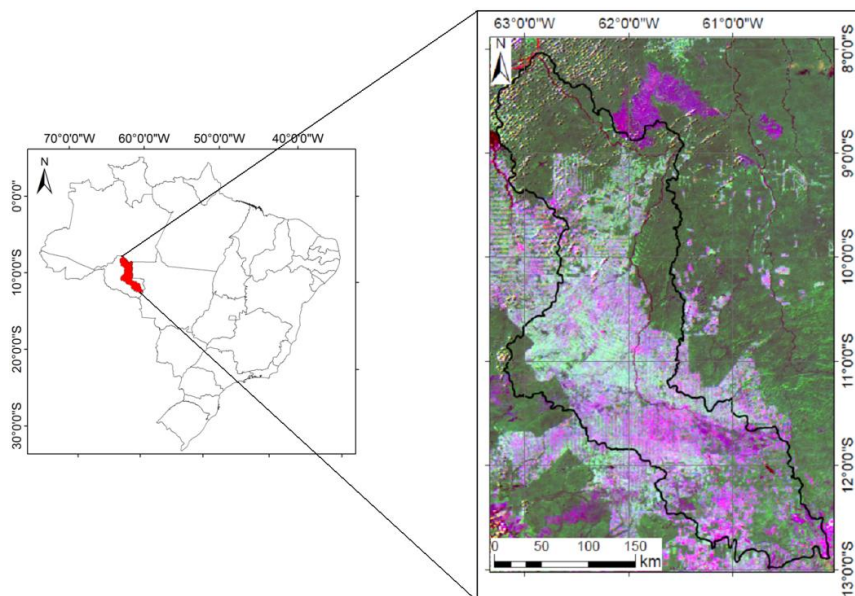


Figura 1. Localização da área de estudo que abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná, porção leste do Estado de Rondônia.

Para a obtenção da reflectância da superfície (bandas 1 a 7, produto MYD09GA) e da temperatura da superfície (produto MYD11A1) que abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná, RO, foram obtidos e convertidos os arquivos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Arquivos dos produtos de reflectância (MYD09GA) e temperatura da superfície (MYD11A1) utilizados na estimativa dos fluxos de energia e evapotranspiração real diária para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Produtos	Arquivos
Reflectância da superfície	MYD09GA.A2010175.h11v09.005.2010177090824.hdf
	MYD09GA.A2010175.h11v10.005.2010177093122.hdf
	MYD09GA.A2010175.h12v09.005.2010177100410.hdf
	MYD09GA.A2010175.h12v10.005.2010177085843.hdf
Temperatura da superfície	MYD11A1.A2010175.h11v09.005.2010177034725.hdf
	MYD11A1.A2010175.h11v10.005.2010177035014.hdf
	MYD11A1.A2010175.h12v09.005.2010177034739.hdf
	MYD11A1.A2010175.h12v10.005.2010177035047.hdf

Também foram utilizados os dados de velocidade do vento e radiação solar obtidos da estação meteorológica automática (CACOAL – A939, latitude 11,4458°S, longitude 61,4341°O e 210 m de altitude) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) (Figura 2) (INMET, 2010).



Figura 2. Estação meteorológica automática (CACOAL – A939) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010).

A aplicação do algoritmo SEBAL consiste em métodos baseados fisicamente no esquema de transferência da camada única para o calor sensível (H) e em uma estimativa empírica para o fluxo de calor no solo (G). O saldo de radiação (Rn) é calculado por meio da reflectância e da emitância da radiação, variável espacialmente. O fechamento do balanço de energia pixel a pixel é processado considerando o fluxo de calor latente (LE) como um resíduo da equação do balanço de energia, dada por:

$$LE = Rn - H - G, \quad (1)$$

em que a unidade de LE, Rn, H e G é dada em $W m^{-2}$. Da equação do balanço de energia, o saldo de radiação (Rn) foi a primeira variável a ser obtida. Andrade (2008) apresenta em detalhes todas as etapas envolvidas na obtenção do saldo de radiação (Rn). O fluxo de calor no solo (G, em $W m^{-2}$) foi estimado por meio da aplicação da função empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000):

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

em que T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}C$) relativa ao produto MYD11A1 e NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI). Para efeito de correção dos valores do fluxo de calor no solo para corpos d'água ($NDVI < 0$), considerou-se $G = 0,3Rn$ (SILVA; BEZERRA, 2006). Obtido o valor de G, iniciou-se uma nova série de passos necessários para a obtenção do fluxo de calor sensível (H).

O H é uma componente do balanço de energia que expressa a taxa de calor transferido da superfície para o ar pelos processos de convecção e condução (LIMA et al., 2009). Esse fluxo é calculado utilizando a velocidade do vento (u), a resistência aerodinâmica da superfície (r_{ah}) e a diferença da temperatura do ar (dT) entre dois níveis acima da superfície, ou seja, nas alturas de 2 m e 0,1 m. No SEBAL, procedeu-se com o cálculo de dT para cada pixel por meio de uma relação linear entre dT e T_s . Essa relação é dada pelos coeficientes a e b, que são obtidos pelos pixels denominados "âncoras", também chamados de "quente" e "frio". Esses pixels âncora foram selecionados mediante consulta simultânea às imagens de NDVI e temperatura da superfície (T_s). O pixel frio foi escolhido em uma situação em que o valor do NDVI era negativo (geralmente sobre corpos d'água), com baixos valores de T_s , enquanto o pixel quente foi selecionado para condição em que a T_s era elevada e o NDVI era inferior a 0,3.

No pixel frio, a temperatura da superfície e a temperatura do ar próxima à superfície foram consideradas iguais. Nesse caso, assumiu-se que H é igual a zero e, então, determinou-se o LE máximo por meio da equação:

$$LE_{\text{frio}} = Rn - G. \quad (3)$$

Para o pixel quente, assumiu-se ser igual a zero o LE e, então, obteve-se o H máximo ao empregar a equação:

$$H_{\text{quente}} = Rn - G = \frac{\rho c_p (a + b T_s)}{r_{ah}}, \quad (4)$$

em que, a e b são parâmetros de ajuste; ρ é a densidade do ar úmido (kg m^{-3}); c_p é o calor específico do ar à pressão constante ($1.004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); r_{ah} é a resistência aerodinâmica; T_s é a temperatura da superfície (K). Por meio dos pixels âncora foi possível, então, 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}) por meio da expressão:

$$H_{\text{inicial}} = \rho c_p \frac{dT}{r_{ah}}. \quad (5)$$

A próxima etapa consistiu em considerar a condição de estabilidade atmosférica, realizando correções nos valores de H em processo iterativo. Para tanto, foi aplicada a teoria da similaridade de Monin-Obukhov (L , em m) para saber a condição de estabilidade da atmosfera, ou seja, se ela é instável ($L < 0$), estável ($L > 0$) ou neutra ($L = 0$). Na sequência, foram obtidos os valores das correções de estabilidade para o transporte de momentum (ψ_m) e de calor sensível (ψ_h), conforme formulações sugeridas por Allen et al. (2002). Com isso, foi possível corrigir a velocidade de fricção (u^*) e obter o valor corrigido de r_{ah} . Posteriormente retornou-se ao cálculo da função da diferença de temperatura (dT), repetindo-se os cálculos mencionados acima até que fosse observada estabilidade nos valores sucessivos de dT e r_{ah} para o pixel quente. Por fim, obteve-se o fluxo de calor latente (LE) como um resíduo do balanço de energia (Equação 1) e estimou-se a evapotranspiração para o momento da passagem do satélite sobre a área de estudo mediante a aplicação da seguinte equação (ALLEN et al., 2002):

$$ET_{\text{inst}} = \frac{LE \times 3600}{\lambda}, \quad (6)$$

em que ET_{inst} é a evapotranspiração instantânea (mm h^{-1}) e λ é o calor latente de vaporização ou o calor absorvido quando um quilograma de água é evaporado (J kg^{-1}).

Em seguida, foi calculada a fração ET (ETrF), definida pela relação entre a ET_{inst} para cada pixel e a evapotranspiração de referência (ET_0) obtida por meio de dados coletados em estação meteorológica (ALLEN et al., 2002):

$$ETrF = \frac{ET_{inst}}{ET_o} \quad (7)$$

Para o cálculo de ET_o ($mm\ h^{-1}$), foi utilizado o software REF-ET, que se baseia nas equações de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Conforme Allen et al. (2002), o valor de $ETrF$ é semelhante ao coeficiente da cultura (Kc) e pode ser utilizado para extrapolar a ET instantânea para o período de 24 horas ou para períodos mais longos. Assim, a evapotranspiração diária (ET_{24h} , $mm\ d^{-1}$) pode ser estimada por (ALLEN et al., 2002):

$$ET_{24h} = ETrF \times ET_{o_24h} \quad (8)$$

Resultados e discussão

Nas Figuras 3 e 4, são apresentados os histogramas de frequência de forma contínua (Figura 3) e em intervalos de classes (Figura 4). Na Figura 4 A e B, podem ser visualizadas, respectivamente, as imagens das estimativas do índice de área foliar (IAF, em $m^2\ m^{-2}$) e da temperatura da superfície (T_s , em K) para área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. Já na Tabela 2, são apresentados os dados de mínimo, máximo, média, mediana, moda e desvio padrão das estimativas de IAF e T_s para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

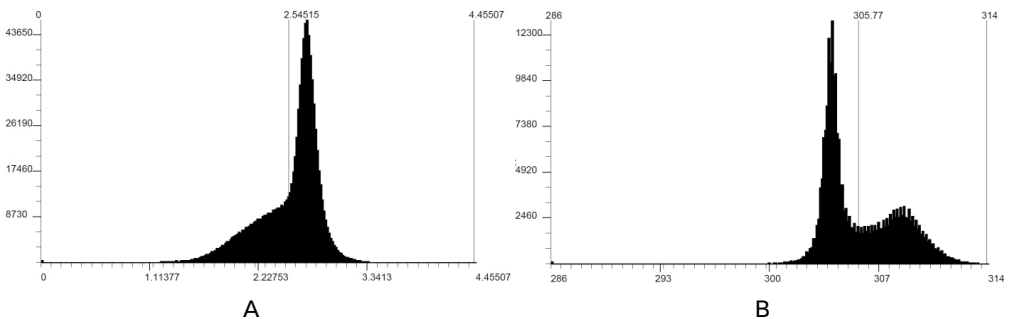


Figura 3. Histogramas de frequência das estimativas do índice de área foliar (IAF, em $m^2\ m^{-2}$) (A) e da temperatura da superfície (T_s , em K) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

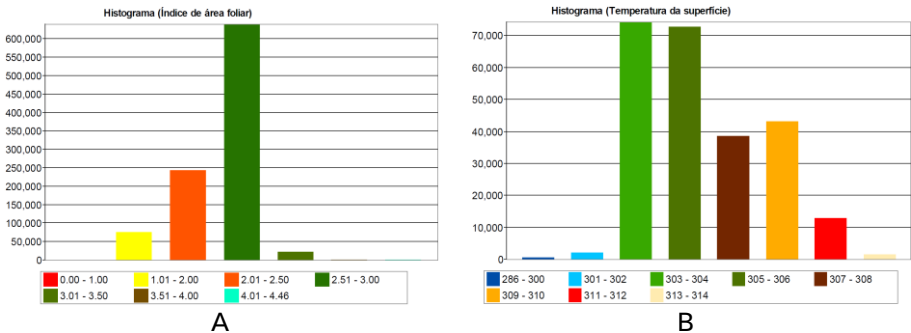


Figura 4. Histogramas de classes de frequência das estimativas do índice de área foliar (IAF, em $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) (A) e da temperatura da superfície (T_s em K) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

O valor médio de IAF na região da Bacia do Rio Ji-Paraná foi de $2,54 \pm 0,34 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ (Tabela 2), e os menores e maiores valores de IAF foram encontrados em áreas com exposição do solo e com vegetação densa (floresta), respectivamente. Os valores de IAF com maior frequência foram representados pelas classes de cor laranja ($2,01 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ a $2,50 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$) e verde ($2,51 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ a $3 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$) (Figura 3 A). Nas classes de cor laranja e verde, predominaram áreas de pastagens e florestas, respectivamente (Figura 4 A). Zanchi et al. (2009) encontraram valores médios de IAF da ordem de $2,5 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ ao realizar medidas mensais de IAF de pastagens no período entre fevereiro de 1999 e janeiro de 2005 na Fazenda Nossa Senhora (FNS), e em Rolim de Moura (RDM), Rondônia, entre fevereiro e março de 1999. Porém, em termos de IAF médio anual, Zanchi et al. (2009) encontraram IAF variando de $1,4 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ em 2000 a $2,8 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ em 2003. Além disso, os autores relataram que a pastagem predominante na região estudada é *Urochloa brizantha* com pequenas manchas de *Urochloa humidicula*. Roberts et al. (1996), ao analisar o IAF de pastagens de *U. brizantha*, obtiveram, para o período seco, valores de IAF da ordem de $1,55 \pm 0,72 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ e $1,66 \pm 0,52 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ para os meses de agosto e setembro de 1992, respectivamente. Para o período chuvoso, esses autores obtiveram IAF de $3,90 \pm 1,02 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ e $2,55 \pm 0,78 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ para os meses de abril e junho de 1993, respectivamente. Ao estudar pastagens de *U. brizantha* (Fazenda Nossa Senhora) utilizando um método indireto (*gap fraction*) composto por uma câmera digital acoplada a uma lente olho de peixe, Carruzo e Rocha (2001) encontraram, para o período chuvoso (janeiro e fevereiro de 1999), valor médio de IAF da ordem de $2,63 \pm 0,77 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$. No entanto, para áreas de floresta esses autores observaram valor de IAF médio de $4,97 \pm 1,27 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ para 66 medidas obtidas ao redor da torre do LBA e IAF médio de $4,96 \pm 1,36 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ para 30 medidas obtidas ao redor da torre do ABRACOS.

Para a região que abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná, o valor médio de Ts foi de $305,77 \pm 2,51$ K (Tabela 2). No entanto, foram encontrados os maiores valores de Ts nas áreas antrópicas e os menores valores em superfícies com presença de corpos d'água e/ou alagadas (Figura 3 B). Valores de Ts com maior frequência na região de estudo foram registrados nas classes de tons verdes (Figura 3 B) e que representam áreas de florestas (Figura 4 B). Além disso, como mostram as Figuras 2 B e 3 B, nota-se que se destacaram dois intervalos de classes de Ts: o intervalo de classes de tons verdes (303 K a 306 K) e o intervalo que compreende as classes de cor marrom e laranja (307 K a 310 K). No primeiro intervalo de classes de Ts, a maior parte da área está ocupada por florestas, enquanto o segundo intervalo de classes de Ts é composto por áreas antrópicas.

Tabela 2. Dados estatísticos das estimativas de índice de área foliar (IAF) e temperatura da superfície (Ts) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Estatística	Índice de área foliar (IAF, em $m^2 m^{-2}$)	Temperatura da superfície (Ts, em K)
Mínimo	0	286,00
Máximo	4,46	314,00
Média	2,54	305,77
Mediana	2,65	304,59
Moda	2,71	303,93
Desvio padrão	0,34	2,51

Em experimento realizado por Vilani et al. (2006) em uma floresta tropical de transição (Floresta Amazônica-Cerrado) situada na Fazenda Maracaí, no Município de Sinop, MT, os autores observaram variação da temperatura do ar e do solo (Tabela 3) de acordo com a estação do ano (úmida, úmida-seca, seca, seca-úmida). Além disso, verificaram que, em média, a temperatura do solo foi superior à temperatura do ar em aproximadamente 10% e 22% nas estações úmida e seca, respectivamente.

Tabela 3. Dados médios da temperatura do ar e do solo de acordo com a estação do ano obtidos por Vilani et al. (2006) em experimento realizado em uma floresta tropical de transição (Floresta Amazônica-Cerrado) no período de 2001 a 2003, em Sinop, MT.

Estação	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do solo (°C)
Úmida	$26,0 \pm 2,7$	$24,5 \pm 0,5$
Úmida-seca	$25,8 \pm 2,5$	$24,1 \pm 0,6$
Seca	$25,6 \pm 5,0$	$21,8 \pm 1,0$
Seca-úmida	$27,8 \pm 4,0$	$24,0 \pm 0,6$

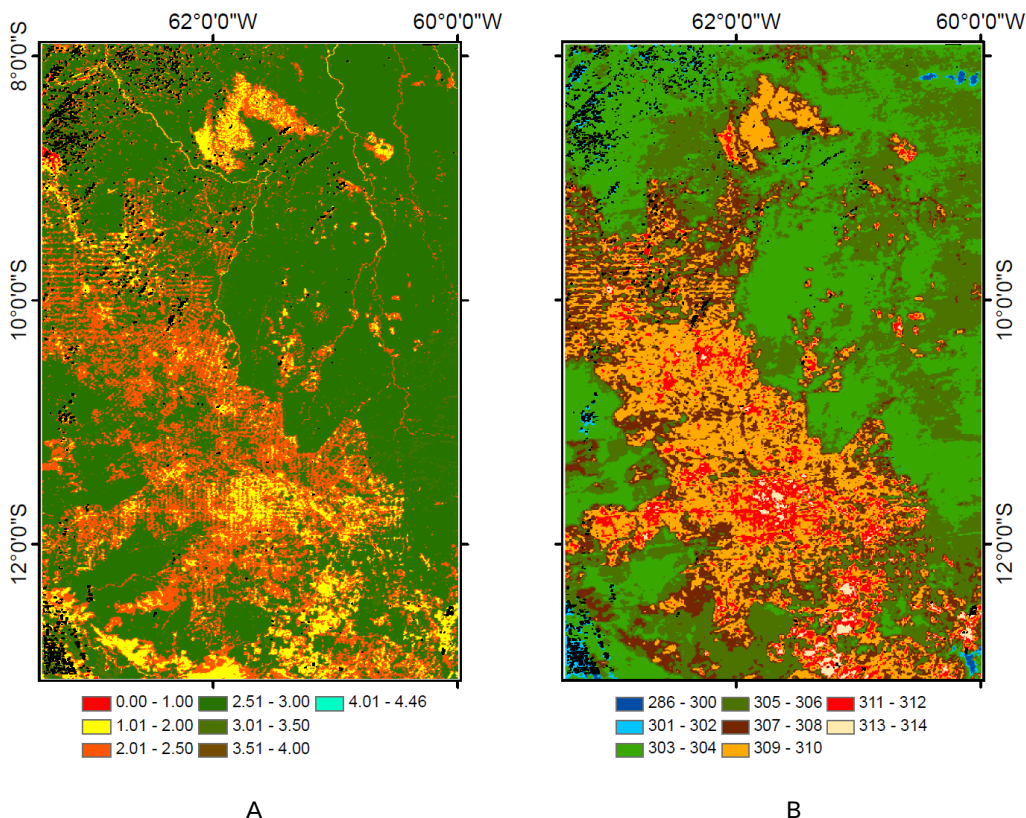


Figura 5. Estimativas do índice de área foliar (IAF, em $m^2 m^{-2}$) (A), e da temperatura da superfície (T_s , em K) (B), para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. As manchas de cor preta presentes nas figuras representam nuvens.

Nas Figuras 5 e 6, são apresentados os histogramas de frequência do fluxo de calor no solo (G , em $W m^{-2}$) e do fluxo de calor sensível (H , em $W m^{-2}$), tanto no formato contínuo (Figura 5) quanto em intervalos de classes (Figura 6). Já a Figura 7 mostra as imagens das estimativas de G e de H . Na Tabela 4, são apresentados os dados de mínimo, máximo, média, mediana, moda e desvio padrão das estimativas de G e H para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Para a região de estudo, G variou de 0 W m^{-2} a $79,97 \text{ W m}^{-2}$, com média de $38,20 \pm 15,02 \text{ W m}^{-2}$ (Tabela 4 e Figuras 5 A, 6 A e 7 A). De acordo com as Figuras 6 A e 7 A, predominaram as classes de valores de G no intervalo de 21 W m^{-2} a 60 W m^{-2} . Na maior parte das áreas de florestas, foram encontrados valores de G entre 21 W m^{-2} e 30 W m^{-2} (cor verde). Já nas áreas de solo exposto e/ou antrópicas, G variou de 41 W m^{-2} a $79,97 \text{ W m}^{-2}$.

Os valores de H encontrados para a área de estudo variaram de 0 W m^{-2} a $329,80 \text{ W m}^{-2}$, com valor médio de $78,80 \pm 84,89 \text{ W m}^{-2}$ (Tabela 4). Nota-se que, para a região de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, houve forte variabilidade dos dados de H . A heterogeneidade da superfície em termos de uso e cobertura da terra pode ter sido uma das justificativas para essa variabilidade de H . Por exemplo, as áreas de florestas que ocupam boa parte da região de estudo apresentaram valores de H bem mais baixos (classe de cor verde, Figuras 6 B e 7 B) quando comparadas a áreas antrópicas com valores médios de H da ordem de 170 W m^{-2} . Ao utilizar dados coletados por estações meteorológicas e sistemas de covariância de vórtices turbulentos para o sítio da Floresta Nacional do Tapajós, PA, na Amazônia, Imbuzeiro et al. (2006) encontraram, para horário do meio-dia, valores médios de H de aproximadamente 150 W m^{-2} (9/7/2002) e 270 W m^{-2} (23/3/2003) em dias sem chuva e de aproximadamente 0 W m^{-2} em dias chuvosos (11/7/2002 e 25/3/2003).

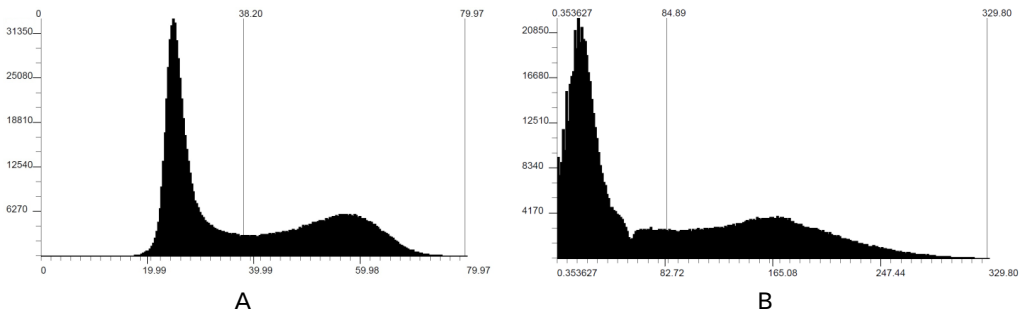


Figura 6. Histogramas de frequência das estimativas do fluxo de calor no solo (G , em W m^{-2}) (A) e do fluxo de calor sensível (H , em W m^{-2}) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

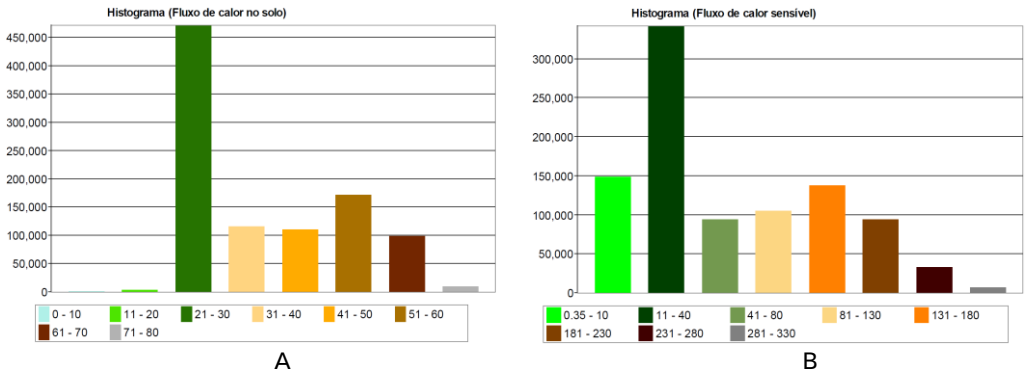


Figura 7. Histogramas de classes de frequência das estimativas do fluxo de calor no solo (G, em W m⁻²) (A) e do fluxo de calor sensível (H, em W m⁻²) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Para a área de floresta da reserva biológica do Jaru (Rebio Jaru), Ji-Paraná, RO, Andrade et al. (2009b) obtiveram, no horário do meio-dia, valores médios de H ao redor de 70 W m⁻² e 120 W m⁻² para as estações úmida e seca, respectivamente. No entanto, para a área de transição Amazônia-Cerrado (localizada na Fazenda Maracaí, Sinop, MT), no horário do meio-dia, os autores encontraram valores médios de H ao redor de 170 W m⁻² e 150 W m⁻² para as estações úmida e seca, respectivamente.

Tabela 4. Dados estatísticos das estimativas de fluxo de calor no solo (G) e fluxo de calor sensível (H) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Estadística	Fluxo de calor no solo (G, em W m ⁻²)	Fluxo de calor sensível (H, em W m ⁻²)
Mínimo	0	0,35
Máximo	79,97	329,80
Média	38,20	78,80
Mediana	30,61	46,68
Moda	24,68	15,77
Desvio Padrão	15,02	84,89

Aguiar (2005), ao analisar dados de H do ano de 2004 coletados em torre micrometeorológica do Rebio Jaru, observou H médio de $17,0 \text{ W m}^{-2}$ e $37,1 \text{ W m}^{-2}$ nas estações chuvosa e seca, respectivamente. No entanto, o valor médio anual foi de $26,8 \text{ W m}^{-2}$. Além disso, o autor observou variação média horária de H entre -9 W m^{-2} e 169 W m^{-2} .

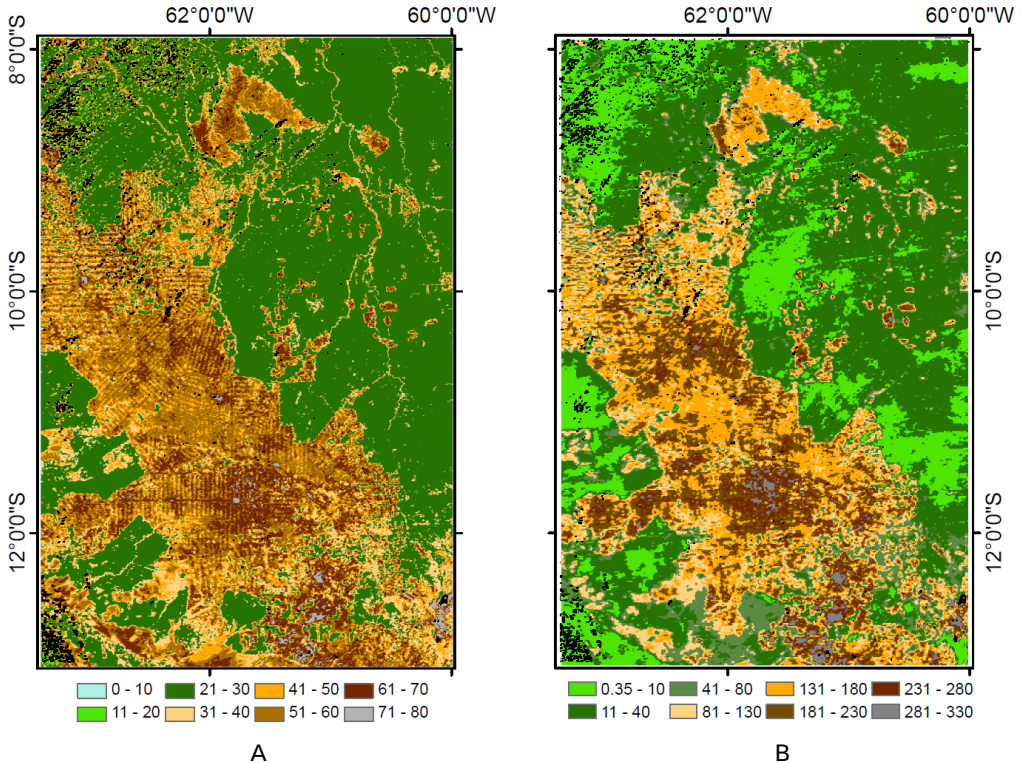


Figura 8. Estimativas do fluxo de calor no solo (G , em W m^{-2}) (A) e do fluxo de calor sensível (H , em W m^{-2}) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. As manchas de cor preta presentes nas figuras representam nuvens.

Nas Figuras 8 e 9, são apresentados os histogramas de frequência do fluxo de calor latente (LE , em W m^{-2}) e da evapotranspiração real diária (ETR_{24} , em mm d^{-1}), tanto no formato contínuo (Figura 8) quanto em intervalos de classes (Figura 9). Já a Figura 10 mostra as imagens das estimativas do LE e da ETR_{24} . Na Tabela 5, são apresentados os dados de mínimo, máximo, média, mediana, moda e desvio padrão das estimativas de LE e ETR_{24} para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Foram encontrados valores de LE e ET_{24} que variam de 0 W m^{-2} a 525 W m^{-2} e de 0 mm d^{-1} a $5,76 \text{ mm d}^{-1}$, respectivamente. O valor médio de LE e ET_{24} foi de $329,81 \pm 119,78 \text{ W m}^{-2}$ e de $3,62 \pm 1,31 \text{ mm d}^{-1}$ (Tabela 5). Conforme mostram as Figuras 9 A e 10 A, as classes de tons verdes predominaram em áreas ocupadas por florestas, nas quais o LE variou de 280 W m^{-2} a 525 W m^{-2} , com média de cerca de 400 W m^{-2} . Para áreas antrópicas, LE variou de 0 W m^{-2} a 280 W m^{-2} , com média ao redor de 150 W m^{-2} .

Para um sítio experimental na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós), na Amazônia, Imbuzeiro et al. (2006) encontraram, para horário do meio-dia, valores médios de LE de aproximadamente 380 W m^{-2} (9/7/2002) e 500 W m^{-2} (23/3/2003) em dias sem chuva, e de aproximadamente 110 W m^{-2} (11/7/2002) e 60 W m^{-2} (25/3/2003) em dias chuvosos. Para a área de floresta da reserva biológica do Jaru (Rebio Jaru), Ji-Paraná, RO, Andrade et al. (2009b) obtiveram, no horário do meio-dia, valores médios de LE ao redor de 260 W m^{-2} e 300 W m^{-2} para as estações úmida e seca, respectivamente. Porém, em área de floresta de transição Amazônia-Cerrado (Fazenda Maracaí, Sinop, MT), os autores encontraram, no horário do meio-dia, LE médio ao redor de 340 W m^{-2} e 280 W m^{-2} para as estações úmida e seca, respectivamente. Os autores comentam que os menores valores de H e LE observados na estação seca em área de floresta de transição podem ter como possível explicação a existência de um fator externo que minimiza os efeitos da radiação no período seco mais significativo do que o efeito das nuvens no período chuvoso. Nesse caso, os autores reportam uma possível influência da névoa seca que se forma na região em decorrência das queimadas, que ocorrem em grande quantidade e frequência na estação seca.

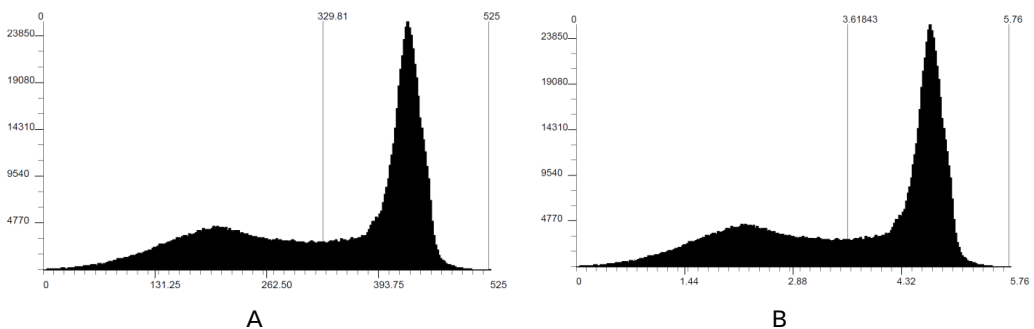


Figura 9. Histogramas de frequência das estimativas do fluxo de calor latente (LE, em W m^{-2}) (A) e da evapotranspiração real diária (ET_{24} , em mm d^{-1}) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Para a área de floresta do Rebio Jaru, Aguiar (2005) verificou LE máximo (400 W m^{-2}) às 13h00 e mínimo ($2,4 \text{ W m}^{-2}$) durante a noite. Porém, para o ano de 2004, observou-se LE médio de $92,9 \text{ W m}^{-2}$ e $115,5 \text{ W m}^{-2}$ para as estações seca e chuvosa, respectivamente. O valor de LE mínimo e máximo diário médio encontrado em área de floresta foi de $36,4 \text{ W m}^{-2}$ (mês de setembro) e $165,7 \text{ W m}^{-2}$ (mês de janeiro), respectivamente (AGUIAR, 2005).

A ETR_{24} das áreas ocupadas por florestas variou de $3,01 \text{ mm d}^{-1}$ a $5,76 \text{ mm d}^{-1}$ com valor médio ao redor de $4,82 \text{ mm d}^{-1}$. Porém, nas áreas antrópicas foram encontrados valores de ETR_{24} variando de 0 mm d^{-1} a $3,50 \text{ mm d}^{-1}$, com valor médio em torno de $2,54 \text{ mm d}^{-1}$ (Figuras 9 B e 10 B).

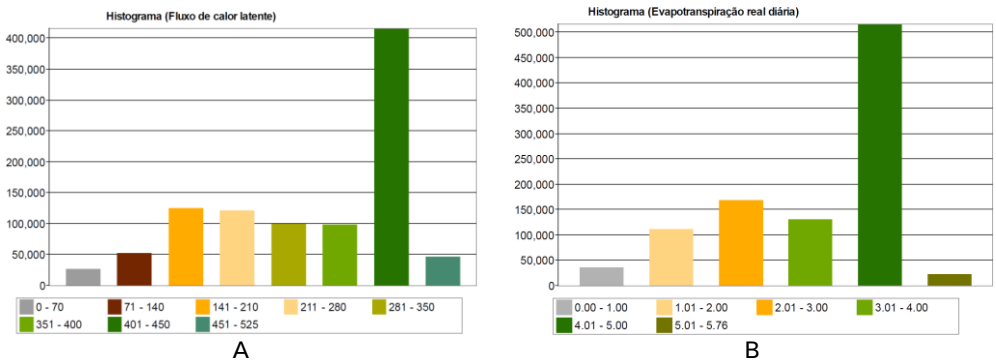


Figura 10. Histogramas de classes de frequência das estimativas do fluxo de calor latente (LE, em W m^{-2}) (A) e da evapotranspiração real diária (ETR_{24} , em mm d^{-1}) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Pinto (2003), ao estudar os fluxos de energia sobre uma floresta tropical da Amazônia por meio de uma torre micrometeorológica instalada no sítio experimental na Floresta Nacional do Tapajós ($3,017^{\circ}\text{S}$ e $54,970^{\circ}\text{N}$), obteve valores de evapotranspiração diária entre $0,2 \text{ mm d}^{-1}$ e $5,7 \text{ mm d}^{-1}$, com média anual de $3,47 \pm 0,06 \text{ mm d}^{-1}$. O autor comenta que o valor médio encontrado está próximo ao sugerido por Shuttleworth (1988) ($3,47 \pm 0,06 \text{ mm d}^{-1}$) e é um pouco inferior ao sugerido por Rocha et al. (1996) ($3,7 \text{ mm d}^{-1}$ a $4,0 \text{ mm d}^{-1}$).

Para áreas de floresta (Reserva Jaru), Vendrame et al. (2000) encontraram valores médios de ET oscilando entre $3,50 \text{ mm d}^{-1}$ e $4,56 \text{ mm d}^{-1}$. Contudo, para áreas de pastagens, foram encontrados valores médios de ET variando de $2,23 \text{ mm d}^{-1}$ a $3,39 \text{ mm d}^{-1}$.

Tabela 5. Dados estatísticos das estimativas de fluxo de calor latente (LE) e evapotranspiração real diária (ET_{r24}) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Estadística	Fluxo de calor latente (LE, em W m ⁻²)	Evapotranspiração real diária (ET _{r24} , em mm d ⁻¹)
Mínimo	0	0
Máximo	525,00	5,76
Média	329,81	3,62
Mediana	387,60	4,25
Moda	426,56	4,68
Desvio padrão	119,78	1,31

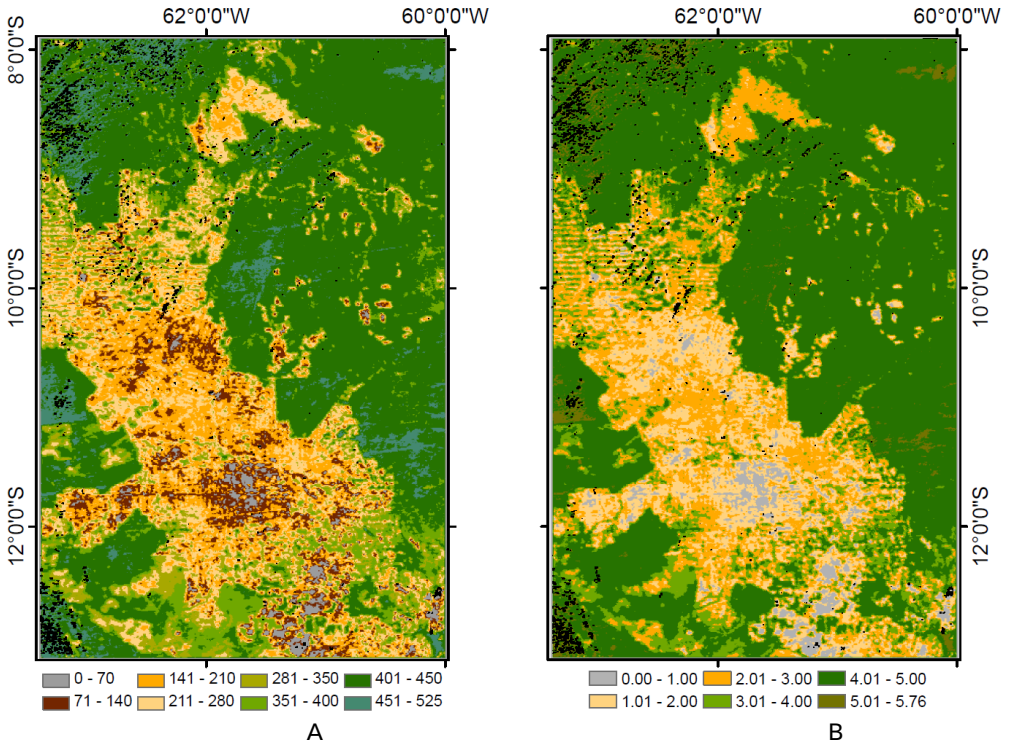


Figura 11. Estimativas do fluxo de calor latente (LE, em W m⁻²) (A) e da evapotranspiração real diária (ET_{r24}, em mm d⁻¹) (B) para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. As manchas de cor preta presentes nas figuras representam nuvens.

Considerações Finais

Para a região que abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná, os valores do índice de área foliar, dos fluxos de calor no solo, sensível e latente e da evapotranspiração real diária apresentaram variabilidade espacial de acordo com o tipo de uso e cobertura da terra. Os valores das estimativas dos fluxos de energia e da evapotranspiração real diária mostraram-se coerentes com a literatura. No entanto, pesquisas complementares com maior controle experimental devem ser realizadas.

Os procedimentos aplicados neste estudo podem ser utilizados para a avaliação dos impactos decorrentes das alterações na cobertura vegetal no balanço de energia de uma região. Também apresentam potencial para integrar sistemas de acompanhamento das condições da vegetação, como métodos para a estimativa da resposta hidrológica de bacias hidrográficas e até de sistemas para estimativa da produtividade. Pesquisas futuras a serem conduzidas na Embrapa Monitoramento por Satélite buscarão relacionar os resultados do algoritmo SEBAL com modelos hidrológicos. Isso permitirá integrar dados de sensores remotos a sistemas de monitoramento das condições hídricas de bacias hidrográficas. Tal aplicação é de fundamental importância, principalmente em áreas remotas, de difícil acesso e com escassez de dados meteorológicos, como a região amazônica.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de iniciação científica concedidas.

Referências

- AGUIAR, R. G. **Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia**. 2005. 59 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- 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**, Rome, v. 300, 1998.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). **Advanced training and Users Manual**. Idaho: Kimberly, 2002. 98 p. Version 1.0.
- 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. 2008.
- 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., 2009a, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 695-704. Disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 15 nov. 2010.
- ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, R. G.; SANCHES, L.; ALVES, E. C. R. F.; NOGUEIRA, J. S. Partição do saldo de radiação em áreas de Floresta Amazônica e floresta de transição Amazônia-Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 346-355, 2009b.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENTENI, 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.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.
- BEZERRA, M. V. C. **Balço de energia em áreas irrigadas utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- CARRUZO, A.; ROCHA, H. R. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) em regiões de pastagem e floresta com um método indireto ('gap fraction') durante o experimento

AMC/LBA-1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2001. p. 2478-2485.

COMPAORÉ, H.; HENDRICKX, J. M.; HONG, S.; FRIESEN, J.; van de GIESEN, N. C.; RODRIGUES, C.; SZARZYNSKI, J.; VLEK, P. L. G. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 33, p. 127-140, 2008.

COSTA, M. C. **Estimativa da evapotranspiração regional por meio de imagens orbitais**. 1997. 52 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. **Frontier Ecology Environment**, v. 1 n. 1, p. 38-44, 2003.

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.

IMBUZEIRO, H. M. A.; LIMA, F. Z.; LEITE, C. C.; AMORIM, R. C. F. Caracterização dos fluxos de energia do ecossistema de floresta amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006. 6 p.

INMET. SONABRA. **Monitoramento das estações automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; LEITE, N. K.; HANADA, L.; VICTORIA, D. C.; TOLEDO, A. M.; OMETTO, J. P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B. M.; BOLSON, M. A.; NETO, S. G.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHEY, J. E. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da Bacia do Rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 197-205, 2005.

NASA. **Primary Data Search**. Disponível em: <<https://wist.echo.nasa.gov/api>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

LIMA, E. P.; ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; FERREIRA, A. S.; CAPUTI, E.; FERREIRA, W. J. Estudo da evapotranspiração real diária utilizando imagem de satélite na bacia do rio Paracatu. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SERVIÇOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE, 2., 2009, Taubaté. **Anais...** Taubaté: Unitau; INPE, 2009. p. 1-8. Disponível em: <<http://www.ipabhi.org/serhidro/anais/anais2009/>>. Acesso em: 15 nov. 2010.

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

PINTO, L. D. V. O. **Fluxos de energia sobre uma floresta tropical na Amazônia**. 2003. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROBERTS, J. M.; CABRAL, O. M. R.; da COSTA, J. P.; McWILLIAM, A. L. C.; de SÁ, T. D. An overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Ed.). **Amazonian deforestation and climate**. New York: J. Wiley and Sons, 1996. p. 287-305.

ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical Forest in eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, p. S22-S32, 2004.

ROCHA, H. R.; NOBRE, C. A.; BONATTI, J. P.; WRIGHT, I. R.; SELLERS, P. J. A Vegetation-Atmosphere Interaction Study for Amazonian Deforestation Using Field Data and a Single Column Model. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 122, p. 567-598, 1996.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation from Amazonian Rain Forest. **Proceedings of the Royal Society London**, v. 233, p. 321-346, 1988.

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, A. F.; PEREIRA, R. L.; MACHADO, W. B.; SILVA, R. Fluxos de energia em área agrícola e de floresta na Amazônia Oriental. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA, 1., 2010, Manaus. **Anais...** Manaus: UFAM, 2010. 7 p. Disponível em: <<http://seminariodoambiente.ufam.edu.br/2010/>>. Acesso em: 17 nov. 2010.

VENDRAME, I.; ALBUQUERQUE, V. F.; FISCH, G. Influência da condutância estomática no cálculo da evapotranspiração em Rondônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 2, p. 59-70, 2000.

VILANI, M. T.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J. S.; PRIANTE FILHO, N. Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição Amazônia Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 119-131, 2006.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; AGUIAR, L. G.; von RANDOW, C.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; MANZI, A. O. Estimativa do índice de área foliar (IAF) e biomassa em pastagem no Estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 335-348, 2009.



Monitoramento por Satélite

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

