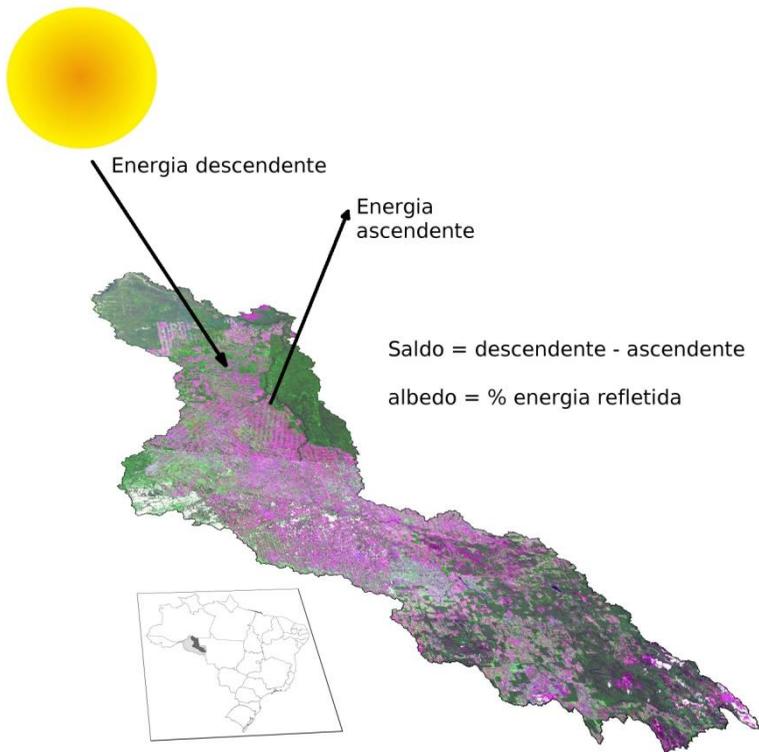


Boletim de Pesquisa 11 e Desenvolvimento

ISSN 1806-3322
Novembro, 2010

Estimativa do albedo e do saldo de radiação à superfície utilizando imagem MODIS – Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO



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

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 11

**Estimativa do albedo e do saldo de
radiação à superfície utilizando imagem
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 da capa e no documento: *Daniel de Castro Victoria*

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 do albedo e do saldo de radiação à superfície utilizando imagem MODIS – Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO / Ricardo Guimarães Andrade, Daniel de Castro Victoria, Sandra Furlan Nogueira, Sandra Furlan Nogueira, Gregory Oliveira Massagli, Maurício Lopes Agnese. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010

20 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 11).

ISSN 1806-3322

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

CDD 621.3678

Sumário

Resumo	4
Abstract.....	5
Introdução.....	6
Material e Métodos.....	7
Resultados e Discussão.....	12
Considerações Finais	17
Agradecimentos	18
Referências	18

Estimativa do albedo e do saldo de radiação à superfície utilizando imagem MODIS – Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO

*Ricardo Guimarães Andrade*¹

*Daniel de Castro Victoria*²

*Sandra Furlan Nogueira*³

*Gregory Oliveira Massagli*⁴

*Maurício Lopes Agnese*⁵

Resumo

Nas ultimas décadas, a região da Amazônia tem sofrido grandes modificações em sua cobertura vegetal. Tais alterações têm impacto direto no balanço de energia e, dependendo da magnitude das mudanças, podem afetar o clima nas suas diversas escalas (local, regional e global). Diante disso, a avaliação do balanço de energia e de suas componentes é fundamental para a compreensão das consequências das mudanças de uso e cobertura das terras. Neste trabalho, alguns parâmetros do balanço de energia foram estimados para a Bacia do Rio Ji-Paraná, RO, utilizando imagens orbitais do sensor MODIS – Aqua juntamente com o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL). O procedimento permitiu estimar o albedo e o saldo de radiação (Rn) da superfície na área de estudo. Os resultados mostraram-se próximos aos encontrados na literatura, no entanto, para as áreas de pastagens, a baixa resolução espacial do sensor MODIS resultou em subestimativa do albedo, ocasionando superestimativa do saldo de radiação. Apesar disso, o procedimento mostrou-se adequado, com possibilidade de ser utilizado para fins de monitoramento das condições da vegetação em áreas extensas, com escala compatível aos dados do sensor MODIS.

Termos para indexação: bacia hidrográfica, balanço de energia, cobertura vegetal, sensoriamento remoto.

¹ Doutor em Meteorologia Agrícola, 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 Geografia, bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas- SP

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

Estimation of albedo and radiation balance at the surface using MODIS – Aqua images applied to the Ji-Paraná river basin, RO, Brazil

Abstract

In the last decades, the Amazonian region has suffered great changes to its land cover. These changes impact energy balance directly, and may affect climate in its several scales (local, regional, and global) depending on their magnitude. In this context, evaluating the energy balance and its components is essential for understanding the consequences of land-use and land-cover changes. This work estimated some of the energy balance components for the Ji-Paraná river basin, RO, Brazil, using MODIS – Aqua sensor's orbital images along with the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). The procedure enabled the estimation of albedo and radiation balance (R_n) for the surface of the study area. Generally, the results found were similar to those documented in the literature. However, the low spatial resolution of the MODIS sensor caused albedo underestimation in grazing areas, thus overestimating the radiation balance. Despite that, the procedure proved itself adequate, and it is possible to use it for monitoring plant conditions in extensive areas at a scale compatible with that of the MODIS sensor data.

Index terms: watershed, energy balance, land cover, remote sensing.

Introdução

As florestas tropicais são de extrema importância para o clima, tanto em escala local quanto global, pois a vegetação é um receptor e armazenador de energia fundamental e evita que parte da radiação solar que chega à superfície seja perdida (QUERINO et al., 2006). Nas últimas décadas, a região Amazônica tem sofrido grandes modificações em sua cobertura vegetal. A população da região Norte cresceu consideravelmente, passando de 2 milhões de habitantes em 1950 para 14,6 milhões em 2007 (IBGE, 2010). Esse rápido crescimento populacional, em algumas áreas, resultou em um processo de desmatamento que, muitas vezes, acompanhou os projetos de abertura de estradas, o que gerou um padrão conhecido como “espinha de peixe”, onde áreas desmatadas, normalmente ocupadas por pastagens, acompanharam as estradas e foram intercaladas com linhas ou faixas de floresta tropical intacta (MOURA et al., 1999).

A estimativa atual dos efeitos do desmatamento tropical no clima prevê como consequência o aumento do albedo (MOURA et al., 1999). Pesquisas têm demonstrado que o albedo, definido como a razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente em uma superfície, é um parâmetro imprescindível para os estudos de previsão do tempo, bem como para auxiliar no entendimento de processos relacionados com mudanças climáticas, desertificação, queimadas e outras aplicações ambientais (ANDRADE et al., 2009; BERBET, 2002; CULF et al., 1995; SILVA et al., 2005; SOUZA et al., 2008; YANAGI, 2006). O albedo está relacionado diretamente com as trocas de energia e afeta os regimes radiativos, ocasionando variações na temperatura, modificação no clima local e mudanças no calor latente e sensível, alterando significativamente o balanço energético da atmosfera (PEREIRA et al., 2006).

O albedo da superfície é fundamental para a estimativa do saldo de radiação nos diversos tipos de usos e cobertura da terra. Segundo Mendonça (2007), o saldo de radiação (R_n) varia temporal e espacialmente, dependendo das características ópticas da superfície analisada, da irradiância solar global e das condições de temperatura e umidade da superfície e do ar, de acordo com seu coeficiente de reflexão (albedo). O saldo de radiação à superfície é o resultado da contabilização dos ganhos e das perdas de energia da superfície, ou seja, é obtido pelo somatório dos balanços de radiação de onda curta (BOC) e de onda longa (BOL).

Vários estudos têm utilizado técnicas de sensoriamento remoto juntamente com modelos e/ou algoritmos para fazer a estimativa do albedo e do saldo de radiação à superfície (ANDRADE et al., 2010; BASTIAANSSEN et al.,

1998a, 1998b; LIMA et al., 2009; MENDONÇA, 2007; SILVA et al., 2005; TASUMI et al., 2008). O algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), que foi desenvolvido por Bastiaanssen et al. (1998a, 1998b), utiliza imagens de sensoriamento remoto nas bandas do visível e do infravermelho próximo. O SEBAL é constituído, quase que totalmente, por parametrizações físicas bem estabelecidas e pouco complexas (PAIVA, 2005).

Medina et al. (1998) citam que o SEBAL contém um número menor de relações empíricas e requer poucos parâmetros experimentais. Para Bastiaanssen e Ali (2003), isso é uma grande vantagem, uma vez que as aproximações empíricas necessitam de excessivos programas de coleta de dados em campo que, em escala regional, são bastante laboriosos e onerosos.

Diante do exposto, este trabalho objetivou estimar o albedo e o saldo de radiação da superfície que abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná, RO, utilizando imagem do sensor MODIS – Aqua e o algoritmo SEBAL. Apesar da resolução espacial moderada do sensor MODIS (250 m), a disponibilidade de dados gratuitos e atualizados desse sensor possibilita estudos abrangendo extensas áreas e que podem ser utilizados em sistemas de monitoramento das condições da cobertura vegetal.

Material e Métodos

A área de estudo compõe a Bacia do Rio Ji-Paraná, localizada na porção leste do Estado de Rondônia e situada no Bioma Amazônia (Figura 1). Essa região apresenta uma das maiores taxas de desmatamento (KRUSCHE et al., 2005). A parte média da Bacia do Rio Ji-Paraná tem 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, e foram unidos, reprojatados e convertidos para o formato GeoTIFF (coordenadas geográficas) com a utilização do programa MODIS Reprojection Tool (MRT) (NASA, 2010). Os arquivos utilizados são apresentados na Tabela 1.

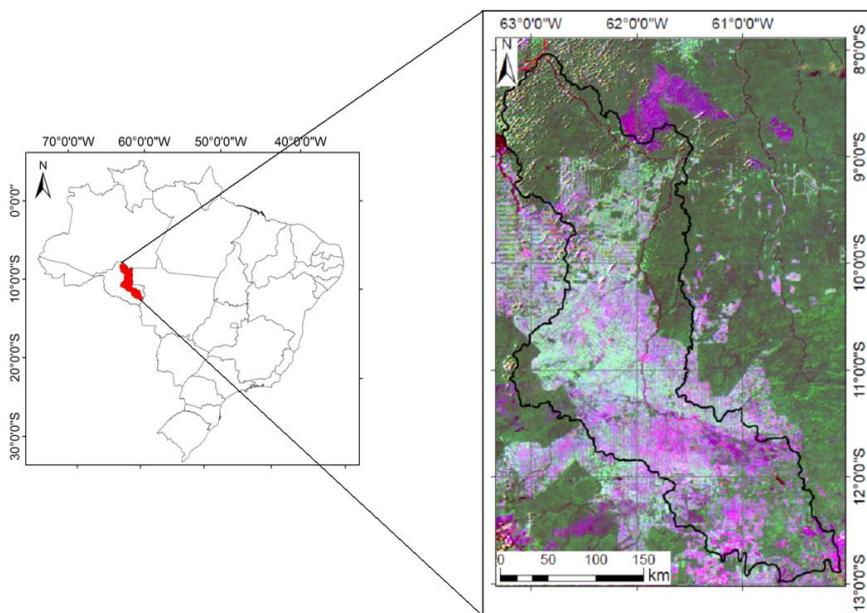


Figura 1. Localização da área de estudo que abrange a Bacia do Rio Ji-Paraná, porção leste do Estado de Rondônia.

Tabela 1. Arquivos obtidos das imagens de reflectância e temperatura da superfície e convertidos.

Imagens de reflectância da superfície	Imagens de temperatura da superfície
MYD09GA.A2010175.h11v09.005.2010177090824.hdf	MYD11A1.A2010175.h11v09.005.2010177034725.hdf
MYD09GA.A2010175.h11v10.005.2010177093122.hdf	MYD11A1.A2010175.h11v10.005.2010177035014.hdf
MYD09GA.A2010175.h12v09.005.2010177100410.hdf	MYD11A1.A2010175.h12v09.005.2010177034739.hdf
MYD09GA.A2010175.h12v10.005.2010177085843.hdf	MYD11A1.A2010175.h12v10.005.2010177035047.hdf

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



Figura 2. Estação meteorológica automática (CACOAL – A939) pertencente ao Inmet. Fonte: Inmet (2010).

Para a obtenção do albedo e dos demais componentes do saldo de radiação (R_n) à superfície (Figura 3) foi utilizado o algoritmo SEBAL formulado por Bastiaanssen et al. (1998a).

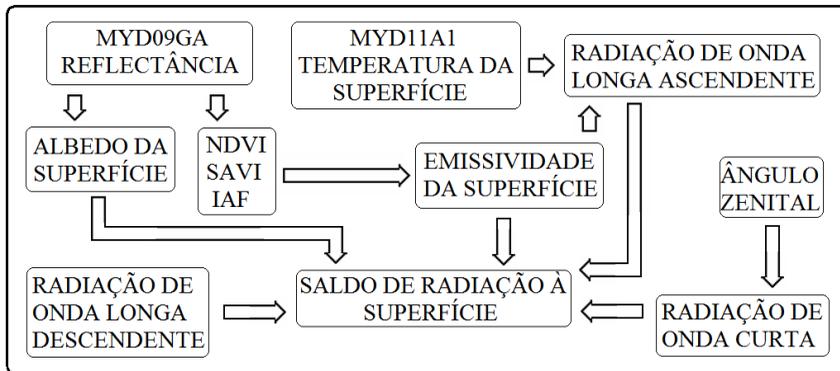


Figura 3. Fluxograma das etapas envolvidas na estimativa do saldo de radiação à superfície.

Todas as etapas de aplicação do algoritmo SEBAL foram implementadas utilizando a ferramenta Model Maker do software Erdas Imagine 9.3. Primeiramente, foram realizadas as devidas correções nas imagens e obtidas a reflectância e a temperatura da superfície. Posteriormente, obteve-se o albedo da superfície por meio da equação (LIANG, 2000):

$$\alpha = 0,160\rho_1 + 0,291\rho_2 + 0,243\rho_3 + 0,116\rho_4 + 0,112\rho_5 + 0,081\rho_7 - 0,0015 \quad (1),$$

em que, $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_7$ são as bandas de reflectância do produto MYD09GA.

Em seguida, para a obtenção do saldo de radiação, uma série de etapas foi realizada, as quais estão descritas em detalhes em Allen et al. (2002). O saldo de radiação, função dos componentes que chegam e saem da superfície do solo, contabiliza a energia radiante disponível e foi obtido por meio da equação (ALLEN et al., 2002):

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (2),$$

em que $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente na superfície ($W m^{-2}$), α é o albedo da superfície (adimensional), $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície ($W m^{-2}$), $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida da superfície ($W m^{-2}$) e ε_o é a emissividade da superfície (adimensional). A partir da equação acima, o balanço de onda curta é expresso em função da radiação de onda curta incidente e do albedo da superfície. Já o balanço de onda longa é quantificado em função do fluxo radiante de energia emitido pelos gases atmosféricos e pelas superfícies líquidas e sólidas da Terra.

Dados de qualidade, presentes nos produtos dos sensores MODIS, foram utilizados para descartar os *pixels* das imagens que apresentavam algum problema (contaminação por nuvens, falha do sensor). Por fim, os resultados obtidos dos diferentes índices e fluxos de radiação foram cruzados com o mapeamento da cobertura do solo para o ano de 2001 (Figura 4), realizado por Ballester et al. (2003). Esse cruzamento teve como objetivo avaliar principalmente as diferenças de albedo e saldo de radiação (Rn) entre a cobertura florestal e a pastagem.

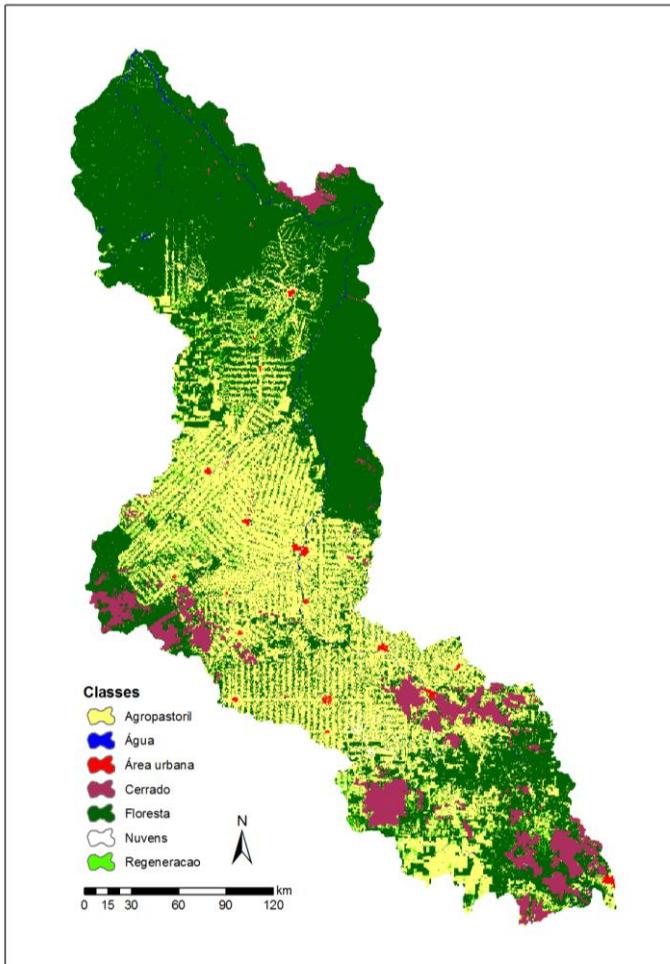


Figura 4. Cobertura vegetal da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO, para o ano de 2001. Fonte: Ballester et al. (2003).

Resultados e Discussão

O índice de vegetação ajustado para o solo (SAVI) apresentou valores médios de 0,43, com máximo de 0,59 e mínimo de -0,13 (Figura 5B e Tabela 2). Similar ao índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), o SAVI é sensível à presença de vegetação verde, porém, inclui em sua formulação uma correção para a contaminação de fundo ocasionada pelo solo. Conforme esperado, o índice SAVI para as áreas florestais foi superior ao obtido nas áreas de pastagens, uma vez que foi utilizada uma imagem do mês de junho, época de seca na região. Enquanto nas pastagens o valor do SAVI foi de 0,40 ($\sigma = 0,05$), nas áreas de floresta o valor foi de 0,44 ($\sigma = 0,03$). A pequena diferença entre o SAVI da floresta e o da pastagem pode ser ocasionada pela resolução espacial de 500 m do sensor MODIS, que resulta em *pixels* mistos, com a presença de mais de uma cobertura vegetal. Dessa forma, não é possível obter um sinal puro do índice de vegetação para as pastagens. Já para as áreas urbanizadas da bacia, onde a presença da vegetação é menor, o SAVI foi de 0,28 ($\sigma = 0,08$).

O albedo médio da superfície na Bacia do Rio Ji-Paraná foi de 0,12 (Figura 5A e Tabela 2), sendo que os menores valores (em torno de 0,02) foram encontrados nas superfícies de água, principalmente no lago da Usina Hidrelétrica de Samuel (UHE Samuel) localizada fora da bacia, porém próxima à área de estudo.

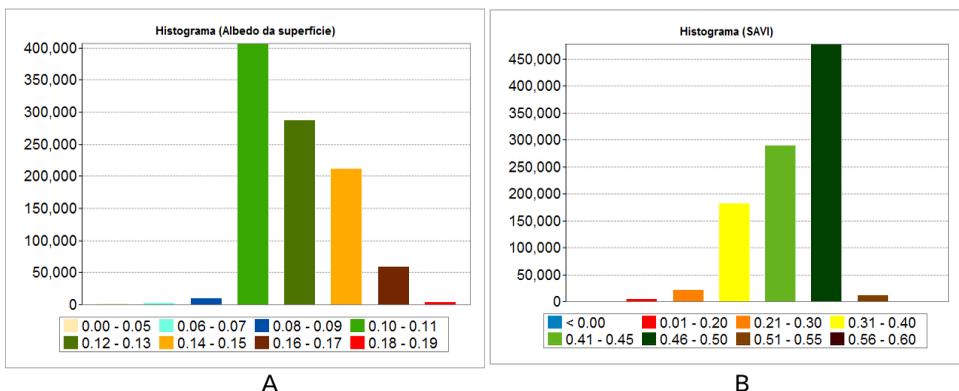


Figura 5. Histogramas de frequência do albedo da superfície (A) e do índice de vegetação ajustado para o solo – SAVI – (B).

Tabela 2. Dados estatísticos das estimativas de albedo da superfície e SAVI para a área de abrangência da Bacia do Rio Ji-Paraná, RO.

Albedo da superfície					
Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Moda	σ
0	0,19	0,12	0,11	0,10	0,021
SAVI					
Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Moda	σ
-0,13	0,60	0,43	0,45	0,46	0,053

A partir do mapeamento da cobertura vegetal da bacia para o ano de 2001 (BALLESTER et al., 2003), foi constatado albedo médio de 0,14 ($\sigma = 0,01$) para as áreas de pastagem, enquanto, nas áreas de floresta, o albedo médio foi de 0,12 ($\sigma = 0,01$). O albedo médio obtido nas áreas de floresta está próximo aos valores reportados para a Floresta Amazônica (CULF et al., 1995; MOURA et al., 1999; QUERINO et al., 2006) e variou de 0,12 a 0,14 ao longo do ano. Já o valor obtido neste trabalho para a pastagem (0,14) foi inferior aos valores citados na literatura, que variam de 0,16 a 0,20 para este tipo de cobertura vegetal (CULF et al., 1995; MOURA et al., 1999; QUERINO et al., 2006). Assim como ocorreu com o SAVI, o albedo mais baixo nas pastagens pode ser consequência da resolução espacial de 500 m do sensor MODIS. A resolução espacial mais grosseira do sensor, aliada ao padrão de desmatamento em “espinha de peixe” encontrado na região, produz uma grande quantidade de *pixels* mistos na imagem MODIS, que podem conter coberturas florestais juntamente com pastagens. Dessa forma, o valor de albedo desse *pixel* seria contaminado e resultaria em valores inferiores de albedo. Apesar da contaminação nos *pixels* de pastagens, o albedo destas áreas, estimado a partir das imagens MODIS, foi superior ao albedo das áreas florestadas (Tabela 3 e Figura 6), conforme relatado em diferentes trabalhos efetuados na região amazônica (CULF et al., 1995; MOURA et al., 1999; QUERINO et al., 2006).

Tabela 3. Albedo médio das coberturas vegetais floresta e pastagem e faixa de valores encontrados na literatura para a região Amazônica.

	Albedo médio da superfície	Faixa de valores reportados na literatura*
Floresta	0,12	0,12 a 0,14
Pastagem	0,14	0,16 a 0,20

*Fonte: Culf et al. (1995), Moura et al. (1999) e Querino et al. (2006).

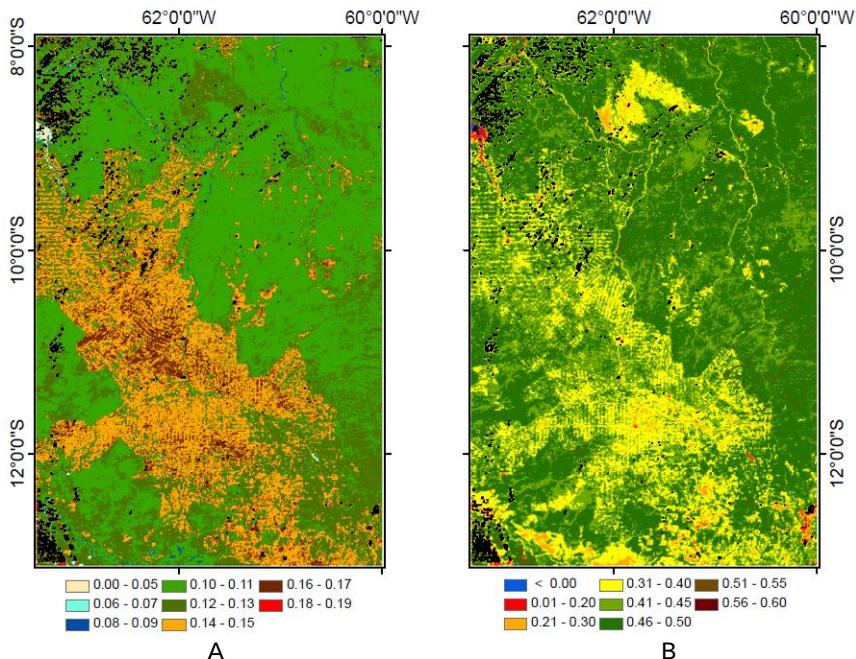


Figura 6. Albedo da superfície (A) e índice de vegetação ajustado para o solo – SAVI – (B). Áreas de pastagem aparecem com albedo superior a 0,14 (cor laranja, marrom e vermelho) e com índice de vegetação (SAVI) reduzido (cor amarela, inferior a 0,40). Na porção noroeste das imagens, é possível distinguir o lago da UHE de Samuel, com valores de albedo inferior a 0,05 e de SAVI entre 0,01 e 0,20 (classe vermelha). Também é possível identificar, na porção norte das imagens, uma área com formação vegetal do tipo Cerrado, com albedo entre 0,12 e 0,13 e SAVI entre 0,31 e 0,40. Áreas com presença de nuvem nas imagens MODIS foram excluídas da análise e aparecem em preto nas figuras.

O albedo mais elevado nas pastagens faz com que uma maior porcentagem da radiação incidente de ondas curtas seja refletida. Desta forma, o saldo de radiação (diferença entre a radiação incidente e refletida ou emitida) nas pastagens é menor. Dados observacionais de duas torres micrometeorológicas do Programa de Grande Escala da Biosfera – Atmosfera na Amazônia, LBA (von RANDOW et al., 2007), localizadas na Bacia do Rio Ji-Paraná, mostram que o saldo de radiação (R_n) é maior nas áreas florestadas. Para a análise do R_n foram utilizados dados horários medianos de um período de dez dias e que englobavam a data de aquisição da imagem (24 de junho) para os anos de 1999 a 2002 (Figura 7). Pode-se observar que o R_n no horário de passagem do satélite Aqua, por volta das 13h30, é 100 W m^{-2} maior na floresta do que na pastagem.

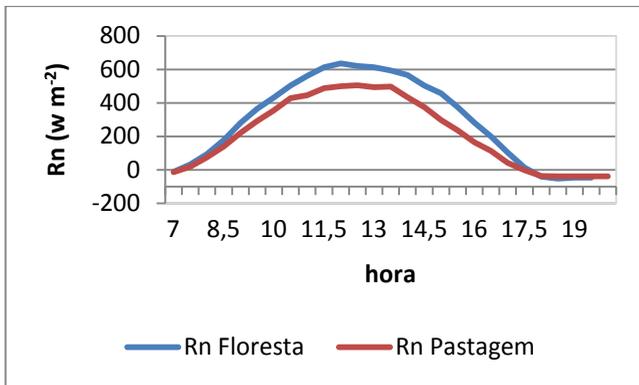


Figura 7. Valores medianos do saldo de radiação (Rn) horário no período de 19 a 29 de junho, nos anos de 1999 a 2002, para duas coberturas vegetais distintas. Dados de von Randow et al. (2007).

Os valores de Rn obtidos pelo procedimento utilizando os dados do sensor MODIS variaram de 350 W m^{-2} a 619 W m^{-2} (Figuras 8 e 9) e estão dentro da faixa de valores esperados. Porém, o saldo de radiação médio (450 W m^{-2}) foi inferior aos valores observados nas estações micrometeorológicas (Figura 7). A diferença entre o Rn obtido nas áreas florestadas e nas pastagens foi inferior aos dados observacionais. Enquanto o Rn médio da cobertura florestal foi de 462 W m^{-2} ($\sigma = 16$), o Rn médio das pastagens foi de 413 W m^{-2} ($\sigma = 12$). Dados observacionais indicam um saldo de radiação por volta de 500 W m^{-2} às 13h30 na pastagem, 100 W m^{-2} inferior ao obtido pelo procedimento utilizando imagens orbitais. A subestimativa do saldo de radiação e a pequena diferença encontrada entre a cobertura florestal e a pastagem pode ser resultados de alguns fatores. Primeiramente, os valores estimados pelo algoritmo SEBAL são específicos para a imagem utilizada, ou seja, são valores instantâneos, válidos para o dia e horário de passagem do satélite, neste caso 24 de junho de 2010. Por outro lado, devido à indisponibilidade de dados para a data da

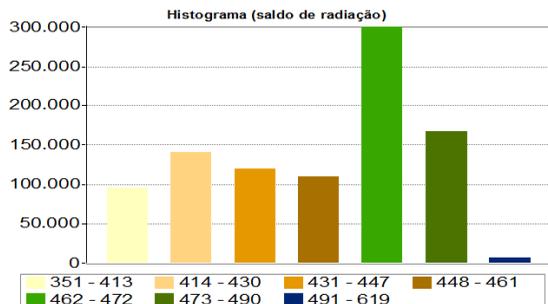


Figura 8. Histogramas de frequência do saldo de radiação à superfície.

imagem, os dados micrometeorológicos analisados são valores medianos de 40 observações (dez dias nos anos de 1999, 2000, 2001 e 2002). Assim, comparações diretas devem ser feitas com certa cautela, uma vez que fatores como a ocorrência de chuva nos dias anteriores à aquisição das imagens podem alterar os resultados de albedo e Rn. Outro fator que pode ter ocasionado a pequena diferença foi a subestimativa do albedo nas áreas de pastagens, provável resultado da resolução espacial mais grosseira do sensor MODIS, que resulta em maior Rn. Por fim, problemas relativos à estimativa da emissividade da superfície (obtida a partir do índice de vegetação) ou na estimativa da temperatura da superfície podem ocasionar alterações no saldo de radiação. Dessa forma, cada uma das etapas do procedimento deve ser verificada, uma vez que existe a possibilidade da propagação de erros.

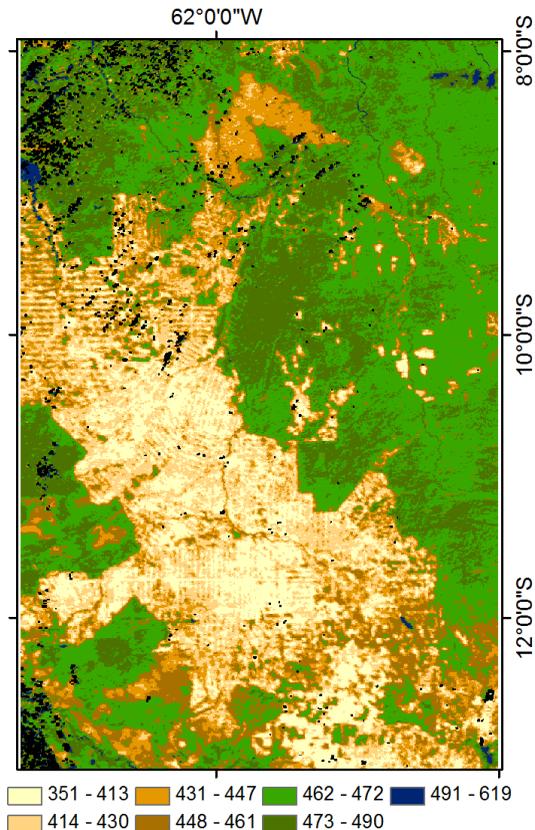


Figura 8. Histogramas de frequência do saldo de radiação à superfície.

Considerações Finais

A estimativa do albedo a partir das imagens do sensor remoto MODIS mostrou-se possível, com valores médios próximos aos valores observados, encontrados em literatura. Também foi possível diferenciar os valores de albedo das coberturas florestais das áreas com pastagens. O albedo estimado para as pastagens foi inferior ao relatado na literatura, fato provavelmente ocasionado devido à resolução espacial mais grosseira do sensor MODIS, que resulta em *pixels* com coberturas vegetais mistas. Tal problema poderia ser reduzido com a utilização de imagens com maior resolução espacial, como as provenientes do sensor TM a bordo do satélite Landsat. Porém, é importante ressaltar que a utilização de imagens de maior resolução espacial traduz-se em menor cobertura do terreno, o que aumenta o número de imagens a serem processadas. Outra desvantagem da utilização de imagens mais detalhadas é que estas geralmente apresentam menor resolução temporal, o que dificulta a obtenção de imagens livres de nuvens, principalmente na região Amazônica.

O saldo de radiação da superfície estimado a partir das imagens orbitais apresentou valores próximos aos dos dados observacionais. No entanto, não foi observada grande distinção entre o R_n das áreas de floresta e pastagens. A indisponibilidade de dados micrometeorológicos para o período de aquisição da imagem (24 de junho de 2010) não permite verificar com certeza as estimativas realizadas por meio do SEBAL. No entanto, dados obtidos nos anos anteriores, de 1999 a 2002, indicam que o R_n estimado pelo SEBAL para as pastagens pode estar superestimado. Justifica-se essa ocorrência devido à propagação dos erros ocasionados pela subestimativa do albedo nas pastagens. A disponibilidade de dados micrometeorológicos para o período de aquisição das imagens permitiria avaliar os resultados em cada etapa do algoritmo utilizado, possibilitando o acompanhamento e controle dos erros e identificando os pontos críticos no processo de cálculo.

Apesar dos problemas relacionados ao albedo e saldo de radiação nas pastagens, o procedimento utilizado permitiu estimar parâmetros físicos e meteorológicos da superfície com valores próximos aos observados ou relatados na literatura. Dessa forma, a aplicação do SEBAL nas imagens do sensor MODIS permite avaliar o balanço de energia em locais remotos, com baixo custo operacional e em grandes áreas, e abre caminho para a criação de sistemas de monitoramento automatizados das condições da vegetação e estimativas de biomassa.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de iniciação científica concedidas, e aos dois revisores, pelas sugestões de melhoria no texto.

Referências

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **SEBAL**: Surface Energy Balance Algorithms for Land, Idaho implementation. Idaho: Waters Consulting: University of Idaho: WaterWatch, Inc. 2002. 97 p. (Advanced Training and Users Manual, version 1.0)

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

ANDRADE, R. G.; SANCHES, I. D.; VICTORIA, D. C.; FURTADO, A. L. S. Análise de metodologias para correção atmosférica e estimativa do albedo da superfície usando imagens Landsat 5 – TM. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres, MT. **Anais...** Cáceres, MT: INPE: Embrapa Informática Agropecuária, 2010. p. 133-141.

BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, D. C.; KRUSCHE, A. V.; COBURN, R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E.; LOGSDON, M. G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Parana river basin (Western Amazonia). **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 4, p. 429–445, 2003.

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

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

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

BERBET, M. L. C. **Varição sazonal do albedo e sua influência na mudança do padrão de chuva, em consequência da conversão da floresta tropical em pastagem.** 2002. 33 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CULF, A. D.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The albedo of Amazonian forest and ranch land. **Journal of Climate**, v. 8, n. 6, p. 1544-1554, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação de Dados Automático – SIDRA.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 dez 2010.

INMET. **SONABRA.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acesso em: 14 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**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 197-205, 2005.

LIANG, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213-238, 2000.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; GLERIANI, J. M.; SOARES, V. P.; DELGADO, R. C.; ANDRADE, R. G. Estimativa do balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 255-262.

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

MENDONÇA, J. C. **Estimação da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense, RJ.** 2007. 145 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

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

NASA. **Primary Data Search.** Disponível em: <<https://wist.echo.nasa.gov/api>>. Acesso em: 14 dez. 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.

PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: INPE: Embrapa Informática Agropecuária, 2006. p. 11-15.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 42-49, 2006.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

SOUZA, P. J. O. P.; ROCHA, E. J. P.; RIBEIRO, A.; LOUREIRO, R. S.; BISPO, C. J. C. Impactos no albedo em consequência do avanço da fronteira agrícola, na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, n. 1, p. 87-95, 2008.

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of Land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 51-63, 2008.

von RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J. de; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J. CARDOSO, F. L.; KABAT, P. **LBA-EUSTACH Automatic Weather Station measurements, fazenda Nossa Senhora pasture, Rondonia, Brazil (1999-2002)**. Cachoeira Paulista, SP: INPE-CPTEC, 2007. Disponível em: <<http://lba.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 14 dez. 2010.

YANAGI, S. N. M. **Albedo de uma floresta tropical amazônica: medições de campo, sensoriamento remoto, modelagem, e sua influência no clima regional**. 2006. 128 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.



Monitoramento por Satélite

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

