

Utilização de dados MODIS e modelo SEBAL para a estimativa da perda de água por evapotranspiração: Uma proposição metodológica para o monitoramento do impacto da expansão da cultura canavieira na dinâmica hídrica regional.

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz¹.
Margareth Simões Penello Meirelles²
Esteban Jobágy³
Milton Jonathan⁴
Heitor Luiz da Costa Coutinho⁵

^{1,2}Universidade do Estado do Rio de Janeiro – PPG-MA/UERJ.
^{1,2; 4,5} Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Solos (CNPS)
Rua Jardim Botânico 1024, Rio de Janeiro – RJ, Brasil. ¹*rodrigo@cnps.embrapa.br*;
²*margareth@cnps.embrapa.br*; ³ *heitor@cnps.embrapa.br*; *mjonathan@gmail.com*
³Universidad Nacional de San Luis - IMASL,
Avenida Ejercito de los Andes 950 (D5700HHW), San Luis, Argentina,
jobbagy@unsl.edu.ar

Abstract. This work proposes a methodology for sugarcane expansion monitoring and its possible impacts in the regional hydric dynamic through the real evapotranspiration estimation (ET) based on Terra/Modis satellite data. The methodological approach is based on a systematic and automatic land use mapping that uses a sequence of temporal profiles Vegetation Index (NDVI) built with Modis data JONATHAN (2005). Previous Studies (MEIRELLES et al, 2006 JONATHAN et al 2008); as well as some preliminaries results developed on the scope of this work, shown the applicability of the proposed method as a tool for regional monitoring land use dynamic and its impacts. The real evapotranspiration is calculated through SEBAL algorithm (Surface Energy Balance for Land) developed by BASTIAANSEN (1995) for energy balance estimation. The study area is the southern portion of Goiás state in Brazil, where the sugar cane expansion has being increasing drastically in the last decades.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Dados MODIS; Modelo SEBAL (*Surface Energy Balance for Land*); mudanças de uso do solo; evapotranspiração.

1. Introdução

Dramática deterioração ambiental tem sido observada como consequência direta da intensificação da exploração agropecuária. Evidencia-se desta forma, os desflorestamentos massivos, a fragmentação de ecossistemas, a vertiginosa perda da biodiversidade, os severos processos erosivos, escassez dos recursos hídricos e a extensa degradação dos solos, como alguns dos processos extensamente relatados (VITOUSEK et al., 1997, MEYER and TURNER, 1994). Notadamente, muitos trabalhos têm relatado os efeitos das alterações no ciclo hidrológico em função das mudanças de uso das terras, enfatizando o comprometimento na provisão e na regulação do ciclo da água alguns dos serviços ecossistêmicos considerados mais críticos. Dentro do ciclo hidrológico e climático a evapotranspiração (ET) se notabiliza por representar uma variável chave de ligação entre o clima e a hidrologia (BRAUN, *et al.*, 2001), cuja dinâmica sazonal constitui um dos processos funcionais mais importantes dos ecossistemas terrestres, visto que, como fator mediador do balanço energético entre a superfície do solo e a atmosfera, a ET encontra-se diretamente relacionado com o balanço hídrico climático.

As estimativas da evapotranspiração, por meio indireto, a partir da medição dos fluxos de energia, calor sensível e latente, ou por métodos de medição direta, como os que se utilizam de lisímetros, de massa ou de drenagem, balanço de umidade do solo, ou evaporímetros, são muito laboriosos e inviabilizam a aquisição sistemática de dados. Dessa

maneira, considerando a ausência dessas medidas, uma abordagem alternativa consiste no emprego de modelos físico-matemáticos, que se baseiam em variáveis climatológicas provenientes de estações meteorológicas. As diferentes metodologias, quer sejam baseadas na medição direta, nas diversas modelagens com dados meteorológicos, ou na estimativa da evapotranspiração real dos fluxos de energia a superfície demandam dados que não são necessariamente coletados de forma sistemática e não são apropriadamente espacializados BASTIAANSSEN (2000). Posto essas limitações, com o advento do sensoriamento remoto, tornou-se indispensável para estimativa da evapotranspiração e dos fluxos de energia da superfície terrestre, a utilização dessas técnicas alternativas de aquisição sistemática e periódica de dados espaciais em complemento as informações meteorológicas em aplicações nas quais se faz imperativo uma visão espacial. Assim, encontra-se extensa literatura científica documentando a potencialidade e capacidade de diversos sensores remotos com variados métodos de calibração, em avaliar ou estimar as taxas líquidas de produção primária, dinâmica da evapotranspiração e perdas de água por evaporação usando informações orbitais nas bandas visível e termal, envolvendo balanços energéticos e modelos empíricos (PARUELO & LAUENROTH 1995; DI BELLA *et al.*, 2000). A intensa produção científica evidencia esta perspectiva em diversos outros estudos com distintas abordagens alicerçadas na aplicação de diferentes sensores e modelagens, como por exemplo: NICÁCIO, 2008, 1993; DIAK *et al.*, 2004; BASTIAANSSEN *et al.*, 1998a; BASTIAANSSEN *et al.*, 1998b; ALLEN *et al.*, 2007a; ALLEN *et al.*, 2007b).

Dentro das várias possibilidades pertinentes, a presente proposta objetiva explorar a potencialidade dos dados do sensor MODIS/AQUA-EOS da NASA, considerando diversos aspectos relativos a sua aplicabilidade, qualidade agregada e facilidade operacional. Destaca-se assim, a vantagem do EOS-NASA/sensor MODIS disponibilizar dados e produtos relacionados à vegetação e ao balanço de energia com diversos níveis de processamento por meio de uma complexa abordagem de padronização e validação de procedimentos, através dos quais já são operacionalizadas correções radiométricas, geométricas, espectrais e atmosféricas. Os diferentes produtos MODIS seguem regras gerais de padronização criteriosas, garantindo formatos bastante homogêneos, posto que todos estes produtos são distribuídos em arquivos num único formato, denominado HDF-EOS (*Hierarchical Data Format – Earth Observing System*), permitindo assim o tratamento de forma semelhante. Além disso, a política de distribuição orientada a disponibilização gratuita e documentação pública de produtos e dados MODIS obtidos diretamente pela Internet através do portal de dados do EOS (EDG, *EOS Data Gateway*), mantido pela agência norte-americana USGS (*United States Geological Survey*), o tornam particularmente atrativos.

Apesar das relatadas vantagens, segundo WESSELS *et al.* (2004), a aplicabilidade de produtos globais MODIS para análises regionais ainda precisa ser melhor avaliada, uma vez em que elas dificultam a incorporação de aspectos biofísicos de cada região. No que diz respeito a distinção de alvos e classificação da cobertura vegetal, diversos autores chegaram à conclusão de que resoluções maiores do que 250m ou 500m seriam mais adequadas para mapeamentos de uso e cobertura do solo a nível regional. (WESSELS *et al.*, 2004). Por sua vez, a aplicação do sensor MODIS para a avaliação dos fluxos de calor e de energia radiativa e mapeamento da evapotranspiração pode ser realizada por intermédio de algum modelo com entrada dados extraídos de imagens com dados espectroradiométricos como refletância, temperatura da superfície, índices de área foliar de vegetação, etc.

Isto posto, o SEBAL (*Surface Energy Balance for Land*) desenvolvido por BASTIAANSSEN (1995), constitui um dos mais utilizados algoritmos para estudos de fluxo de calor e estimativa da evapotranspiração, com registro de inúmeros trabalhos ao redor do mundo, tais como: BASTIAANSSEN *et al.*, 1998b; BASTIAANSSEN, 2000; MENDONÇA, 2007. O SEBAL é um modelo que, dentre os outros, se notabiliza por fazer poucas relações e

suposições empíricas e por fazer uso de dados multiespectrais de satélites complementados com poucas informações de superfície, tais como temperatura do ar e velocidade do vento, que são facilmente obtidas nas estações meteorológicas (NICÁCIO, 2008).

Contudo, como salienta (NICÁCIO, 2008), os estudos com utilização dos dados do MODIS para aplicação do algoritmo SEBAL são em número bem mais reduzidos que os realizados com o AVHRR-NOAA e TM-Landsat. No entanto, merece destaque os trabalhos de VENTURINI *et al.* (2004) e NICÁCIO (2008). Nessas pesquisas, os autores aplicaram o SEBAL com a utilização de dados sensor MODIS destacando as diversas parametrizações e os resultados mais ou menos precisos em função das diferentes aplicações. Entretanto, todos atentaram para a importância do uso do MODIS em aplicações futuras, uma vez que os dados desse sensor são disponibilizados gratuitamente e agregam vantagens relacionadas a padronização e aos níveis de processamento além da alta resolução temporal.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma combinação de procedimentos metodológicos, relacionados à distinção da cultura da cana-de-açúcar por meio do aperfeiçoamento de uma metodologia de classificação automática do uso do solo, desenvolvida por JONATHAN (2005, (a) e (b)), e da utilização do Modelo SEBAL para a estimativa da ET real, ambos a partir de dados do sensor MODIS/Aqua.

2. Procedimentos metodológicos

O foco principal deste estudo recai na aplicação de metodologias de sensoriamento remoto, notadamente com opção para os sensores MODIS/Aqua-OES, para detectar as mudanças de uso da terra e a expansão da cultura da cana-de-açúcar e em função desta, avaliar a variação espaço-temporal, em escala regional, da evapotranspiração. O trabalho está sendo realizado com base na avaliação de dois períodos sazonais distintos, período chuvoso e estiagem (ano agrícola 2006/2007), em uma região típica do bioma cerrado, no centro-oeste brasileiro, onde as atividades tradicionais de pecuária e agricultura anual de grãos vem cedendo, nos últimos anos, espaço para a cultura da cana-de-açúcar – Região do Município de Rio Verde, Estado de Goiás. Desta forma, são propostas os seguintes procedimentos metodológicos:

2.1. Mapeamento de uso e cobertura do solo

Será realizado um mapeamento de uso e cobertura do solo, a nível regional, com dados do ano agrícola de 2006/2007, para a identificação dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo e, sobretudo, para a distinção das áreas canavieiras. A metodologia que está sendo empregada para fazer a classificação sistemática, automatizada, para a distinção das diferentes classes de uso e cobertura do solo, se baseia em técnicas de processamento digital de imagens aplicadas ao sensor MODIS do satélite TERRA/EOS -NASA. A metodologia descrita em JONATHAN (2005, (a) e (b)), utiliza seqüências temporais de índices de vegetação (NDVI) e se baseia num procedimento de “aprendizado” do comportamento temporal característico de cada classe de uso e cobertura do solo, a partir de dados de treinamento restritos a uma região geográfica de menor escala, e, posteriormente aplicados sistematicamente através de um processo de classificação supervisionada para regiões de maior abrangência geográfica. Para estimar os erros associados ao processo de classificação e ajustar o mapeamento visando maximizar a precisão do modelo, será utilizada uma classificação de referência por meio do mapeamento do uso e cobertura do solo realizado a partir dos dados do sensor LANSAT 5TM - Projeto “ADUBA” BRASIL IPI/CNPS (Embrapa Solos – em andamento). Além disso será realizada uma verificação de campo (verdade de campo) após concluída a classificação e o mapeamento final.

2.1.1. Etapas da metodologia

Foram realizadas as seguintes etapas: (i) 1ª Etapa: Foi utilizado uma seqüência temporal de dados MODIS nas bandas do vermelho; infra-vermelho próximo, com resolução espacial de 250m, em dois períodos durante o ciclo fenológico da cana-planta e primeira soca e demais tipos de uso (cerrado, soja e pastagem), correspondente as estações seca e úmida (dados de refletância diária da superfície: produtos MOD09GQK ou MOD09GST; e dados de refletância e de NDVI resultantes de uma composição de 16 dias -produto MOD13Q). (ii) 2ª Etapa: Foi realizada uma classificação confiável do uso e cobertura do solo para o mesmo período em uma parcela da região em estudo, incluindo as classes de interesse de maneira representativa. (iii) 3ª Etapa: Foi feito um pré-processamento dos dados MODIS para se fazer a correção atmosférica e a filtragem dos dados tidos como de baixa confiabilidade, substituindo-os através da utilização de um algoritmo de interpolação temporal. (iv) 4ª Etapa: Foi calculada uma série de métricas com base no perfil suavizado (e.g., data de máximo NDVI ou número de modos no perfil) que foram analisadas por meio de um algoritmo de seleção de atributos baseado em medidas de correlação (CFS, Correlation-based Feature Selection) (HALL, 1999), de modo a se definir um sub-conjunto de atributos capaz de minimizar a redundância de informações ao mesmo tempo em que se maximiza a capacidade de discernimento entre as classes de interesse. (v) 5ª Etapa: Foi realizada uma classificação de forma supervisionada, utilizando-se para este fim algoritmos clássicos de classificação, tais como o algoritmo estatístico de máxima verossimilhança (DUDA *et al.* 2001). (vi) 6ª Etapa: Foi utilizada a classificação de treinamento executando o processo de aprendizagem do algoritmo de classificação e finalmente aplicando o algoritmo de classificação para toda a região de interesse, obtendo-se assim a classe de uso e cobertura do solo para cada ponto. (vii) 7ª Etapa: Com base nesta metodologia foram feitos ajustes para a identificação dos padrões de uso do solo em áreas ocupadas, especificamente, cana-de-açúcar. Os perfis temporais de cada cultura são caracterizados a partir da comparação do comportamento espectral de cada perfil com informações reais, georreferenciadas, sobre a cultura nas áreas específicas coletadas a campo. A seguir, a figura 3, apresenta o fluxograma da metodologia de classificação do uso e cobertura do solo (JONATHAN (2005a))

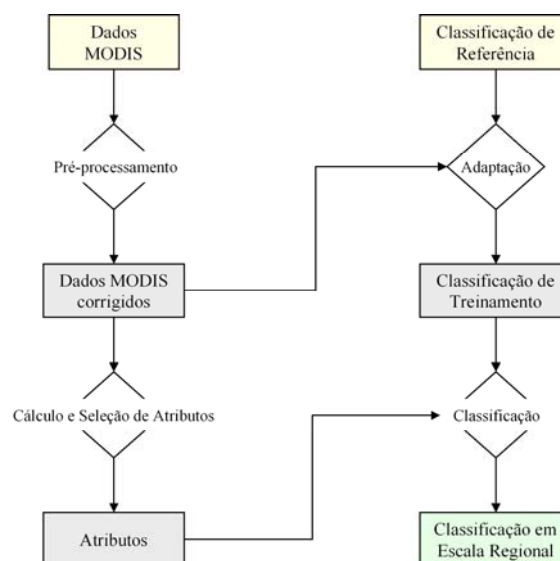


Figura.3. Visão geral da metodologia de classificação do uso do solo com base nas seqüências temporais de dados MODIS (JONATHAN (2005a)).

As principais referências da metodologia acima sumarizada são: MEIRELLES et al, (2006); JONATHAN et al (2008); JONATHAN (2005 a e b); ARVOR et al (2008 a e b).

2.2. Implementação do modelo SEBAL para a estimativa da evapotranspiração real.

O mapeamento da Evapotranspiração Real será realizado pela implementação do modelo SEBAL (*Surface Energy Balance for Land*), cuja modelagem física e matemática foi desenvolvida por BASTIAANSSEN (1995). O modelo será usado para a estimativa da Evapotranspiração Real referente a dois períodos de oito (08) dias consecutivos, um na estação chuvosa e outro na estiagem. Serão utilizados, como dados de entrada para o modelo SEBAL: (1) dados das imagens multiespectrais do sensor MODIS/EOS - MODIS/Aqua: MOD09, refletância de superfície e, MOD11, temperatura da superfície e, (2) dados meteorológicos (Temperatura e Velocidade dos ventos) adquiridos diretamente da rede de estações meteorológicas HIDROWEB/ANA. Como saída do modelo fornece resultados, instantâneos, horários e diários de Evapotranspiração Real. A implementação do SEBAL será efetivada através da construção de modelos utilizando a ferramenta *Model Maker* do código computacional ERDAS *Imagine* 8.7. E, os mapas correspondentes as estimativas do SEBAL serão elaborados por meio da utilização do pacote computacional *ArcMap* 9.3– *ArcGIS* 9.3 da ESRI (www.esri.com).

2.2.1. Base Teórica do Modelo SEBAL

O modelo SEBAL - *Surface Energy Balance for Land* –BASTIAANSSEN (1995) é baseado no balanço dos fluxos de energia a superfície que é proporcional ao saldo de radiação. O balanço de radiação ou saldo de radiação (R_n), por sua vez, consiste na diferença da radiação de ondas curtas que incide e reflete da superfície e da radiação de ondas longas incidente, refletida e emitida pela superfície. Desta forma, o saldo de radiação pode ser definido como a energia radiativa superficial, disponível para os diversos processos físico-bióticos, notadamente a evapotranspiração. Dado por: $R_n = (1 - \alpha_{sup}) R_{c\downarrow} + R_{L\downarrow} - 2R_{L\uparrow} - \epsilon R_{L\downarrow}$ onde: R_n é o saldo de radiação à superfície ($W.m^{-2}$); $R_{c\downarrow}$ é a radiação de ondas curtas incidente à superfície ($W.m^{-2}$); $R_{c\uparrow}$ é a radiação de onda curta refletida pela superfície ($W.m^{-2}$); $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa incidente à superfície ($W.m^{-2}$); $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa refletida e emitida pela superfície ($W.m^{-2}$), ϵ é a emissividade da superfície [-] e α_{sup} é o albedo da superfície [-]. A equação do balanço de energia pela partição dos fluxos de calor, conforme expressão a seguir: $R_n = G + H + \lambda ET$ Onde: R_n é o saldo de radiação à superfície; G é o calor do solo; H é o calor sensível e λET é o calor latente.

2.2.2. Etapas da implementação do Modelo SEBAL

As seguintes etapas serão realizadas para a estimativa da Evapotranspiração Real diária:

- (i) Saldo de Radiação (RN): Estimativa do saldo de radiação, como primeira variável do modelo, a partir do balanço de energia a ser estimada.
- (ii) Refletância Espectral ($\rho\lambda$): Como primeiro dado de entrada para a implementação do modelo SEBAL, gera-se uma imagem e refletância espectral a partir do produto MYD09 do sensor MODIS, conforme especificado no site oficial do MODIS (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>).
- (iii) Albedo no Topo da Atmosfera (α_{TOA}): Obtenção albedo na superfície (α_{sup}), a partir da imagem de refletância espectral da superfície (MYD09 (<http://edcdaac.usgs.gov/MODIS/>)).
- (iv) Radiação de Onda Curta Incidente à Superfície ($R_{c\downarrow}$): Nesta proposta será utilizada a expressão descrita em SHUTTLEWORTH (1993), citado por NOSETTO (2005).
- (v) Radiação de Onda Longa Emitida pela Superfície ($R_{L\uparrow}$): Para o cálculo da radiação de onda longa emitida pela superfície será utilizada a função da emissividade e temperatura da superfície, conforme a equação de Stefan-Boltzmann, (a) NDVI - O cálculo do índice de vegetação por diferença

normalizada (NDVI) será realizado através de uma operação algébrica entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo. (b) SAVI - O índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) foi desenvolvido por HUETE (1989) com o intuito de reduzir os efeitos do solo no NDVI. O SAVI, para o sensor MODIS (NICÁCIO, 2008). (c) IAF - Após o cálculo do NDVI e do SAVI, será possível calcular o índice de área foliar (IAF) que é um dado de entrada para o cálculo da emissividade. A exemplo de NICÁCIO (2008) será utilizada a expressão sugerida por ALLEN *et al.* (2002) e por TASUMI (2003). (vi) Emissividade da Superfície (ϵ): Para o cálculo da emissividade (ϵ) da superfície, dada pela razão entre a energia irradiada por um objeto ou superfície a uma dada temperatura e a energia irradiada por um corpo negro à mesma temperatura. Na aplicação do SEBAL, segundo NICÁCIO (2008) para as imagens MODIS, se faz necessário calcular a emissividade para toda a faixa do infravermelho termal (ϵ). (vii) Temperatura da Superfície: Para o sensor MODIS, de acordo com (NICÁCIO, 2008) a temperatura da superfície não precisa ser estimada, visto que pode-se aplicar o produto MYD11, que corresponde à imagem de temperatura da superfície. Deve-se, no entanto, multiplicar por um fator de escala (0,02) conforme especificações do produto (<http://edcdaac.usgs.gov/MODIS/myd11a1v4.asp>). Por fim, conhecendo-se os valores da emissividade para toda a faixa do termal (ϵ) e a temperatura da superfície, calcula-se o valor da radiação de ondas longas emitida pela superfície ($RL\uparrow$). (viii) Radiação de Onda Longa Incidente ($RL\downarrow$): A radiação de onda longa incidente ($RL\downarrow$) dada pela expressão abaixo e definida como a densidade de fluxo de radiação de onda longa que é emitida pela atmosfera na direção da superfície a sua estimativa necessita ser calibrada com a determinação de determinados pixels de referência (NICÁCIO, 2008). (a) PIXEL FRIO - A aplicação do SEBAL requer a determinação de alguns pixels (frio e quente), que são chamados de pixels de referência ou âncoras, na região de interesse, que determinam as condições limites do balanço de energia (NICÁCIO, 2008; ALLEN *et al.* (2002)). O valor de $RL\downarrow$ pode ser obtido através da equação de Stefan-Boltzman BASTIAANSEN, 1995; ALLEN *et al.*, 2002). (ix) Saldo de Radiação (RN): Após o cálculo das componentes do saldo de radiação se estima o saldo de radiação à superfície (R_n), que é a quantidade de energia radiante disponível à superfície para os processos de evaporação e aquecimento do solo e do ar. (x) Fluxo de Calor no Solo (G): Estima-se os fluxos de calor a partir da estimativa do saldo de radiação à superfície (NICÁCIO, 2008). O fluxo de calor no solo (G) ($W.m^{-2}$) pode ser calculado em função do saldo de radiação (R_n), albedo (α_{SUP}) e temperatura da superfície (T_s), em graus Celsius, e NDVI. (11) Fluxo de Calor Sensível (H): Calcula-se o fluxo de calor sensível (H), com base na transferência de energia modelada pela equação proposta por BASTIAANSEN (1995). (xi) Fluxo de Calor Latente (λET): O cálculo do fluxo de calor latente (λET) se faz pelo termo residual do balanço de energia. (xii) Evapotranspiração Real Horária (ET_h): O fluxo de calor latente pode ser convertido em evapotranspiração real horária de acordo com a equação desenvolvida por TASUMI (2003). (xiii) Evapotranspiração Real Diária (ET_{24h}): Com base no conceito fração evaporativa, que é uma razão entre o fluxo de calor latente e a diferença entre o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo é possível estimar a evapotranspiração real diária NICÁCIO (2008). Assim, com o cálculo da Evapotranspiração horária, é possível a obtenção da Evapotranspiração Real diária.

Por fim, cabe observar que as funções principais e as etapas intermediárias de parametrização, ajustes, e estimativa de variáveis secundárias encontram-se totalmente descritas em: BASTIAANSEN (1995); ALLEN *et al.* (2002) e NICÁCIO (2008).

3. Resultados e discussão

A parte referente à avaliação do uso e cobertura do solo para o ano agrícola de 2006/2007 já foi concluída, cujos resultados estão ainda sendo analisados, e, desta forma espera-se

contribuir para o aprimoramento do procedimento metodológico de classificação sistemática e automatizada do uso e cobertura do solo baseada na detecção de padrões característicos (perfis espectrais - seqüências temporais de índices de vegetação- NDVI) a partir de dados do sensor MODIS do satélite TERRA/EOS –NASA JONATHAN (2005, (a) e (b)). Notadamente, espera-se contribuir para a distinção dos alvos relacionados à cultura da cana-de-açúcar, pastagens e cerrado. Contudo o trabalho encontra-se em elaboração no tocante a implementação do Modelo SEBAL. Após concluída esta etapa, será feita a avaliação da aplicabilidade do modelo/ algoritmo SEBAL para a estimativa da evapotranspiração real a partir de dados MODIS em estudos na escala regional, considerando as condições ambientais especificadas - bioma cerrado antropizado, no qual destaca-se a variabilidade do relevo, solos, tipos de uso do solo e clima. Por fim, a aplicação dos resultados contribuirá para a compreensão da influência dos tipos de uso e cobertura do solo na variação espacial e sazonal das taxas de evapotranspiração real e assim contribuir para o desenvolvimento de um procedimento metodológico para o monitoramento da perda de água em bacias hidrográficas antropizadas inseridas no bioma cerrado.

4. Agradecimentos

Cumpramos agradecer aos projetos: (i) “Land use change in the Rio de la Plata Basin: Linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts, and support viable strategies for the future”, Instituto Interamericano de Mudanças Globais (IAI); (ii) “Sustainability Impact Assessment: Tools for Environmental Social and Economic Effects of Multifunctional Land Use in European Regions”-EXTENSION-SENSOR TTC/Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Germany – ZALF; (iii) “Tecnologias avançadas em processamento digital de imagens para o monitoramento automatizado do desflorestamento, degradação da terra e da expansão do sistema plantio direto através da classificação sistemática do uso e da cobertura do solo” – ENVIAR/Assessoria de Cooperação Internacional - ASCIN/CNPq/Embrapa Solos/INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique - Grupo de Pesquisa Air/Clime);(iv) “Land use change, biofuels and rural development in de la Plata Basin” IAI/IDRC (International Development Research Center- Canadá; e, por fim, ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro/UERJ – PPG-MA, por fornecerem suporte a presente pesquisa.

5. Referências bibliográficas

- ALLEN, R. G., TASUMI, M., MORSE, A., *et al.*, 2007b, “Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration “METRIC”- applications”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, n. 4, pp. 395 – 406.
- ALLEN, R. G., TASUMI, M., TREZZA, R., 2007a, “Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration “METRIC”-model”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, n. 4, pp. 380 – 394.
- ALLEN, R. G., TASUMI, M., TREZZA, R., *et al.*, 2002, *SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) advanced training and users manual – Idaho implementation*, Idaho University, Idaho, USA.
- ARVOR, D., JONATHAN, Milton, MEIRELLES, M. S. P., DUBREUIL, V., Lecerf, R. Comparison of multitemporal MODIS-EVI smoothing algorithms and its contribution to crop monitoring In: IEEE Geoscience & Remote Sensing Symposium' **IEEE Geoscience & Remote Sensing Symposium'** , 2008a. p.4 - 4
- ARVOR, D., JONATHAN, Milton, MEIRELLES, M. S. P., DUBREUIL, V. Detecting Outliers and Asserting Consistency in Agriculture Ground Truth Information by Using Temporal VI Data From Modis In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 3rd-11th July 2008, Beijing, China., 2008, Beijing. **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.** , 2008b.
- BASTIAANSEN, W. G. M., 1995, *Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain*. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands.

BASTIAANSEN, W. G. M., MENENTI, M., FEDDES, R. A., *et al.*, 1998a, “A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation”, *Journal of Hydrology*, v. 212-213, pp. 198 – 212.

BASTIAANSEN, W. G. M., NOORDMAN, E. J. M., PELGRUM, H., *et al.*, 2005, “SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, pp. 85 – 93.

BASTIAANSEN, W. G. M., 2000, “SEBAL-based sensible and latent heat flux in the irrigated Gediz basin, Turkey”, *Journal of Hydrology*, v. 229, pp. 87 – 100.

BASTIAANSEN, W. G. M., PELGRUM, H., WANG, J., *et al.*, 1998b, “A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation”, *Journal of Hydrology*, v. 212 – 213, pp. 213 – 229.

BASTIAANSEN, W. G. M., 2000, “SEBAL-based sensible and latent heat flux in the irrigated Gediz basin, Turkey”, *Journal of Hydrology*, v. 229, pp. 87 – 100.

BRAUN, P.; MAURER, B.; MULLER, G.; GROSS, P.; HEINEMANN, G.; SIMMER, C. An integrated approach for the determination of regional evapotranspiration using mesoscale modelling, remote sensing and boundary layer measurements. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 76, p. 83-105, 2001.

DI BELLA CM, REBELLA CM AND PARUELO JM (2000) Evapotranspiration estimates using NOAA AVHRR imagery in the Pampa region of Argentina. *International Journal of Remote Sensing*, 21 (4), 791-797.

DIK, G. R., MECIKALSKI, J. R., ANDERSON, M. C., *et al.*, 2004, “Estimating land surface energy budgets from space: Review and current efforts at the University of Wisconsin – Madison and USDA – ARS”, *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 85, n. 1, pp. 65 – 78.

DUDA, R. O., HART, P. E., STORK, D. G. (2001). "Pattern Classification", 2nd ed., John Wiley & Sons, USA. ed. Piracicaba, SP, FEALQ.

HALL, M. A. (1999). “Correlation-based feature subset selection for machine learning”. PhD thesis, Department of Computer Science, University of Waikato, New Zealand.

JENSEN, M.E., BURMAN, R., ALLEN, R.G, 1990, *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. 2 ed. New York, American Society of Civil Engineers.

JONATHAN, M. Classificação do uso e cobertura do solo em escala regional a partir de seqüências temporais de dados MODIS. 2005. 158 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) Mestrado em Geomática, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (a)

JONATHAN, M., MEIRELLES, M. S. P., BERROIR, J.-P., HERLIN, I., COUTINHO, H. L. DA C. (2005). “Regional scale land use/land cover classification using temporal series of MODIS data at the High Taquari Basin, MS, Brazil”. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 16-21 abril 2005, pp. 579-581, Goiânia, Brasil. (b)

JONATHAN, Milton, ARVOR, D., MEIRELLES, M. S. P. Field-Oriented Assessment of Agricultural Crops Through Temporal Segmentation of Modis VI Data In: *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 3rd-11th July 2008, Beijing, China, 2008, Beijing. **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, 2008.

MEIRELLES, M. S. P., JONATHAN, Milton, BERROIR, Jean Paul, HERLIN, Isabelle Considerations for regional scale long term monitoring of land use with MODIS data and its application for the high Taquari Basin, MS/MT, Brazil In: *1º GeoPantanal*, 2006, Campo Grande. **1º GeoPantanal**, 2006.

MENDONÇA, J. C., 2007, *Estimação da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense*, RJ. Tese de D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

MEYER, W. B., TURNER, B. L. II (1994). “Changes in land use and land cover: a global perspective”. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

NICÁCIO, R. M., 2008, *Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco [Rio de Janeiro] 2008 XVII*, 320 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2008) Tese -Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

NOSETTO D. M., JOBBÁGY E., PARUELLO J.M.(2005). Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Global Change Biology* (2005) 11, 1101-1117, doi:10.1111/j.

PARUELO, J.M. Y W.K. LAUENROTH. 1995. Regional patterns of NDVI in North American shrublands and grasslands. *Ecology* 76:1888-1898.

VITOUSEK PM, MOONEY HA, LUBCHENCO J AND MELILLO JM (1997) Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, 494-499.

WESSELS, K. J., DEFRIES, R. S., DEMPEWOLF, J., ANDERSON, L. O., HANSEN, A. J., POWELL, S. L., MORAN, E. F. (2004). “Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil”. *Remote Sensing of Environment*, vol. 92, no. 1, pp. 67-83.