

Avaliação da evapotranspiração em áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos – SP utilizando o produto MOD16A2

Bruno Silva Oliveira¹
Guilherme Augusto Verola Mataveli¹
Gabriel Pereira¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bruno.so, mataveli, gabriel, bernardo}@dsr.inpe.br

Abstract. The production of ethanol from sugarcane is very important in the economy of Brazil, showing a significant growth, especially in the Central-South region, in the last years. However, the impacts of sugarcane producing areas should be clarified, through informations that can contribute strategically to actions and policies that maximize the benefits of ethanol and minimize its negative effects. The modification of land-use and land-cover lead to changes in biosphere-atmosphere interaction, since pastures and agricultural areas are converted into sugarcane. Among the variables affected, the evapotranspiration (ET) is one of the most important in the hydrological cycle, making the connection between energy, climate and water availability. In this context, the objective of this study is to evaluate the influence of land-use changes in evapotranspiration in sugarcane areas in the city of Barretos-SP. We used data from MOD16A2 product (evapotranspiration, mm/day), between the 2003 and 2011 years. The variation of evapotranspiration during this period was determined by map algebra. Time series of evapotranspiration was acquired and related with temporal response of rainfall rates in sugarcane areas. In areas of sugarcane expansion was observed an average decrease of 0.22 mm/day in evapotranspiration. In areas where the culture was already inserted and where it was interrupted changing ET was -0.45 mm/day and -0.37 mm/day, respectively. Initial results showed that evapotranspiration presents a significant sensitivity to rainfall.

Palavras-chave: evapotranspiration, sugarcane, land-use change, evapotranspiração, cana-de-açúcar, mudança de uso do solo.

1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas de grande importância econômica no Brasil. Por causa do interesse em diminuir a dependência pelos combustíveis fósseis e da preocupação ambiental global, o uso do etanol está tomando proporções mundiais, estimulando a expansão do cultivo da cana-de-açúcar (Aguiar et al., 2009). A crescente demanda de etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, especialmente depois do ano de 2003 com a popularização dos carros bicombustíveis no Brasil, causou uma rápida expansão dessa cultura durante os últimos anos (Rudorff et al., 2010).

Esse aumento da demanda mundial por biocombustíveis exige a conversão de áreas de culturas convencionais em áreas de cultivo de cana (Loarie et al., 2011). Com o aumento da área de cultivo, os impactos da inserção da cultura devem ser conhecidos e esclarecidos, levantando uma base de informações que contribua estrategicamente para ações e políticas públicas que maximizem os benefícios do etanol e minimizem seus efeitos negativos.

Segundo Loarie et al. (2011), a mudança do uso e ocupação do solo pode contribuir com o resfriamento do microclima, além de favorecer o aumento da evapotranspiração (ET) em áreas onde a cana-de-açúcar é inserida no lugar de culturas convencionais ou pastagem. Ainda, segundo Loarie et al. (2011), a mudança de uso e cobertura do solo para áreas de Cerrado brasileiro, ocasionam uma redução de ET na mudança de floresta para pastagem, e um aumento de ET quando a alteração foi de pastagem para cultura de cana-de-açúcar.

A evapotranspiração é uma das mais importantes variáveis no ciclo hidrológico, fazendo a ligação entre energia, disponibilidade hídrica e clima. O termo é empregado para exprimir a transferência de vapor d'água para a atmosfera, proveniente de superfícies vegetada (Varejão-

Silva, 2001). De acordo com Costa (2002), a evapotranspiração indica o total da perda de água transferida da superfície do solo para a atmosfera na forma de vapor, ou seja, é a soma da água evaporada de superfícies livres, dos solos, da vegetação úmida e a transpiração dos vegetais.

Portanto, percebe-se uma estreita relação entre a ET e o tipo de uso e cobertura do solo, uma vez que cada tipo de vegetação apresenta diferenças adaptativas características, com relação à capacidade de absorção de água, dependente da estrutura e profundidade do sistema radicular e do estágio fenológico relacionado ao potencial de transpiração em função da área folia (Meirelles et al., 2007).

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permite determinar a distribuição espacial da ET (Medina et al., 1998). Os dados obtidos via sensoriamento remoto apresentam a vantagem de permitir a coleta de informações detalhadas para uma extensa área em curto espaço de tempo, além da quantificação de parâmetros físicos da superfície terrestre com um fluxo quase contínuo de dados com alta resolução temporal e espacial (Paiva et al., 2011).

Na determinação dos efeitos da mudança de uso do solo no microclima local, dados de sensoriamento remoto são de grande importância, permitindo estudos especializados e a utilização de técnicas de Geoprocessamento para manipular as informações e modelar os fenômenos naturais envolvidos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da mudança de uso do solo na evapotranspiração (ET) em áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP, utilizando o produto de evapotranspiração MOD16A2 do sensor MODIS/Terra e técnicas de Geoprocessamento.

2. Metodologia do Trabalho

2.1 Área de estudo

A cultura da cana-de-açúcar, nos últimos anos, tem se expandido significativamente na região Centro-Sul do Brasil, em especial no Estado de São Paulo. Entre os anos de 2003 e 2011, a área plantada de cana-de-açúcar no Estado aumentou 79,86%, em decorrência da crescente demanda do produto para produção de Etanol (Canasat, 2011). Entre os municípios com maior expansão da cultura nos últimos anos, destaca-se o município de Barretos, que passou de 24.843 ha em 2003 para 73.668 ha em 2011, sendo essa a maior expansão no Estado de São Paulo no período (Canasat, 2011). O município de Barretos está localizado entre as latitudes 20°17'26"S e 20°44'28"S e longitudes 48°20'55"O e 48°53'31"O, a uma altitude média de 530 metros e possui área total de 1563,6 km². A Figura 1 apresenta a localização do município de Barretos e as áreas ocupadas com a cultura de cana-de-açúcar nos anos de 2003 e 2011.

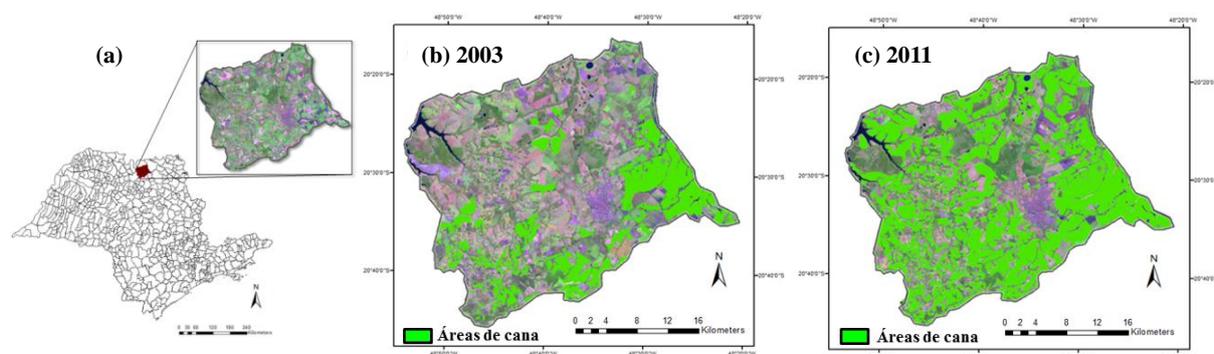


Figura 1. (a) Localização do município de Barretos – SP; Área ocupada por cultura de cana-de-açúcar nos anos de (b) 2003 e (c) 2011 no município.

2.2 Metodologia

Os dados de evapotranspiração (ET) utilizados são disponibilizados pelo produto (MOD16A2) do sensor MODIS/Terra, obtidos inicialmente no formato HDF, sendo convertidos para o formato TIF utilizando a ferramenta MRT (*Modis Reprojection Tools*). A resolução espacial dos dados é de 1 km x 1 km. Foram utilizados dados anuais de ET e também composições de oito dias do produto para a análise do perfil temporal nas áreas de interesse, descritas adiante. Com os dados anuais de evapotranspiração do MOD16A2, foi calculada a diferença dessa variável entre os anos de 2003 e 2011, por meio de álgebra de mapas em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) no SPRING 4.3.3. O mapa de diferença de ET entre os dois anos foi submetido a um fatiamento, separando as áreas onde houve aumento ou diminuição de ET.

As áreas da cultura de cana no município foram identificadas através dos mapas temáticos do Canasat, para os anos de 2003 e 2011, com resolução espacial de 30m, a partir do cruzamento dos mapas temáticos dos dois anos no município de Barretos, as áreas de expansão, manutenção e retração da cultura foram definidas no período de estudo. Esse procedimento foi realizado utilizando álgebra de mapas em LEGAL no SPRING 4.3.3.

Em seguida, foi realizado um *overlay* entre o mapa temático da expansão da cultura e o mapa temático de aumento ou diminuição de ET entre os anos de 2003 e 2011. O objetivo desse passo foi mapear as áreas de cana-de-açúcar onde houve aumento de ET.

A variabilidade da ET ao longo do período de estudo foi avaliada por meio de Análise de Componentes Principais (PCA) implementada no ENVI 4.8, a partir das composições de 8 dias de ET do produto MOD16A2. A PCA leva em conta um conjunto de dados multivariados, reduzindo a sua dimensionalidade e gerando um novo conjunto de imagens descorrelacionadas entre si e que individualmente apresentam um conjunto particular de informações (Crosta, 1992). Essa etapa permitiu a obtenção da variabilidade da ET no período de estudo, descrita pela segunda Componente Principal (PC2).

2.3 Perfil temporal de ET

Para a determinação dos perfis temporais de ET entre 2003 e 2011, foram utilizadas as composições de 8 dias de ET do MOD16A2, os dados de precipitação do produto 3B43V7 do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission* da NASA), composições coloridas do sensor TM/Landsat 5, órbita ponto 221/074 como referência para relacionar os pontos selecionados e as respectivas informações de ET e precipitação, nas datas 16/03/2003 e 22/06/2011. Como a resolução espacial das imagens de ET é de 1km, há uma limitação com relação aos pixels que devem ser selecionados para levantamento do perfil temporal. Foram selecionados pontos dentro de áreas de maior extensão da cultura da cana, ou seja, dentro de polígonos maiores da cultura de cana no mapa de distribuição espacial da cultura (Canasat). Essa restrição teve como objetivo selecionar pontos de pixels puros da cultura dentro dos pixels de resolução espacial 1 km² do produto MOD16A2. Foram utilizadas também as séries temporais de EVI2 (*Enhanced Vegetation Index 2*) do LAF (2012) para verificação do uso do solo ao longo do período estudado, confirmando que se tratava de pixels de expansão, manutenção ou retração da cultura de cana-de-açúcar. As séries temporais de EVI2 disponibilizadas *online* pelo Laboratório de Agricultura e Floresta (LAF) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A Figura 2 exemplifica a extração do perfil temporal de ET no ENVI 4.8, em conjunto com a obtenção dos respectivos valores de precipitação do TRMM no SPRING 4.3.3.

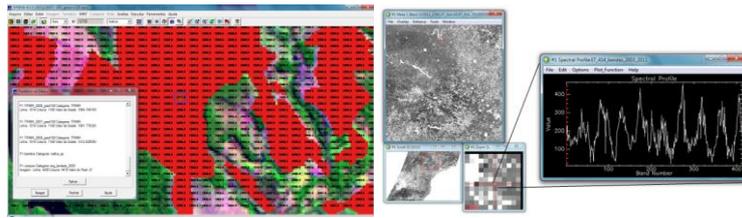


Figura 2. Obtenção dos dados de precipitação (SPRING) e do perfil temporal de evapotranspiração (ENVI 4.7).

3. Resultados e Discussão

Aplicando a metodologia descrita, foi obtido inicialmente o mapa de diferença de ET entre 2003 e 2011, apresentados na Figura 3.

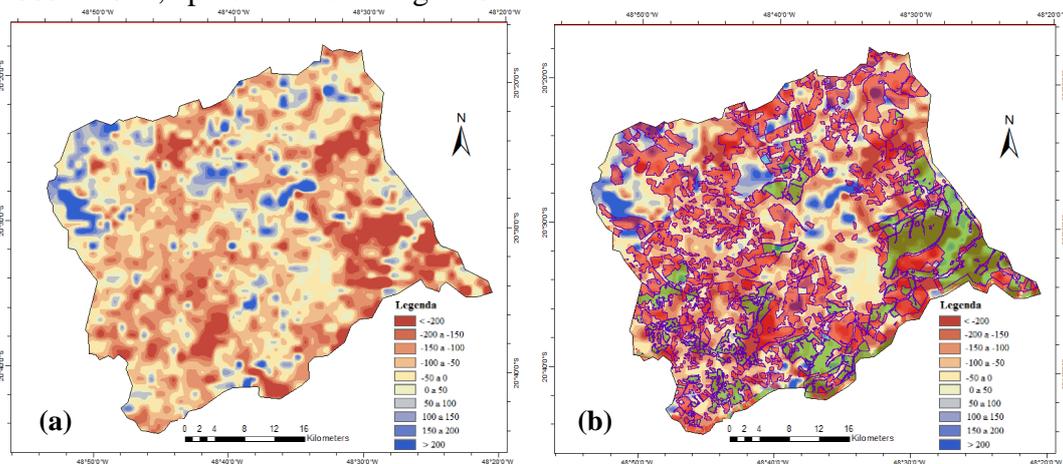


Figura 3. Mapas de (a) diferença de ET entre 2003 e 2011 e (b) diferença de ET entre 2003 e 2011 relacionado com as áreas de expansão, manutenção e retração da cana-de-açúcar em Barretos-SP.

Os mapas apresentados na Figura 3 mostram que a ET variou positivamente (em azul) e negativamente (em vermelho) no período, havendo áreas de diminuição mais intensas a leste do município, onde se percebe pela Figura 3b que são áreas de expansão e manutenção da cultura. Áreas de aumento de ET ocorrem no município, porém em menor quantidade, não havendo clara relação espacial com as áreas de cana. A Figura 4 apresenta o mapeamento das áreas de expansão, manutenção e retração da cana em Barretos, segundo os dados do Projeto Canasat, assim como o cruzamento desse mapeamento com as áreas de aumento de ET (Figura 4b).

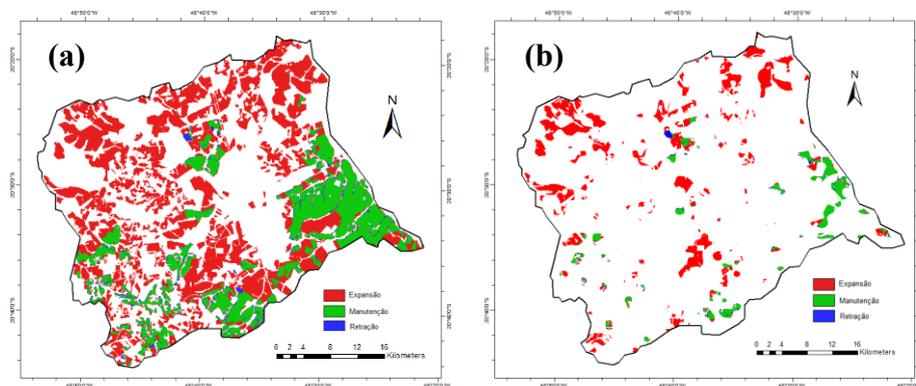


Figura 4. (a) Mapa de expansão, manutenção e retração da cana-de-açúcar no município de Barretos-SP, (b) Áreas de expansão, manutenção ou retração da cana combinada com aumento de evapotranspiração entre os anos de 2003 e 2011.

Pela Figura 4b nota-se que, comparativamente com o mapa das áreas de cana em Barretos (Figura 4a), as áreas da cultura onde houve aumento de ET são reduzidas. A Figura 5 apresenta uma comparação entre a área total de cana-de-açúcar e as áreas onde houve aumento de evapotranspiração.



Figura 5. Comparação das áreas (ha) de cana-de-açúcar totais com aquelas onde houve aumento de evapotranspiração.

As áreas de expansão de cana-de-açúcar onde houve aumento de evapotranspiração correspondem a aproximadamente 24% da área total de expansão da cultura no município de Barretos. Houve aumento de ET em 15,56% das áreas de manutenção da cana e 17,84% das áreas de retração da cultura. A inserção da cana-de-açúcar em uma área determinada provocou, de maneira geral, uma redução na evapotranspiração. Tal comportamento pode ser decorrente de um aumento na demanda hídrica da cultura, comparativamente ao uso de solo anterior, como cultura anual ou pastagem.

O município de Barretos teve suas áreas de expansão de cana-de-açúcar predominantemente sobre áreas de pastagens e de outras culturas. Os resultados apresentados por Loarie et al. (2011) para o caso de inserção de cana em áreas de pastagem ou de outra cultura anual são de aumento de evapotranspiração, chegando a valores de 0,43 mm/dia de aumento de ET após a inserção da cana-de-açúcar na área.

O mapa da segunda Componente Principal (PC2), descrevendo a variabilidade da evapotranspiração entre 2003 e 2011 no município de Barretos é apresentado na Figura 6, fazendo uma comparação com as áreas de cana onde houve aumento de evapotranspiração.

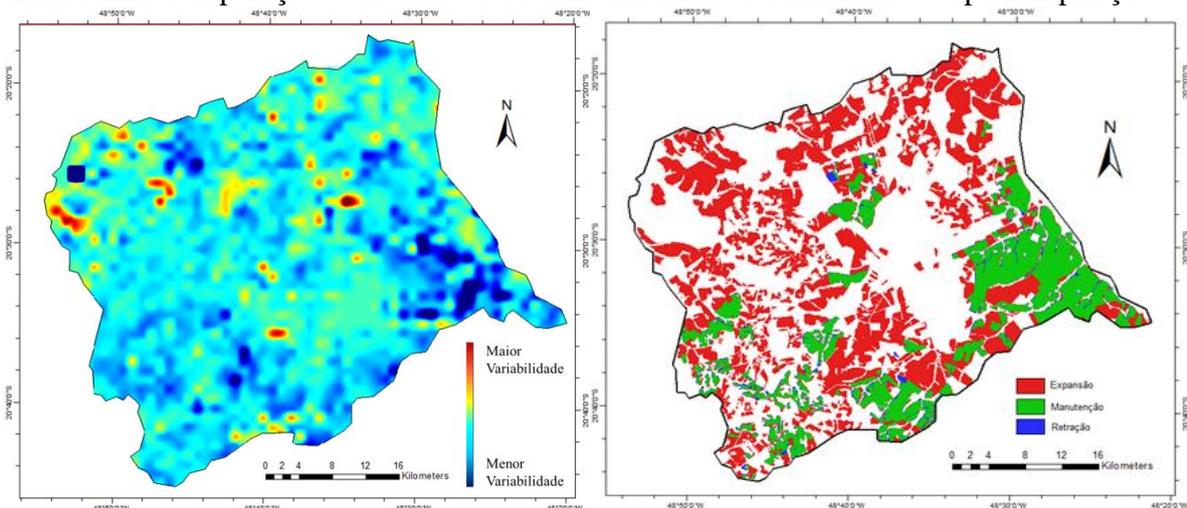


Figura 6. Variabilidade (PC2) da evapotranspiração entre os anos de 2003 e 2011; distribuição espacial da cultura de cana no município de Barretos-SP.

As áreas de menor variabilidade, a leste do município de Barretos, ocorrem onde se tem a manutenção da cultura de cana. Esse resultado era esperado, pois nessa área não houve mudança de uso do solo, portanto a evapotranspiração deveria manter o mesmo padrão ao longo do período.

Comparando as áreas de cana onde houve aumento de evapotranspiração (Figura 4b) com a variabilidade de ET no período, nota-se que em alguns pontos onde houve inserção de cultura (expansão), há também uma maior variabilidade, como na área a noroeste e norte do município.

Foram selecionados pontos de interesse dentro das áreas de expansão, manutenção e retração da cana-de-açúcar, para os quais foi levantado o perfil temporal de evapotranspiração (Figura 7). As séries de EVI2 do LAF foram também consultadas para verificar a mudança no padrão temporal desse índice, que indica a mudança de uso do solo. Os dados de precipitação do TRMM foram também incorporados ao perfil temporal, buscando identificar uma resposta da evapotranspiração à precipitação incidente na área de interesse em cada período.

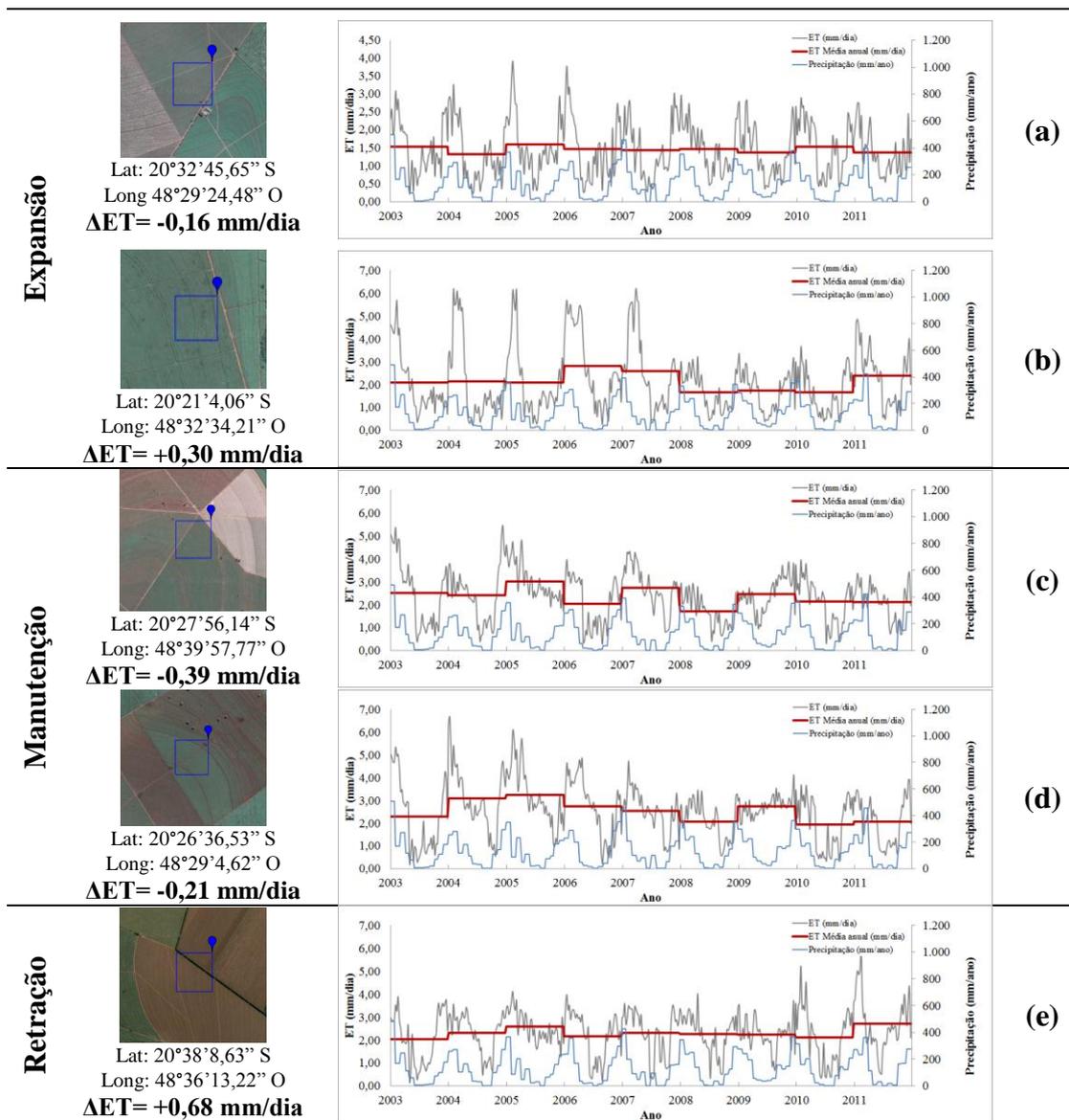


Figura 7. Perfis temporais de ET (mm/dia) entre 2003 e 2011, relacionados com dados de precipitação do TRMM (mm/ano), para os pontos de interesse selecionados nos casos de expansão, manutenção e retração da cana-de-açúcar no município de Barretos-SP.

Calculando-se a diferença média de ET entre 2003 e 2011 nas áreas de expansão, manutenção ou retração da cana-de-açúcar no município de Barretos, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Diferença de evapotranspiração (mm/dia) média nas áreas de expansão, manutenção e retração da cana-de-açúcar no município de Barretos entre os anos de 2003 e 2011.

Diferença de ET (mm/dia)	
Expansão	-0,22
Manutenção	-0,45
Retração	-0,37

Na Figura 7 pode-se notar que nas áreas de expansão da cultura ocorre tanto aumento quanto diminuição da ET. Foi verificado que no pixel da Figura 7a a área passa a ser ocupada com cana-de-açúcar no ano de 2007, e no da Figura 7b a cultura foi inserida no ano de 2008. Pelo padrão apresentado na curva de ET, nota-se que antes da inserção da cana a área era ocupada possivelmente com culturas anuais. É possível verificar também que a evapotranspiração acompanha a distribuição da precipitação, aumentando de acordo com a maior quantidade de chuva em determinado período. Nos dois pixels de áreas de expansão a precipitação teve intensidades similares, porém as respostas na ET foram diferentes (-0,16 e +0,30 mm/dia). As áreas de expansão em Barretos tiveram em média uma diminuição de 0,22 mm/dia (Tabela 1). Considerando que o uso anterior dessas áreas era para culturas anuais, a diminuição na evapotranspiração pode ser devido a cultura da cana proporcionar maior retenção de água na estrutura vegetal, além de manter o solo mais recoberto, reduzindo a evaporação. Esse resultado difere do obtido por Loarie et al. (2011), onde para a inserção da cana sobre uma área de cultura anual ou pasto foi verificado um aumento na evapotranspiração. Porém o autor discute uma alta variabilidade nos resultados de evapotranspiração, podendo a mesma ser decorrente de diferentes práticas de manejo da cultura, havendo ou não queima da palhada para colheita. Tal prática pode refletir na resposta de evapotranspiração da área, principalmente após a colheita, onde o solo pode ficar exposto ou coberto com palha.

Nas áreas já ocupadas com cana em 2003 (Figura 7c e d) houve de maneira geral uma diminuição na ET, assim como se verifica na média zonal apresentada na Tabela 1. No pixel da Figura 7c ocorrem períodos mais largos de alta evapotranspiração (entre 2005 e 2006), também verificados na série temporal de EVI2 da área. É possível que nessa área, nesse período, a cana não tenha sido colhida. Já na área apresentada na Figura 7d nota-se um aumento na ET, acompanhado por um aumento na precipitação, evidenciando a sensibilidade da variável à incidência de chuvas.

Nas áreas de retração, nota-se que a ET mantinha um padrão temporal compatível com o da cultura da cana, além de seguir o aumento do índice EVI2 ao longo dos ciclos da cultura. No ano de 2009 pode-se verificar a mudança nesse padrão, passando-se a ter picos mais intensos de ET, porém com duração menor, sugerindo que a área passou a ser ocupada por cultura anual ou por pastagem. Em geral essas áreas apresentaram uma redução de 0,37 mm/dia na ET (Tabela 1), porém no pixel avaliado houve um aumento de 0,68 mm/dia. Isso demonstra a variabilidade da ET nessas áreas, que por serem reduzidas no município de Barretos, podem estar sofrendo influência dos pixels vizinhos. Esse efeito dos pixels vizinhos pode também ser o motivo do resultado obtido para o pixel da Figura 7e.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, foi observado que nas áreas onde houve inserção da cultura de cana-de-açúcar a tendência foi de diminuição de evapotranspiração. Tal diminuição pode estar relacionada com uma maior demanda de água por parte da nova cultura, o que reduziria a quantidade de água perdida por evaporação pelo solo. As áreas já ocupadas pela cultura da cana apresentaram menor variabilidade na ET ao longo do período. Porém, para se

determinar tal comportamento, é necessário se avaliar outras variáveis, incorporando mais parâmetros relacionados ao balanço hídrico na área de estudo. Uma identificação exata do uso e ocupação do solo anterior ao cultivo da cana-de-açúcar também é essencial para uma avaliação mais precisa.

Pelos perfis temporais traçados foi possível perceber que a ET se mostrou sensível à variação da precipitação, havendo uma similaridade no comportamento das duas variáveis ao longo dos anos, assim como a resposta do EVI2, que reflete a condição de vigor da vegetação na área.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

Aguiar, D. A.; Adami, M.; Rudorff, B. F. T.; Sugawara, L. M.; Freitas, R. M. Avaliação da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar utilizando imagens de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5547-5554. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15800-PRE/10410).

Canasat: mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. São José dos Campos, 2012. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html>> Acesso em: 25 de outubro de 2012.

Crosta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas – SP: IG/UNICAMP, 170 p, 1992.

Costa, M. C. **Estimativa da evapotranspiração regional considerações teóricas**. Primeira versão. Ano 1, nº 122, Porto Velho: UFRO, set 2002.

Loarie, S.R., Lobell, D.B., Asner, G.P., Mu, Q. and Field, C.B. Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Clim. Change**, v.1(2), p.105-109, 2011.

Medina, J.L.; Camacho, E; Reça, J; López, R.; Roldán, J.. Determination and analysis of regional evapotranspiration in Southern Spain based on Remote Sensing and GIS. **Physical Chem. Earth**, v. 23, n. 4, p.427-432,1998.

Meirelles, M. S. P., Jonathan, M., Ferraz, R. P.D., Arvor, D. Subsídios da Geomática para avaliação da influência da dinâmica do uso do solo nos serviços ecossistêmicos In: Meio Ambiente: Experiências em pesquisa multidisciplinar e formação de pesquisadores.1 ed.Rio de Janeiro : MAUAD Editora, v.1, p. 113-130, 2007.

Paiva, C. M.; Tsukahara, R. Y.; França, G. B.; Nicacio, R. M. Estimativa da evapotranspiração via sensoriamento remoto para fins de manejo de irrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 101-107. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD).

Rudorff, B.F.T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, v. 2, p.1057–1076, 2010.

Varejão-Silva, M. A. **Meteorologia e Climatologia** – Brasília: INMET, Gráfica e Editora PAX, 2001. 532p.