

Análise da dinâmica da evapotranspiração, precipitação e NDVI no Cerrado brasileiro entre 2001 e 2013 utilizando dados MODIS e TRMM

Bruno Silva Oliveira¹
Elisabete Caria Moraes¹
Guilherme Augusto Verola Mataveli²
Gabriel Bertani¹

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

² Universidade de São Paulo - USP/Departamento de Geografia
Caixa Postal 72042 - 05508-000 - São Paulo - SP, Brasil
mataveli@usp.br

Abstract. The Brazilian Cerrado focuses the world attention, both for its great biological diversity and for the agricultural expansion, which has led to changes in land use and land cover. These changes have potential to affect ecosystems and economic sectors, as well as affect water and energy balance, directly impacting on the evapotranspiration (ET). This work aims to evaluate the spatial and temporal behavior of ET in different land covers of the Brazilian Cerrado, as well as its correlation with precipitation and NDVI, using TRMM and MODIS data. ET presents higher values in land covers with higher amount of biomass on the surface, such as forests, which present higher ET loss considering the entire ET time series, while the agricultural areas, which does not present green cover during most of the year, showed lower ET rates. According to the t student test there is a linear correlation between ET and precipitation and between ET and NDVI for all the land cover classes. ET was directly related to NDVI, especially for agriculture classes ($R^2 = 0.86$) and agriculture / vegetation mosaic ($R^2 = 0.83$). The relationship between ET and precipitation was more consistent for the mosaic classes of agriculture / vegetation ($R^2 = 0.65$) and woody savanna ($R^2 = 0.63$), while the other land cover classes presented similar results.

Palavras-chave: evapotranspiration, brazilian savana, modis, evapotranspiração, cerrado brasileiro, modis.

1. Introdução

O bioma Cerrado tem sido foco da atenção mundial, devido à sua grande diversidade biológica e às mudanças de uso e cobertura da terra que sofre com a expansão agrícola das últimas décadas. A região apresenta grande importância no cenário agrícola global, sendo considerada um dos *hotspots* mundiais na expansão dos cultivos agrícolas nos últimos 50 anos (RAMANKUTTY et al., 2002), porém às custas do desmatamento de quase metade de suas áreas naturais. As mudanças de uso e cobertura da terra causadas pela expansão das atividades agropecuárias têm o potencial de afetar ecossistemas e diversos setores econômicos do Brasil, como agricultura, produção de energia e abastecimento de água. Essas mudanças e a queima de biomassa podem influenciar a temperatura do Cerrado, além de promover a emissão de gases de efeito estufa, que provocam impactos no balanço hídrico e de energia e, consequentemente, na evapotranspiração, os quais contribuem para as mudanças climáticas local e global. (GRECCHI et al., 2014; SILVA et al., 2014).

A evapotranspiração (ET) é uma das mais importantes variáveis no ciclo hidrológico, interrelacionando a energia com a disponibilidade hídrica e o clima, consistindo na transferência de água para a atmosfera por evaporação (da água do solo, superfícies livres ou da vegetação úmida) e transpiração das plantas. O monitoramento espacial e temporal da ET representa um grande desafio para a compreensão do particionamento energético e hidrológico entre a superfície e a atmosfera em diferentes biomas, especialmente em áreas tropicais, onde se encontram as maiores fontes de ET, que exercem forte controle sobre os processos de circulação atmosférica em escalas regional e global. Além disso, estimativas precisas da ET são necessárias para modelar os recursos hídricos, avaliar o balanço hídrico e auxiliar o manejo de

irrigação em escala local e regional (RUHOFF et al., 2012). Nesse sentido, o monitoramento da ET por sensoriamento remoto se destaca como uma alternativa promissora, apresentando grande vantagem com relação aos métodos físicos (lisímetros) ou empíricos (equações empíricas ou experimentais) tradicionais, que limitam as estimativas de ET a valores pontuais. (RUHOFF, 2011).

A ocorrência de chuvas abaixo da média histórica em algumas regiões do Brasil já exige atenção e cuidadoso acompanhamento da produção e do abastecimento de alimentos durante o ano. Aliada à baixa precipitação, a elevação da temperatura intensifica a ET, o que reduz a disponibilidade de água para as culturas no campo. Assim, o acompanhamento das áreas de produção agrícola em diferentes escalas e dos indicadores que afetam as culturas em suas fases de desenvolvimento é de fundamental importância no contexto de crise hídrica (BRASIL, 2014).

Assim, este estudo teve como objetivo analisar o comportamento espacial e temporal da ET em diferentes tipos de cobertura da terra do Cerrado brasileiro, utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto. Além disso, buscou-se relacionar a ET com a precipitação pluvial e com o índice de vegetação NDVI, para diferentes tipos de cobertura da terra presentes no bioma Cerrado, entre os anos de 2001 e 2013.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde ao bioma Cerrado (Figura 1), um complexo vegetacional que possui relações ecológicas e fisionômicas com outras savanas da América Tropical, África e Austrália (SANO et al., 2007). O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro em extensão 2.036.448 km² (aproximadamente 24% do território nacional), e uma das regiões mais ricas em biodiversidade do planeta. Além da importância para a agricultura nacional, o Cerrado exerce um papel vital na dinâmica de recursos hídricos no Brasil, incluindo partes de 12 regiões hidrográficas, além de abrigar algumas das maiores usinas hidroelétricas do país, que respondem por 80% da produção nacional de energia elétrica (OLIVEIRA et al., 2015).

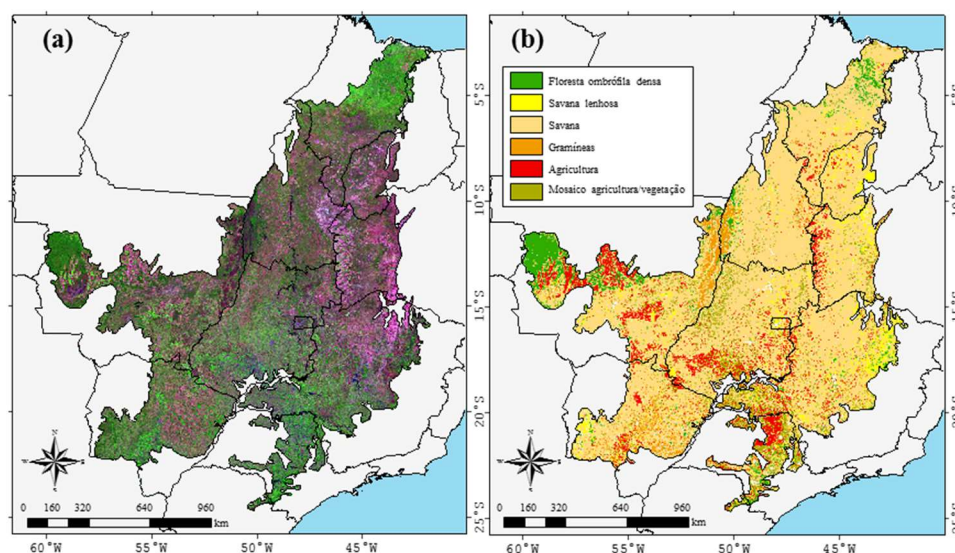


Figura 1. (a) Bioma Cerrado – imagem MCD43A4 (reflectância de superfície) composição RGB621 de 10/06/2015. (b) Classes de cobertura da terra no Cerrado brasileiro segundo a classificação do *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP), obtido do produto MCD12Q1.

A precipitação média no Cerrado varia entre 1000 e 2000 mm.ano⁻¹, com diferenciação entre as estações seca e úmida. A época seca pode durar de 3 a 5 meses consecutivos, entre

maio e setembro. Em geral, os solos desse bioma são profundos e com boa drenagem, porém com baixa fertilidade (SILVA et al., 2014).

Quanto as áreas de vegetação natural, à sua extensão territorial, o Cerrado apresenta uma elevada variabilidade espacial de fitofisionomias, sendo caracterizado principalmente pelas formações campestre (que engloba áreas com espécies herbáceas e algumas arbustivas, mas sem a presença de árvores na paisagem), savânica (com presença de árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem formação contínua de dosséis) e as formações florestais (com predomínio de espécies arbóreas em formações de dossel contínuo ou descontínuo) (SANO et al., 2007).

2.2. Dados de sensoriamento remoto

Os mapas de cobertura da terra utilizados neste estudo foram obtidos através do produto MCD12Q1 (produto anual, resolução espacial de 500m), utilizando-se o esquema de classificação proposto pelo *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP), que divide a superfície em 17 classes, conforme descrito por Friedl et al. (2010), das quais foram selecionadas as seis mais representativas no Cerrado brasileiro. A Tabela 1 apresenta essas seis classes, que entre os anos de 2001 e 2013 abrangem mais de 97% da área do bioma.

Tabela 1. Classes de cobertura da terra utilizadas, segundo a classificação do IGBP; Proporção média da área de cada classe dentro do Bioma Cerrado segundo o mapa de cobertura da terra do MCD12Q1 no período entre 2001 e 2013.

Classe	Porcentagem da área do Cerrado (%)
Floresta Ombrófila Densa	4,26
Savana lenhosa	6,93
Savana	67,62
Gramíneas	4,96
Predominância agrícola	5,69
Mosaico de áreas agrícolas/vegetação	8,32

Os dados de ET foram obtidos do produto MOD16A2 (MU et al., 2007; MU et al., 2011), que fornece estimativas de ET em escala global a partir dos dados MODIS com base na equação de Penman-Monteith, adaptada para a inserção de dados de sensoriamento remoto. Neste estudo foram utilizados os mosaicos agregados mensais e anuais desse produto, com resolução espacial de 1km.

Foram utilizados também dados do índice de vegetação NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (ROUSE et al., 1974) do produto MOD13A3, que consiste em mosaicos com as médias mensais do índice, com resolução espacial de 1km. O algoritmo empregado para o cálculo dos índices de vegetação utiliza informações sobre correção geométrica, máscara de nuvens, ângulo de visada e ângulo solar. Cada *pixel* tem um coeficiente de qualidade (QC), referente à quantidade de nuvens detectada nos valores de entrada (RUHOFF, 2011).

Os dados mensais e acumulados anuais de precipitação foram obtidos do produto 3B43 do TRMM, com resolução espacial de 30km. O produto 3B43 fornece estimativas de precipitação a partir de dados dos sensores *Precipitation Radar* (PR), o *Microwave Imager* (TMI) e o *Visible and Infrared Scanner* (VIRS) e dados de estações meteorológicas (HUFFMAN et al., 2007).

2.3. Processamento

Primeiramente os produtos MODIS (MOD13A3, MCD12Q1 e MOD16A2) foram obtidos no formato *Hierarchy Data Format* (HDF), com projeção Sinusoidal, e então foram convertidos para o formato *Tagged Image File Format* (TIFF) por meio da ferramenta *Modis Reprojection Tools* (MRT), desenvolvida pelo *Earth Resources Observation System Data Center* (EDC) e pelo LPDAAC. Para gerar o mosaico de cada produto recobrindo toda a área do Cerrado brasileiro foram necessários os *tiles* h12v10, h12v11, h13v09, h13v10 e h13h11.

Em cada ano foi gerado para cada classe de cobertura da terra MCD12Q1 os valores médios zonais mensal e anual de ET, NDVI e precipitação. Esse procedimento foi realizado por meio de *scripts* desenvolvidos na linguagem Python 2.7, utilizando a biblioteca Arcpy no ambiente do ArcGIS. Utilizando uma abordagem anual e mensal, os resultados foram gerados para cada classe de uso e cobertura da terra, verificando-se as correlações entre variáveis (para o contexto mensal) através da aplicação do teste t de *student*, com 5% de significância.

3. Resultados e Discussão

Os resultados foram gerados primeiramente para cada ano (entre 2001 e 2013), analisando-se posteriormente as variáveis no contexto mensal. A Figura 2 apresenta os mapas anuais de ET para o Cerrado brasileiro para os anos de 2001 a 2013.

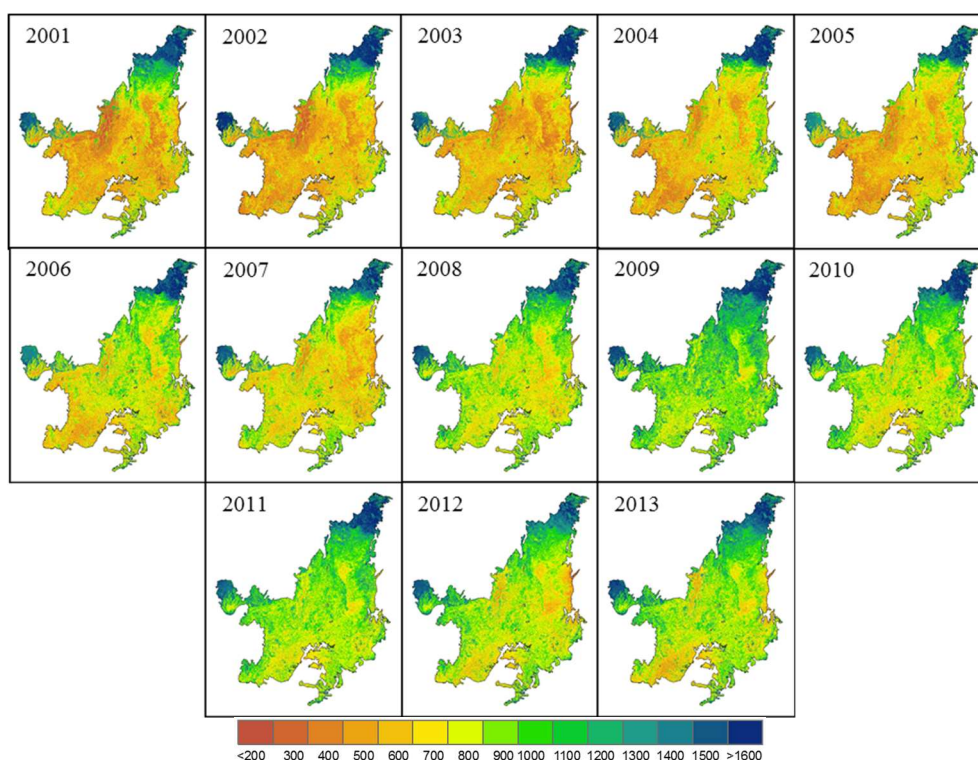


Figura 2. Mapas de Evapotranspiração anual (mm.ano^{-1}) no Cerrado brasileiro entre os anos 2001 e 2013, segundo o produto MOD16.

Verifica-se que há uma variação no padrão geral da ET no Cerrado: de 2001 a 2005 ocorrem menores valores (do que nos anos seguintes) na área central e sul do bioma, mais intensamente nas áreas classificadas como gramíneas (Figura 1b) entre o Mato Grosso e Tocantins, e também nas áreas agrícolas no oeste da Bahia e de Minas Gerais. Observa-se um aumento na ET na parte central, norte e nordeste no ano de 2006, sendo estes valores reduzidos nestas áreas em 2007 (ano que foi mais seco, com uma redução de 25% na precipitação, em relação a 2006) e voltando a aumentar nos anos subsequentes. Nota-se também uma tendência a aumento da ET nos anos posteriores, especialmente em 2009, onde no mapa há maior área na coloração verde (valores maiores do que 900 mm.ano^{-1}).

Aplicando-se a estatística zonal de média em cada classe de cobertura da terra, foram gerados os gráficos apresentados na Figura 3. Para a floresta ombrófila densa, verifica-se que os valores de ET são superiores aos das demais classes em toda a série temporal (variando entre 1250 e 1450 mm.ano^{-1}), o que também se ocorre para o NDVI, que para essa classe se mantém em torno de 0,80 ao longo dos anos avaliados. Quanto à precipitação, em média os valores também são superiores aos das outras classes, porém não se verifica um padrão quanto ao efeito do aumento ou diminuição na ET ou o NDVI nesse tipo de cobertura. No ano de 2007 (ainda

para floresta ombrófila densa), por exemplo, há uma queda de 440 mm.ano^{-1} na precipitação, não havendo ao mesmo tempo uma diminuição na ET ou no NDVI. Tal comportamento pode ser devido às condições mais favoráveis de armazenamento de água na superfície que esse tipo de cobertura oferece.

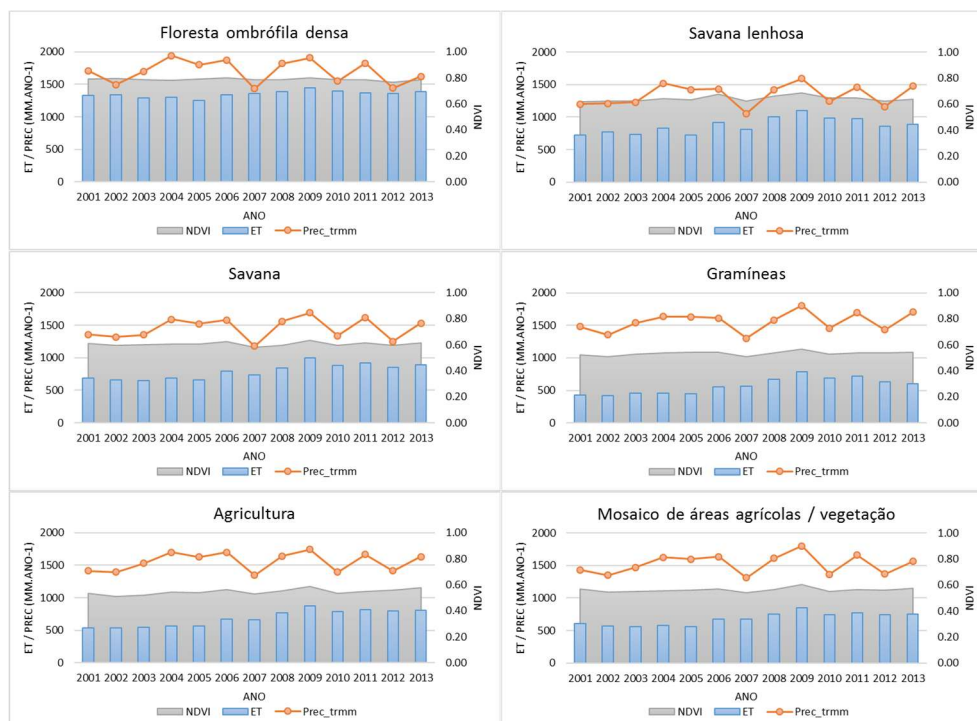


Figura 3. Gráficos de ET média (mm.ano^{-1}), precipitação média (mm.ano^{-1}) e NDVI em cada classe de cobertura da terra.

As classes de savana lenhosa e savana apresentam um comportamento similar quanto à ET, com maior variação (tendência ao aumento) ao longo dos anos do que a classe de Floresta ombrófila densa. Os valores de ET variam entre 720 e 1100 mm.dia^{-1} para savana lenhosa e 650 e 995 mm.dia^{-1} para savana, respectivamente. Porém o NDVI para savana lenhosa é ligeiramente superior ao da savana (6% em média). Isso se deve a maior quantidade de vegetação com alto vigor vegetativo classificada como savana lenhosa, que engloba as fitofisionomias como o Cerrado stricto sensu e Cerrado denso (FURLEY, 1999). Verifica-se ainda que a ET e o NDVI acompanham o comportamento da precipitação para essas classes, como no ano de 2009, em que um pico no valor de precipitação é acompanhado por maiores valores de ET e NDVI do que no ano anterior e posterior. Ressalta-se que para as classes de savana e savana lenhosa, 2007, 2010 e 2012 a redução de precipitação implicou em redução de ET, bem como numa leve redução do NDVI ao se comparar com as mesmas variáveis dos anos anterior e posterior.

As classes de Gramíneas, Agricultura e Mosaico de agricultura/vegetação natural, apresentam um comportamento similar entre si, com o NDVI médio anual variando entre 0,6 e 0,7 ao longo da série temporal. Em 2008 e 2009, em que há um acentuado aumento na precipitação (para todas as classes) com relação a 2007 (ano mais seco), nota-se que o NDVI e a ET apresentam também um aumento, evidenciando a relação que existe entre a quantidade de água disponível e o vigor vegetativo. Já em 2010, em que ocorreu uma queda na precipitação com relação a 2009, o NDVI e a ET apresentam uma ligeira redução em seus respectivos valores, porém mantendo-se invariantes nos anos seguintes.

Para as classes de agricultura e mosaico de agricultura/vegetação natural, a abordagem anual, em geral, não permite notar a variação temporal de ET e NDVI inerente a esses tipos de

vegetação, uma vez que os ciclos das culturas ocorrem em uma escala de meses. No entanto, em 2009 percebe-se que com o valor acima da média na precipitação os valores de ET e NDVI foram superiores aos demais anos analisados. Deste modo, foram gerados os gráficos apresentados na Figura 4, que mostram as séries temporais de ET, precipitação e NDVI mês a mês, para todas as classes de cobertura da terra avaliadas.

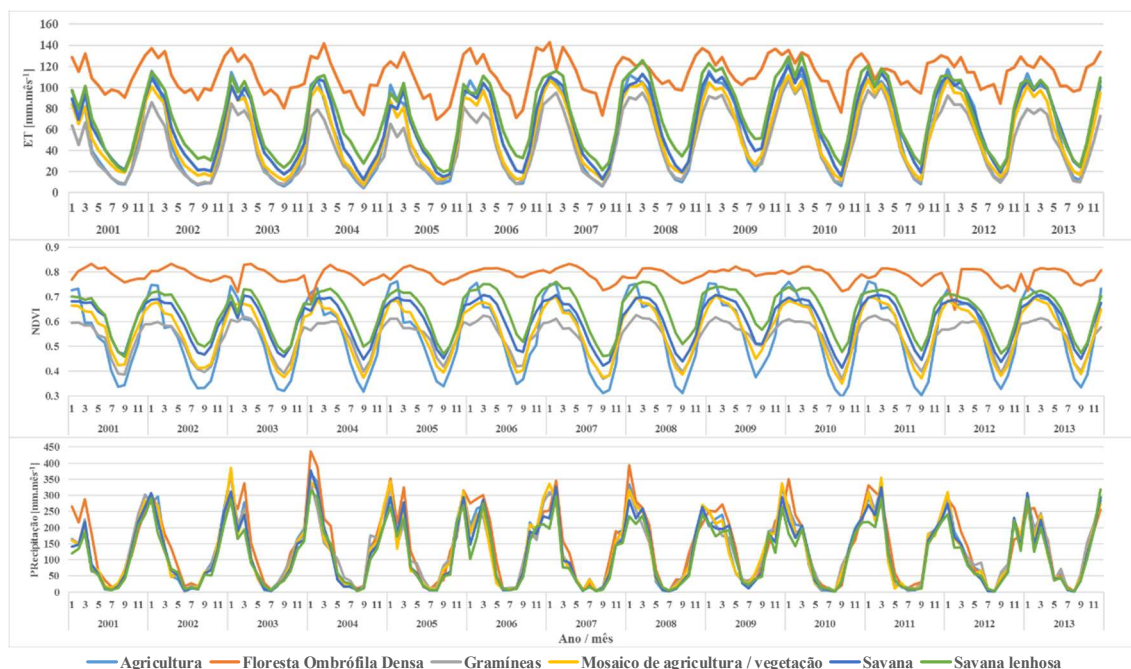


Figura 4. Séries temporais de ET (mm.mês^{-1}), NDVI e Precipitação (mm.mês^{-1}) para as seis classes de cobertura da terra avaliadas, para a área do bioma Cerrado.

Com relação a ET, a classe de Floresta ombrófila densa apresenta maiores valores de ET e NDVI, ainda que os valores de precipitação nessa classe estejam próximos aos das demais. O NDVI apresenta pouca oscilação ao longo da série, enquanto a ET varia em função da quantidade de água disponível (menores valores nos meses mais secos e maiores nos meses mais chuvosos), além de acompanhar a variação sazonal de incidência de radiação solar.

As classes de Savana lenhosa e Savana apresentam valores de ET e NDVI intermediários aos da Floresta ombrófila densa e das classes de Gramíneas e Agricultura, acompanhando diretamente (ainda que com um atraso de um a dois meses) os picos de incidência de precipitação em cada classe. A ET variou entre 20 mm.mês^{-1} (nas estações secas) e 130 mm.mês^{-1} (nas estações chuvosas), enquanto o NDVI variou entre 0,46 e 0,75 no período entre 2001 e 2013.

Os menores valores de ET são verificados para as classes de Gramíneas, Agricultura e Mosaico de agricultura/vegetação, em especial para os meses mais secos do ano, com valores inferiores a 10 mm.mês^{-1} (exceto para o ano de 2009, em que o valor mínimo de ET foi superior a 20 mm.mês^{-1} para essas três classes). Baruch e Fernandez (1993) afirmam que na estação seca as gramíneas reduzem drasticamente sua área verde devido à alta sensibilidade estomatal ao gradiente de pressão de vapor de água entre a superfície transpirante, o que leva a redução nas taxas de ET. Já nos meses chuvosos, as maiores taxas de ET das gramíneas provavelmente estão relacionadas à eficiência de produtividade das gramíneas nesse período.

Quanto às curvas para a classe de agricultura, nota-se que para o NDVI há uma queda abrupta em torno do mês de março, em todos os anos, que corresponde ao mês de colheita das culturas agrícolas plantadas durante da estação chuvosa. Essa queda não é tão evidente nas curvas de ET, possivelmente devido ao aumento da componente de evaporação da água do solo nessas regiões, uma vez que sem vegetação a retenção de água na superfície é menor.

Utilizando os dados mensais de ET, NDVI e Precipitação, foram geradas correlações para cada classe de cobertura da terra, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de coeficiente de correlação (R) e de determinação (R^2) obtidos nas regressões entre ET vs. NDVI e ET vs. Precipitação, para cada classe de cobertura da terra. Resultados de valor-p para $\alpha=0,05$.

Classe	ET vs. NDVI			ET vs. Precipitação		
	R	R^2	valor-p	R	R^2	valor-p
Floresta ombrófila densa	0,26	0,07	2,19E-03	0,76	0,58	5,70E-31
Savana lenhosa	0,89	0,79	4,62E-12	0,79	0,63	1,21E-34
Savana	0,90	0,80	4,14E-45	0,79	0,62	2,83E-34
Gramíneas	0,84	0,70	6,62E-40	0,77	0,59	8,08E-32
Agricultura	0,93	0,86	1,27E-62	0,78	0,61	4,13E-33
Mosaico agricultura / vegetação	0,91	0,83	3,82E-58	0,80	0,65	1,10E-36

Para verificar a existência de correlação linear entre cada par de variáveis, foram realizados testes t de *student*, com um nível confiança de 95% ($\alpha=0,05$), com a hipótese nula (H_0) de existência de correlação linear e hipótese H_1 de não existência da correlação linear. Em todas as classes verificou-se pelo teste t de *student* a relação linear entre as variáveis testadas, visto que H_0 foi aceita. Entretanto, para algumas comparações o ajuste não foi satisfatório (baixos valores de R^2), como o ocorrido na classe Floresta ombrófila densa ($R^2=0,07$), em que o NDVI não explica nem 10% da distribuição de evapotranspiração. Isto ocorre porque o NDVI se manteve praticamente constante no período estudado, conforme verificado na Figura 4.

Analisando primeiramente a correlação entre a ET e o NDVI, foram verificadas correlações mais consistentes para as classes de Agricultura e Mosaico de agricultura/vegetação, com valores de coeficiente de determinação (R^2) de 0,86 e 0,83, respectivamente. A melhor qualidade no ajuste da correlação se deve a maior variação que as variáveis apresentam nessas duas classes de cobertura da terra, uma vez que a cobertura agrícola varia desde o solo exposto até o solo totalmente coberto com a cultura a pleno vigor. Para savana lenhosa, savana e gramíneas os valores de R^2 foram menores do que da Agricultura e Mosaico de agricultura/vegetação, mas ainda assim os resultados mostram haver uma expressiva relação entre as duas variáveis para esses tipos de cobertura.

Comparando a ET com a precipitação, verifica-se que a correlação mais consistente se deu na classe de Mosaico de Agricultura/vegetação ($R^2=0,65$), enquanto o menor coeficiente de determinação ocorreu para a Floresta ombrófila densa ($R^2=0,58$), não havendo de fato grande diferença nas correlações para todas as classes analisadas. O comportamento similar da precipitação nas diferentes classes de cobertura da terra, conforme verificado na Figura 4 e confirmado nos resultados da Tabela 2, é consequência da resolução espacial do dado TRMM (30km) em comparação à do produto MCD12Q1 (1km), uma vez que um mesmo *pixel* pode estar presente nos cálculos de média zonal de diferentes classes presentes na área de 30 x 30km.

Deve-se levar em conta ainda que as incertezas associadas ao produto MCD12Q1, bem como alguns dados de entrada do MOD16 obtidos de outros produtos MODIS, que também são fontes de incerteza, como o MOD15 – índice de área foliar. Além disso, esse algoritmo não envolve outros parâmetros importantes na estimativa da ET, como a resistência da camada limite para a evaporação do solo (RUHOFF et al., 2011).

4. Conclusões

Este estudo permitiu avaliar o comportamento da ET em diferentes classes de cobertura da terra, bem como comparar o mesmo com o de outras variáveis. A ET se mostrou fortemente controlada pela sazonalidade, bem como pelo vigor vegetativo (expresso pelo índice de

vegetação NDVI) e disponibilidade hídrica. Entre as classes de cobertura da terra, a ET apresenta maiores valores de acordo com a quantidade de biomassa sobre a superfície, como no caso das florestas, que apresentam maior perda de água por ET em todos os meses avaliados, enquanto as áreas agrícolas, que passam parte do ano sem cobertura vegetal, apresentaram menores valores de ET, assim como as gramíneas, que na estação seca apresentam ET baixa.

Dessa forma, deve-se levar em conta a influência do tipo de cobertura no balanço hídrico das regiões do Cerrado, uma vez que as mudanças de cobertura da terra são intensas neste bioma, com cada vez mais áreas sendo convertidas para o uso agrícola.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos (Processo 140068/2016-3).

Referências Bibliográficas

- Baruch, Z.; Fernandez, D.S. Water relations of native and introduced C4 grasses in a neotropical savanna. **Oecologia** 96, p.179-185, 1993.
- Brasil, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2014**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: < http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf >. Acesso em: 02 ago. 2015.
- Friedl, M. A.; Sulla-Menashe, D.; Tan, B.; Schneider, A.; Ramankutty, N.; Sibley, A.; Huang, X. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 168-182, 2010.
- Furley, P. A. The nature and diversity of Neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados, **Global Ecology and Biogeography**, v.8, p.223-241, 1999.
- Grecchi, R.C.; Gwyn, Q.H.J.; Bénié, G.B.; Formaggio, A.R.; Fahl, F.C. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. **Applied Geography**, v.55, p.300-312, 2014.
- Huffman, G. J.; Adler, R. F.; Bolvin, D. T.; Gu, G.; Nelkin, E. J.; Bowman, K. P.; Hong, Y.; Stocker, E. F.; Wolff, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, 2007.
- Mu, Q.; Heinsch, F.A.; Zhao, M.; Running, S.W. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, n. 4, p. 519-536, 2007.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011.
- Oliveira, P.T.S.; Wendland, E.; Nearing, M.A.; Scott, R.L.; Rosolem, R.; Rocha H.R. The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian Cerrado. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.19, p.2899-2910, 2015.
- Ramankutty, N.; Foley, J. A.; Olejniczak, N. J. People on the land: changes in global population and croplands during the 20th century. **Ambio**, v.31, n.4, p.251-257, 2002.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., 1973. **Proceedings...** Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309-317. (NASA SP-351).
- Ruhoff, A. L. **Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. 2011. 162p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- Ruhoff, A. L.; Paz, A. R.; Collischonn, W.; Aragão, L. E. O. C.; Rocha, H. R.; Malhi, Y. S. A MODIS-Based Energy Balance to Estimate Evapotranspiration for Clear-Sky Days in Brazilian Tropical Savannas. **Remote Sensing**, v.4, n.12, p.703-725, 2012.
- Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L. S.; Ferreira, L. G. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007, 33p.
- Silva, B. B.; Wilcox, B. P.; Silva, V. P. R.; Montenegro, S. M. G. L.; Oliveira, L.M.M. Changes to the energy budget and evapotranspiration following conversion of tropical savannas to agricultural lands in São Paulo State, Brazil. **Ecohydrology**, (online) 2014.