

Modificações no uso e cobertura do solo e seus efeitos na oscilação do nível freático em uma área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) analisadas a partir de dados de precipitação e séries EVI (Índice de Vegetação Melhorada)

Bruna Camargo Soldera¹
Paula Oddone Souza²
Rodrigo Lilla Manziane²

¹Geógrafa. Pós-graduanda em Agronomia, Programa Irrigação e Drenagem - UNESP/Botucatu. Rua José Barbosa de Barros, 1780 CEP: 18610-307, Botucatu – SP, Brasil. Tel: +55 14 3880-7132 email: brusoldera@hotmail.com

²Bióloga. Pós-graduanda em Agronomia, Programa Irrigação e Drenagem - UNESP/Botucatu. Rua José Barbosa de Barros, 1780 CEP: 18610-307, Botucatu – SP, Brasil. Tel: +55 14 3880-7132 email: paddones@yahoo.com.br

²Professor Dr., UNESP/Ourinhos. Av. Vitalina Marcusso, 1500 CEP: 19210-206 Ourinhos – SP, Brasil. email: manziane@ourinhos.unesp.br

ABSTRACT: The land use and occupation and the activities in geographical space determine the pressure on water resources, and consequently changes and pollution generated in water bodies. In areas where water use is done continuously, the available water is important for activities planning and development. In parallel, land use and occupation by agriculture determine the degree of pressure of activities on water resources. This becomes more evident in strategic water reserves such as groundwater. This study examined the similarities between the spectral response of different crops using the EVI (Enhanced Vegetation Index), seasonal precipitation patterns and groundwater levels oscillations calibrated using the PIRFICT model. The study area is located in Ribeirão da Onça, Brotas / SP-Brazil. This area presents intense agricultural use and is a recharge area of the Guarani Aquifer System (GAS) due arenite outcrops. The results demonstrate that EVI time series behavior was influenced by the type of crop in the area and the management of these cultures. Direct responses of precipitation in the water table and the soil coverage change influenced both EVI and groundwater time series.

Palavras – chave: monitoramento; sensoriamento remoto; MODIS; recurso hídrico subterrâneo.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao intenso desenvolvimento socioeconômico que estamos vivenciando, a mudança do uso e ocupação da terra está sofrendo constantes alterações, e em países que se encontram em desenvolvimento este impacto é ainda maior, devido à falta de planejamento e gestão adequada do território (ANDERSON *et al.*, 2005). De acordo com estudos desenvolvidos por Lambin (1997) *apud* Anderson *et al.* (2005) o conhecimento e o entendimento destes processos ainda estão muito fragmentados para avaliar e estimar o vasto impacto destas mudanças nos sistemas naturais e humanos. As alterações ocorridas na cobertura do solo podem trazer mudanças na estrutura do solo afetando de forma indireta o recurso hídrico, em especial o subterrâneo. Problemas de qualidade e quantidade de água são evitados de maneira eficiente por meio de ações que focalizem a interação do sistema solo – planta – água – atmosfera de modo que um influência a qualidade e a quantidade do outro.

Ramos (2009) menciona que o lençol freático serve como fornecimento de água para as atividades humanas, carrega sais, nutrientes e poluentes oriundos de atividades agrícolas, industriais e minerações, sendo necessário um melhor conhecimento dos fatores associados a ele, que possam gerar tecnologias para potencializar o uso sustentável e minimizar os impactos sobre os mesmos. A avaliação das condições em que o manancial subterrâneo se encontra é de suma importância para

desenvolver medidas de proteção e manejo sustentável, e Paterniani (2006) complementa que é evidente a necessidade de estudos para maior compreensão do estado do recurso hídrico subterrâneo e o desenvolvimento de métodos simples para monitorar os níveis freáticos.

A recarga do aquífero é variável no tempo e no espaço, por razões que envolvem o uso da terra, cobertura do solo e a sazonalidade do regime pluviométrico. Isto irá alterar parâmetros que controlam a recarga, tais como evapotranspiração, estrutura do solo e profundidade de raízes (SCANLON et al., 2005; VAERET et al., 2009; TANIKAWA e MANZIONE, 2011). Desta forma a análise da flutuação do lençol freático relacionada a diferentes tipos cobertura do solo e a precipitação é importante na implantação de manejo sustentável, tanto para o uso do solo como para exploração da água subterrânea.

Atualmente o sensoriamento remoto orbital é um importante instrumento para monitorar os recursos naturais do globo, e isto se tornou possível devido à disposição de dados sobre áreas extensas (COURA, 2007). Assim para que a comunidade científica pudesse entender e modelar as dinâmicas do globo houve a necessidade de criar informações a respeito dos ecossistemas e interfaces humanas nos ciclos atmosféricos, terrestres e oceânicos com maior precisão, para diferenciar as tendências a curto e longo prazo, também fenômenos de ordem global e regional. Os dados deveriam ser colhidos em períodos de tempo reduzidos e relativamente longos, e com base nestas necessidades foram desenvolvidas novas ferramentas para a coleta destes dados, e o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) foi uma das mais eficientes ferramentas criadas para atender estas necessidades (ANDERSON et al., 2003).

O sensor MODIS está a bordo do satélite TERRA, foi lançado no ano de 1999 e começou a coletar informações a partir do ano de 2000 e do satélite AQUA que foi lançado no ano de 2002, estes dois satélites se complementam em relação à distribuição dos dados. Este sensor possui 36 bandas espectrais e estão locadas em função do comprimento de onda, que segundo Strahler et al. (1996) fornece elevada sensibilidade radiométrica, oferecendo uma boa resposta para cada banda. O autor afirma que o objetivo dos produtos originados pelo sistema MODIS é a quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, processos naturais e antrópicos, dando assistência aos diversos modelos regionais e globais existentes. Dentre os produtos MODIS, o MODIS 13 trabalha com índices de vegetação e fornece checagens de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global para monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte a detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia (ANDERSON et al., 2003). O MODIS 13 tem dois índices de vegetação, o índice da diferença normalizada (NDVI) que é sensível a clorofila e índice de vegetação melhorada (EVI) sensível à variação na resposta estrutural do dossel, abrangendo o índice de área foliar (IAF), fisionomia da planta e disposição do dossel (Huete et al., 1997), sendo que os dados possuem resolução espaciais de 250 m, 500 m e 1 km, e período de 16 dias de imageamento.

EVI foi criado para melhorar o sinal de vegetação, tornando-o mais eficiente à sensibilidade em locais com maiores densidades de biomassa, e monitoramento através de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas. De acordo com Justice et al. (1998) apud Coura (2007) a fórmula para o cálculo e os significados dos parâmetros podem ser observados a seguir:

$$EVI = G (\rho_{IVP} - \rho_{Vermelho}) / (L + \rho_{IVP} + C_1 \times \rho_{Vermelho} - C_2 \times \rho_{Azul}) \quad (1)$$

Onde ρ_{IVP} é a reflectância do infravermelho próximo; $\rho_{Vermelho}$ é a reflectância no vermelho; ρ_{Azul} a reflectância no azul; G o fator de ganho do solo, cujo

valor é 2,5; L o fator de ajuste para o solo, cujo valor é 1; e C1 e C2 é o coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera, cujos valores são 6 e 7,5.

O objetivo do trabalho foi verificar semelhança no comportamento de séries de observações da flutuação do nível freático calibradas a partir do modelo PIRFICT (*Predefined Impulse Response Function In Continuous Time*) (VON ASMUTH *et al.*, 2002), com EVI (Índice de Vegetação Melhorada) e a sazonalidade do regime pluviométrico em uma área que passou por mudança no uso do solo de cana-de-açúcar para citros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada encontra-se no município de Brotas/SP, na Bacia do Ribeirão da Onça, entre os paralelos 22°10' e 22°15' de latitude sul e entre os meridianos 47°55' e 48°00' de longitude oeste (WENDLAND *et al.*, 2007). Esta Bacia está sujeita a utilização econômica, apresentando diversos cultivos como cana-de-açúcar, citros, eucalipto e pastagens, além de pequenos remanescentes de cerrado e mata nativa junto às drenagens e é uma área de afloramento do Aquífero Guarani. Na Figura 1 pode-se visualizar a localização da área de estudo.

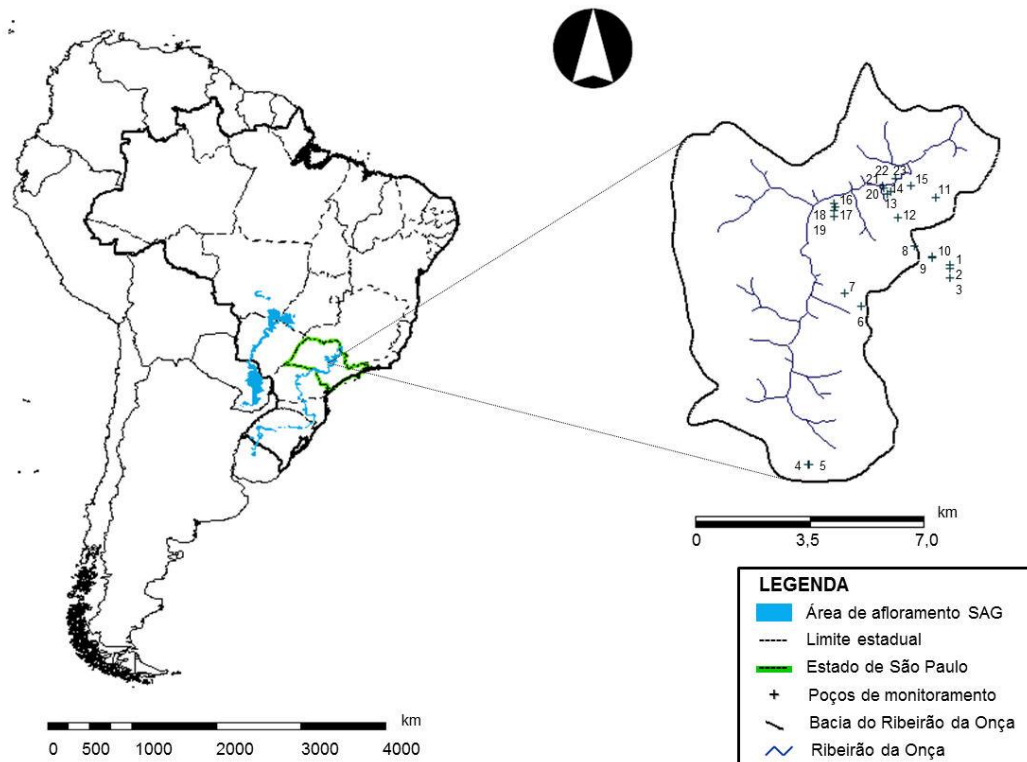


Figura 1: Localização da Bacia do Ribeirão da Onça, Brotas/SP

Informações sobre a dinâmica do lençol freático são importantes para balancear os interesses econômicos e ecológicos quanto ao uso do solo e da água (VON ASMUTH & KNOTTERS, 2004). Selecionou-se um poço de monitoramento de nível freático (Poço 8), sendo que a cultura predominante na área até o ano de 2005 era o citros e houve o corte na transição dos anos de 2005 e 2006 para o plantio de cana-de-açúcar. Os dados de oscilações dos níveis formam uma série com início em abril de 2004 até julho de 2011.

Utilizou-se o modelo PIRFICT (*Predefined Impulse Response Function In Continuous Time*) (VON ASMUTH *et al.*, 2002), cujo sistema transforma séries de

observações de entrada (variáveis explicativas, como precipitação, evapotranspiração potencial) em séries de saída (variável de resposta, no caso níveis freáticos) para calibração das séries. Neste modelo o pulso de entrada é transformado em uma série de saída por uma função de transferência, essa transformação é completamente governada pela função IR (Impulso e Resposta). Originalmente desenvolvido para explicar oscilação de níveis nos diques holandeses, o modelo PIRFICT foi testado para as condições brasileiras demonstrando boas calibrações em aquíferos livres e oscilações do nível freático nas interfaces das zonas saturadas e não saturadas do solo (MANZIONE *et al.*, 2010; SOLDERA & MANZIONE, 2012; MANZIONE *et al.*, 2012)

Foram realizadas calibrações utilizando combinações de séries temporais de precipitação para posterior análise da correlação existente entre a oscilação dos níveis freáticos com a mudança de cobertura do solo avaliada através do EVI. Segundo Justice *et al.* (1998) *apud* Coura (2007), o EVI busca otimizar o sinal da vegetação, intensificando a resposta em locais de maior concentração de biomassa, melhorando as interferências do solo e atmosféricas nas respostas. As séries temporais do EVI correspondem aos anos de 2004 a 2011 e apresenta resolução espacial de 250 metros, permitindo deste modo, realizar uma avaliação consistente ao redor do poço de monitoramento. Os gráficos que representam o histórico temporal do EVI e da precipitação foram obtidas no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/mapa.php>).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 pode-se visualizar e analisar a relação existente entre o EVI, precipitação e oscilação do lençol freático para o Poço 8.

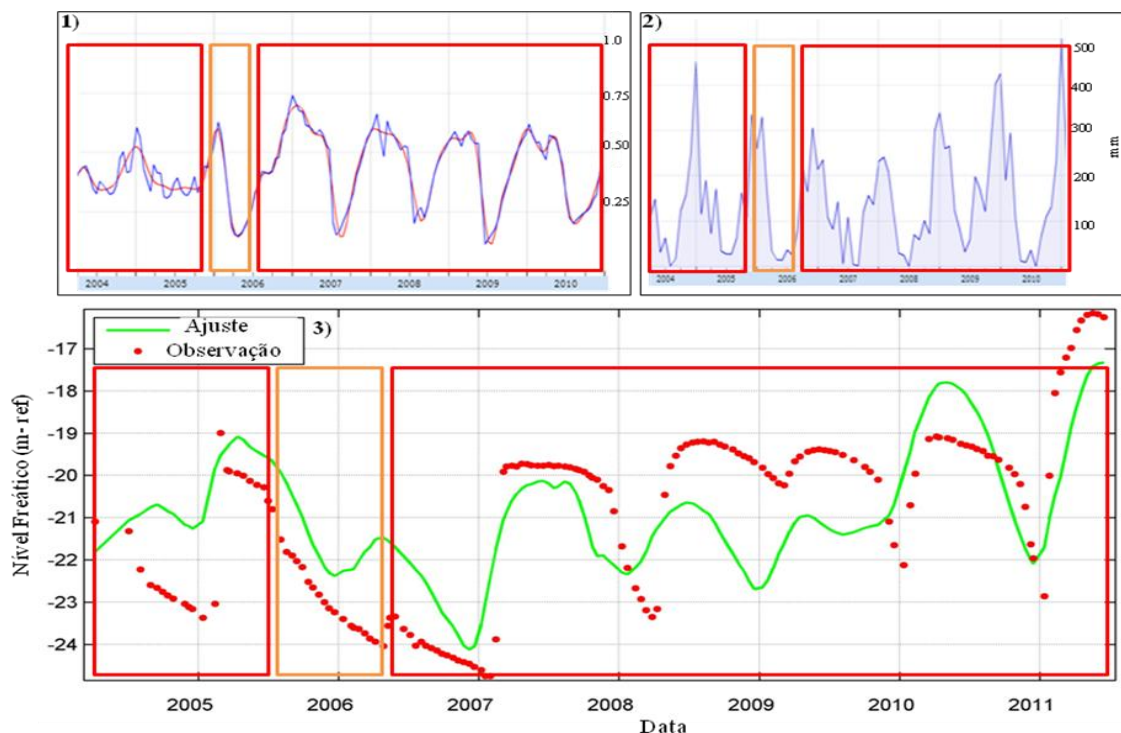


Figura 2. Gráfico da série temporal de EVI (1), Precipitação mensal acumulada (mm) (2), Calibração dos níveis freáticos observados pelo modelo PIRFICT do Poço 8 (3), o eixo das abscissas representa a evolução temporal (anos).

Em 2004 e 2005 a área estava sendo cultivada com citros. Pode-se observar que houve uma elevação dos níveis do lençol nesse período, chegando a um aumento de aproximadamente 3 metros no início de 2005. Neste mesmo intervalo a taxa de EVI teve valores entre 0,25 e 0,60, indicando que o dossel da cultura estava formado e as

plantas em plena produção. Houve uma correlação entre os índices de precipitação, EVI e a oscilação do lençol freático, uma vez que quando há um aumento da pluviosidade há aumento na produção de biomassa e consequentemente elevação do EVI, e por a área ser local de afloramento do SAG a precipitação acarreta respostas rápidas e diretas no aquífero.

Nos anos de 2005 e 2006 houve o corte do citros e isto fez com que o EVI diminuísse, pois o solo estava exposto e não havia vegetação. O nível do lençol freático sofreu diminuição significativa e isto se deve ao fato da intensidade da precipitação ter sido baixo, inferior a 100 mm. A partir do final de 2006 o EVI e o nível do aquífero começam a subir novamente, por causa plantio de cana-de-açúcar e aumento da precipitação. Percebe-se também uma clara mudança no comportamento das oscilações do EVI. Sendo a cana-de-açúcar uma planta monocotiledônea, seu sistema radicular não atinge grandes profundidades se comparada a cultura de citros por exemplo. Sua área de absorção de água está associada a horizontes mais superficiais, e portando, o crescimento de sua biomassa está ligada a captação de água nos perfis mais rasos do solo. Desta forma as oscilações dos níveis são mais suaves e menos profundas. As raízes mais profundas da cana-de-açúcar são voltadas a fixação, não explorando grandes profundidades quanto à questão hídrica.

Também podemos observar que no primeiro ano de plantio de cana-de-açúcar (meio do ano de 2006 até o final de 2007) o ciclo foi de um ano e meio (cana planta), sendo seguido por ciclo de um ano (cana soca). Ao analisarmos o gráfico de EVI visualizamos uma oscilação mais marcada se comparada com os anos posteriores, com valores mínimos de 0,1 no corte e rebrota e máximo de 0,7 na maturação e colheita. Os níveis freáticos também passam a flutuar mais próximo a superfície, pela exigência diferenciada da cana-de-açúcar em relação ao citros. Os anos em que se cultivou cana-de-açúcar também foram mais chuvosos, o que contribuiu para isso. Mesmo assim, as amplitudes nas variações do nível foram menores durante o ciclo de cultivo da cana-de-açúcar quando comparadas ao cultivo com citros. O sistema radicular formado no pomar cítrico contribui para diminuir a taxa de recarga, interceptando grande parte da água que infiltra e se movimenta pela zona vadosa.

Modificações no uso e manejo da terra geram perturbações inevitáveis no ciclo hidrológico local e nos recursos hídricos disponíveis. A utilização dos mananciais hídricos em tempo integral nessas regiões através dos sistemas de irrigação tem respostas no meio e na vegetação original remanescente, alterando todo equilíbrio do sistema solo – planta – água - atmosfera. E o planejamento da utilização das águas subterrâneas nem sempre é incluído nos planos de gerenciamento e gestão das águas, seja por falta de estudos em relação à dinâmica do sistema aquífero ou estratégias eficazes de monitoramento das reservas. Assim estudos complementares como este auxiliam na geração de informações para uma gestão eficiente de sistemas aquíferos e na aplicação de práticas agrícolas mais eficientes que minimizem perturbações nas reservas hídricas.

4 CONCLUSÕES

Através das análises realizadas, pode-se concluir que:

- O EVI pode ser relacionado com o tipo de cultura presente na área, o manejo destas culturas, e as variações sazonais, tais como época de plantio e colheita;
- A mudança no uso do solo alterou a resposta do EVI e do comportamento do lençol freático;
- A precipitação está intimamente ligada ao aumento do EVI e a dinâmica do aquífero;

- Recomenda-se continuar o monitoramento do lençol freático e analisar sua relação com o EVI para diferentes culturas e em maior escala temporal, para a melhor compreensão da dinâmica deste processo, e assim implantar políticas públicas eficientes, visando à produção sustentável em conjunto com a conservação dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à FAPESP (Processo # 2011-11484-3) e a Capes pelos auxílios financeiros que viabilizaram o desenvolvimento deste trabalho.

5 REFERÊNCIAS

ANDERSON, L. O. ; LATORRE, M. L. ; SHIMABUKURO, Y. E. ; ARAI, E. ; CARVALHO JUNIOR, O. A. **Sensor MODIS: uma abordagem geral.** 2003. Disponível em: < [http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2003/12.11.08.55/doc/publicacao . pdf](http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2003/12.11.08.55/doc/publicacao.pdf) >. Acesso em: 8 de Nov. de 2012.

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, YOSIO E.; DEFRIES, RUTH S.; MORTON, D.; ESPIRITO-SANTO, F.; JASINSKI, E.; HANSEN, M. C. . Utilização de dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento da cobertura e uso da terra. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 3443-3450.

COURA, S. M. C. **Mapeamento de vegetação do Estado de Minas Gerais utilizando dados MODIS.** 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José Dos Campos, 2007.

HUETE, A. R; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.;VAN LEEUWEN, W. A. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997. Disponível em: < http://ac.els-cdn.com/S0034425796001125/1-s2.0-S0034425796001125-main.pdf?_tid=5864e16a-2cc3-11e2-9bfd-0000aab0f01&acdnat=1352723008_5914e6a567b322bb11f544c5f65c9295 >. Acesso em: 07 de nov. de 2012.

MANZIONE, R. L.; KNOTTERS, M.; HEUVELINK, G. B. M.; VON ASMUTH, J. R.; CAMARA, G. Transfer function-noise modeling and spatial interpolation to evaluate the risk of extreme (shallow) water-table levels in the Brazilian Cerrados. **Hydrogeology Journal**, v.18, 2010. p. 1927-1938.

MANZIONE, R. L.; TANIKAWA, D. H.; WENDLAND, E. Stochastic simulation of time-series models combined with geostatistics to predict water-table scenarios in a Guarani Aquifer System outcrop area, Brazil. **Hydrogeology Journal**, v.20, 2012. p. 1239-1249.

RAMOS, G. J. A.; DIAS, H. C. T.; MAFFIA, V. P. ; SOUZA E SILVA, W. A. Monitoramento do nível do lençol freático do Rio Gualaxo do Norte, Mariana MG. In: **Anais: 2 Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul**, 2009, Taubaté, SP. Anais do 2 de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, 2009, Taubaté, 2009. Disponível em: < <http://www.ipabh.org/serhidro/anais/anais2009/doc/pdfs/p92.pdf> >. Acesso em: 05 de nov. de 2012.

PATERNIANI, J. E. S. **Impactos Ambientais da Atividade Agrícola sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas**. 2006. (Seminário). Disponível em: < <http://www.upf.br/coaj u/download/impactoambientalII.pdf> >. Acesso em: 08 de Nov. de 2012.

SCANLON, B. R.; REEDY, R. C.; STONESTROM, D. A.; PRUDIC, D. E.; DENNEHY, K. F. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1577-1593, 2005. Disponível em: < http://www.beg.utexas.edu/staffinfo/Scanlon_pdf/Scanlon GCB05.pdf >. Acesso em: 07 de nov. de 2012.

SOLDERA, B. C.; MANZIONE, R. L. Modelagem de níveis freáticos no Sistema Aquífero Bauru como ferramenta na gestão de recursos hídricos subterrâneos. **Ciência Geográfica**, vol. 16 (1), 2012. p. 54-61.

STRAHLER, A; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIN, E.; MOODY, A. MODIS land cover and land-cover change products algorithm theoretical basis document (ATBD). **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 1254-1269, 1999. Disponível em: < http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod29.pdf >. Acesso em: 07 de nov. de 2012.

VAERET, L.; KELBE, B.; HALDORSEN, S.; TAYLOR, R. H. A modeling study of the effects of land management and climatic variations on groundwater inflow to Lake St Lucia, South Africa. **Hydrogeology Journal**, v. 17, p. 1949-1967, 2009.

VON ASMUTH, J. R.; BIERKENS, M. F. P.; MAAS, C. Transfer function noise modelling in continuous time using predefined impulse response functions. **Water Resources Research**, v. 38 (12), 2002. p. 23.1-23.12.

VON ASMUTH, J. R.; KNOTTERS, M. Characterising groundwater dynamics based on a system identification approach. **Journal of Hydrology**, v. 296, 2004. p. 34-118.

WENDLAND, E., BARRETO, C. E. A. G., GOMES, L. H. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. **Journal of Hydrology**, v.342, 2007. p. 261-269.