

AVALIAÇÃO DE UM MODELO HÍBRIDO DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO UTILIZANDO LANDSAT 8 E DADOS TRMM

R.W.D. Bosquilia¹, C.M.U. Neale², S.N. Duarte³

RESUMO: Para quantificar o balanço hídrico em bacias hidrográficas, é necessário ter-se conhecimento, em detalhes, dos componentes do ciclo hidrológico e, principalmente, da evapotranspiração (ET). Para essa estimativa, resolveu-se utilizar o Modelo de Duas Fontes (TSEB). Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a estimativa de ETr realizada pelo modelo híbrido presente no software SETMI utilizando-se dados de vazão obtidos à campo e dados de chuva do satélite TRMM/NASA em três bacias representativas da região de Corumbataí/SP, para um ano hidrológico completo. Aplicou-se, também, uma nova metodologia de integralização dos dados de ETr horários em mensais e anuais. Foram obtidos os valores de precipitação média na bacia pela imagem de satélite TRMM/NASA e de vazão no exutório de cada bacia para que a ET fosse calculada por meio do balanço hídrico simplificado. Posteriormente, os dados de ET mensais e anuais obtidos por meio da aplicação do TSEB ajustado nas imagens do Landsat 8 foram comparados com os resultados do balanço hídrico. Assim, concluiu-se que tal ajuste apresentou dados de ET mensal e anual estatisticamente correlacionados e semelhantes aos obtidos por intermédio do balanço hídrico.

PALAVRAS-CHAVE: imagem de satélite, precipitação, geotecnologias.

EVALUATION OF A HYBRID MODEL OF EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION USING LANDSAT 8 AND TRMM DATA

SUMMARY: To quantify the water balance in watersheds, it is necessary to know, in detail, the components of the hydrological cycle and, especially, evapotranspiration (ET). For this estimation, was used the Two-Source Energy Balance (TSEB). This study evaluates the ETa estimation performed by the hybrid ET model call SETMI, using flow data obtained in the field and rain data from TRMM/NASA satellite in three representative watersheds in Corumbataí/SP, Brazil, for one full hydrological year. Also, was applied a new methodology to

¹ Prof. Doutor, UTFPR Dois Vizinhos, Estrada para Boa Esperança, km 4, CEP 85660-000, Dois Vizinhos, Paraná, Fone (46) 35368419. E-mail: raonibosquilia@utfpr.edu.br.

² Prof. Doutor, Water for Food Institute, University of Nebraska Lincoln, Lincoln, NE, EUA.

³ Prof. Doutor, Depto de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

convert ETa hourly data to monthly and annual data. The mean values of precipitation were obtained by the TRMM/NASA satellite image and the flow data were obtained in outfall of each watershed to estimate the ET through the simplified water balance. Later, monthly and yearly ET data from applying the TSEB to the Landsat 8 images were compared with the results of the water balance. We concluded that the adjustment presented to monthly and yearly ET data was statistically correlated and similar to those obtained through a simplified annual water balance.

KEYWORDS: satellite imagery, precipitation, geotechnologies.

INTRODUÇÃO

A água é o bem mais importante para a vida na Terra e, devido a isso, a preocupação com os recursos hídricos vem aumentando cada vez mais na sociedade.

Sabe-se que o Setor Agrícola é o maior consumidor de água, alcançando cerca de 69% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos (Moreira et al., 2010). Diante disso, o uso racional da água na Agricultura e o desenvolvimento de novas tecnologias para o planejamento e otimização dos recursos hídricos em bacias hidrográficas devem ser considerados metas prioritárias, tanto nos órgãos públicos quanto no meio acadêmico.

Para isso, é necessário ter conhecimento em detalhes dos componentes do ciclo hidrológico e, principalmente, da evapotranspiração. Pereira et al. (1997) definem a evapotranspiração como um elemento climático fundamental, composto de dois processos: a evaporação da água na superfície do solo e a transpiração da vegetação. A evapotranspiração é fortemente influenciada pelo tipo de vegetação, pelo manejo agrícola, pela gestão ambiental e, principalmente, por parâmetros climáticos (Allen et al., 1989; Allen et al., 1994), incluindo radiação solar, vento, temperatura e umidade relativa do ar.

Para se estimar a evapotranspiração, Moreira et al. (2010) comentam que os métodos tradicionais representam análises pontuais utilizando o balanço hídrico no solo, por exemplo, podendo não condizer com o resultado a ser apresentado pela análise da cultura espacialmente. Desta forma, outros métodos vêm sendo desenvolvidos, principalmente em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) utilizando-se de imagens de satélite, visando, assim, obter dados espacializados e reais do instante da obtenção da cena, como, por exemplo, o Modelo de Duas Fontes (TSEB).

Timmermans et al. (2007), em variados cenários e culturas, utilizaram o TSEB e concluíram que tal modelo apresentou resultados mais reais e específicos para cada cultura e para o solo exposto do que o modelo de uma fonte, já que o TSEB faz essa análise separadamente. Assim, o TSEB seria mais indicado para estudos com o uso e ocupação do solo previamente determinados em áreas conhecidas, como em bacias hidrográficas, por exemplo.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo aplicar uma nova metodologia de para a estimativa de evapotranspiração, combinando dados de origem orbital, utilizando o TSEB. Pretendeu-se avaliar e validar a estimativa da ET mensal e anual utilizando o TSEB em três bacias hidrográficas no Estado de São Paulo, Brasil, com dados orbitais de chuva e vazão monitorada a campo.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada está representada no fluxograma das etapas de trabalho presente na Figura 1.

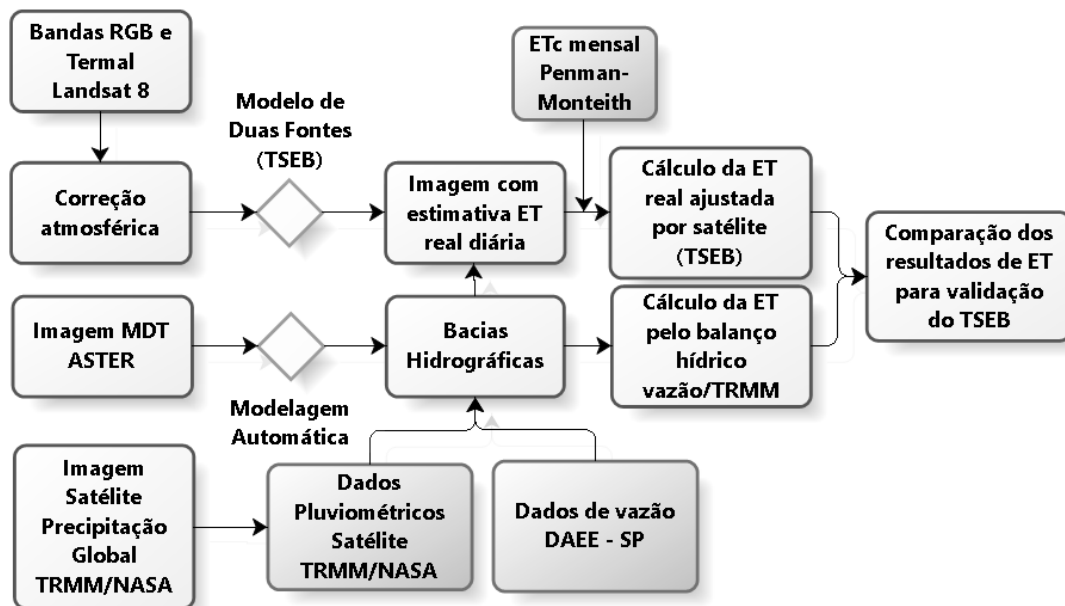


Figura 1. Fluxograma geral do trabalho

Para o presente trabalho, foram escolhidas três bacias hidrográficas monitoradas, onde existem estações pluviométricas e de medição de vazão no ponto de seção de controle (exutório) de cada bacia. Todas essas bacias se localizam na região de Corumbataí/SP (Figura 2).

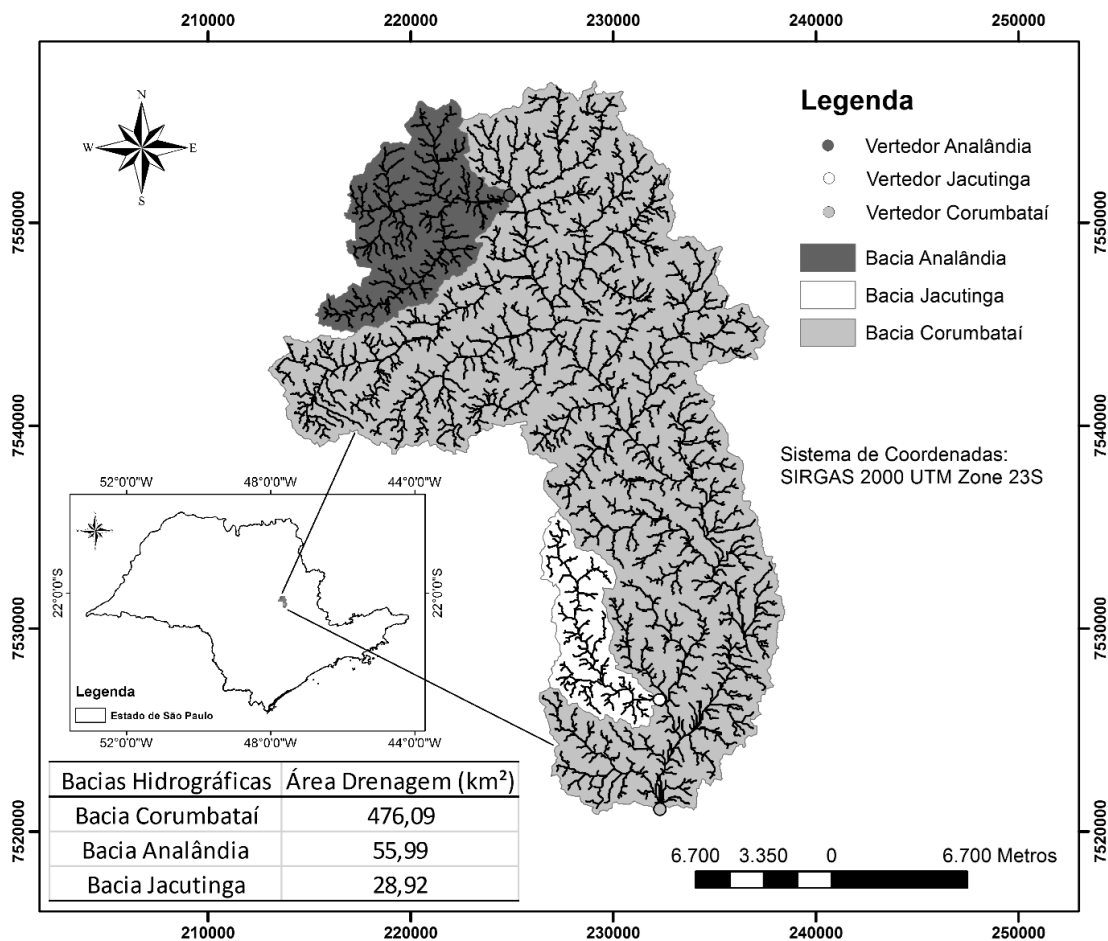


Figura 2. Localização das bacias hidrográficas estudadas no Estado de São Paulo

Como se observa na Figura 2, optou-se por três bacias próximas, sendo duas bacias menores (Bacias Analândia e Jacutinga) que se localizam inclusas em uma bacia maior (Bacia Corumbataí), para que, assim, fossem utilizados os mesmos dados meteorológicos de superfície e de satélite; além disso, as bacias possuem grande amplitude entre as áreas de drenagem, para que fosse possível realizar uma comparação e verificação do método em diferentes cenários.

As referidas bacias foram geradas a partir das coordenadas geográficas dos pontos de localização das seções de controle obtidas junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e utilizando a metodologia apresentada por Bosquilia (2014). Para a delimitação dessas bacias, utilizou-se o Modelo Digital de Terreno (MDT) com 30 metros de resolução espacial, obtido a partir do sensor orbital ASTER-GDEM.

A partir da rede de telemetria instalada e mantida pelo DAEE, foram utilizados dados vazão média mensal ($m^3.s^{-1}$, posteriormente transformados em $mm.mês^{-1}$) de um ano hidrológico completo (de abril de 2014 até março de 2015) para cada bacia, ou seja, uma sequência de dados de um período contínuo de doze meses, durante o qual ocorre um ciclo

anual climático completo. Custódio & Llamas (1976) também mostraram que um balanço hídrico anual a partir da análise da ET real pode auxiliar na análise de deficiências hídricas das culturas.

Já para a precipitação, optou-se pela utilização dos dados da missão orbital TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission), da NASA, a partir do produto 3B43, o qual apresenta dados de chuva mensal e com resolução espacial aproximada de 25 km em coordenadas projetadas.

Com os dados coletados, foram realizados os cálculos do balanço hídrico anual para as três bacias avaliadas, conforme a fórmula simplificada do balanço hídrico, onde é desprezado o valor da variação de armazenamento da água na bacia (Equação 1).

$$ET = P - Q \quad (1)$$

Em que,

ET - evapotranspiração calculada, mm

P – precipitação, mm

Q - vazão integrada no tempo da seção de controle da bacia, em mm.

Já para a obtenção dos dados de evapotranspiração por imagem de satélite, aplicou-se uma nova metodologia de estimativa mensal de ETr utilizando dados diários proposto por Bosquilia (2016), utilizando-se de um modelo híbrido do Modelo de Duas Fontes (Two Source Energy Balance – TSEB) (Norman et al., 1995; Li et al., 2005) programado no software SETMI (Spatial EvapoTranspiration Modeling Interface), descrito por Geli e Neale (2012).

Assim, obteve-se uma imagem do satélite Landsat 8 para cada mês do ano hidrológico do presente estudo (12 imagens), compreendendo a região das três bacias estudadas.

A nova metodologia aplicada permitiu extrapolar a estimativa da ET, que foi calculada por uma única imagem em uma data específica, para representar um mês inteiro, já que o dia de passagem do satélite poderia não representar o que ocorreu no ambiente na maior parte do mês (Bosquilia, 2016).

Dessa forma, os valores mensais de ET foram integralizados para uma série anual, obtida pela diferença do balanço hídrico e pela estimativa por satélite. Dessa maneira, avaliou-se a eficácia do Modelo de Duas Fontes (TSEB) em estimar a evapotranspiração pela imagem do satélite Landsat 8, em três bacias hidrográficas com áreas de drenagem distintas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com todo o processo realizado no presente trabalho, obteve-se, primeiramente, os dados mensais de evapotranspiração real ajustada pelo Modelo de Duas Fontes (TSEB), utilizando imagens do satélite Landsat 8, para os 12 meses estudados (Figura 3).

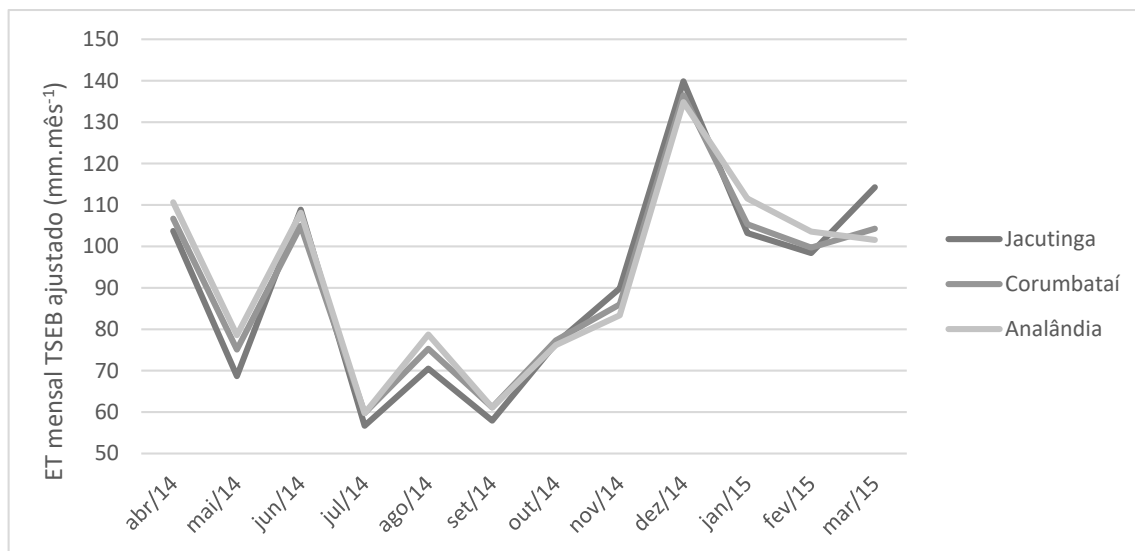


Figura 3. Valores de ET real mensal obtidos por intermédio do Modelo de Duas Fontes, ajustados pela metodologia proposta por Bosquilia (2016), para as três bacias estudadas.

Pela análise da Figura 3, foi possível observar que a variação mensal de ET real ajustada estimada pelo TSEB segue o padrão de chuvas da região, que apresenta duas estações definidas: um período seco de abril a setembro, com menos de 20% da precipitação anual e um período chuvoso de outubro a março, com mais de 80% da precipitação anual, como observado por Valente (2001). Adicionalmente, os resultados se mostraram bem semelhantes aos que ocorreram com a ET estimada pelo método tradicional (Penman-Monteith) (Monteith, 1965).

Comparando-se os resultados do TSEB com os obtidos pelo balanço hídrico, pode-se verificar que a estimativa de ET mensal não apresentou uma boa correlação entre as diferentes metodologias de estimativa. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que o período de um mês é muito pequeno para que todo o ciclo de Evapotranspiração-Precipitação-Escoamento se complete, podendo parte da água infiltrar no solo e demorar mais tempo para sair da bacia ao atingir o lençol freático. Com isso, recomenda-se, ao se propor um balanço hídrico simplificado, realizar o cálculo completo em um ano hidrológico, eliminando, assim, o problema com a variação do armazenamento subsuperficial e subterrâneo da bacia.

Dessa forma, integralizou-se todos os valores mensais em anual, obtendo-se, assim, os valores anuais de ET estimados pelas duas metodologias (Tabela 1) e o gráfico de dispersão dos resultados (Figura 4), a fim de se avaliar o grau de correlação linear entre os métodos.

Tabela 1

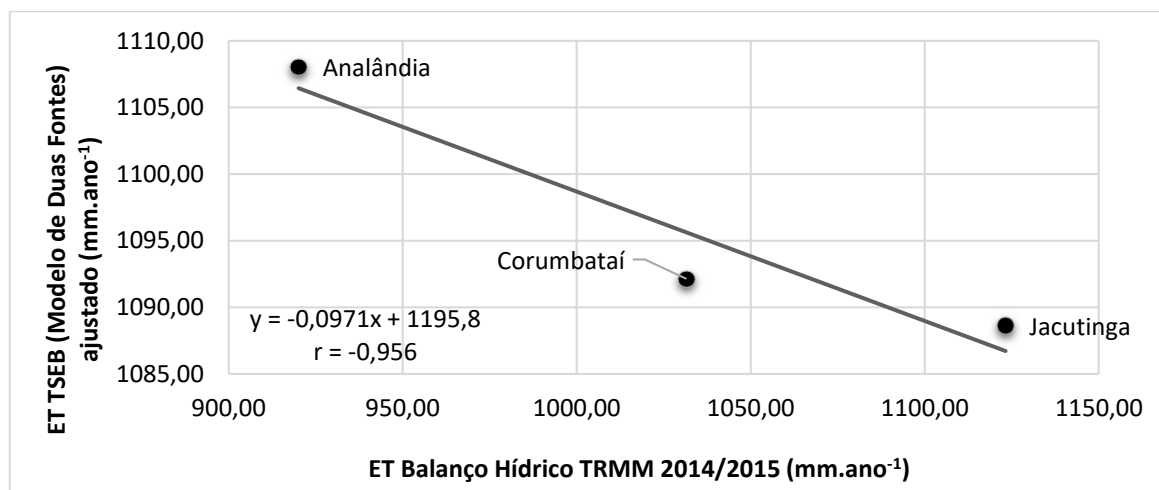


Figura 4. Gráfico de dispersão dos valores de ET anual estimados pelo Modelo de Duas Fontes (TSEB) ajustado e pelo balanço hídrico utilizando dados de precipitação TRMM, para o ano hidrológico de 2014/2015, nas três bacias estudadas.

Desse modo, analisando-se os resultados apresentados na Tabela 1 e Figura 4, pode-se observar que o coeficiente de correlação de Pearson foi de -0,965, mostrando uma correlação muito alta entre as variáveis (Dancey & Reidy, 2006; Cohen, 1988; Figueiredo Filho & Silva Júnior, 2010). Os valores brutos de ET anual ficaram em 8,56% na média das três bacias, sendo considerados ótimos, tendo em vista a dificuldade de obtenção dos dados de vazão a campo e da resolução espacial do satélite TRMM ser de 25km. Além disso, essa diferença encontrada pode ser explicada pelo fato de parte da água das bacias acabar ficando armazenada ou ser drenada para outro meio que não seja o curso d'água principal, por onde foi calculado o volume de escoamento anual.

Também, observando-se a Tabela 1, percebe-se que a bacia Analândia apresentou a maior variação em porcentagem. Isso pode ser explicado pelo relevo mais acidentado e pela altitude maior da região de Analândia-SP. Esse fato pode ter sido ocasionado pelas diferenças maiores de precipitação em certas partes da bacia, que as vezes podem não ter sido contabilizadas na imagem TRMM (pelo fato do satélite possuir uma resolução espacial muito alta, faltando sensibilidade para distinguir tal área).

Com isso, acredita-se que o modelo ajustado utilizado pelo presente trabalho possa ser utilizado como uma nova metodologia para utilizar a evapotranspiração real no instante de passagem do satélite como base para a obtenção de valores de ET real mensal e anual.

Portanto, existe a potencialidade dessa metodologia gerar imagens espacializadas de ET real, mensal e anual, que possam apresentar-se diferenciadas para cada tipo de cobertura vegetal existente nessas imagens.

CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas com a metodologia de ajuste utilizada na estimativa de evapotranspiração (ET) pelo Modelo de Duas Fontes, para as três bacias hidrográficas, foi possível concluir que tal ajuste permitiu obter-se valores de ET anual estatisticamente correlacionados e, assim, semelhantes aos obtidos por intermédio de balanço hídrico anual simplificado utilizando valores de precipitação estimados por imagem de satélite.

Deste modo, conclui-se que o ajuste proposto ao modelo foi validado, e tem potencialidade para ser utilizado, posteriormente, na obtenção de dados de evapotranspiração mensal e anual espacializados para grandes áreas, e diferenciados para cada tipo de uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 650-662, 1989.

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; PERRIER, A. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43, n. 2, p. 35-91, 1994.

BOSQUILIA, R.W.D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de drenagens e nascentes**. 2014. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-04022014-094241/>>. Acesso em: 2017-02-08.

BOSQUILIA, R.W.D. **Modelagem espacial da evapotranspiração utilizando Modelo de Duas Fontes em ambiente SIG para florestas e cana-de-açúcar**. 2016. 172 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-03102016-165340/>>. Acesso em: 2017-02-08.

- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale: Erlbaum, 1988. 590 p.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrología subterránea**. Barcelona: Ed. Omega, 1976. 1157 p.
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608 p.
- FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson. **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, p. 115-146, 2009.
- GELI, H.M.E.; NEALE, C.M.U. Spatial EvapoTranspiration Modeling Interface (SETMI). **IAHS Proceedings and Reports**, Wallingford, v. 352, p. 171-174, 2012.
- LI, F.; KUSTAS, W.P.; PRUEGER, J.H.; NEALE, C.M.U.; JACKSON, T.J. Utility of remote sensing based two-source energy balance model under low and high vegetation cover conditions. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 6, n. 6, p. 878–891, 2005.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: SYMPOSIUM OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, 6., 1964, Swansea. **Proceedings...** Cambridge: Cambridge University Press, 1965. p. 205-234.
- MOREIRA, L.C.J.; DURAND, B.J.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M. Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1148-1159, 2010.
- NORMAN, J.M.; KUSTAS W.P.; HUMES, K.S. A two-source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Boston, v. 77, p. 263–293, 1995.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- TIMMERMANS, W.; KUSTAS, W.P.; ANDERSON, M.C.; FRENCH, A.N. An intercomparison of the surface energy balance algorithm for land (SEBAL) and the two-source energy balance (TSEB) modeling schemes. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 108, p. 369-384, 2007.
- VALENTE, R.O.A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2001. 162 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura

Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-16042004-145533/>>. Acesso em: 2017-02-08.

Tabela 1. Estimativa anual de ET pelo balanço hídrico utilizando precipitação TRMM e pelo Modelo de Duas Fontes (TSEB), para o ano hidrológico 2014/2015

Bacias Hidrográficas	ET Balanço (mm.ano ⁻¹)	ET TSEB (mm.ano ⁻¹)	Diferença (mm.ano ⁻¹)	Variação (%)
Analândia	920,12	1108,02	187,90	16,96%
Corumbataí	1031,51	1092,13	60,62	5,55%
Jacutinga	1123,24	1088,63	34,60	-3,18%
r (Pearson)	-0,956			