

COEFICIENTE DE CULTIVO EM FLORESTA DE *Pinus taeda*

GURSKI, B.C.¹; SOUZA J.L.M.²; JERSZURKI D.¹; PACHECHENIK, P.³;
EVANGELISTA, A.D.⁴

¹Doutorado em Ciência do Solo, UFPR, e-mail: brunogurski@ufpr.br; ²Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR; ³Doutor em Ciências Florestais, UFPR; ⁴Professor de Agronomia, UFG

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho determinar o coeficiente de cultivo (K_c) do *Pinus taeda* no Sul do Brasil, local de cultivo em larga escala, para aprimorar valores generalistas pré-estabelecidos e obter o consumo hídrico máximo da cultura na região. Foi realizado um balanço hídrico do solo ao longo de um ano, com medidas de umidade em diferentes profundidades, em Telêmaco Borba-PR. A precipitação foi maior que a normal, possibilitando armazenamento de água no solo acima da capacidade de campo na maior parte do ano, permitindo a mensuração do K_c por meio do consumo hídrico da cultura. O K_c médio encontrado para o *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borba-PR é de 1,32, valor diferente do vem sendo recomendado para espécies coníferas ($K_c = 1,0$). Não foi possível estimar um valor satisfatório de coeficiente de cultivo a partir de variáveis climáticas para a região.

Palavra-chave: consumo hídrico, balanço hídrico, evapotranspiração da cultura, evapotranspiração real, estimativa

INTRODUÇÃO

O balanço hídrico é definido como a contabilização dos fluxos de entradas e saídas de água em dado volume de controle, durante determinado intervalo de tempo. Tal ferramenta é fundamental ao planejamento de inúmeras atividades agrícolas e manejo do uso eficiente da água (KHAZAEI & HOSSEINI, 2015). A evapotranspiração da cultura (ET_c) é considerada a principal saída de água do sistema agrícola, pois representa a demanda hídrica máxima da planta estudada. A ET_c pode ser medida diretamente por aparelhos complexos, como evapotranspirômetros e lisímetros, ou indiretamente no solo, por meio da quantificação da umidade, mas nestes casos a cultura deve possuir alto valor comercial agregado ou científico que justifique o custo da mensuração. Em outros casos, a ET_c pode ser estimada indiretamente por meio da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultivo (K_c) (LIU & LUO, 2010; ZHANG et al., 2011).

O K_c é largamente utilizado em cultivos florestais, porque a mensuração da ET_c é muito difícil de ser realizada, devido ao baixo custo de produção a longo prazo e da dificuldade operacional de se manter essas culturas nos aparelhos de medida (ALVES et al., 2013). Por isso, consagrou-se o K_c proposto por Allen et al. (1998), obtido experimentalmente em condições adequadas de suprimento hídrico. Esses autores estabeleceram $K_c = 1,0$ para o grupo das coníferas, ou seja, valor igual à ET_o , sendo o valor utilizado para o *Pinus taeda* em inúmeros locais de cultivo.

No entanto, diversos estudos que mediram a ET_c foram realizados comparando os K_c 's propostos por Allen et al. (1998) com valores experimentais locais, principalmente para culturas anuais, e verificou-se grandes diferenças ao longo do tempo (LIU & LUO, 2010; ZHANG et al., 2011; ARIF et al., 2012; ZAPATA et al., 2012). Os estudos realizados representaram avanço técnico-científico, pois até mesmo Allen et al. (1998) consideram que os K_c 's propostos são generalistas e necessitariam de estudos locais para aprimoramento. Apesar da necessidade e do cultivo em larga escala no Brasil, não há muitos estudos comparativos para o *Pinus taeda*, justamente pelas dificuldades de mensuração da ET_c mencionadas.

Teve-se por objetivo no presente trabalho determinar o coeficiente de cultivo (K_c) do *Pinus taeda* no Sul do Brasil, local de cultivo em larga escala, para aprimorar valores generalistas pré-estabelecidos e obter o consumo hídrico máximo da cultura na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado um balanço hídrico do solo (BHS) em Telêmaco Borba-PR, coordenadas 24°13'19" S, 50°32'33" W e 700 m de altitude. Os dados foram coletados ao longo 2009, totalizando 52 semanas, em área de 12,5 ha de *Pinus taeda*, com idade de plantio de seis anos, com espaçamento de 2,0 x 3,0 m (1667 árvores ha⁻¹), em Latossolo Vermelho A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2013).

A classificação climática da região é transicional Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio inferior a 16 °C, ocorrência de geadas e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, tendo verões quentes (CAVIGLIONE et al., 2000; ALVARES et al., 2013).

Amostras deformadas de solo foram retiradas semanalmente nas profundidades 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-1,0 m, para determinação da umidade gravimétrica em estufa, conforme EMBRAPA (1997). Amostras indeformadas foram coletadas em duas trincheiras de 1,5 x 3,0 x 1,8 m, com auxílio de anéis volumétricos, nas mesmas profundidades, com três repetições em cada profundidade, para determinação dos atributos físicos do solo (massa específica, condutividade hidráulica do solo saturado, curva de retenção da água no solo) conforme EMBRAPA (1997).

As curvas de retenção da água do solo, para cada profundidade, foram determinadas nas tensões de 0,006; 0,01; 0,1 e 1,5 MPa, com ajuste pelo modelo de Van Genuchten (1980). A estimativa da $K(\theta)$ foi realizada segundo Mualem (1976).

Utilizou-se delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os cálculos do balanço hídrico do solo (BHS) foram realizados fazendo-se apenas a contabilização dos fluxos verticais. Como a área de estudo é relativamente plana, considerou-se que os escoamentos superficiais de entrada e saída se anularam. Não houve irrigação na área. A evapotranspiração real (ETr) foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$ETr = -\Delta ARM + P - D + AC$$

Sendo: ETr – evapotranspiração real (mm semana⁻¹); ΔARM – variação do armazenamento de água no solo na semana considerada (mm semana⁻¹); P – precipitação (mm semana⁻¹); D – drenagem interna (mm semana⁻¹); AC – ascensão capilar (mm semana⁻¹).

A componente D ou AC foi calculada por meio da densidade de fluxo de água no solo (q_z), utilizando a equação de Darcy-Buckingham, entre as profundidades de 0,8 e 1,0 m. O valor da profundidade efetiva do sistema radicular foi considerado constante ($z = 0,80$ m). Como o fluxo ocorre entre camadas de solo e dias diferentes, a equação de Darcy-Buckingham foi adaptada à periodicidade. O gradiente de potencial total $\partial H / \partial z$ foi calculado por diferenças finitas. A densidade de fluxo de uma camada resultou do produto entre valores médios da condutividade hidráulica do solo não saturado $K(\theta)$ e gradiente de potencial total $\Delta \bar{H} / \Delta z$ das i -ésimas semanas.

O armazenamento de água no solo (ARM) foi calculado empregando a regra do trapézio, sendo a variação do armazenamento de água no solo (ΔARM) obtida da diferença entre o armazenamento anterior (ARM_j) e atual (ARM_{j+1}).

Os valores diários de precipitação (P) (mm dia⁻¹) foram medidos com 15 pluviômetros de acrílico instalados dentro da unidade experimental, com capacidade de 80 mm, marca Incotherm. O ano de 2009 foi escolhido justamente por ter sido atípico em relação à P , pois os valores foram superiores à P normal (normais climatológicas observadas entre 1947 e 2005) (NUNES et al., 2009), apresentando valor total de 1.608,08 e 1.490,00 mm, respectivamente. A P atípica possibilitou que o ARM permanecesse alto praticamente todo ano, com valores acima da capacidade de campo (θ_{CC}). Assim, o solo ficou na zona úmida (ou seja, quando

$ARM \geq CAD \cdot (1 - p)$ quase todo o período, e a $ETr \cong ETc$ nessa condição, possibilitando mensurar o Kc ao longo do ano (FIGURA 1).

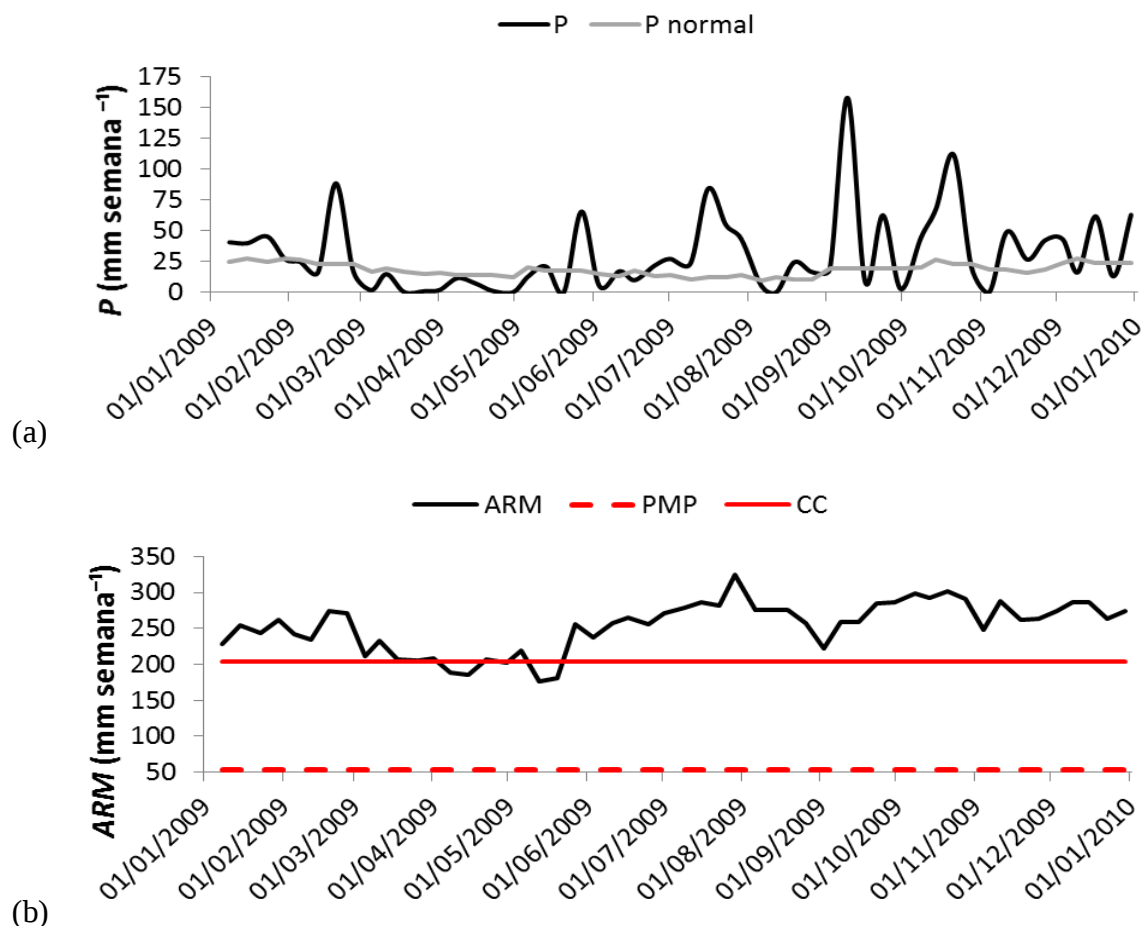


FIGURA 1 – Componentes do balanço hídrico do solo em Telêmaco Borba-PR, em 2009, sendo: (a) Precipitação (P) e precipitação periódica normal ($Pnormal$); (b) Armazenamento de água no solo (ARM), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP).

Como mencionado, a condição atípica da P (FIGURA 1) permitiu mensurar valores de Kc a partir da seguinte relação, em condição de campo:

$$Kc_{medido} = \frac{ETc_i}{ETo_i}$$

Sendo: Kc_i – coeficiente de cultivo medido na i -ésima semana (adimensional); ETc_i – evapotranspiração da cultura i -ésima semana (mm semana⁻¹); ETo_i – evapotranspiração de referência na i -ésima semana (mm semana⁻¹).

Também foram realizadas estimativas do Kc considerando o valor proposto pela Food and Agriculture Organization (FAO) para coníferas ($Kc_{FAO} = 1,0$), bem como uma equação que considera variáveis climáticas da região, denominado $Kc_{climático}$ (ALLEN et al., 1998):

$$K_{C_{climático}} = K_{C_{FAO}} + [0,04 \cdot (u_2 - 2) - 0,004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

Sendo: $K_{C_{climático}}$ – coeficiente de cultivo climático (adimensional); $K_{C_{FAO}}$ – coeficiente de cultivo recomendado por Allen et al. (1998) (adimensional); u_2 – velocidade média do vento a 2 m de altura ($m s^{-1}$); UR_{min} – umidade relativa mínima média (%); h – altura média da planta (m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os K_c 's variaram de 0,1 a 3,0, conforme mensuração ou estimativa e época do ano. Os valores médios foram de 1,32; 1,0; 0,78 para $K_{C_{medido}}$; $K_{C_{FAO}}$; $K_{C_{climático}}$, respectivamente (FIGURA 2).

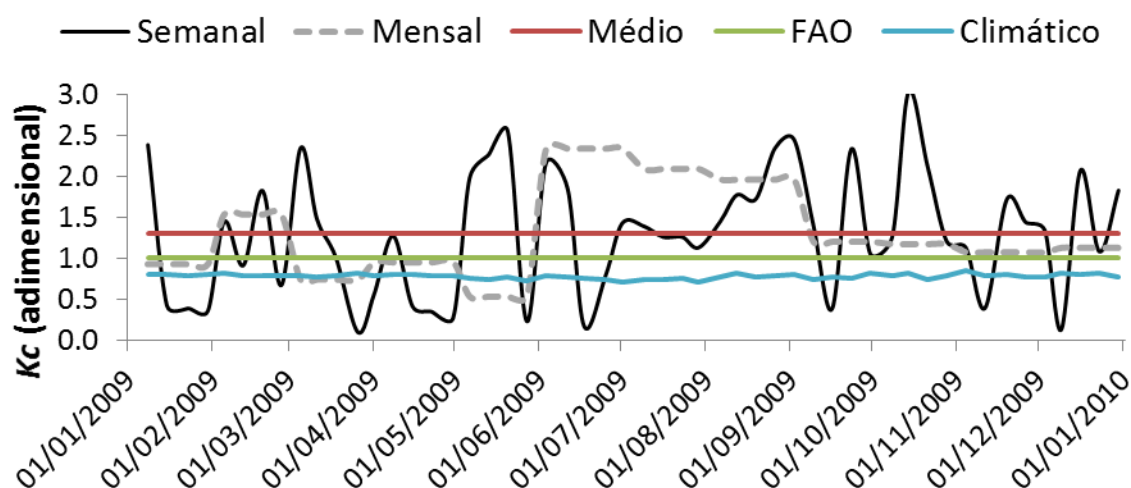


FIGURA 2 – Coeficientes de cultivo (K_c) medidos para o *Pinus taeda*, ao longo de 2009, em Telêmaco Borba-PR, sendo K_c 's semanal, mensal e médio, e estimados com a FAO e “climático” (ALLEN et al., 1998).

O $K_{C_{medido}}$ médio encontrado sugere que a ET_c do *Pinus taeda* para a região de Telêmaco Borba-PR é cerca de 30% superior à recomendada por Allen et al. (1998). O resultado obtido confirma afirmações de Trinidad et al. (2002), em que o gênero *Pinus* apresenta altas taxas de transpiração quando a umidade do solo se encontra próxima à capacidade de campo. Dolman et al. (1998) também consideram que florestas parecem consumir mais água, o que pode indicar que as árvores possuem maior K_c do que as culturas anuais comerciais.

No entanto, tais considerações são contestadas por Verstraeten et al. (2005), pois os autores afirmaram que o K_c de árvores, principalmente pinheiros, é geralmente inferior a 1,0. Allen et al. (1998) consideram que as coníferas possuem controle estomático substancial devido à redução da resistência aerodinâmica, por isso, o valor de K_c pode facilmente reduzir abaixo de 1,0, quando houver condições de suprimento adequado de água e grandes florestas.

Verstraeten et al. (2005) obtiveram valores de K_c entre 0,71 e 0,97 para *Pinus sylvestris* e *Pinus nigra* na região de Flanders na Bélgica, porém, os autores obtiveram os valores de K_c a partir de um balanço hídrico estimado com o modelo WAVE. Os valores obtidos são similares com o $K_{c\text{climático}}$ encontrados no presente trabalho ($0,71 \leq K_c \leq 0,85$) em Telêmaco Borba-PR, para *Pinus taeda*. Meiresonne et al. (2003) encontraram valores de $K_c = 0,70$ para pinheiro silvestre. Provavelmente, tal comportamento deve-se ao uso dos K_c 's propostos por Allen et al. (1998).

Em relação a outras espécies florestais, Edraki et al. (2004) relataram $K_c = 0,85$ para eucalipto, calculado com evapotranspirômetro, na Austrália. Alves et al. (2013) encontraram $K_c = 0,82$ em Minas Gerais, mas para mudas de eucalipto irrigadas. Schaap et al. (1997) encontraram $0,75 \leq K_c \leq 1,0$ para florestas de coníferas do gênero *Abies* no centro da Holanda.

A falta de concordância entre os valores de $K_{c\text{FAO}}$ indica que aspectos climáticos e culturais alteram e influenciam decisivamente os valores de K_c alcançados ao longo do ciclo produtivo de culturas (ZHANG et al., 2011; ZAPATA et al., 2012). No entanto, os valores do $K_{c\text{climático}}$ não tiveram relação com $K_{c\text{semanal}}$ medido (FIGURA 2) ($R^2 = 0,0047$), o que sugere que a equação proposta por Allen et al. (1998) para estimativa do K_c a partir de variáveis climáticas não foi satisfatória para estimar a E_{Tr} para o *Pinus taeda* em Telêmaco Borba-PR.

A estimativa do K_c em florestas é extremamente complexa e controvertida, porque a E_{Tr} pode ter sido influenciada pela serapilheira do pinus, devido a sua baixa massa específica e alto potencial de retenção de água. A serapilheira forma uma camada dissipadora de energia, diminuindo as perdas por evaporação do solo para a atmosfera, mas tem a desvantagem de interceptar e armazenar a água proveniente da precipitação, que posteriormente é perdida diretamente para a atmosfera. Segundo Silva et al. (2006), a água evaporada no sistema solo-planta correlaciona-se significativamente com a água inicialmente armazenada na palhada. Os autores verificaram que 1000, 4000 e 8000 kg ha⁻¹ de palhada de milho com 412, 255 e 260% de umidade em relação ao seu volume, respectivamente, perderam grande quantidade de água armazenada, chegando a 0, 41 e 53%, respectivamente. Arif et al. (2012) considera que os valores de K_c variam também com a variedade da cultura, manejo cultural, sistema de irrigação, tipo e cobertura do solo e método de estimativa da E_{To} adotado.

Portanto, o balanço hídrico do solo medido em diferentes profundidades, como o do experimento em Telêmaco Borba-PR, torna-se cientificamente valioso em detrimento do balanço hídrico estimado, pois todas as variáveis levantadas que influenciam diretamente ou indiretamente o K_c , traduzem-se na medida da umidade em diferentes profundidades do solo.

CONCLUSÕES

- O coeficiente de cultivo médio encontrado para o *Pinus taeda* na região de Telêmaco Borba-PR é de 1,32 diferente do que vem sendo recomendado na literatura para espécies coníferas ($K_c = 1,0$).
- Não foi possível estimar um valor satisfatório de coeficiente de cultivo a partir de variáveis climáticas para a região.

AGRADECIMENTOS

À Klabin Florestal pela colaboração e por permitir o estabelecimento de um experimento em suas áreas comerciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. 1.ed. Rome: FAO, 1998.

ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate Classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 2, p. 711-728, 2013.

ALVES, M. E. B.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; NEVES, J. C. L. Estimate of the crop coefficient for Eucalyptus cultivated under irrigation during initial growth. Cerne, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2013.

ARIF, C.; SETIAWAN, B. I.; SOFIYUDDIN, H. A.; MARTIEF, L. M.; MIZOGUCHI, M.; DOI, R. Estimating crop coefficient in intermittent irrigation paddy fields using Excel Solver. Rice Science, v. 19, n. 2, p. 143-152, 2012.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000.

DOLMAN, A. J.; MOORS, E. J.; ELBERS, J. A.; SNIJDERS, W. Evaporation and surface conductance of three temperate forests in the Netherlands. Annual Science Forest, v. 55, p. 255-270, 1998.

EDRAKI, M.; SO, H. B.; GARDNER, E. A. Water balance of Swamp Mahogany and Rhodes grass irrigated with treated sewage effluent. Agricultural Water Management, v. 67, p. 157-171, 2004.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: SNLCS, 1997.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013.

KHAZAEI, B.; HOSSEINI, S. M. Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. Journal of Hydrology, v. 524, p. 538-548, 2015.

LIU, Y.; LUO, Y. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agricultural Water Management, v. 97, p. 31-40, 2010.

MEIRESOONE, L.; SAMPSON, D. A.; KOWALSKI, A. S.; JANSSENS, I. A.; NADEZHDINA, N.; CERMAK, J.; VAN SLYCKEN, J.; CEULEMANS, R. Water flux estimates from a Belgian Scots pine stand: a comparison of different approaches, Journal of Hydrology, v. 270, p. 230-252, 2003.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resources Research, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

NUNES, J. S. N.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; FIER, I. S. N.; SANTOS, C. C. Climatologia do comportamento da precipitação no distrito florestal de Monte Alegre, PR, Brasil. *Floresta*, v. 39, n. 4, p. 783-792, 2009.

SCHAAP, M. G.; BOUTEN, W.; VERSTRATEN, J. M. Forest floor water content dynamics in a Douglas fir stand. *Journal of Hydrology*, v. 201, p. 367-383, 1997.

SILVA, F. A. M.; SILVEIRA PINTO, H.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 5, p. 717-724, 2006.

TRINIDAD, T. M.; HERNÁNDEZ, J. V.; OROZCO, A. M.; UPTON, J. L. Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla*: consumo de agua y crecimiento en plantulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia*, v. 36, n. 3, p. 365-376, 2002.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Science Society American Journal*, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VERSTRAETEN, W. W.; MUYS, B.; FEYEN, J.; VEROUSTRAETE, F.; MINNAERT, M.; MEIRESONNE, L.; SCHRIJVER, A. Comparative analysis of the actual evapotranspiration of Flemish forest and cropland, using the soil water balance model WAVE. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 9, p. 225-241, 2005.

ZAPATA, N.; CHALGAF, I.; NERILLI, E.; LATORRE, B.; LÓPEZ, C.; MARTÍNEZ-COB, A.; GIRONA, J.; PLAYÁN, J. Software for on-farm irrigation scheduling of stone fruit orchards under water limitations. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.88, p. 52-62, 2012.

ZHANG, K.; HILTON, H. W.; GREENWOOD, D. J.; THOMPSON, A. J. A rigorous approach of determining FAO56 dual crop coefficient using soil sensor measurements and inverse modeling techniques. *Agricultural Water Management*, v. 98, p.1081-1090, 2011.