

## **ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA CONSIDERANDO A INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS**

PIEKARSKI, K.R.<sup>1</sup>; SOUZA J.L.M.<sup>2</sup>; TSUKAHARA R.Y.<sup>3</sup>; ROSA S.L.K.<sup>1</sup>; OLIVEIRA C.T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Ciência do Solo, UFPR; <sup>2</sup>Professor da UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br; <sup>3</sup>Fundação ABC

### **RESUMO**

Teve-se por objetivo no presente trabalho verificar a influência dos atributos físico-hídricos do solo no desempenho do modelo AquaCrop, para estimar a produtividade da cultura da soja na região dos Campos Gerais. A série de dados e valores de produtividade real utilizados nas análises foram obtidos de experimentos previamente realizados nas Estações Experimentais da Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, dos anos safra de 2006 a 2014. Foram realizadas 64 simulações de produtividade da cultura da soja em Arapoti-PR, Castro-PR, Ponta Grossa-PR e Itaberá-SP. Dois tipos de cenários foram testados nas simulações: (i) entrada de todos os atributos físico-hídricos do solo necessários no AquaCrop (simulação “completa”); e, (ii) entrada de apenas a classificação textural na área de “solos” do *software* (simulação “parcial”). As 64 produtividades reais e simuladas (“completa” e “parcial”) foram ajustadas em análises de regressão linear simples, e índices “*d*” de concordância e “*c*” de desempenho. Os resultados indicaram que a simulação “completa” no AquaCrop proporcionou resultados promissores, tendo desempenhos entre “muito bom” a “ótimo” para cultura da soja. A simulação “parcial” no AquaCrop proporcionou resultados bem variáveis, tendo desempenhos entre “péssimo” a “ótimo” para cultura da soja. Logo, a simulação “parcial” deve ser utilizada com muita restrição. Utilizar a textura do solo para prever os valores de atributos físico-hídrico do solo indicou um caminho facilitador, mas baixo desempenho para estimar as produtividades da cultura da soja nos Campos Gerais.

**Palavras chave:** AquaCrop, simulação, cultivo agrícola, atributos do solo, rendimento.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas computacionais têm se mostrado importantes fermentas na agricultura. Dentre os *softwares* que trouxeram grandes vantagens à produção agrícola estão os modelos matemáticos de simulação de produção. Porém, a literatura afirma que países menos tecnificados tardam em aderir tais tecnologias, devido à falta de instrução de produtores e técnicos da área agrônômica (WHISLER et al., 1986; PESSOA et al., 1997; BERNARDON e CALGARO, 2007).

Uma das dificuldades no uso de modelos de simulação agrícola consiste no levantamento ou disponibilidade de dados de entrada. Alguns modelos exigem grande quantidade de dados de entrada, que podem, inclusive, serem de difícil obtenção e custo elevado. Considera-se que a evolução dos modelos de simulação caminha no sentido de aumento de precisão aliado à simplificação e robustez dos programas (PESSOA et al., 1997; STEDUTO et al., 2008; STEDUTO et al., 2009).

Com o objetivo de atender à demanda por modelos mais amplamente utilizáveis, pesquisadores vinculados à FAO (*Food and Agriculture Organisation*) desenvolveram o *software* AquaCrop. Dentre outras vantagens, o programa exige menor quantidade de dados de entrada e, ainda, a inserção de dados de mais fácil obtenção. O programa possui estrutura que permite a entrada de dados do clima, solo, cultura e manejo (RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009).

No entanto, a literatura considera que as análises para obtenção dos valores dos atributos físico-hídricos do solo ainda utilizam métodos difíceis e demorados (LIN et al., 1999). As metodologias padrões exigem equipamento sensíveis e de auto custo, que não condizem com a estrutura da maioria dos laboratórios no Brasil. Além disso, os resultados muitas vezes apresentam erros e não são confiáveis (OLIVEIRA et al., 2002). Logo, o levantamento dos atributos físico-hídricos para a inserção dos dados em modelos pode não apresentar tanta facilidade de obtenção, nem se mostrar operacional.

Para contornar o problema, o AquaCrop associa valores aos atributos físico-hídricos do solo, a partir de sua classificação textural, utilizando funções de pedotransferência. No entanto, é possível introduzir no modelo valores de umidade volumétrica na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), saturação ( $\theta_{sat}$ ,  $m^3 m^{-3}$ ) e condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ,  $mm dia^{-1}$ ) (RAES et al., 2012).

Tendo em vista as dificuldades para se determinar alguns dados do solo que são necessários como entrada em alguns modelos de simulação, teve-se por objetivo no presente trabalho verificar a influência dos atributos físico-hídricos do solo no desempenho do modelo AquaCrop, para estimar a produtividade da cultura da soja na região dos Campos Gerais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA), considerando a região dos Campos Gerais-PR, escolhida por ser referência na produção de grãos e onde se localiza a “Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário”, importante centro de pesquisa agropecuária, que viabilizou a realização das análises necessárias disponibilizando dados históricos de cultivos da soja (safras 2006/07 a 2013/14). As Estações Experimentais utilizadas estão localizadas nos municípios de Arapoti, Castro, Ponta Grossa e distrito de Socavão, pertencentes ao Estado do Paraná e, o município de Itaberá, pertencente ao Estado de São Paulo. Foram utilizados dados

observados nas parcelas experimentais do Setor de Agrometeorologia. Em todas as parcelas o relevo é plano a suave ondulado. O sistema de preparo do solo é o plantio direto com cobertura morta vegetal homogênea. Utiliza-se o sistema de rotação de culturas, alternado entre soja e milho no verão, e trigo e aveia preta no inverno.

A classificação de solo foi obtida a partir dos mapas de solos fornecidos pela Fundação ABC, com escala 1:10.000. Os tipos climáticos foram identificados em Álvares et al. (2013), que utilizou a classificação climática de Köppen para essa finalidade. A localização, coordenadas geográficas e altitude foram mensurados com aparelho de GPS.

Para verificar o desempenho do modelo AquaCrop em condições de produção agrícola, foram realizadas 64 simulações da produção da cultura da soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), para posterior comparação com as produtividades reais ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de experimentos previamente realizados a campo, nas safras 2006/07 a 2013/14. Para iniciar a simulação o modelo AquaCrop necessita de dados de entrada referentes ao clima, cultura, solo e manejo (RAES et al., 2009).

Os dados de entrada referentes ao clima, cultura e manejo variaram conforme as Estações Experimentais. Referente aos dados de entrada dos solos foram testados dois cenários nas simulações das produtividades da cultura da soja:

- Cenário simulação “completa”: Teve-se a entrada de todos os atributos físico-hídricos do solo, respectivo a cada Estação Experimental analisada, necessários no AquaCrop;
- Cenário simulação “parcial”: Teve-se a entrada de apenas a classificação textural da respectiva Estação Experimental, no formulário “solos” do *software* AquaCrop.

Considerações e aspectos metodológicos sobre os dados de clima, cultura, manejo e solo utilizado como entrada no AquaCrop:

a) Solo: As camadas de solo estudadas foram 0,0-0,10 m; 0,10-0,25 m e 0,25-0,40 m. Para cada camada, foram inseridos no modelo dados conforme cenários simulações: “completa” ou “parcial”. Em ambos os cenários, a umidade do solo no momento do plantio foi estimada preliminarmente em planilha eletrônica desenvolvida para esta finalidade, conforme Souza et al. (2013):

- “Completa”: condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ,  $\text{mm dia}^{-1}$ ); umidades volumétricas na saturação ( $\theta_{sat}$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). Os dados de solo foram obtidos a partir de amostras de solo coletadas nos campos experimentais da Fundação ABC. Para cada parcela experimental de 50 x 100 m, foram definidos cinco pontos experimentais representativos. Para cada ponto e espessura de solo estudada foi coletada uma amostra indeformada, totalizando 75 amostras de solo (5 Estações Experimentais, 5 pontos experimentais e 3 profundidades). As umidades volumétricas na saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) foram determinadas conforme Embrapa (1997), no Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas da UFPR, utilizando amostras indeformadas de solo, coletadas com anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 3 cm de altura. A umidade do solo na capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) foi determinada quando ocorreu equilíbrio da água na mesa de tensão, na tensão de 0,01 MPa. A umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) foi estimada na curva de retenção de água no solo, gerada com o *software* de pedotransferência SPLINTEX (PREVEDELLO, 1999). Considerou-se como ponto de murcha permanente a umidade volumétrica na tensão de 1,5 MPa. A condutividade hidráulica saturada ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) foi

determinada em permeâmetro de carga constante, conforme Embrapa (1997), no Núcleo de Atividades de Engenharia em Biossistemas (NAEB) da UFPR.

– “Parcial”: Entrou-se apenas com a classificação textural no AquaCrop. A textura do solo foi determinada com amostras deformadas de solo, utilizando o método do densímetro, conforme a metodologia da Embrapa (1997), no Laboratório de Física do Solo da UFPR. Assim, todos os atributos físicos-hídricos, como condutividade hidráulica saturada ( $\text{mm dia}^{-1}$ ); umidades volumétricas na saturação ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e ponto de murcha permanente ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foram estimados internamente, conforme metodologia do próprio AquaCrop (RAES et al., 2009);

b) Clima: Os dados climáticos utilizados foram provenientes das estações agrometeorológicas anexas à cada Estação Experimental. Os dados de temperaturas mínimas e máximas do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação pluvial ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) foram obtidos dos bancos de dados climáticos fornecidos pelo Setor de Agrometeorologia da Fundação ABC. A evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) foi estimada com o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). A concentração média anual de  $\text{CO}_2$  na atmosfera (ppm) já se encontra disponível no AquaCrop, tendo dados provenientes medidos no observatório de Mauna Loa, Havaí (RAES et al., 2009);

c) Cultura: As variáveis de entrada inseridas no modelo, referentes à cultura da soja, foram a data do plantio, duração de cada ciclo fenológico (dia), população de plantas ( $\text{plantas ha}^{-1}$ ) e comprimento médio efetivo das raízes (cm). Os dados foram provenientes de séries históricas de experimentos realizados nas Estações Experimentais da Fundação ABC, nas safras de 2006/07 a 2013/14;

d) Manejo: O AquaCrop permite a inserção de variáveis como a presença e tipo de cobertura do solo (%), níveis de fertilização (alto, próximo ao ideal, médio e baixo), utilização e tipo de irrigação, frequência de irrigação (dias), volume de irrigação (mm) e qualidade da água de irrigação (RAES et al., 2009). No entanto, no presente estudo a irrigação não foi considerada e o nível de fertilização foi considerado próximo ao ideal. Por se tratar de áreas em sistema de plantio direto, a cobertura do solo foi considerada fixa em 50%, em todas as Estações Experimentais.

Os dados de entrada descritos anteriormente foram inseridos no AquaCrop formando um banco de dados de solo e clima para cada campo experimental, nas safras entre 2006 e 2014. Os dados referentes ao manejo foram iguais para todas as simulações, assim houve a necessidade de se alterar apenas os dados referentes à cultura nas simulações.

Os respectivos valores de produtividades reais ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e estimadas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), obtidos nas simulações “completa” ou “parcial”, foram comparadas estatisticamente, considerando: análise de regressão linear, coeficiente de correlação, índices “*d*” (WILLMOTT, 1982) e “*c*” (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). Os resultados das análises foram organizados por município.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores “medidos” dos atributos físico-hídricos dos solos para algumas Estações Experimentais foram diferentes ou próximos dos considerados “padrão” por Raes et al. (2009), conforme classificação textural de cada solo (TABELA 1).

TABELA 1. Classificação textural e parâmetros físico-hídricos “padrão” e “medidos” dos solos das parcelas experimentais da Fundação ABC, na região dos Campos Gerais, e diferença entre valores “medidos” e “padrão” ( $\Delta$ ).

Local	Camada (m)	Classificação textural	$\theta_{sat}$	$\theta_{sat}^{(1)}$	$\Delta\theta_{sat}$	$\theta_{PMP}$	$\theta_{PMP}^{(1)}$	$\Delta\theta_{PMP}$	$\theta_{CC}$	$\theta_{CC}^{(1)}$	$\Delta\theta_{CC}$	$K_{sat}$	$K_{sat}^{(1)}$	$\Delta K_{sat}$	$\theta_{dis} = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$	$\theta_{dis}^{(1)} = \theta_{CC}^{(1)} - \theta_{PMP}^{(1)}$	$\Delta\theta_{dis}$
			----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----						----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----			----- (mm dia <sup>-1</sup> ) -----					
Arapoti	0,0-0,10	Franco argilo-arenoso	0,49	0,52	-0,03	0,15	0,23	-0,08	0,34	0,44	-0,10	1394,9	120	1275	0,19	0,21	-0,02
Arapoti	0,10-0,25	Franco argilo-arenoso	0,47	0,52	-0,05	0,15	0,23	-0,08	0,3	0,44	-0,14	1268,4	120	1148	0,15	0,21	-0,06
Arapoti	0,25-0,40	Franco argilo-arenoso	0,49	0,52	-0,03	0,16	0,23	-0,07	0,3	0,44	-0,14	1124,5	120	1005	0,14	0,21	-0,07
Castro	0,0-0,10	Argiloso	0,63	0,55	0,08	0,36	0,39	-0,03	0,5	0,54	-0,04	418,3	2	416,3	0,14	0,15	-0,01
Castro	0,10-0,25	Argiloso	0,6	0,55	0,05	0,33	0,39	-0,06	0,47	0,54	-0,07	368,2	2	366,2	0,14	0,15	-0,01
Castro	0,25-0,40	Muito argiloso	0,62	0,55	0,07	0,32	0,39	-0,07	0,45	0,54	-0,09	325,7	2	323,7	0,13	0,15	-0,02
Itaberá	0,0-0,10	Argiloso	0,55	0,55	0	0,28	0,39	-0,11	0,4	0,54	-0,14	516,5	2	514,5	0,12	0,15	-0,03
Itaberá	0,10-0,25	Argiloso	0,54	0,55	-0,01	0,24	0,39	-0,15	0,37	0,54	-0,17	462,3	2	460,3	0,13	0,15	-0,02
Itaberá	0,25-0,40	Argiloso	0,54	0,55	-0,01	0,22	0,39	-0,17	0,37	0,54	-0,17	420,4	2	418,4	0,15	0,15	0,00
Ponta Grossa	0,0-0,10	Argilo-arenoso	0,51	0,5	0,01	0,2	0,27	-0,07	0,39	0,39	0	743,3	75	668,3	0,19	0,12	0,07
Ponta Grossa	0,10-0,25	Argilo-arenoso	0,5	0,5	0	0,2	0,27	-0,07	0,35	0,39	-0,04	732,6	75	657,6	0,15	0,12	0,03
Ponta Grossa	0,25-0,40	Argilo-arenoso	0,54	0,5	0,04	0,25	0,27	-0,02	0,36	0,39	-0,03	636,3	75	561,3	0,11	0,12	-0,01
Socavão	0,0-0,10	Argiloso	0,57	0,55	0,02	0,28	0,39	-0,11	0,43	0,54	-0,11	336	2	334	0,15	0,15	0,00
Socavão	0,10-0,25	Muito argiloso	0,59	0,55	0,04	0,27	0,39	-0,12	0,41	0,54	-0,13	351,1	2	349,1	0,14	0,15	-0,01
Socavão	0,25-0,40	Muito argiloso	0,59	0,55	0,04	0,24	0,39	-0,15	0,4	0,54	-0,14	355,5	2	353,5	0,16	0,15	0,01

<sup>(1)</sup> Atributos físico-hídricos “padrão”, conforme classificação textural para solos franco argilo-arenosos, argilo-arenosos e argilosos, adaptado de Raes et al. (2009).

Os coeficientes de correlação indicaram que a associação entre as produtividades reais e estimadas ( $Y_r$  vs  $Y_s$ ) no AquaCrop é menos estreita quando se utiliza o cenário “parcial”, com atributos físico-hídricos do solo “padrão” nas simulações (TABELA 2 e FIGURA 1). Nas simulações com o cenário “completa” obteve-se  $r \geq 0,88$  para soja (Castro). Nas simulações no cenário “parcial”, os valores de  $r$  foram menores, mas a menor associação também ocorreu em Castro ( $r = 0,41$ ). Analisando-se os atributos físico-hídricos (TABELA 1), aparentemente não foi possível identificar o motivo. Castro e Socavão tem solo Argiloso e Muito argiloso, o que limitou a porosidade de aeração ( $\beta$ ) a 1% e  $K_{sat} = 2 \text{ mm dia}^{-1}$ . Esses valores de atributos poderiam ter interferido no resultado da estimativa da produtividade no AquaCrop, mas Itaberá também possui os mesmos valores de  $\beta$  e  $K_{sat}$  e não apresentou redução da  $r$ .

Os valores de  $r$  da associação “ $Y_r$  vs  $Y_s$ ” foram menores nas simulações “parcial”. Contudo, a queda dos desempenhos deveu-se principalmente aos valores do índice “ $d$ ” (TABELA 2). A utilização dos atributos físico-hídricos “padrão”, baseando-se apenas na classe textural dos solos, de alguma forma alterou os valores de produtividade simulada ( $Y_s$ ) e a dispersão dos dados distanciou da reta de 45° (FIGURA 1). Castro e Socavão novamente foram as localidades que tiveram maior redução nos valores de índice “ $d$ ”.

Logo, os desempenhos das estimativas de produtividade da cultura da soja com o AquaCrop, utilizando os dados de entrada “parcial”, ficaram entre “sofrível” e “muito bom”, com predomínio para “péssimo” (TABELA 2). Apenas Ponta Grossa (“ótimo”) e Itaberá (“muito bom”), apresentaram desempenhos satisfatórios para a cultura da soja. Com exceção de Ponta Grossa, todos os desempenhos obtidos no AquaCrop nas simulações cenário “parcial” foram inferiores aos obtidos nas simulações cenário “completa”.

Assim, o cenário “parcial” no AquaCrop deve ser utilizado com muita restrição. Utilizar a textura do solo para prever os valores de atributos físico-hídrico do solo indicou um caminho facilitador, mas com baixo desempenho para estimar as produtividades da cultura da soja nos Campos Gerais. Os resultados positivos para a cultura da soja em Ponta Grossa (“ótimo”) e Itaberá (“muito bom”) foram insuficientes, pois não permitiram identificar a relação de causa e efeito com os valores de atributos físico-hídricos medidos.

TABELA 2. Desempenho do modelo AquaCrop, conforme os cenários de simulações “completa” e “parcial”, para a cultura da soja, na região dos Campos Gerais.

Cultura	Local	--- Simulação “completa” ---				--- Simulação “parcial” ---			
		$r$	“ $d$ ”	“ $c$ ”	Desempenho	$r$	“ $d$ ”	“ $c$ ”	Desempenho
Soja	Arapoti	0,94	0,87	0,82	"Muito bom"	0,84	0,69	0,58	"Sofrível"
Soja	Castro	0,88	0,86	0,76	"Muito bom"	0,41	0,59	0,24	"Péssimo"
Soja	Itaberá	0,91	0,84	0,77	"Muito bom"	0,94	0,89	0,83	"Muito bom"
Soja	Ponta Grossa	0,99	0,99	0,98	"Ótimo"	0,97	0,94	0,92	"Ótimo"
Soja	Campos Gerais <sup>(1)</sup>	0,93	0,89	0,83	"Muito bom"	0,85	0,80	0,68	"Bom"

<sup>(1)</sup> Considerando os experimentos com a cultura da soja em Arapoti, Castro Itaberá e Ponta Grossa;



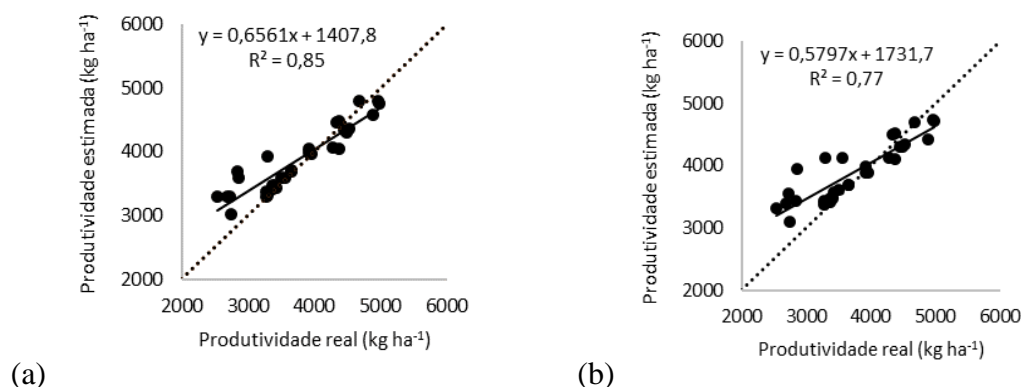


FIGURA 1 – Análise de regressão linear e respectivo coeficiente de determinação entre a produtividade média real e estimada com o AquaCrop, na região dos Campos Gerais. Em simulações: (a) “completa”, atributos físico-hídricos do solo “medidos” para a soja; (b) “parcial”, atributos físico-hídricos do solo “padrão” para a soja.

## CONCLUSÕES

O cenário de simulação “completa” no AquaCrop proporcionou resultados promissores, tendo desempenhos entre “muito bom” a “ótimo” para cultura da soja, na região dos Campos Gerais.

O cenário de simulação “parcial” no AquaCrop proporcionou resultados variáveis, tendo desempenhos entre “péssimo” a “ótimo” para cultura da soja, na região dos Campos Gerais.

O cenário de simulação “parcial” no AquaCrop deve ser utilizado com muita restrição. Utilizar a textura do solo para prever os valores de atributos físico-hídrico do solo indicou um caminho facilitador, mas baixo desempenho para estimar as produtividades da cultura da soja nos Campos Gerais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper n.56. Roma, FAO, 1998.
- ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- BERNARDON, T.; CALGARO, M. Modelo de simulação do crescimento de plantas. **Ambiência**, v. 3, p. 283-294, 2007.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89-97, 1997.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997.

- LIN, H. S.; MCINNES, K. J.; WILDING, L. P.; HALLMARK, C. T. Effects of soil morphology on hydraulic properties II: Hydraulic pedotransfer functions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 955-961, 1999.
- OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; RODRIGUES, J. J. V.; MARQUES, F. A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 315-323, 2002.
- PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; FERNANDES, E. N.; LIMA, M. A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para a análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguariúna, EMBRAPA-CNPMA, 1997.
- PREVEDELLO, C. L. Programa Splintex para estimar a curva de retenção de água a partir da granulometria (composição) do solo. Versão 1.0. Curitiba: UFPR, 1999.
- RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. **AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water**: chapter 1. Roma, FAO, 2009.
- RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. **AquaCrop 4.0 – The FAO crop model to simulate yield response to water**: chapter 3. Roma, FAO, 2012.
- SOUZA, J. L. M.; GERSTEMBERGER, E.; ARAUJO, M. A. Calibração de modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade da cultura do trigo, considerando sistemas de manejo do solo, em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 28, p. 409-418, 2013.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 426-437, 2009.
- STEDUTO, P.; RAES, D.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; HEN, L.; IZZI, G.; HOOGEVEEN, J. AquaCrop: A new model for crop prediction under water deficit conditions. **Options Méditerranéennes**. v. 80. p. 285-292, 2008.
- WHISLER, F. D.; ACOCK, B.; BAKER, D. N.; FYE, R. E.; HODGES, H. F.; LAMBERT, J. R.; LEMMON, H. E.; MCKINION, J. M.; REDDY, V. R. Crop simulation models in agronomic systems. **Advanced Agronomy**, v. 40, p. 141-208, 1986.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**, v. 63, p. 1309-1313, 1982.