



Simulações no CROPGRO/DSSAT do Carbono no Solo Cultivado com Soja sob Plantio Direto e Preparo Convencional, em Clima Subtropical do Sul do Brasil

**Lucieta Guerreiro Martorano⁽¹⁾; Homero Bergamaschi⁽²⁾; Rogério Teixeira de Faria⁽³⁾;
Genei Antônio Dalmago⁽⁴⁾; João Mielniczuk⁽⁵⁾; Bruna M. M. Heckler⁽⁶⁾ & Flávia
Comiran⁽⁷⁾**

(1) Pesquisadora da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro, RJ, CEP 22460-000. e-mail: luty@cnps.embrapa.br (apresentadora do trabalho); (2) Professor da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Bolsista do CNPq, Porto Alegre, RS, homerobe@ufrgs.br; (3) Pesquisador do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e-mail: rtfaria@iapar.br, Bolsista do CNPq, Londrina, PR e-mail: dalmago@cnpt.embrapa.br; (4) Pesquisador da Embrapa Trigo, Rod. BR. 285, km 294, Passo Fundo, RS, CEP 99001-970 email: dalmago@cnpt.embrapa.br; (5) Professor da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Departamento de Solos, Bolsista do CNPq, Porto Alegre, RS, e-mail: joaomiel@terra.com.br; (6) & (7) Mestranda do PPG em Fitotecnia da Faculdade de Agronomia da UFRGS, Porto Alegre, RS, bruheckler@yahoo.com.br & flaviacomiran@gmail.com.
Apoio: EMBRAPA e UFRGS

RESUMO: Objetivou-se avaliar o potencial do modelo CROPGRO, inserido no DSSAT v.4.0 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) para simular o carbono no solo, no sistema plantio direto. Os dados foram coletados na Estação Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, durante o ano agrícola 2003/04, num delineamento em faixas, em Argissolo Vermelho distrófico típico. A semeadura da soja (cv. Fepagro RS10 - ciclo longo) ocorreu em 20/11/03 para uma população inicial em torno de 300 mil plantas ha⁻¹. Foram utilizados dois sistemas de manejo do solo: preparo convencional (PC) e sistema plantio direto (PD) irrigados (I) e não irrigados (NI). Foram inseridos no DSSAT dados edáficos, meteorológicos diários e da cultura. Adotou-se o método Ceres, no CROPGRO-Soja para simular o teor de carbono (C) no solo. As simulações mostraram que há maior estoque de C em plantio direto irrigado em relação ao preparo convencional, demonstrando sensibilidade do CROPGRO-Soja ao manejo do solo. Os mais elevados resíduos de C em solo sob plantio direto evidenciam mitigações de emissões desse gás para a atmosfera em cultivos na região estudada.

Palavras-chave: suporte à decisão, modelagem, sistema de manejo.

INTRODUÇÃO

Os modelos computacionais de crescimento e desenvolvimento de culturas agrícolas necessitam, previamente, de avaliações de desempenho para simular processos decorrentes de interações genéticas, fisiológicas e de ambiente. Uma vez estabelecida a credibilidade do método, pode-se então usá-lo para suportar tomada de decisões sobre o planejamento dos cultivos, necessidades de novas pesquisas, bem como para avaliar o benefício de

práticas culturais, como aplicações de fertilizantes e irrigação.

Vários trabalhos evidenciam a necessidade de testes para avaliar o desempenho de modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas. Martorano (2007) verificou que o modelo CROPGRO-Soja foi eficiente nas simulações de crescimento, desenvolvimento e rendimento da soja irrigada, indicando a necessidade de ajustes no modelo de balanço de água no solo. Em Martorano et al. (2007) os valores preditos em preparo convencional irrigado (PCI) tiveram um alto índice de Willmott et al. (1985), com concordância de 0,89 para as simulações de estoques de água no solo em preparo convencional, em Eldorado do Sul, com clima Cfa (Köppen) - subtropical úmido com verão quente. Em condições semi-áridas na Turquia, Dogana et al (2007), com dados experimentais de 2003 e 2004, verificaram que o modelo CROPGRO teve alto desempenho em simular rendimentos da soja irrigada, apresentando R² 0,94 para os dados observados em 2003 e 0,88 para os dados de 2004.

Assim sendo, torna-se importante avaliar outras condições específicas do sistema plantio direto, que preconiza cobertura do solo durante o ano todo, com aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais para contrabalançar a rápida decomposição da matéria orgânica, utilização de culturas que melhorem o balanço de nitrogênio no solo e rotação para interromper os ciclos de pragas e doenças no solo (Denardin et al., 2005). Neste sentido, este estudo procurou identificar a sensibilidade do modelo CROPGRO-Soja em simular teores de carbono no solo, procurando detectar efeitos do plantio direto em reter esse elemento no solo, dificultando seu retorno à atmosfera, para subsidiar avaliações de mitigação de gases de efeito estufa pelo plantio direto.



MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi conduzido no ano agrícola 2003/04 com a cultura da soja, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (30°05'S e 51°40'W e 46 m de altitude), em solo do tipo Argissolo Vermelho distrófico típico.

As amostras de solos foram coletadas com 05 (cinco) repetições no dia 20 de outubro de 2003, nas profundidades de 0 a 0,1 m e de 0,1 a 0,2 m, e analisadas no Laboratório Embrapa Solos, antes da implantação da cultura de verão. A soja (cv. Fepagro RS-10), de ciclo tardio, foi semeada em 20/11/2003 com espaçamento de 0,4 m entre linhas e população em torno de 300 mil plantas ha⁻¹. Na área experimental (0,5 ha), desde 1995, adotou-se em metade o sistema plantio direto (PD) e na outra metade o preparo convencional (PC), num delineamento em faixas, com tratamentos irrigados (I) e não irrigados (NI). Antes da semeadura, na área com nove anos de plantio direto, cultivando-se milho no verão e mistura de aveia+ervilhaca no inverno, fez-se o dessecamento com herbicida e acamamento da palhada com rolo-faca. Em preparo convencional, efetuou-se uma aração para incorporar a cobertura de inverno, seguida de duas gradagens.

Em cada sistema de manejo as parcelas foram subdivididas em quatro repetições, sendo cada unidade experimental disposta em direção transversal à linha de irrigação. As dimensões das unidades experimentais continham 18 m por 5,5 m, sendo o restante da área considerado como bordadura. Cada sistema de manejo continha uma bateria com tensiômetros em nove profundidades (m) de 0,075 a 1,05m e outra bateria na qual adicionou-se um tensiômetro a 1,2 m, para leituras diárias, por volta das 9 h. A irrigação foi feita por aspersores distanciados em 6 m e controlada pelo potencial da água no solo a 0,45m de profundidade, quando o mesmo atingia valores inferiores a -60 kPa no sistema plantio direto irrigado. O volume de reposição hídrica foi monitorado em um lisímetro de pesagem, cultivado com soja sob preparo convencional. Foram também monitorados dados meteorológicos em estação automática da EEA/UFRGS, instalada nas proximidades do experimento, bem como dados de crescimento, desenvolvimento, fenologia em coletas semanais, rendimento e seus componentes, ao final do ciclo da soja. Os dados de evapotranspiração e coeficiente de cultura (kc) foram expressos em dias após a

emergência (DAE), para caracterizar a demanda hídrica ao longo do ciclo da soja.

Em se tratando do estoque de carbono no solo (Mg ha⁻¹), adotou-se a equação 1, à semelhança de Bona (2005), considerando-se os dados de densidade do solo (ρ_s) disponibilizados pelo autor. Fez-se a média para a camada de 0 a 0,10 m de profundidade.

$$EstC = concC \times \rho_s \times E \times 10^4 m^2 ha^{-1} \times 10^3 Mg kg^{-1} \quad (1)$$

em que: EstC representa o estoque em massa de C orgânico (Mg ha⁻¹); concC, a concentração de C (kg Mg⁻¹); ρ_s a densidade do solo na camada avaliada (Mg m⁻³); E, a espessura da camada (m).

Na base de clima no DSSAT v. 4,0 foram armazenados dados diários de temperatura do ar (máxima e mínima, em °C), precipitação pluvial (mm) e radiação solar (MJ m⁻²), correspondentes ao período de 01/01/1990 a 31/12/2004, além de dados de parâmetros físico-químicos, oriundos das análises de solos e de dados disponibilizados em Dalmago (2004). No DSSAT, as datas de ocorrência dos estádios fenológicos e de variáveis de crescimento da cultura no campo foram comparados às estimativas do modelo CROPGRO-Soja e, após a análise de sensibilidade, foram calibrados os coeficientes genéticos da cultivar Fepagro RS-10. Utilizou-se o modelo de balanço de água no solo segundo Ritchie (1985), com evapotranspiração estimada pelo método de Priestley-Taylor (1972). Para simular o carbono no solo no CROPGRO considerou-se o modelo Ceres (Crop-Environment Resource Synthesis).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de solos indicaram que as amostras continham, em média, os teores de carbono orgânico no solo apresentados na Tabela 1. Na camada mais superficial os valores variaram de 8,1 a 8,9 g kg⁻¹. Já na camada de 0,10 a 0,20 m observam-se em plantio direto os menores valores de C, indicando que os maiores estoques de carbono do solo ocorrem da superfície até 0,10 m de profundidade.

Os dados médios da densidade do solo (ρ_s) apresentados em Bona (2005), foram de 1,67 Mg m⁻³ em preparo convencional (PC) e 1,61 Mg m⁻³ em plantio direto (PD). Na camada subsequente (0,10 a 0,20 m), para os valores estimados de C, considerou-se a densidade de 1,58 Mg m⁻³ em PC e de 1,65 Mg m⁻³ em PD (Tabela 1).

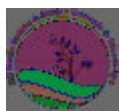


Tabela 1. Carbono (g kg^{-1}) em Argissolo Vermelho distrófico típico antes da semeadura da soja (cv. Fepagro RS-10) e estoques de C (Mg ha^{-1}) estimados. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, ano agrícola 2003/04.

Sistema de Manejo	0,0 a 0,10 (m)	0,10 a 0,20 (m)
PCI (C Lab.)	8,1	7,2
PCI (Est C)	13,5	11,4
PCNI (C Lab)	8,5	7,2
PCNI (Est C)	14,2	11,4
PDI (C Lab.)	8,9	6,7
PDI (Est C)	14,3	11,1
PDNI (C Lab.)	8,5	5,3
PDNI (Est C.)	13,7	8,7

Os estoques de carbono no solo estimados com base na equação 1 indicam que, antes da implantação da cultura, na camada mais superficial (0,0 a 0,10 m) o solo continha $13,557 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C em PCI e $14,329 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C em PDI e nos tratamentos não irrigados da ordem de $14,195 \text{ Mg ha}^{-1}$ em PCNI e $13,685 \text{ Mg ha}^{-1}$ em PDNI. Na profundidade entre 0,10 e 0,20 m os menores valores estimados de C foram em PDNI ($8,7 \text{ Mg ha}^{-1}$), decorrentes do aumento da densidade nessa camada. As adições de carbono encontradas por Lovato et al. (2004) indicaram que o uso de leguminosas contribuiu para a maior adição anual de C ao solo, de $4,17$ a $8,39 \text{ Mg ha}^{-1}$ em Argissolo Vermelho na EEA/UFRGS. Esses autores concluíram que o estoque de C orgânico ocorreu apenas no solo em plantio direto, indicando efeitos do não revolvimento do revolvimento do solo, como uma prática alternativa de recuperação de solos degradados na região subtropical do Sul do Brasil.

Em se tratando da decomposição dos resíduos culturais Bona (2005) verificou que, em preparo convencional (PC), houve aceleração na decomposição dos restos culturais da aveia em relação ao plantio direto (PD), independente da condição de irrigação ou não, sendo que cerca de 50% do C original foi oxidado após 38 dias em PC e 80 dias em PD, indicando menor tempo de decomposição dos resíduos vegetais em preparo convencional. Ao avaliar as condições de umidade no solo (Fig. 1), verificou-se diferença significativa na camada mais superficial (0,075 m) em PDNI em relação ao PCNI, mas nas profundidades subsequentes, até 0,30 m, não houve diferenças estatísticas entre os dois sistemas de manejo. Em PDNI, os maiores estoques de água no solo na camada mais superficial podem ser atribuídos ao

processo de maior infiltração da água, decorrente dos efeitos da palha na superfície e aportes anuais de matéria orgânica, em relação ao PCNI. De acordo com Dalmago (2004) em plantio direto há maior mesoporosidade e maior condutividade hidráulica não saturada do solo, na mesma área experimental. Em Botucatu, SP, após 12 anos de sistema plantio direto, em um Nitossolo Vermelho distroférrico, Assis & Lanças (2005) detectaram aumentos na macroporosidade e reduções na microporosidade, na camada entre a superfície e a profundidade de 0,05m, bem como maior velocidade de infiltração da água e maior condutividade hidráulica do solo saturado, semelhante à condição com mata nativa (com mais de 40 anos sem cultivo).

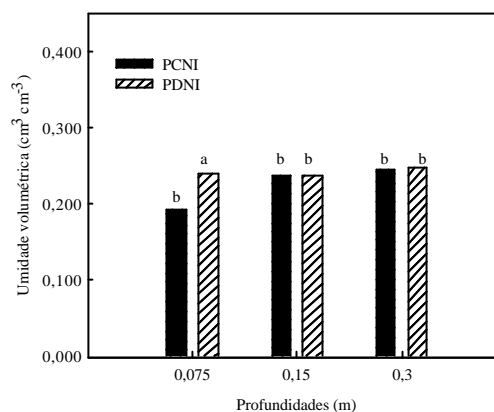


Figura 1. Umidade volumétrica média no solo com soja (cv. Fepagro RS-10), sob preparo convencional não irrigado (PCNI) e plantio direto não irrigado (PDNI), nas profundidades entre 0,075 m e 0,30 m, em Eldorado do Sul, RS, 2003/04.

A evapotranspiração máxima (ET_m) total, durante o ciclo da soja, foi de $681,3 \text{ mm}$ com média diária de $4,5 \text{ mm dia}^{-1}$, sendo no período entre a floração e o enchimento de grãos as maiores taxas diárias. O máximo valor de k_c foi de 1,13 na floração, reforçando que esse é o período de maior demanda hídrica pela cultura (Fig. 2).

O rendimento de grãos da soja foi de 3.816 kg ha^{-1} em PDI e 3.597 kg ha^{-1} em PCI, porém sem diferenças estatísticas entre si. As diferenças detectadas foram com relação à condição hídrica, obtendo-se nos tratamentos não irrigados rendimentos de 1.894 kg ha^{-1} (PDNI) e 1.558 kg ha^{-1} (PCNI), evidenciando que a disponibilidade hídrica é fator determinante no rendimento da cultura na região.

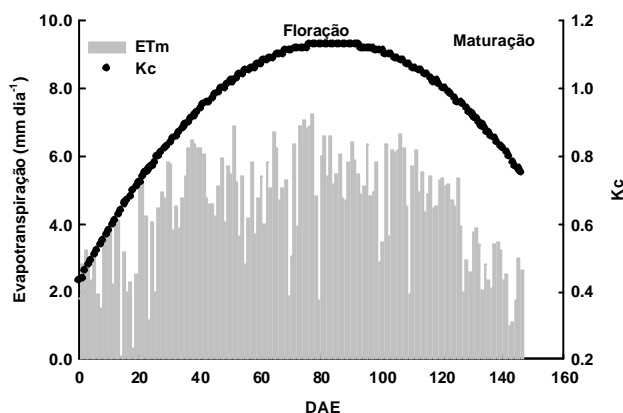
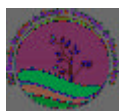


Figura 2. Evapotranspiração máxima (ETm) da soja, coeficiente de cultura (Kc) sob preparo convencional. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2003/04.

Em termos de avaliações temporal do Carbono no solo ($dC/dt = -k_2 C + k_1 A$), busca-se identificar se está havendo mais adições anuais ($k_1 A$) e menos perdas ($k_2 C$). O aumento de A indica que o carbono fotossintetizado foi adicionado anualmente por resíduos vegetais, exsudatos radiculares e raízes ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) e C indica as taxas de perdas. Os resíduos simulados pelo COPGRO-Soja (Fig. 3) indicam que no início do ciclo o preparo convencional irrigado (PCI) apresenta taxas de carbono no solo mais elevadas em relação aos demais tratamentos, mas são ultrapassadas pelo plantio direto irrigado por volta dos 104 dias após a semeadura, indicando sensibilidade do CROPGRO para adições (A) de carbono no solo. Essas estimativas corroboram com os dados observados por Lovato et al. (2004) em plantio direto.

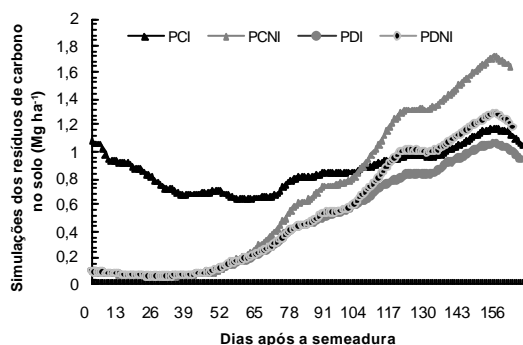


Figura 3. Simulações dos resíduos de carbono no solo pelo método Ceres/CROPGRO, no DSSAT, em Argissolo Vermelho distrófico típico com soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, ano agrícola 2003/04.

CONCLUSÕES

Ao comparar os dados observados no experimento com os simulados pelo método Ceres/CROPGRO, conclui-se que as simulações de C foram similares aos valores obtidos no campo, indicando que o DSSAT pode ser uma ferramenta adequada para avaliação dos efeitos do sistema plantio direto como armazenador de C no solo, visando mitigar sua emissão para a atmosfera.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, R.L. de; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **R. Bras. de Ci. do Solo**, Campinas, v. 20, 515-522, 2005.
- BONA, F.D. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 130 p. Dissertação de Mestrado.
- DALMAGO, G.A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. 244 p. Tese de Doutorado.
- DOGANA, E.; KIRNAKA, H.; COPURB, O. Effect of seasonal water stress on soybean and site specific evaluation of CROPGRO-Soybean model under semi-arid climatic conditions. *Agric. Water Management*. v. 90, 2007, p.56-62.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:175-187, 2004.
- LOAGUE, K.; GREEN, R.E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 7, p.51-73, 1991.
- MARTORANO, L.G. Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT. Porto Alegre: UFRGS, 2007, 151p. Tese de Doutorado.
- PRIESTLEY, C.H.B. & Taylor, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review* 100), p. 81-92. 1972.
- RITCHIE, J.T. Soil water balance and plant stress. In: G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P.K. Thornton, Editors, *Understanding Options for Agricultural Production*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands p. 41-54. 1998.