

Ajuste e teste dos coeficientes genéticos do modelo de simulação Cropgro-soybean, para a região Noroeste do Estado do Paraná

Rivanildo Dallacort^{1*}, Paulo Sérgio Lourenço de Freitas¹, Rogério Teixeira de Faria², Antonio Carlos Andrade de Gonçalves¹, Roberto Rezende¹, Altair Bertonha¹ e Celso Helbel Júnior¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

²Instituto Agronômico do Paraná (Iapar), Londrina, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: rivanildo@pop.com.br

RESUMO: Os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar cenários, considerando as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas. Os modelos de crescimento de culturas apresentam potencial de uso para responder questões em pesquisa, manejo de culturas e planejamento, auxiliando no entendimento sobre as interações genéticas, fisiológicas e do ambiente, como também nas decisões de práticas culturais antes e durante o período da cultura no campo, como aplicações de fertilizantes e irrigação. O presente estudo foi realizado para a localidade de Palotina, estado do Paraná (latitude de 24°17'S, longitude de 53°50'30" e altitude de 333 metros), no qual se utilizou o modelo de simulação de crescimento e desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L) Merrill), Cropgro-soybean, no qual foi realizado o ajuste dos coeficientes genéticos do modelo para os cultivares de soja CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210, cultivados na região de Palotina, estado do Paraná. Após o ajuste, realizou-se a simulação da produtividade da soja para a semeadura em 1º de novembro, objetivando-se testar os coeficientes ajustados nas 25 safras compreendidas entre o período de 1974 a 1999. Através das análises realizadas nas simulações, observou-se que o modelo mostrou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos dos cultivares estudados. A distribuição da precipitação pluviométrica foi um dos fatores que mais influenciou no Índice de Área Foliar e na produtividade, ou seja, o modelo penaliza severamente em condições de déficit hídrico. O potencial máximo de produtividade dos quatro cultivares, para a região de Palotina, foi de aproximadamente 3573 kg ha⁻¹.

Palavras-chave: simulação, soja, Cropgro-soybean, modelos agrometeorológicos.

ABSTRACT: Genetic coefficients adjustments and tests of Cropgro-soybean simulation model for the northwestern of Paraná State, Brazil. Simulation models are tools that generate sceneries, considering the several combinations of factors that influence on crop productivity. Cropgrowth models provide with questions involving research, crop handling and planning. This is helpful to understand the genetic, physiologic and environmental interactions. It is also useful at decisions involving cultural practices before and during the field stage of crop, as fertilizer application and irrigation. This study was developed for Palotina region, Paraná state, (24°17' S of latitude, 53°50'30" of longitude and 333 m of altitude). To simulate growth and development of soybean crop (*Glycine max* (L) Merrill), Cropgro-soybean simulation model was utilized. Genetic coefficients calibration was done to CD 202, CD 204, CD 206 and CD 210 soybean cultivars, cultivated in Palotina region, Paraná state. After calibration, a simulation of soybean productivity for sowing in November 1st was carried out. The aim was to test the calibrated coefficients in the 25 harvests between 1974 and 1999. According to the analysis, the model presented high sensibility to genetic coefficient variation of the studied cultivars. Rainfall distribution is one of the factors that mostly influenced the Leaf Area Index and productivity. This means that the model strongly penalizes in water deficit conditions. Maximum productivity potential of the four cultivars, for Palotina region, was approximately 3573 kg ha⁻¹.

Key words: simulation, soybean, Cropgro-soybean, agrometeorological models.

Introdução

Em muitos países, as previsões agrícolas

constituem o meio mais importante de servir a agricultura. As instituições públicas, empresas agrícolas e outras entidades de planejamento

necessitam conhecer as datas previstas de ocorrência das fases fenológicas de crescimento das espécies cultivadas, assim como as reservas de umidade do solo, com o objetivo de adotar medidas adequadas de cultivo e políticas de apoio e de organização agrícola. Necessitam saber, também, as datas previstas de maturação e de colheita, bem como os rendimentos esperados, com a finalidade de preparar antecipadamente a maquinaria necessária, a mão-de-obra disponível, a armazenagem, o transporte e a comercialização, inclusive o planejamento de importações e de exportações.

Várias pesquisas e trabalhos científicos têm surgido na literatura, analisando os efeitos da variabilidade climática sobre a produção vegetal. Dependendo da formação básica do pesquisador envolvido (agrometeorologia, fisiologia vegetal, estatística, economia, entre outras) maior ou menor ênfase é dada a determinados elementos de análise do problema. Entretanto, para a caracterização adequada de um modelo, ele deve abordar os aspectos mais relevantes da interação clima-planta-solo, de forma qualitativa e quantitativa, tendo em vista o resultado final procurado: rendimentos, fases fenológicas, etc.

Para fins de produção agrícola, os modelos de previsão baseados em princípios agrometeorológicos mais significativos são os referentes às fases de desenvolvimento e de maturação das culturas, assim como os que tratam do rendimento das culturas, disponibilidade de umidade no solo e das reservas d'água e de irrigação. Grande parte das técnicas de previsão numérica baseada na agrometeorologia fundamenta-se na relação estatística entre as variáveis dependentes que deverão ser estimadas (produtividade, data da floração e da maturação, etc.) e as variáveis agrometeorológicas independentes (precipitação, temperatura, etc.) ou ainda as variáveis reduzidas (índices de umidade do solo, influência da umidade atmosférica). Esse enfoque estatístico não leva necessariamente a uma fácil explicação das relações de causa e de efeito, mas é um enfoque prático para a previsão dos rendimentos. Os coeficientes desses modelos empíricos e a validade das estimativas dependem grandemente da escolha do modelo, das variáveis e da representatividade dos dados utilizados. Os resultados aferidos com tais modelos são, entretanto, variados, dependendo da homogeneidade das condições climáticas e práticas agrícolas representadas pelos dados, se as condições geográficas e de solo são adequadamente ponderadas nas equações.

Durante o desenvolvimento do modelo ou do processo de modelagem, são constatadas diversas hipóteses simplificadoras devido à impossibilidade de considerar todos os detalhes de um sistema no modelo. A inclusão de um detalhe supérfluo pode causar um gasto computacional maior para resolver o

modelo, enquanto que a exclusão de um pequeno detalhe importante pode conduzir a um resultado que não resolve o problema. Somente o conhecimento e a experiência, juntamente com uma boa capacidade de análise e de síntese, podem orientar na decisão de fazer ou não uma determinada hipótese simplificadora no modelo. Normalmente, um modelo é construído simples de início, e vai incorporando informações e tornando-se mais complexo em realimentações sucessivas (Perin Filho, 1995).

Da afirmação de que um modelo é a representação de um sistema ou de um de seus componentes, pode-se classificá-lo de várias formas, sendo os físicos e os matemáticos os mais comuns. Com base em diferentes critérios, os modelos matemáticos podem ser classificados de acordo com o objetivo, em modelos de predição e mecanísticos; de acordo com as características, em dinâmicos e estáticos, biológicos e econômicos, estocásticos e determinísticos. Na pesquisa, de uma maneira geral, os mais explorados são os *estocásticos* e os determinísticos.

Naylor (1966) definiu simulação como uma técnica numérica para conduzir experimentos com certos tipos de modelos matemáticos, os quais descrevem o comportamento de um sistema complexo em um computador digital, por determinado período de tempo. Já para Shimizu (1984), simulação é essencialmente um trabalho com analogias, é uma modalidade experimental de pesquisa que procura tirar conclusões através de exercícios com modelos que representam a realidade.

Dados climáticos disponíveis e confiáveis são fundamentais em uma eficaz previsão do desenvolvimento, do crescimento e da produção das culturas agrícolas através de modelos de simulação para determinada cultura. Na maioria das vezes, as informações climáticas apresentam uma série de falhas, que podem inviabilizar a sua aplicação nos modelos de simulação de crescimento e de produção das culturas.

Vários pesquisadores vêm utilizando diversos modelos das mais diversas áreas, como Wallis e Griffiths (1995), que avaliaram o desempenho de simuladores de dados climáticos "WXGEN", componente do modelo "EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*)", e concluíram que esse gerador simula satisfatoriamente seqüências de dados climáticos, concordando razoavelmente com os valores médios observados, com a variabilidade e com a frequência de eventos extremos.

Os modelos de simulação de culturas são ferramentas muito importantes no estudo das funções de produção, os quais interagem como submodelos dos distintos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, para a previsão de crescimento, desenvolvimento e produção das culturas. Os

modelos são dinâmicos e funcionais, pois descrevem mudanças diárias nas variáveis da cultura, considerando os principais processos morfofisiológicos que nela ocorrem. Whisler *et al.* (1986) e Jones e Ritchie (1990) descreveram uma série de modelos de simulação das culturas que podem ser usados em estudos diversos, entre eles a irrigação.

Os estudos de produção de culturas são tradicionalmente conduzidos por meio de experimentos agrônômicos de campo, e as funções de produção são derivadas de análises estatísticas, sem entendimento dos princípios biológicos e físicos envolvidos no processo. Recentemente, as aplicações de conhecimentos com base em sistemas de manejo de culturas têm obtido popularidade em virtude da expansão do conhecimento dos processos envolvidos no crescimento de plantas. O DSSAT permite ao usuário combinar modelos de crescimento de culturas com aspectos econômicos e avaliações dos impactos ambientais (Jame e Cutforth, 1996).

Alguns modelos de simulação utilizam coeficientes genéticos como dados de entrada, e estes permitem que os modelos simulem o desempenho de cultivares em diferentes solos, clima e ambientes. Hunt *et al.* (1993) desenvolveram o *software* Gencalc (calculador de coeficientes genéticos) para facilitar os cálculos dos coeficientes genéticos utilizados em modelos, os quais são estimados a partir de dados de experimentos de campo. Os valores simulados pelo modelo são comparados com os dados do experimento, e os coeficientes são ajustados até que os dados simulados concordem com os dados do experimento.

O alcance da aplicabilidade de modelos localizados pode se estender para o planejamento regional e a análise da produtividade, pela combinação de suas capacidades com os sistemas de informações geográficas (Cabelguenne *et al.*, 1995).

Cabelguenne e Jones (1989) e Lal *et al.* (1993) utilizaram modelos de simulação para definir as estratégias de irrigação e de manejo e o estudo da viabilidade econômica das culturas.

Ruiz-Nogueira *et al.* (2001) utilizaram o modelo Cropgro-soybean para prever o crescimento e a produção da soja em condições limitantes de água para três cultivares em três locais de diferentes condições climáticas do nordeste da Espanha, estabelecendo, assim, melhores datas de semeadura, conforme chuvas e manejos de irrigação.

O modelo Cropgro-soybean

O modelo de simulação de crescimento e de desenvolvimento da soja utilizado no presente trabalho foi o Cropgro-soybean V5.42 descrito por Jones e Ritchie (1990). O modelo Cropgro-soybean foi desenvolvido para simular o crescimento, o

desenvolvimento e a produtividade da soja e também pode ser utilizado para simular a produção de matéria seca, o índice de área foliar, o desenvolvimento da cultura e a produtividade final da soja em função de elementos climatológicos diários, para as condições específicas de cada solo. O armazenamento de água no solo e sua capacidade de suprir as raízes das plantas são simulados com base nos processos de escoamento superficial (*runoff*), percolação e redistribuição de água no perfil. O modelo é sensível às características de cada cultivar, datas de plantio, espaçamento entre plantas, linhas de plantio e opções de manejo de irrigação.

O modelo Cropgro-soybean foi desenvolvido para a cultura da soja e permite as simulações dos principais processos físicos e fisiológicos da cultura, tais como fotossíntese, respiração, acumulação e partição da biomassa, fenologia, crescimento foliar de caules e de raízes, extração de água do solo, e evapotranspiração e produção da soja, respondendo à variação de dados climatológicos de entrada como precipitação, radiação solar, temperaturas máxima e mínima. Também utiliza parâmetros de água no solo para avaliar o suprimento de água pela planta. A sensibilidade do modelo varia com o cultivar, a data de plantio, o manejo entre plantas e o manejo de irrigação. Os modelos de simulação Cropgro-soybean estão agrupados em um Sistema de Suporte à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT), no qual se encontram os vários modelos para as diferentes culturas: milho (Ceres-Maize), trigo (Ceres-Wheat), sorgo (Ceres-Sorghum), arroz (Ceres-Rice), cevada (Ceres-Barley), girassol (Ceres-Sunflower) etc. (IBSNAT, 1989).

Lazinski (1993) utilizou o modelo Cropgro-soybean para testar sua sensibilidade em relação aos parâmetros de entrada e verificar sua habilidade em estimar a produtividade da soja para a região de Londrina, Estado do Paraná, onde constatou que a profundidade de semeadura e a densidade de plantio foram pouco sensíveis em relação à produtividade. Encontrou grande sensibilidade em relação à variação de capacidade de campo e ponto de murchamento permanente.

Com o objetivo de calibrar o modelo Cropgro-soybean para as cultivares de soja Bossier, Santa Rosa, Ocepar 4, BR-16, BR-23, BR-24, BR-30 e Paraná, plantadas na região de Londrina, Estado do Paraná, Klosowski (1994) mostrou que a adaptação do modelo de estimativa de produtividade para um determinado local ou um experimento depende principalmente do ajuste adequado das variáveis genéticas que atuam na determinação de datas de florescimento, maturação e produtividade média de grãos. Para esses cultivares, o modelo mostrou-se bastante preciso, indicando sua possibilidade de uso na região.

Hood *et al.* (1987) observaram, utilizando o modelo Soygro de simulação para cultura soja, na costa sudeste dos Estados Unidos, várias estratégias de irrigação, com níveis iniciais e de reposição de águas variáveis (40%, 70%), (50%, 80%) e (70%, 90%) do conteúdo da água do solo, e com reposição e nível de água inicial dependente da fase da cultura, além de uma outra estratégia dependente da fase, mas com a lâmina pré-determinada. Para as estratégias de irrigação (40%, 70%), (50%, 80%) e (70%, 90%), a renda líquida foi de US\$15,54 ha⁻¹, US\$65,81 ha⁻¹ e US\$32,34 ha⁻¹, respectivamente, valores estes inferiores à renda líquida para as condições de sequeiro, que foi de US\$66,04 ha⁻¹, com um desvio padrão de US\$204,35 ha⁻¹, muito superior aos das estratégias de irrigação citadas, que foram US\$104,26 ha⁻¹, US\$70,83 ha⁻¹, US\$85,86 ha⁻¹, respectivamente. A renda líquida da estratégia dependente da fase de crescimento foi superior à das demais estratégias e o desvio padrão do retorno líquido foi de US\$ 79,77 ha⁻¹, para uma produtividade da cultura soja de 3.560 kg ha⁻¹.

A data de semeadura é um dos principais fatores que influenciam na produtividade da soja. Os efeitos de 9 diferentes datas de semeadura de duas variedades foram analisados por Egli e Bruening (1992), utilizando o modelo Soygro v. 5, 41, os quais constataram uma significativa correlação entre as produtividades medidas e simuladas. O Soygro simulou baixas produtividades, associadas com o atraso de plantio. Ainda segundo Egli e Bruening (1992), a facilidade em se utilizar modelos dessa natureza está em sua habilidade de manipulação dos fatores ambientais que influenciam no desenvolvimento e na produtividade da soja. Após a calibração e a verificação de que esses modelos podem prever com precisão os parâmetros da cultura em estudo, os modelos podem ser usados como ferramentas para solos climáticos e da planta, bem como obter resposta da planta em relação a esses parâmetros.

Na realização deste trabalho, foi utilizado o modelo matemático fisiológico denominado Cropgro-soybean, desenvolvido para a simulação do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da soja (*Glycine max*). Os principais objetivos foram calibrar o modelo Cropgro-soybean para as cultivares de soja Coodetec (CD-210, CD-206, CD-204, e CD-202), cultivadas na região de Palotina, após a calibração do modelo, realizar a simulação do crescimento e do desenvolvimento da cultura para a semeadura em 1º de novembro nas 25 safras compreendidas entre os anos de 1974 a 1999; analisando o comportamento climático e o crescimento da planta (IAF); e as produtividades simuladas, possibilitando a determinação dos fatores que mais influenciam o desenvolvimento da cultura.

Material e métodos

O estudo foi realizado para o município de Palotina, estado do Paraná, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 24°17'S, longitude de 53°50'30" e altitude de 333 m.

As simulações foram realizadas utilizando-se um modelo de simulação (Cropgro-soybean) desenvolvido para a simulação do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da soja [*Glycine max* (L)], considerando o balanço de água no solo.

O arquivo de dados de entrada do modelo é composto de dados climatológicos, de solo e de coeficientes genéticos do cultivar.

Climatológico

O conjunto das variáveis climáticas diárias de entrada utilizado pelo modelo é formado por temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C), total diário de precipitação pluviométrica (mm) e radiação solar (MJ m⁻²). O Iapar (Instituto Agrônomo do Paraná) possui uma estação meteorológica localizada em Palotina, Estado do Paraná, desde 1974, a qual está equipada com instrumentos para a medida da precipitação, da radiação solar global, da insolação, das temperaturas máxima e mínima do ar, entre outras variáveis.

Na realização deste trabalho, utilizaram-se dados de 1974 a 2002; nos anos de 2000 e 2001 foram utilizados para ajustar os coeficientes do modelo, e de 1974 a 1999 utilizados para realizar as simulações. Os dados de irradiação solar global, compreendidos no período de 1974 a 1982, foram calculados pela equação de Angstron (1924).

Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios para o período de 1974 a 2002, de precipitação, de radiação solar global, de temperaturas máxima e mínima, com os dados coletados na estação meteorológica do Iapar, localizada em Palotina, Estado do Paraná.

Tabela 1. Médias dos valores da Precipitação (P), Radiação solar Global (RG), temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) para Palotina, Estado do Paraná, no período de 1974 a 2002.

	P (mm)	R _G (MJ m ⁻²)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)
Janeiro	168,35	18,02	26,94	16,64
Fevereiro	155,63	16,98	26,63	16,60
Março	11,43	15,48	26,03	15,69
Abril	138,26	12,74	23,80	13,34
Maió	166,96	10,26	20,82	10,10
Junho	112,11	9,33	19,50	8,70
Julho	81,13	10,67	19,60	8,40
Agosto	78,31	11,88	21,54	9,69
Setembro	141,64	13,28	21,81	10,78
Outubro	166,02	15,66	24,04	13,07
Novembro	165,21	17,93	25,55	14,31
Dezembro	172,80	18,58	26,32	15,74

Fenológicos

O conjunto de informações fenológicas necessárias para a calibração dos coeficientes genéticos foi: data de semeadura, emergência, floração e maturação fisiológica, peso de 1000 grãos e produtividade da cultura (kg ha^{-1}). Esses dados foram disponibilizados pela Coodetec - Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda. Na Tabela 2, estão apresentadas as datas de floração e maturação fisiológica, peso de 1000 grãos e produtividade da cultura, para os 4 cultivares (CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210), semeados no dia 16/11/00 com emergência em 23/11/00, utilizados para a calibração do modelo. Os dados foram contados em dias julianos, iniciando-se na data de emergência. A semeadura do experimento foi realizada colocando-se as sementes a 3 cm de profundidade, sob um sistema de plantio direto, utilizando-se, na semeadura, o número de sementes que correspondesse a 17 plantas por metro (determinado pelo teste de germinação) e um espaçamento de 0,45 m entre linhas. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições, no qual se realizou a média para a utilização no ajuste dos

coeficientes genéticos do modelo.

Tabela 2. Duração do período emergência - florescimento (dias), emergência - maturação fisiológica (dias), peso de 1000 grãos (Kg) e produtividade da cultura (Kg ha^{-1}), para os quatro cultivares.

	CD 202	CD 204	CD 206	CD 210
Florescimento (dias)	47	52	47	47
Maturação Fisiológica (dias)	107	115	109	104
Peso de 1000grãos (kg)	0,1323	0,1397	0,1403	0,1380
Produtividade (kg ha^{-1})	3093,21	3510,20	3097,85	2682,70

Solo

O solo predominante na região estudada é caracterizado como sendo Latossolo Roxo Distrófico com relevo plano e de textura argilosa. As características químicas e físicas (retenção de água e granulometria) foram determinadas no Laboratório de Solos – Integrante Cela-PR, do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, cujos valores são apresentados nas Tabelas 3, 4, e 5, respectivamente.

Calibração do modelo Cropgro-soybean

A calibração dos coeficientes do modelo Cropgro-soybean para um determinado local de interesse é efetuada a partir do ajuste nos coeficientes genéticos que caracterizam determinados aspectos da cultura.

Tabela 3. Análise Química

PH				$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$			mg dm^{-3}		G dm^{-3}
CaCl ₂	H ₂ O	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	P	C	
4,8	5,4	0,20	6,64	7,48	4,56	0,30	16	21,95	

Tabela 4. Características Físico-Hídricas

Camada (cm)	Capacidade de Campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	Ponto de Murcha ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	Densidade Global (g cm^{-3})
0 - 40	0,319	0,233	1,20

Tabela 5. Análise Granulométrica

Camada (cm)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 - 40	03	05	10	82

A seqüência de procedimentos para se obter a calibração dos coeficientes genéticos é:

1. selecionar os coeficientes genéticos de um determinado genótipo a partir de genótipos que estejam no mesmo grupo de maturação ou que apresentem crescimento em área de adaptação similar ao genótipo em questão;
2. rodar o modelo para o local, cultivar ou tratamento;
3. comparar os valores estimados e observados e verificar seu ajuste; se o ajuste não foi adequado, ajustar, primeiramente, a data prevista de florescimento e, em seguida, a data prevista de maturação; finalmente, o ajuste dos componentes de rendimento (sementes por vagem, vagens por m^2 , massa de vagens e sementes). Isso pode ser feito com o aumento e com a diminuição do valor de determinados

coeficientes por processo de tentativa e erro, até que se obtenha resultados de boa qualidade.

O conjunto de coeficientes genéticos então obtidos é utilizado para simular o crescimento e o desenvolvimento e estimar a produtividade da cultura nos anos e nas datas de semeaduras para um determinado local em questão.

Variáveis de saída do modelo

O modelo é capaz de gerar três arquivos de saída: o primeiro apresenta o resumo dos parâmetros de entrada e aqueles calculados pelo modelo; o segundo arquivo, as variáveis da cultura *versus* tempo, e o terceiro, o balanço da água no solo.

As datas em que ocorreram os diversos estágios fenológicos da cultura, durante o ciclo de

crescimento, são listadas no primeiro arquivo de saída, que mostra ainda o acúmulo de biomassa, a variação do índice de área foliar e os componentes do balanço de água, como a precipitação e o manejo de irrigação, se for utilizado. Ainda nesse arquivo, são listadas as datas de florescimento e de maturação fisiológica, a produtividade de grãos, a massa de grãos, o número de sementes por metro quadrado e por vagem, o índice de área foliar máximo, a biomassa total e a massa das hastes, também as datas de aplicação de irrigação e as quantidades aplicadas, quando for utilizado o manejo de irrigação.

No segundo arquivo de saída, são listados a variação do índice de área foliar, o número de vagens, a massa de vagens sementes e as folhas, o volume de raízes e o estresse hídrico versus tempo dentro do ciclo de crescimento.

No terceiro arquivo, são listados os componentes de balanço hídrico, tais como a precipitação, os dados climatológicos e o conteúdo de água no solo em função do tempo.

Simulação de crescimento, do desenvolvimento e da produtividade

Um conjunto de equações diferenciais simula as relações físico-fisiológicas envolvidas no ciclo de desenvolvimento da cultura através de processos interativos e apresenta, como resposta, as datas em que foram atingidos os diferentes estágios e as produtividades simuladas.

Após o ajuste dos coeficientes genéticos, foram realizadas simulações para semeadura em 1º de novembro dos 4 cultivares Coodetec, CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210, os quais vêm alcançando satisfatórias produtividades na região, nas 25 safras compreendidas entre os anos de 1974 e 1999.

Resultados e discussão

Coefficientes genéticos ajustados

Para que se possa realizar a expansão da simulação do crescimento, do desenvolvimento e de produtividade da cultura da soja em novas regiões agrícolas, são necessários os coeficientes genéticos ajustados para cada cultivar, os quais, após o ajuste dos coeficientes no modelo, podem ser utilizados para a simulação em outras condições de solo e de clima.

Na Tabela 6, encontram-se apresentados os coeficientes genéticos dos 4 cultivares, ajustados na realização da calibração do modelo Cropgro-soybean, para as condições de solo e de clima da região de Palotina, Estado do Paraná.

Simulações realizadas

Nas simulações dos 4 cultivares realizadas para a data de semeadura em 1º de novembro, das 25 safras em estudo, observadas na Figura 1, percebe-se grande variação nas produtividades

simuladas, isso devido a diferentes comportamentos climáticos encontrados em cada ano. Dos quatro cultivares em estudo, as maiores produtividades simuladas encontradas foram na safra de 1998/99, sendo: 3447 kg ha⁻¹, 3953 kg ha⁻¹, 3474 kg ha⁻¹ e 3373 kg ha⁻¹, respectivamente para os cultivares CD-202, CD-204, CD-206 e CD-210, Nessa safra, a duração dos períodos semeadura-florescimento, semeadura-maturação fisiológica e semeadura-colheita foram: 45, 112 e 124 dias, 51, 120 e 132 dias, 45, 114 e 126 dias, 45 107 e 119 dias, respectivamente, para os cultivares CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210.

Na safra de 1990/91, houve a ocorrência das menores produtividades simuladas, 613kg ha⁻¹,958 kg ha⁻¹, 744 kg ha⁻¹e 589 kg ha⁻¹, respectivamente, para os cultivares CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210. O comportamento do período semeadura-florescimento, semeadura-maturação fisiológica e semeadura-colheita, nessa safra foi de 41, 110 e 122 dias, 46, 123 e 125 dias, 41, 112 e 124 dias, 41 104 e 116 dias, respectivamente, para os cultivares CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210. Observa-se que todos os cultivares diminuíram o ciclo em relação ao ciclo ocorrido na safra de 1998/99.

Tabela 6. Coeficientes genéticos ajustados para a calibração do modelo.

Coeficientes	Cultivares			
	CD 202	CD 204	CD 206	CD 210
CSDL	12,83	12,83	12,83	12,83
PPSEN	0,303	0,303	0,303	0,303
EM-FL	27	27	27	30
FL-SH	7,5	7,5	6,5	7,5
FL-SD	12	13,5	14	16,5
SD-PM	31	31	34	33
FL-LF	18	18	18	18
LFMAX	1,030	1,030	1,030	1,030
SLAVAR	355	355	355	355
SIZLF	140	170	170	170
XFRT	1,0	1,0	1,0	1,0
WTPSD	0,120	0,115	0,122	0,121
SFDUR	13,5	13,0	12,0	12,0
SDPDV	2,05	2,05	2,05	2,05
PODUR	8,0	8,0	8,0	8,0

Sendo: CSDL - Também chamada de CSDVAR, comprimento crítico do dia, acima do qual o processo de desenvolvimento reprodutivo não é afetado (horas); PPSEN - Inclinação da resposta relativa do desenvolvimento para fotoperíodo com o tempo (1/hora); EM-FL - Período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor (R1); FL-SH - Período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem (R3) (dias fototermais); FL-SD - Período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente (R5) (dias fototermais); SD-PM - Período entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica (R7) (dias fototermais); FL-LF - Período entre o aparecimento da primeira flor (R1) e final da expansão foliar; LFMAX - Taxa máxima de fotossíntese da folha a uma taxa ótima de temperatura 30°C; Slavarn - Área foliar específica sob condições padrão de crescimento; SIZLF - Tamanho máximo da folha completamente expandida (cm²); XFRT - Máxima fração do crescimento diário que é particionada para a semente mais a vagem; WTPSD - Peso máximo por semente (g); SFDUR - Duração do período de enchimento das sementes nas vagens, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); SDPDV - média de sementes por vagem, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); PODUR - Tempo necessário para o cultivar alcançar condições ideais de vagens (dias fototermais). Observa-se que os 4 cultivares apresentaram diferenças em alguns de seus coeficientes genéticos ajustados, sendo estes os principais valores o tempo de duração de alguns períodos como: período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor; período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem; período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente, entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica. O peso máximo por sementes foi um componente de produção não-alterado, e, portanto, seus valores foram os reais encontrados no experimento a campo. O período de enchimento das sementes nas vagens, sob condições de crescimento padrão, foi outra componente que teve variação entre os cultivares. O modelo Cropgro-soybean apresentou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, mostrando

variação entre as produtividades simuladas dos 4 cultivares para as mesmas condições de clima e de solo.

O comportamento da precipitação pluviométrica ocorrida para as safras de 1998/99 e de 1990/91 (maior e menor produtividade), pode ser observado na Figura 2, na qual se vê uma boa distribuição dos 604 mm precipitados na safra de 1998/99. Para a safra de 1990/91, a precipitação foi de 474 mm, irregularmente distribuída, sendo que, do período de 44 a 84 dias após a semeadura, ocorreram apenas 16 mm de precipitação, fase em que a planta se encontrava entre o florescimento e a maturação fisiológica.

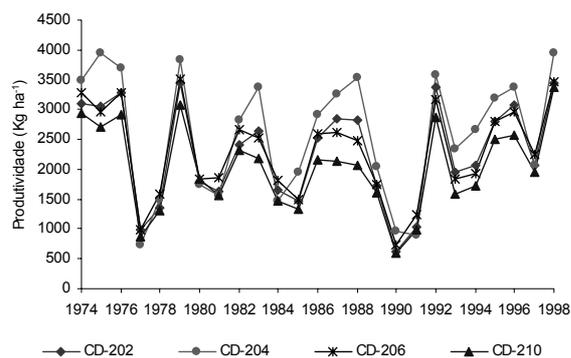


Figura 1. Produtividades simuladas para semeadura em 1º de novembro, para o período de 1974 a 1998.

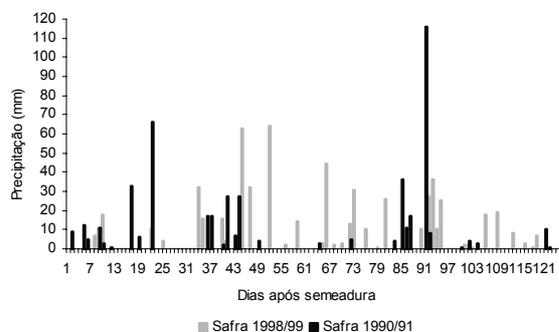


Figura 2. Distribuição da precipitação para as safras de 1998/99 e de 1990/91, semeadas em 1º de novembro.

Para a safra de 1998/99 e 1990/91, foram simulados os índices de áreas foliares para os 4 cultivares da soja, os quais se encontram ilustrado nas Figuras 3 e 4. Entre as duas safras analisadas, grandes diferenças de IAF foram encontradas; já entre os cultivares em cada safra, detectaram-se poucas diferenças.

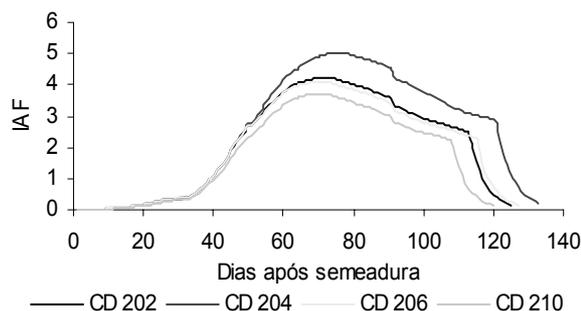


Figura 3. Índice de Área Foliar, simulado para as safras de 1998/99.

Para a safra de 1998/99, com maior produtividade, os valores de IAF encontrados foram 4,22, 5,01, 4,09 e 3,7 $m^2 m^{-2}$, respectivamente, para os cultivares CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210; esses máximos valores de IAF aos 72 dias após a semeadura.

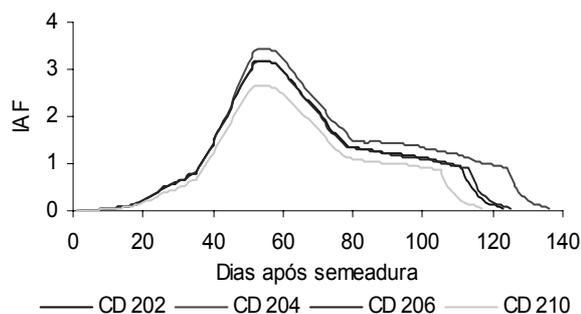


Figura 4. Índice de Área Foliar, simulado para as safras de 1990/91.

Na safra de 1990/91, ocorreram as menores produtividades, e os máximos IAF encontrados aos 54 dias após a semeadura foram de: 3,19, 3,45, 3,18 e 2,67 $m^2 m^{-2}$, respectivamente. Observa-se que os IAF não foram tão baixos devido à ocorrência de precipitação regular até os 44 dias após a semeadura; desse período em diante, a falta de água prejudicou o desenvolvimento da planta.

Na Tabela 7, encontram-se o comportamento médio da irradiação solar global, as temperaturas máxima e mínima, ocorridos durante o ciclo médio dos 4 cultivares para as safras de 1998/99 e de 1990/91, de maior e de menor produtividade, respectivamente. As temperaturas máxima e mínima tiveram o mesmo comportamento, sendo superiores na safra de menor produtividade. A irradiação solar global apresentou comportamento diferente; apresentou maior valor médio na safra de maior produtividade. Isso se justifica pelo fato de a precipitação ocorrida no período não ter sido tão elevada, mas sim bem distribuída, ocasionando menos dias nublados ou parcialmente nublados, dias nos quais a

irradiação solar é menor.

Tabela 7. Médias de irradiação solar, temperatura máxima e mínima, precipitação e ciclo da cultura da soja.

	Safra (1998/99)	Safra (1990/91)
Irrad. Solar (MJ m ⁻²)	19,14	18,32
Temp. Máxima (°C)	31,37	32,56
Temp. Mínima (°C)	19,32	19,87
Precipitação (mm)	604	474
Ciclo (dias)	125	124

A precipitação ocorrida na safra de 1990/91, de menor produtividade, foi de 78,5% da precipitação ocorrida na safra de 1998/99. O ciclo médio dos 4 cultivares nas duas safras não diferiu devido ao aumento da irradiação solar em uma safra ter sido compensado com o aumento da temperatura da outra.

Análise das produtividades simuladas

Na Tabela 8, são apresentados as produtividades máximas, mínimas e médias simuladas, e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 8. Produtividades simuladas para os 4 cultivares semeados em 1º de novembro.

Cultivar	Máxima (Kg ha ⁻¹)	Mínima (Kg ha ⁻¹)	Média (Kg ha ⁻¹)	Desvio padrão
CD 202	3448	613	2288,13	842,73
CD 204	3953	734	2594,49	1034,84
CD 206	3518	744	2305,47	784,85
CD 210	3373	589	2024,69	731,42
Geral	3573	670	2303,20	867,10

Em alguns anos, as produtividades mínimas encontradas nas simulações, para o agricultor, não acontecem, pois, dependendo das condições climáticas, ele elimina a cultura existente e realiza uma nova semeadura em épocas mais tardias, não atingindo produtividades tão altas, mas nem produtividades muito baixas. Podemos afirmar que as produtividades máximas encontradas ocorreram em anos sem nenhum déficit hídrico, caracterizando-se os potenciais máximos dos cultivares. Como podemos observar, o cultivar CD 204 apresentou a maior produtividade média e a maior produtividade máxima, comparando-se com os outros cultivares.

Analisando-se as produtividades médias, os quatro cultivares não apresentaram grandes diferenças, observando uma variação de 22% entre a maior e a menor produtividade média. Analisando-se o comportamento do desvio padrão médio das quatro cultivares, observou-se o menor desvio de 731,42 kg ha⁻¹, para o cultivar CD 210, sendo o cultivar CD 204 o que apresentou maior desvio padrão de 1034,84 kg ha⁻¹, sendo intermediário para os outros cultivares.

Conclusão

Mediante os resultados obtidos na realização

deste trabalho, pode-se concluir que: o modelo Cropgro-soybean demonstra alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, mostrando variação entre os cultivares; a distribuição da precipitação pluviométrica foi um dos fatores que mais influenciaram no Índice de Área Foliar e na produtividade; a potencial máximo de produtividade da cultura da soja para a região de Palotina, é de aproximadamente 3573 kg ha⁻¹; dos quatro cultivares analisados, o CD 204 foi o cultivar que apresentou melhores produtividades.

Referências

CABELGUENNE, M.; JONES, C.A. Simulation of cropping systems in Southern France. *In: SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE*, Austin, Texas, 1989. *Proceedings...* Austin, Texas: 1989. p. 707-711.

CABELGUENNE, M. *et al.* Strategies for limited irrigation of maize in southwestern France - a modeling approach. *Trans. ASAE*, St Joseph, v. 38, p. 507-511, 1995.

EGLI, D.B.; BRUENING, W. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: Soygro. *Agric. Florest Meteorol.*, Amsterdam, v. 62, p. 19-29, 1992.

HOOD, C.P. *et al.* Computer analysis of soybean irrigation management strategies. *Trans. ASAE*, St. Joseph. v. 30, p. 417-423, 1987.

HUNT, L.A. *et al.* GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. *Agron. J.*, Madison, v. 85, p. 1090-4, 1993.

IBSNAT. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer – project 1989a. Documentation for IBSNAT Crop Models Input e Output Files Version 1.1: for the decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT V. 2.1). IBSNAT project, Honolulu: University of Hawaii, 1989 a. 61 p.

JAME, Y.M.; CUTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. *Can. J. Plant Sci.*, Ottawa, v. 76, p. 9-19, 1996.

JONES, C.A.; KINIRY, J.R. *Ceres-Maize: A simulation model of maize growth and development*. College Station: Texas A&M University Press, 1986.

JONES, J.W.; RITCHIE, J.T. Crop growth models. *In: Hoffman, G.L. et al. (Ed.). Management of farm irrigation system*. S. L.: s.n., 1990. p. 63-89

KLOSOWSKI, E. S. *Utilização do modelo Soygro para estimar a produtividade da soja para a região de Londrina, Estado do Paraná*. 1994. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1994.

LAL, H. *et al.* Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis. *Trans. ASAE*, St Joseph, v. 36, p. 175-184, 1993.

LAZINSKI, L.R. *Viabilidade de utilização do modelo Soygro para a região de Londrina-PR*. 1993. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

NAYLOR, T.H. *et al.* *Computer simulation techniques*. New York: John Wiley Sons, Inc., 1966.

PERIN FILHO, C. *Introdução à simulação de sistemas*. Campinas: Editora da Unicamp, 1995.

RUÍZ-NOGUEIRA, B. *et al.* Calibration and use of Cropgro-Soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. *Agric. Syst.*, Oxford, v. 68, p. 151-173, 2001.

SHIMIZU, T. *Pesquisa operacional em engenharia, economia e administração: modelos básicos e métodos computacionais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.

WALLIS, T.W.R.; GRIFFITHS, J.F. An assessment of the weather generator (WXGEN) used in the erosion/productivity impact calculator (EPIC). *Agric. Forest Meteorol.*, Amsterdam, v. 73, p. 115-33, 1995.

WHISLER, F.D. *et al.* Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.*, San Diego, v. 40, p. 141-208, 1986.

Received on September 27, 2004.

Accepted on June 17, 2005.