

# **SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO FENOLÓGICO DAS PLANTAS**

RENATA GONÇALVES MOTA<sup>1</sup>  
EDUARDO YASUJI CHIBANA<sup>2</sup>  
ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA<sup>3</sup>  
ANDRÉ SOUZA VIEIRA<sup>2</sup>

## **RESUMO**

Premeditar o desenvolvimento fenológico de culturas é necessário para a simulação do crescimento das plantas e também para antecipar o planejamento de práticas agrícolas. Este trabalho apresenta um programa computacional para a preconização dos principais estágios fenológicos das culturas. É um módulo para ser executado junto com outros módulos que simulam o crescimento e o balanço da água como parte de um modelo de crescimento de uma cultivar. O progresso de desenvolvimento é um função de temperatura, fotoperíodo, água e características da planta, definidas como coeficientes genéticos da cultivar a ser simulada. O teste do programa realizado para a cultura do feijão mostra que a representação temporal das fases apresentou-se de acordo com o desenvolvimento fenológico da cultivar nos campos durante o período do experimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem, desenvolvimento de culturas, fenologia.

## **SIMULATION OF THE PHENOLOGYCAL DEVELOPMENT OF CROPS**

### **ABSTRACT**

Prediction of crop phenological development is needed for simulation of crop growth and also to anticipate the planning of agricultural practices. This work presents a computational program for prediction of the main phenological stages of crops. It is a module to be run together with other modules that simulate crop growth and water balance, as part of a crop growth model. The developmental progress is a function of temperature, photoperiod, water and growth characteristics of the plant, defined as genetic coefficients of the cultivar to be simulated. The test of the program with bean crop showed that temporal representation of phases was in accordance with the phenological development of the crop in the field during the period of the experiment.

**KEYWORDS:** Modeling, crop development, phenology

---

<sup>1</sup> Processamento de Dados, MS, Bolsista do Consórcio Brasileiro de P&D Café-IAPAR, Área de Engenharia Agrícola, Instituto Agronômico do Paraná, Cx Postal 481, 86001-970, Londrina, PR

<sup>2</sup> Cientista da Computação, BS, Consultor do Projeto GeoSafras/IAPAR, Londrina, PR

<sup>3</sup> Pesquisador da Área de Engenharia Agrícola do IAPAR, Londrina, PR

## 1. INTRODUÇÃO

Na agricultura, os modelos de simulação têm se tornado ferramentas altamente eficientes para a tomada de decisão a nível regional e de propriedade agrícola (RITCHIE et al., 1990), podendo ser usados para estimativa do crescimento de uma cultura ou de vários sistemas agrícolas de propriedade. (MEINKE et al., 1995). Podem ser usados também na análise de comportamento de genótipos, manejo de água e determinação de riscos de cultivos.

Os modelos fenológicos predizem a época de ocorrência de eventos relacionados com o desenvolvimento do organismo. Em plantas, o ciclo de desenvolvimento é definido em subperíodos denominados fases fenológicas e a mudança de uma fase para outra é chamada de estágio fenológico. A definição correta das fases fenológicas do ciclo de desenvolvimento da cultura, bem com a estimativa acurada das datas de ocorrência dos estádios fenológicos e duração das fases, é de fundamental importância para a simulação dos processos de formação e crescimento de órgãos das plantas e para estudos de zoneamento agrícola.

A previsão do desenvolvimento vegetativo é também de grande valia para se definir práticas agrícolas, como adubações de cobertura, tratamentos fitossanitários, ou na observação de um evento importante qualquer (uma geada ou um estresse hídrico), associados a estádios bem definidos.

Sabe-se que os elementos climáticos tais como temperatura, fotoperíodo e disponibilidade hídrica afetam a fenologia das plantas (RITCHIE et al., 1990). O efeito de cada variável climática pode ser predominante em determinada fase ou combinado com um ou mais elementos, dificultando a predição da fenologia.

Descreve-se, neste trabalho, um programa computacional para a predição da época de ocorrência dos principais estádios fenológicos das culturas. Esse programa constitui um módulo, que juntamente com outros módulos, desenvolvidos em paralelo por membros do mesmo projeto, compõem um modelo de estimativa do balanço hídrico e produtividade do cultivo.

Este trabalho tem como base o modelo CROPGRO do sistema DSSAT (TSUJI et al., 1994) e sua adaptação ao programa desenvolvido consistem das seguintes atividades: 1) definição das bases fisiológicas; 2) adaptações e parametrização dos principais processos da planta; 3) inclusão do desenvolvimento fenológico das plantas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O módulo do desenvolvimento fenológico foi desenvolvido em linguagem Delphi 7.0, em ambiente Windows e banco de dados Firebird 1.5.0, usando o ciclo de vida por Prototipação (PRESSMAN, 1995). O projeto final foi resultado de sucessivas mudanças a partir de análise do protótipo. O projeto foi desenvolvido a partir de um modelo lógico e relacional das funções envolvidas, ou seja, o detalhamento de todo o processo para se obter e calcular o desenvolvimento fenológico de uma cultivar, para isso utilizou-se como auxiliar o software Microsoft Visio 2003.

Para o desenvolvimento do sistema foram seguidos métodos definidos por Porter (PORTER et al. 2003), o qual sugere a aplicação de estrutura modular para acomodar os componentes do sistema, com o objetivo de facilitar a manutenção e o desenvolvimento do programa. Além de módulos que simulam a dinâmica: planta-solo-atmosfera, o programa inclui também uma interface para facilitar a entrada de dados das simulações, o banco de dados e o módulo de saída com o ambiente gráfico para visualização e manipulação de informações e resultados. Na Figura 1 é demonstrado a tela inicial do sistema, onde possui todos os módulos necessários para o funcionamento da simulação

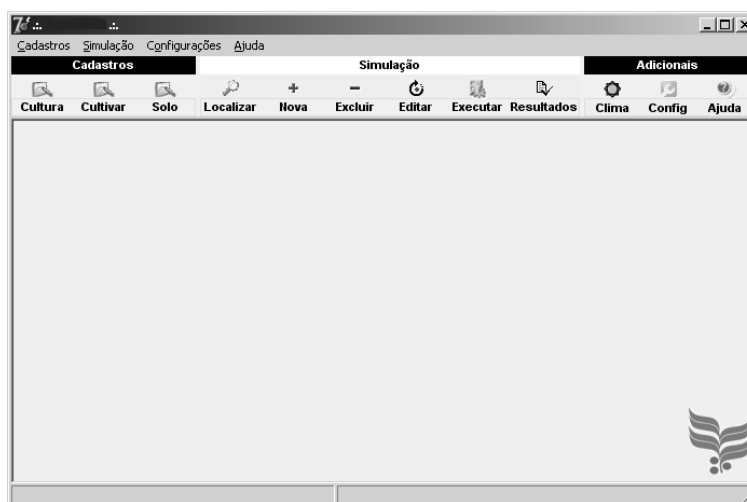


Figura 1. Tela inicial do programa.

Uma simulação, neste sistema, consiste na aplicação de algumas variáveis (solo, clima, cultura, cultivar, balanço hídrico), resultando a predição do desenvolvimento de uma determinada cultura, possibilitando a visualização de saídas de crescimento, produção,

balanço hídrico e clima.

A cada simulação existe a necessidade de se especificar a época de semeadura, o tipo de solo, clima, cultura e cultivar, que são acessadas do banco de dados contendo informações previamente cadastradas.

Na figura 2, é descrita a escala fenológica do feijão, restringindo a sete fases. O ciclo fenológico do feijoeiro foi adaptado ao modelo descrito para a soja por Fehr e Caviness (FEHR & CAVINESS, 1977).

Dados de Fenologia					Modificadores			
Nº	REF	FASE	PARÂMETRO	REQUERIMENTO	TERN	FOTO	HIDRO	SG
1	1	SEMEADURA - INICIO DA GERMINAÇÃO	UMIDADE	MAIOR QUE 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1	INICIO DA GERMINAÇÃO - EMERGENCIA	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	2	EMERGENCIA - FLORESCIMENTO	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 39	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	3	FLORESCIMENTO - VAGEM	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	3	FLORESCIMENTO - SEMENTE	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	5	SEMENTE - MATURAÇÃO	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 28	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	6	MATURAÇÃO - COLHEITA	DIAS FOTOTÉRMICOS	ACUMULADO MAIOR QUE 7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 2. Formulário de fases fenológicas.

Na figura 3 são demonstrados exemplos dos critérios para a progressão das fases fenológicas. A figura 3a refere-se à fase 1 do desenvolvimento fenológico do feijão (figura 2), a qual depende de umidade para progredir, seguindo as condições estabelecidas.

Período	Dias	Condição	Valor crítico
SOMA	1	MAIOR QUE	5

a)

TBase	TO1	TO2	TMax	Acumulado
10	18	30	45	5

Fotoperíodo:  Sensível nMin: 0 nIns: 0

Hídrica:  Sensível Tipo: RETARDA Taxa: 20

b)

Figura 3. critérios para progressão das fases fenológicas nº 1(a) e 2(b).

Na simulação do desenvolvimento fenológico, assume-se a ocorrência de um determinado estágio quando o progresso de desenvolvimento durante uma determinada fase atinge o valor crítico requerido para aquela fase (DCi), conforme o método usado nos modelos do sistema DSSAT (TSUJI et al., 1994). O progresso de desenvolvimento é estimado

pela integração ou soma da taxa de desenvolvimento durante o tempo considerado. A taxa de progresso ( $dP/dt$ ) ao longo da fase é calculada pelo produto entre a taxa de desenvolvimento ótimo ( $D$ ) e fatores modificadores dessa taxa, que são representados em função da temperatura,  $f(T)$ , fotoperíodo,  $g(F)$ , disponibilidade hídrica,  $z(H)$ , e outros fatores que podem ser definidos pelo usuário,  $w(G)$ , ou seja:

$$\frac{dP}{dt} = D f(T) g(F) z(H) w(G) \dots\dots\dots(1)$$

Na Equação 1 o passo de cálculo ( $dt$ ) corresponde a um dia e  $D$  é igual a 1, sendo sua unidade denominada dia fenológico. Assumindo-se o valor unitário para as funções  $f(T)$ ,  $g(F)$ ,  $z(H)$  e  $w(G)$  quando o cultivo se encontra sob condições ótimas de desenvolvimento, o valor requerido para mudança de fase torna-se igual ao número de dias do calendário para atingir o estágio em questão. Sob condições sub-ótimas de desenvolvimento as funções da Equação 1 assumem valores diferentes de 1, podendo acelerar ou retardar o desenvolvimento do cultivo, conforme descrito a seguir.

A função temperatura  $f(T)$  decresce de 1 a 0 em resposta linear a quatro valores de temperatura, sendo um valor definido pela temperatura mínima para iniciar o desenvolvimento ( $T_B$ ), dois valores que definem a taxa ótima de progresso fenológico ( $TO1$  e  $TO2$ ) e um valor correspondente à temperatura em que se encerra o desenvolvimento ( $T_M$ ).

Esses valores são considerados como sendo características genéticas da cultivar e podem ser diferentes para outras fases do ciclo, atribuindo-se, assim, diferentes curvas de resposta à temperatura. Na Figura 2B são apresentados os valores de temperatura e o valor acumulado para término da fase 3, correspondente à emergência ao florescimento. O formulário indica ainda que o progresso dessa fase pode atrasar até 20% devido à deficiência hídrica.

A função fotoperíodo também tem resposta linear e é definida por um fator de sensibilidade ao fotoperíodo da fase ( $FPSEN$ ), que é calculado pela relação  $1/(T_{Ins}-T_{Min})$ , sendo  $T_{Min}$  o valor de duração do dia em que o desenvolvimento é mínimo e  $T_{Ins}$  o valor de duração do dia em que o desenvolvimento passa a ser insensível à duração do dia. Esses valores são também definidos como características genéticas da cultivar.

O fator hídrico é dado por um índice de estresse hídrico, definido pelo déficit de transpiração relativa,  $1-T/T_{max}$ , sendo  $T$  e  $T_{max}$  a transpiração real e transpiração máxima do cultivo, respectivamente, obtidas por cálculo de balanço hídrico do perfil do solo vegetado.

O desenvolvimento pode ser inibido se a disponibilidade hídrica estiver abaixo de um valor estabelecido como crítico, como nas fases de semeadura ao início de germinação e a floração, ou pode atrasar ou adiantar a taxa de progresso fenológico, de acordo com o grau de deficiência hídrica, como nos períodos pré e pós-antese. Assim, para simular um atraso de até 20% em condições de estresse severo a função  $z(H)$  assume o valor igual a 1,2; para adiantar 20%  $z(H)$  é igual a 0,8.

A função  $w(G)$  pode representar quaisquer variáveis físicas, fisiológicas ou morfológicas, como, por exemplo, para iniciar a germinação. Nesse caso o valor crítico para término da fase (DC3) é igual a 1 e a função  $w(G)$  assume o valor igual a zero, quando a retenção de umidade do solo for inferior a uma dada fração crítica na camada de semeadura, e igual a 1, quando atinge esse valor. Essa condição é ilustrada na Figura 2a, na qual a fase 1 (semeadura a início da emergência) termina quando a umidade do solo é maior ou igual a 30% da água disponível na camada de semeadura. A função  $w(G)$  pode também variar gradualmente de zero a 1 para outros fatores, tal como ocorre para os fatores térmico, hídrico e de fotoperíodo, acumulando-se as taxas de progresso até se atingir o valor crítico para o término da fase.

As variáveis meteorológicas necessárias para implementação do modelo computacional foram obtidas da estação climatológica do IAPAR. Os dados de solo foram obtidos de análises do Latossolo Roxo do local. Os dados observados de fenologia utilizados no teste do módulo computacional foram obtidos em experimentos de campo com a cultura do feijoeiro conduzidos durante dois anos (1994 e 1995) em Londrina-PR. Nestes experimentos, a cultivar IAPAR 57 foi submetida a diferentes condições térmicas, proporcionadas pela semeadura em diferentes épocas no outono (Épocas I e II) e primavera (Época III), e regimes hídricos obtidos pela aplicação de irrigação a diferentes níveis de tensão de água no solo (I0= sem irrigação; I1= aplicação de água a -25 kPa; I2= aplicação de água a -70 kPa) ou pela supressão hídrica ao longo do ciclo fenológico (I = 0-20 dias; II = 21-40 dias; III = 41-60 dias; IV = 61 dias a maturação fisiológica; V = irrigação plena).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para cada simulação há necessidade de se especificar a época de semeadura, o tipo de solo, clima, cultura e cultivar, que são acessadas do banco de dados contendo informações previamente cadastradas. Na Figura 2 apresentou-se o formulário de cadastro das fases fenológicas de uma cultivar de feijoeiro, bem como exemplos dos critérios para progressão

durante a fase fenológica.

O resultado do teste do programa computacional é apresentado na Figura 4. O modelo simulou o desenvolvimento adequadamente à duração dos períodos emergência-florescimento e emergência- maturação fisiológica.

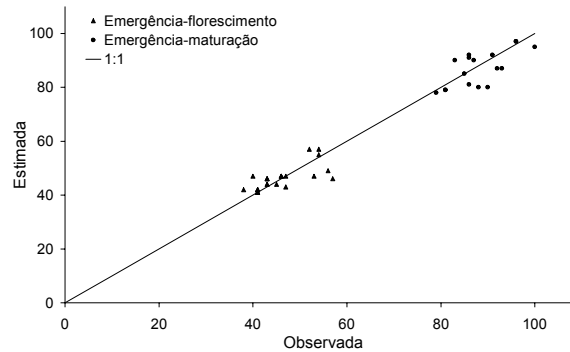


Figura 4. Durações dos períodos emergência – florescimento ▲ e emergência - maturação ○ fisiológica observadas (x) e estimadas (y).

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização de simulações para a demonstração do desenvolvimento de culturas é de total valia para a análise de seus resultados, a fim de se obter predição e formas de controle.

Dentre as contribuições provenientes do desenvolvimento deste trabalho, o reforço ao vínculo entre simulação computacional e desenvolvimento fenológico é um dos mais importantes, vínculo este ainda pouco analisado e explorado por programas de finalidade agrícola.

A formulação e o desenvolvimento do modelo computacional mostrou ser eficiente, alcançando resultados próximos à realidade, visto que foi levado em consideração testes realizados com a cultura do feijão, em solo experimental de Londrina, épocas de 1994 e 1995.

O desenvolvimento do programa, como foi apresentado, fornece uma exploração maior no que se diz respeito ao desenvolvimento fenológico, é um modelo ilimitado, a ser aplicado a diversas culturas, ajustando somente os dados de cada fase fenológica de uma cultivar e solo.

Existe a necessidade de realizar experimentos com outros tipos de culturas, a fim de se obter a validação e a calibração do modelo.

O módulo ainda pode ser melhorado, adicionando outras variáveis e funcionalidades ao sistema e com isso obter resultados com relação a crescimento e produção.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOOTE, K.J.; JONES, J. W., HOOGENBOOM, G..Simulation of crop growth – CROPGRO Model. In: **R. M. Peart and R. B. Curry Agricultural System Modeling**. p. 651 – 692, New York: Marcel Dekker, 1997.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. **Definição e Esquematização das Fases Fenológicas do Cafeeiro Arábica nas Condições Tropicais do Brasil**. p. 65-68, Campinas: Bragantia, 2001.

CANTU, M. **Dominando o Delphi 7: a Bíblia**. 1ª ed. São Paulo: Makron Books, 2003.

FEHR, W. R., CAVINESS, C. E. **Stage of soybeans development**. Ames: Iowa State University. 12 p, 1977.

PORTER, et al. **An Approach for Modular Crop Model Development**. Disponível em: <http://www.icasa.net/modular/index.html>. Acesso em: 01/09/2004.

RITCHIE, J.T.; GODWIN, D.C.; SINGH, U. Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models. In: **Proceedings of IBSNAT Symposium of Decision Support System for Agrotechnology Transfer**. Dept of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, pp.31-45, 1990.

TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S.. **DSSAT v3**. 3º vol., Honolulu: University of Hawaii, 1994.

YORDON, Edward. **Análise Estruturada Moderna**. 3ª ed., São Paulo: Ed. Campus, 1990.