

# Simulação do crescimento e desenvolvimento do trigo utilizando o modelo Ceres-Wheat na região de Campinas (SP)\*: Outro olhar sobre o etanol

SILVA, Fábio César da  
SOLER, Cecília M. Tojo  
BOARETTO, Antonio E.  
SPOLIDORIO, Eduardo S.  
FREITAS, José Guilherme de  
HEINEMANN, Alexandre Bryan

## Resumo

Avaliou-se a eficácia do modelo Ceres-Wheat na estimativa da produtividade e datas de florescimento e de maturidade fisiológica de trigo, cultivar IAC 24. Para comparar os valores estimados pelo modelo Ceres, utilizou-se de dados observados em ensaio de campo com trigo irrigado e adubado com diversas doses de N-fertilizante: 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N no primeiro ano e 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N no 2o ano. O modelo simulou satisfatoriamente a fenologia, os componentes do rendimento e o rendimento do trigo, inclusive o efeito da adubação nitrogenada. As estimativas das datas de florescimento e maturidade fisiológica apresentaram pequenos desvios em relação às datas observadas a campo, que se deveu à ocorrência de temperaturas médias diárias maiores do que a média histórica e conseqüentemente um encurtamento do ciclo da cultivar. Embora haja necessidade de refinamento na estimativa de alguns processos, os resultados indicam que o modelo CERES-Wheat é adequado para estimativas da fenologia e rendimento da cultivar de trigo IAC-24 para previsão de resposta à adubação N.

**Palavras-chave:** modelagem; agrometeorologia; cereais.

## Abstract

The effectiveness of the Ceres-Wheat model was evaluated for estimation of productivity and dates of flowering and physiological maturity of the wheat, cultivar IAC 24. Simulation results were compared with observed data from field experiments of wheat under irrigation and fertilization with different doses of N: 0, 30, 60, 90 and 120 kg ha<sup>-1</sup> of N in first year and 0, 45, 90, 135 and 180 kg ha<sup>-1</sup> of N in 2nd year. The model simulated satisfactorily the fenology, yield components and productivity, including the effect of the N fertilization. The estimates of the dates of flowering and physiological maturity presented deviations from field data, which was attributed to occurrence of higher daily temperature during the crop cycle as compared with historical data, resulting shortening of the cycle of cultivating. Although there is necessity of refinement of some processes, the results indicate that the Ceres-Wheat model is adjusted for estimates of the fenology and yield of wheat and also its response to N fertilization.

**Keywords:** modeling; agro-meteorology; cereals.

### **Resumen**

Se evaluó la efectividad del modelo Ceres-Trigo para estimar la productividad y las fechas de floración y madurez fisiológica del cultivo de trigo IAC 24. Para comparar los valores estimados por los modelos de Ceres, se utilizaron los datos observados en el ensayo de campo con trigo irrigado y fertilizado con diferentes dosis de N-fertilizante: 0, 30, 60, 90 y 120 kg N ha<sup>-1</sup> en el primer año y 0, 45, 90, 135 y 180 kg N ha<sup>-1</sup> en el segundo año. El modelo simulado satisfactoriamente la fenología, rendimiento y sus componentes de trigo, incluyendo los efectos de la fertilización con nitrógeno. Las estimaciones de las fechas de floración y madurez fisiológica mostraron pequeñas desviaciones de las fechas observadas en el campo, lo cual fue debido a la ocurrencia de temperaturas medias diarias superiores a la media histórica, por lo que un ciclo de vida más corto del cultivar. A pesar de que se necesitan para refinar la estimación de algunos procesos, los resultados indican que el CERES-El trigo es adecuado para las estimaciones de la fenología y el rendimiento de cultivar trigo IAC-24 para predecir la respuesta a la fertilización con N.

Palabras-clave: modelización; agrometeorología; cereales.

## INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma planta de ciclo anual, cultivada durante o inverno e a primavera. O grão é consumido na forma de pão, massa alimentícia, bolo e biscoito. É, usado também como ração animal, quando não atinge a qualidade exigida para consumo humano (Embrapa Trigo, 2012). Na Europa, os cereais têm emprego também como matéria prima para produção de etanol, a exemplo da França. A aceleração da produção de etanol no país ilustra a determinação europeia de responder aos compromissos do Protocolo de Kyoto para limitar a emissão de gases de efeito estufa. O combustível deverá representar 10% do consumo total de carburantes no velho continente até 2015.

No Brasil, o trigo ocupa o primeiro lugar em volume de produção mundial, a produção anual oscila entre 5 e 6 milhões de toneladas. É cultivado nas regiões Sul (RS, SC e PR), Sudeste (MG e SP) e Centro-oeste (MS, GO e DF). O consumo anual no país tem se mantido em torno de 10 milhões de toneladas (Embrapa Trigo, 2012). Cerca de 90% da produção de trigo está no Sul do Brasil. O cereal vem sendo introduzido paulatinamente na região do cerrado, sob irrigação ou sequeiro. A capacidade de prever a produtividade da cultura do trigo em face às condições edafoclimáticas e a oferta da matéria prima para multíusos é estratégica, sendo os modelos uma ferramenta importante.

Nos últimos anos têm-se gerado vários tipos de modelos de simulação para uso em agricultura com diferentes níveis de complexidade. Pela sua importância, destacam-se os modelos do IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer), que foi um projeto internacional com sede na Universidade de Havaí, criado para desenvolver um sistema para suporte à decisão e transferência de tecnologia agrícola. Esse sistema, nomeado DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) consta de grande base de dados, modelos de simulação de produção de cultivos como trigo, cevada, milho, arroz, girassol, sorgo, soja, feijão, amendoim e batata, além de ferramentas de análises biofísicas e econômicas (Baethgen, 1995).

Os modelos de simulação do sistema DSSAT estão baseados no enfoque de sistemas, isto é, tratam de compreender as interações dos componentes do sistema agrícola sob estudo. No caso particular dos modelos de simulação de culturas, consiste em: a) simular as interações do genótipo com o ambiente e com o manejo e b) prever o funcionamento de um sistema de produção em resposta aos fatores que influenciam, como o clima e práticas de manejo (Uehara & Tsuji, 1993).

Além da estimativa do rendimento, o conjunto de programas do sistema DSSAT permite avaliar o uso do recurso natural e estimar o risco associado com diferentes práticas de manejo. Através de uma interface visual, o sistema possibilita: a) introduzir, organizar e armazenar dados das culturas, de solos e de clima b) recuperar, analisar e apresentar dados, c) calibrar e validar

modelos de diferentes culturas e d) testar diferentes práticas de manejo num dado local (Jones, 1993).

Logo que o usuário está seguro de que o modelo simula o crescimento e desenvolvimento de uma cultura numa localidade, análises mais complexas da resposta da cultura podem ser conduzidas para diferentes tipos de solo, cultivares, épocas de semeadura, população de plantas e estratégias de irrigação e adubação, com a finalidade de encontrar práticas que sejam mais favoráveis e que envolvam menor nível de risco (JONES et al., 1996; JAME & CURTFORTH, 1996).

Utilização de modelo de simulação para a cultura de trigo nas condições brasileiras foi iniciada em 2001, foi modificando a partir do modelo CERES, pela equipe da Embrapa Trigo, em conjunto com a Universidade de Passo Fundo, em desenvolvimento foi denominado de SimTrigo e escrito na linguagem JAVA usando os princípios de programação orientada para objetos (POO). O modelo SimTrigo está sendo estruturado para simular o rendimento de trigo, a acumulação de biomassa, a duração da área foliar, a fenologia, a absorção de água em resposta a quantidade de água no solo e também os efeitos de pragas e doenças sob a planta, mas não introduziu-se a dinâmica de nitrogênio (FERNANDES et al., 1994 e 1999).

Este trabalho tem como objetivos apresentar de forma sucinta o funcionamento do modelo CERES-Wheat inserido na plataforma do programa DSSAT3.5, assim como apresentar os resultados obtidos das simulações realizadas com o modelo e os observados em experimento de campo, em especial a sua capacidade de detectar os efeitos locais da aplicação de água, de N sob a fenologia e produtividade de grãos do trigo sob irrigação.

## **METODOLOGIA**

Foram utilizados como inputs ou entradas do modelo CERES-Wheat dados obtidos de dois experimentos de campo com o genótipo IAC-24, considerando-se as práticas de manejo cultural, como a alteração da população de plantas, as fertilizações, as irrigações; as datas fenológicas como semeadura, emergência, florescimento, antese, maturidade fisiológica, colheita e os dados dos componentes de produção, número de grãos por metro quadrado e peso de mil grãos. Nesses experimentos, a cultivar IAC-24 foi submetida a diferentes doses de fertilizante: 0, 30, 60, 90 e 120 kg.ha<sup>-1</sup> de N no primeiro ano e 0, 45, 90, 135 e 180 kg.ha<sup>-1</sup> de N no segundo ano, parcelados em 1/3 na semeadura e 2/3 em cobertura (cultura em estágio Zadocks-30). A fonte de N utilizada em ambos os experimentos foi uréia. O regime hídrico foi mantido através do sistema de irrigação por aspersão.

O modelo CERES-Wheat constitui um modelo mecanístico e determinístico que simula, entre vários parâmetros, a duração dos estágios vegetativos e reprodutivos, o acúmulo de biomassa e a produção de grãos em função de diferentes tipos de solo, condições climáticas e práticas de manejo da cultura.

As entradas ou inputs do modelo incluem características do solo, parâmetros climáticos, coeficientes da cultivar e práticas de manejo da cultura, no formato específico do projeto IBSNAT. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma do modelo CERES-Wheat.

As principais características do solo consideradas como entradas para cada camada do perfil são: textura, conteúdo de matéria orgânica, densidade aparente, pH, índice de drenagem, número da curva de escoamento superficial (numero capa) e albedo do solo.

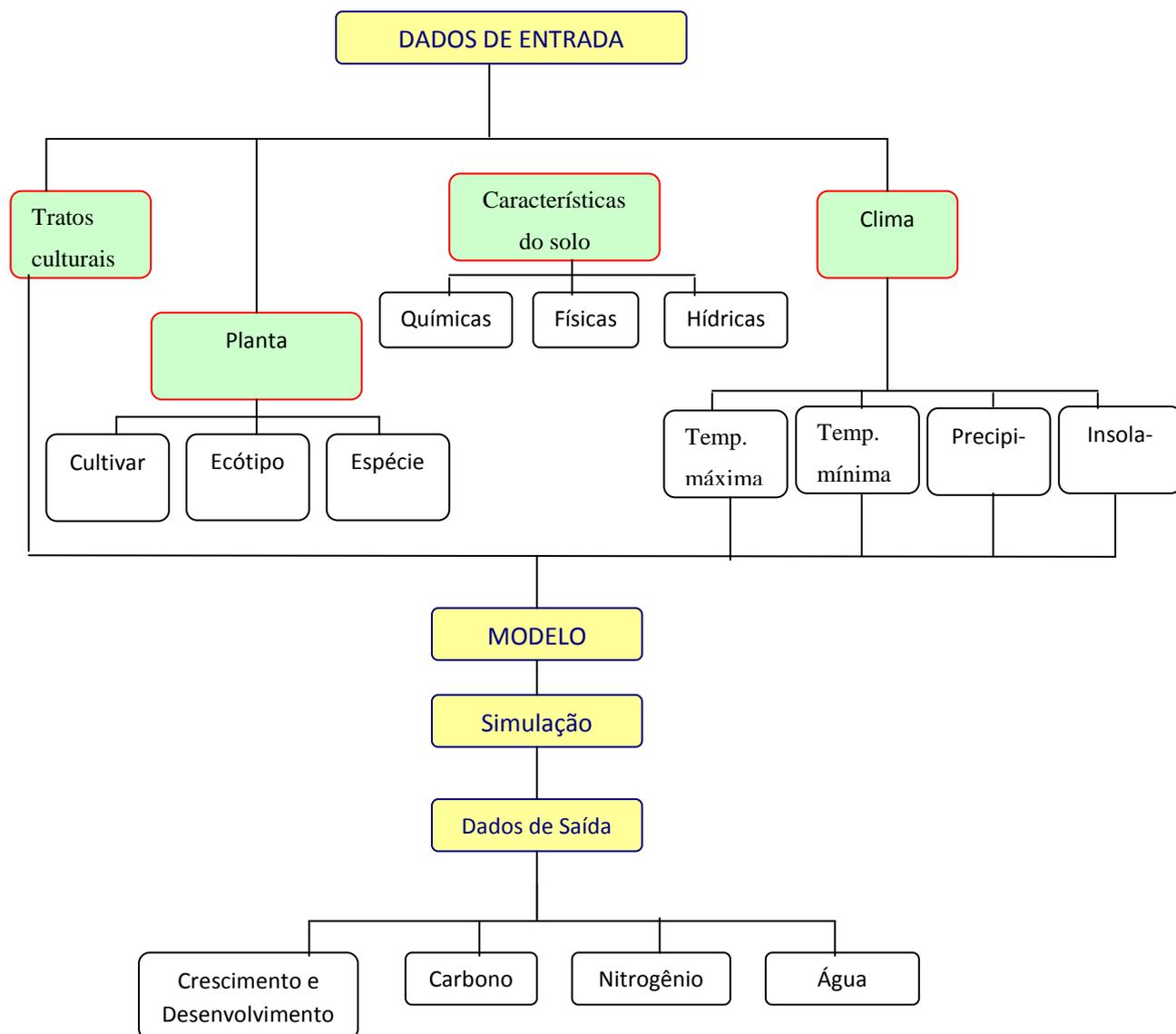


Figura 1. Fluxograma do modelo CERES-Wheat

Um exemplo de arquivo padrão com dados de solo para uso nos modelos incluídos no DSSAT 3.5 é apresentado a seguir na Tabela 1 (UEHARA & TSUJI, 1993).

**Tabela 1.** Arquivo e tela padrão com dados de solo para uso nos modelos (UEHARA & TSUJI, 1993) incluídos no software DSSAT.

*EBMZ850001	SCS	120 LATOSSOLO VERMELHO AMARELLO											
@SITE	COUNTRY	LAT	LONG	SCS	FAMILY								
CPAC	BRASIL	-15.59	-47.70	CLAYEY,	OXIDIC,	ISOTHERMIC	ANIONIC	ACRUSTOX					
@	SCOM	SALB	SLU1	SLDR	SLRO	SLNF	SLPF	SMHB	SMPX	SMKE			
RY	0.14	7.1	0.50	76.0	1.00	1.00	IB001	IB001	IB001				
@	SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLOC	SLCL	SLSI	SLCF	SLNI
SLHW	SLHB	SCEC	SADC										
15	0.00	0.191	0.349	0.389	1.000	-9.0	0.93	1.81	-99	-99	-99	-99	
5.9	-99	-99	0.00										
30	0.00	0.237	0.339	0.367	0.200	-9.0	1.03	1.45	-99	-99	-99	-99	
5.3	-99	-99	0.00										
45	0.00	0.250	0.329	0.371	0.200	-9.0	1.01	1.20	-99	-99	-99	-99	
5.2	-99	-99	0.00										
60	0.40	0.256	0.329	0.385	0.200	-9.0	0.95	1.03	-99	-99	-99	-99	
4.8	-99	-99	0.40										
75	0.80	0.263	0.327	0.389	0.200	-9.0	0.93	0.81	-99	-99	-99	-99	
4.5	-99	-99	0.80										
90	1.00	0.266	0.320	0.394	0.200	-9.0	0.91	0.76	-99	-99	-99	-99	
4.7	-99	-99	1.00										
105	1.20	0.271	0.323	0.394	0.020	-9.0	0.91	0.69	-99	-99	-99	-99	
4.8	-99	-99	1.20										
120	1.60	0.275	0.328	0.394	0.010	-9.0	0.91	0.63	-99	-99	-99	-	
99	4.9	-99	-99	1.60									

Legenda:

Linha 1 – nome do arquivo, classe de solo.

Linha 2 – local, país, latitude, longitude, família do solo.

SSITE = local; SCOUNT = país; LAT = latitude com sinal negativo para quem estiver no hemisfério sul, graus decimais; LONG = longitude, graus decimais; SCS FAMILY = classe de solo.

Linha 3 – cor, albedo, evaporação, drenagem, escoamento superficial, mineralização, fotossíntese, pH, fósforo e potássio.

SCOM = cor do solo úmido, matiz da escala da Munsell; SALB = albedo, fração; SLU1 = limite de evaporação, mm; SLDR = taxa de drenagem, fração dia<sup>-1</sup>; SLRO = curva número para escoamento superficial do Serviço de Conservação de Solo dos USA; SLNF = fator de mineralização, escala de 0 a 1; SLPF = fator de fotossíntese, fator de 0 a 1; SMHB = método de determinação do pH em solução tampão, código; SMPX = método de determinação de fósforo, código; SMKE = método de determinação de potássio, código;

Linha 4 – profundidade da base da camada, horizonte, limite inferior, limite superior de água disponível, umidade de saturação, fator de crescimento de raiz, condutividade hidráulica saturada, densidade global úmida, carbono orgânico, argila, silte, fração grosseira, nitrogênio, pH em água, pH em solução tampão e capacidade de troca de cátions

SLB = profundidade da base da camada, cm; SLMH = horizonte do solo; SLLL = limite inferior de água disponível ou ponto de murcha permanente, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>; SDUL = limite superior de água disponível ou capacidade de campo, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>; SSAT = umidade de saturação, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>; SRGF = fator de crescimento de raiz, 0.0 a 1.0; SSKS = condutividade hidráulica saturada, cm h<sup>-1</sup>; SBDM = densidade global do solo úmido, g cm<sup>-3</sup>; SLOC = carbono orgânico, %; SLCL = argila, %; SLSI = silte, %; SLCF = cascalho, fração maior que 2 mm, %; SLNI = nitrogênio total, %; SLHW = pH em água; SLHB = pH em solução tampão; SCEC = capacidade de troca de cátions, CTC, cmol kg<sup>-1</sup>.

O valor -99 é o padrão usado para um dado desconhecido ou perdido.

Os dados diários das variáveis de clima considerados pelo modelo como inputs são temperatura máxima e mínima, precipitação e horas de sol.

Um exemplo de arquivo de dados de clima é apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Arquivo padrão com dados de clima para uso nos modelos incluídos no DSSAT (Visão de tela). Modificado de UEHARA & TSUJI, 1993.

\*WEATHER DATA : CPAC-EMBRAPA\_CHAPADA\_PLANALTINA

@ INSI LAT LONG ELEV TAV AMP REFHT WNDHT

---

EBCH	-15.590	-47.700	1145	21.1	1.6	-99.0	-99.0
@DATE	SRAD	TMAX	TMIN	RAIN			
84001	5.5	19.2	15.2	3.8			
84002	15.9	24.5	15.0	0.0			
84003	24.1	27.2	16.1	0.0			
84004	26.8	28.0	16.8	0.0			
84005	15.3	29.0	18.9	0.5			
84006	23.6	30.8	17.9	0.2			

---

Linha 1 – dados de localização da estação, nome do país.

Linha 2 – código da instituição, local, latitude, longitude, altitude, temperaturas, altura do termômetro e do anemômetro.

IN= código da instituição; SI = código do local; LAT = latitude com sinal negativo no hemisfério sul, graus decimal; LONG = longitude, graus decimal; ELEV = altitude, metros; TAV = temperatura média do ar, graus centígrados; AMP = amplitude de temperatura média, médias mensais, graus centígrados; TMHT = altura de instalação do termômetro, metro; WMHT = altura do anemômetro, metro;

Todas as outras linhas se correspondem com: – ano, calendário juliano, radiação, temperaturas, precipitação, radiação.

DATE= ano, dia calendário Juliano; SRAD = radiação solar, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; TMAX = temperatura máxima do ar, graus centígrados; TMIN = temperatura mínima do ar, graus centígrados; RAIN = precipitação, mm.

A maior inovação deste modelo é o conceito de coeficiente genético, o qual significa que uma característica comum a todas as variedades de trigo pode variar quantitativamente, explicando as diferentes adaptações (Salvador, 1993).

Os coeficientes genéticos são determinados na fase de calibração do modelo mediante comparação de resultados simulados e observados no campo. Com esses coeficientes, são descritas as características de um determinado genótipo (Tabela 3).

O uso de características específicas para cada cultivar geralmente melhora a performance do modelo permitindo analisar a adaptação de uma variedade a diversos ambientes (JAME & CURTFORTH, 1996).

**Tabela 3.** Coeficientes genéticos utilizados pelo modelo CERES-Wheat.

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
P1V	Atraso relativo do desenvolvimento diário pela vernalização, assumindo que 50 dias de vernalização são suficientes.
P1D	Atraso relativo do desenvolvimento devido a condições sub-ótimas de fotoperíodo.
P5	Duração relativa do enchimento dos grãos baseado na soma térmica (graus dia acima da temperatura basal de 1°C) em que cada unidade de incremento adiciona 20 graus dia a um valor inicial de 430 graus dia.
G1	Número de grãos por unidade de massa da parte aérea da planta.
G2	Taxa de enchimento dos grãos sob condições ótimas de crescimento.
G3	Massa seca do caule e da espiga quando a elongação paralisa.
PHINT	Intervalo de filocron, ou seja, soma térmica em graus dia entre o aparecimento de uma folha e a folha sucessiva.

A ocorrência das diferentes fases fenológicas descritas no modelo CERES-Wheat representam intervalos de crescimento da planta delimitados por diferentes eventos fisiológicos. O sistema de numeração das fases é circular como se descreve na Tabela 4 (RITCHIE and GODWIN, 2002).

**Tabela 4.** Descrição das fases fenológicas para a cultura de trigo usadas no modelo CERES-Wheat (RITCHIE and GODWIN, 2002).

Fase nº.	Descrição da fase	Partes da planta em crescimento
7	Pré-semeadura.	-
8	Semeadura até a germinação.	-
9	Da germinação à emergência.	Raiz, coleóptilo
1	Da emergência ao início da espiguiha terminal.	Raiz, folhas
2	Da espigamento terminal ao final do crescimento das folhas e começo do crescimento da espiga.	Raiz, folhas, caule
3	Fim do crescimento das folhas e começo do crescimento da espiga ao fim da pré-antese do crescimento da espiga.	Raiz, folhas, espiga
4	Fim da pré-antese do crescimento da espiga ao começo do enchimento de grãos	Raiz, caule
5	Enchimento de grãos.	Raiz, caule, grão
6	Fim do enchimento de grãos à colheita	-

Dentre as práticas de manejo consideradas pelo modelo CERES-Wheat destacam-se, por exemplo, fertilizações realizadas (tipo de fertilizante, data de aplicação, quantidade aplicado), irrigações (quantidade de água aplicada, data de aplicação, tipo de equipamento de irrigação), incorporação de resíduos da cultura anterior (tipo e quantidade incorporado ao solo), população de plantas na semeadura, espaçamento entre fileiras e profundidade de semeadura.

As entradas de clima requeridas para a implementação dos arquivos necessários para o funcionamento do modelo CERES-Wheat foram obtidas da micro-estação climatológica do IAC, Fazenda Santa Elisa e os dados de solo do local através de análise de solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro mesotrófico, nos 2 anos em que foram realizados os experimentos.

A partir dos resultados obtidos em ensaios de campo (Spolidorio, 1999), o modelo CERES-Wheat foi calibrado e testado. A calibração do modelo consistiu no ajuste dos coeficientes genéticos para a cultivar IAC-24, de tal forma que os valores simulados de produção de grãos e as datas de florescimento e maturidade fisiológica fossem próximas ou coincidissem com os valores experimentais observado no ano 1. Já o teste do modelo consistiu na comparação dos dados simulados com aqueles observados experimentalmente na cultivar IAC-24 no ano 2, que se houvesse um ajuste perfeito dessa reta entre os dados observados e simulados, formar-se-ia um ângulo de 45° entre a reta e o eixo x.

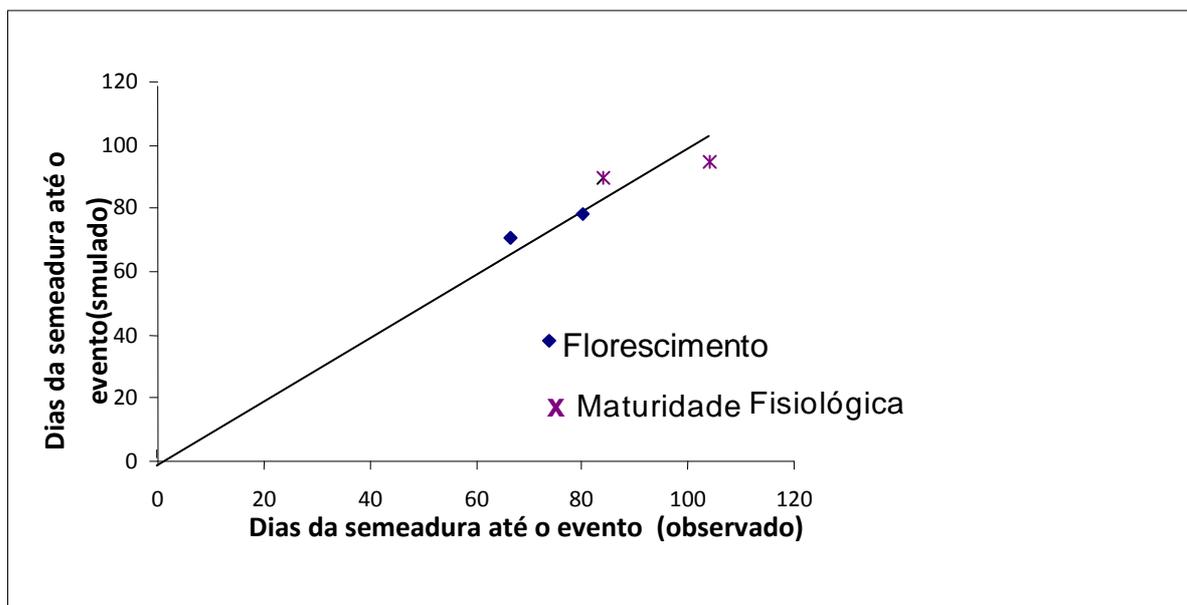
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados e simulados das datas de florescimento e de maturidade fisiológica são apresentados na Figura 2 para os anos 1 e 2. Os dados observados em dias após a semeadura (DAS) são representados no eixo das abscissas, enquanto que os resultados simulados são representados no eixo das ordenadas.

Os DAS observados até o florescimento no ano 1 foram de 61 dias enquanto que o modelo simulou 64 dias. Para o ano 2, o modelo simulou 69 DAP e foram observados 70 DAS até a data de florescimento do trigo.

Os DAS observados até a maturidade fisiológica no ano 1 foram 84, porém o modelo simulou 90 dias. Para o ano 2, o modelo simulou 95 DAS e foi observado 104 DAS até a data de maturidade fisiológica (Figura 2).

A lógica do desenvolvimento do trigo foi parcialmente controlado principalmente pela temperatura. O uso do conceito de graus-dias permitiria integrar as unidades térmicas às quais as plantas estão expostas, a cada dia. Para tal, é necessário estabelecer relações quantitativas entre temperatura e desenvolvimento da planta de trigo. Essa soma térmica emergência até maturidade fisiológica apresentou diferenças evidentes nos dois anos estudados (184 graus dia), o que poderia explicar em parte as diferenças entre dados observados e simulados pelo modelo. Spolidorio, (1999) relatou que durante o período de desenvolvimento da cultura de trigo no ano 1, registrou-se a ocorrência de temperaturas médias diárias maiores do que a média histórica e conseqüentemente um encurtamento do ciclo da cultivar.



**Figura 2.** Comparação entre as datas de florescimento e de maturidade fisiológica (DAS) observada e estimada pelo modelo CERES-Wheat para os anos 1 e 2, sendo o coeficiente de correlação entre as variáveis de 0,9965\*\*.

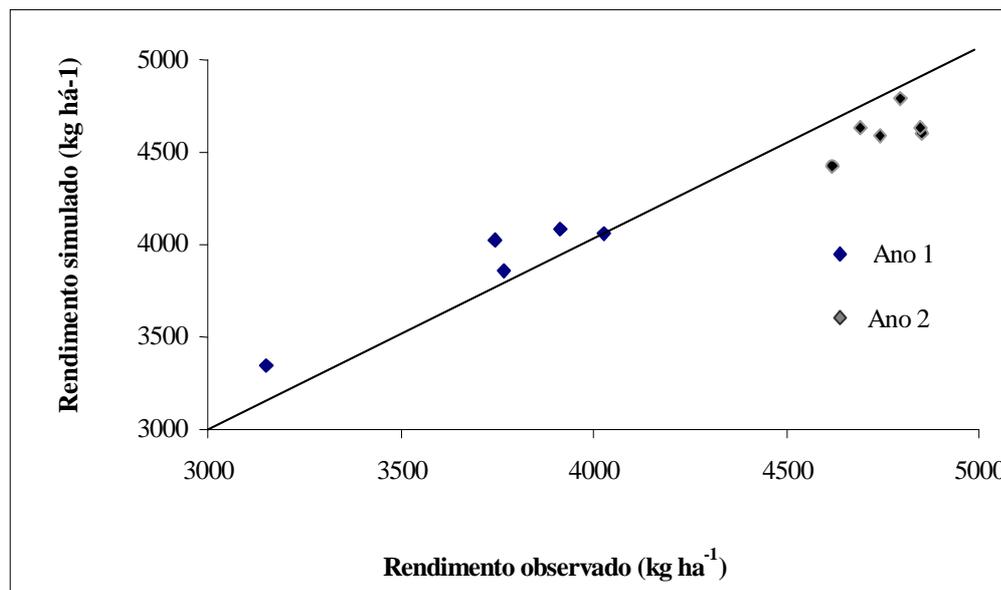
Outro aspecto que merece estudo durante o ciclo de desenvolvimento da planta de trigo, são as mudanças em sua morfologia externa, o que pode auxiliar na caracterização dos respectivos estádios de desenvolvimento da planta, considerados críticos na formação do rendimento de grãos (FERNANDES et al., 1999). Na Figura 3, são apresentados os resultados de rendimento de grãos para os tratamentos 0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N no ano 1. Para o tratamento que não recebeu N na adubação, o valor estimado de rendimento de grão foi de 3.349 kg ha<sup>-1</sup>, e o observado experimentalmente foi de 3.150 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 5). No ano 1, observou-se que o tratamento que recebeu a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N foi o que resultou em maior rendimento de grãos com 4.026 kg ha<sup>-1</sup>. Nesse ano, constatou-se uma redução do ciclo fenológico como consequência das altas temperaturas médias diárias, e isso afetou a produção final de grãos.

O trigo, por ser uma planta C3 e originária de regiões de clima temperado, intensifica a fotorespiração acima de 28°C, principalmente no estágio de enchimento de grãos (no caso, foi no mês de Agosto), o que leva a este cereal a consumir mais do que armazenar fotoassimilados nos grãos (EVANS et al., 1975). Dessa forma, o conhecimento eventos fisiológicos, a exemplo de fotorespiração deve ter correspondência em mudanças morfológicas que estão sendo determinados em cada período, tornam-se imprescindíveis para melhor adequação no tempo e no espaço de práticas de manejo para potencializar o rendimento de grãos. Assim, a evolução da planta de trigo durante seu desenvolvimento (ontogênese) deve ser caracterizada mediante uso de dois critérios o da morfologia externa da planta e o grau de evolução do ponto de crescimento (FERNANDES et al., 1999).

No ano 1, observou-se uma leve tendência do modelo a superestimar os rendimentos simulados, mas para ser conclusivo necessitaria de uma avaliação morfológica mais detalhada.

**Tabela 5.** Rendimento simulado e observado para a cultivar IAC-24 nos anos 1 e 2 sob 5 doses de N.

Dose de N	Rendimento Simulado (kg.ha <sup>-1</sup> )	Rendimento Observado (kg.ha <sup>-1</sup> )
Ano 1		
0 N	3.349	3.150
30 N	3.862	3.769
60 N	4.026	3.748
90 N	4.061	4.026
120 N	4.081	3.915
Ano 2		
0 N	4.444	4.637
45 N	4.637	4.871
90 N	4.635	4.792
135 N	4.622	4.721
180 N	4.622	4.763



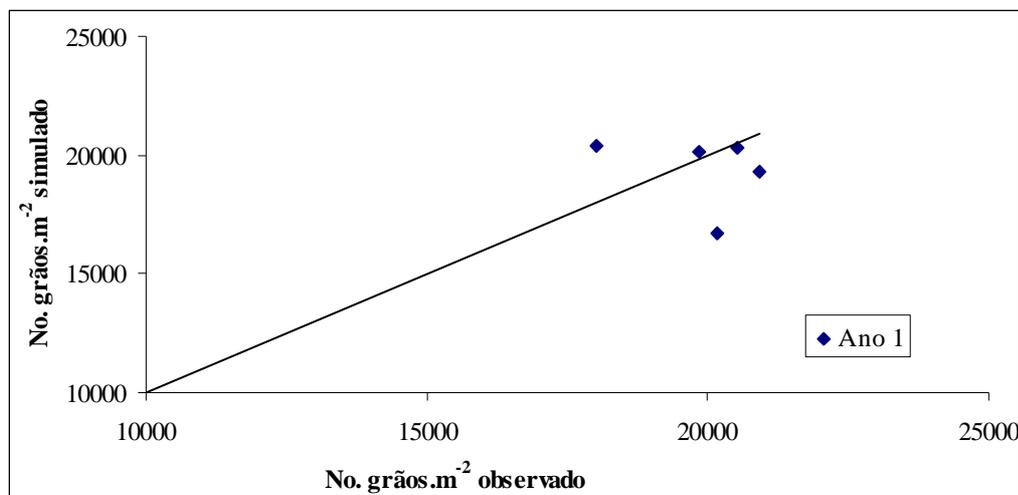
**Figura 3.** Comparação do rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) simulado pelo modelo CERES-Wheat e o observado experimentalmente para os 5 tratamentos com N, sendo o coeficiente de correlação entre as variáveis de 0,9705 \*\*.

No ano 2 o rendimento médio observado foi maior que no ano 1 (Figura 3) não foram registradas altas temperaturas médias diárias e conseqüentemente não foi evidenciado um encurtamento no ciclo fenológico da cultura, que foi evidenciado na altura e desenvolvimento da planta, o que poderia explicar os maiores rendimentos nesse ano. A dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que resultou no maior rendimento, sendo de 4.871 kg ha<sup>-1</sup>.

Observou-se que os resultados simulados pelo modelo foram menores aos resultados observados experimentalmente, o que pode ser visualizado na Figura 3

As diferenças encontradas quando se comparam os valores simulados e os observados devem-se em parte aos processos não considerados pelo modelo, tais como a ocorrência de doenças e pragas. Outra fonte de erro pode ser atribuída à variabilidade nos dados experimentais.

Os valores observados e simulados para o variável número de grãos por metro quadrado para o ano 1 apresentaram adequado ajuste, os mesmos se encontram representados na Figura 4.



**Figura 4.** Número de grãos por metro quadrado estimado pelo modelo CERES-Wheat e medido experimentalmente para os diferentes tratamentos de fertilização nitrogenada no ano 1, sendo o coeficiente de correlação entre as variáveis de 0,765 \*\*.

## CONCLUSÕES

O modelo CERES-Wheat simulou satisfatoriamente a fenologia, os componentes do rendimento e o rendimento do trigo, inclusive o efeito da adubação nitrogenada. As estimativas das datas de florescimento e maturidade fisiológica apresentaram pequenos desvios em relação às datas observadas a campo, que se deve a ocorrência de temperaturas médias diárias maiores do que a média histórica e conseqüentemente um encurtamento do ciclo da cultivar.

Embora haja necessidade de refinamento na estimativa de alguns processos, os resultados indicam que o modelo CERES-Wheat é adequado para estimativas da fenologia e rendimento da cultivar de trigo IAC-24 para previsão de resposta à adubação N. A exemplo dos modelos CROPGRO para soja no Estado do Paraná ou do SimTrigo para Trigo no Rio Grande do Sul, esse calibração do modelo CERES possibilita no futuro a utilização deste modelo para outro tipo de estudos como por exemplo zoneamento do risco climático e viabilidade técnica e econômica da cultura do trigo.

**bioenergia em revista: diálogos, ano 2, n. 2, p. 9-25, jul./dez. 2012.**

SILVA, Fábio César da; SOLER, Cecília M. Tojo; BOARETTO, Antonio E.; SPOLIDORIO, Eduardo S.; FREITAS, José Guilherme de; HEINEMANN, Alexandre Bryan

*Simulação do crescimento e desenvolvimento do trigo utilizando o modelo Ceres-Wheat na região de Campinas (SP)\*: Outro olhar sobre o etanol*

---

## REFERÊNCIAS

BAETHGEN, W. Uso de modelos de simulación en manejo y fertilidad de suelos. In. *II Curso de actualización técnica manejo y fertilidad de suelos*. INIA La Estanzuela. Uruguay. 1995.

BOOTE, K.J. *Concepts for calibration crop growth models-Crop Simulation*. Course Basics of DSSAT: Montevideu, 1994. 30p.

EVANS, L.T.; WARLAN, I.F.; FISCHER, R.A. *Wheat*. In: Evans, L.T. *Crop physiology*. London: Cambridge University Press, 1975. p. 101-149.

EMBRAPA TRIGO. *Estatísticas da produção de trigo*. Disponível em: <[www.cnpt.embrapa.br](http://www.cnpt.embrapa.br)>. Acesso em 20/02/2012.

FERNANDES, J. M. C., MAFFIA, L. A. *Simulação de epidemias*. Revisão Anual de Patologia de Plantas – RAPP, v.2, p.293-334, 1994.

FERNANDES, J. M.C & PICININI, E. C. *Sistema de auxílio à tomada de decisão para a otimização do uso de fungicidas na cultura do trigo*. *Fitopatologia Brasileira* 24:9-17, 1999.

JAME, Y. W & CURTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. *Canadian Journal of Plant Science*. p. 9-19.1996.

JONES, J.W. *Decision support systems for agricultural development*. In: Penning de Vries F.W.T, Teng PS, Metselaar K (eds.). *Systems approaches for agricultural development*. Kluwer Academic Press, Boston. 459-471.1993.

JONES, J; TSUJI, G; HOOGENBOOM, G; HUNT, L; THORNTON, P; WILKENS, P; IMAMURA, D; BOWEN, W; SINGH, U. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. In: *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer: A system approach to research and decision making*. Ed. Tsuji, G; Hoogenboom, G and Thornton, P. Submitted for publication: Kluwer Academic Press, *Systems approaches for sustainable development series*. 1996.

RITCHIE J.T. AND GODWIN D. *Development and Growth Without Water or Nutrient Deficiencies*. Disponível em: <[HTTP://nowlin.css.msu.edu/wheat\\_book/CHAPTER2.html](http://nowlin.css.msu.edu/wheat_book/CHAPTER2.html)> Acesso em julho de 2002.

SALVADOR, R. J. Use of Computerized Simulation to Advance Agricultural Research in Developing Countries. *Eighth International Congress on Research in Electrical Sciences*. Instituto Tecnológico de la Laguna, 20 - 24 September 1993, Torreón, Coahuila, México. 1993.

SPOLIDORIO, E. S. Balanço de nitrogênio (<sup>15</sup>N) na cultura de trigo irrigado. Tese Doutorado, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP. 127p.1999.

UEHARA, G & TSUJI, G. The IBSNAT project. In: Penning de Vries F.W.T, Teng PS, Metselaar K (eds.). *Systems approaches for agricultural development*. Kluwer Academic Press, Boston. 505-513. 1993.

**bioenergia em revista: diálogos, ano 2, n. 2, p. 9-25, jul./dez. 2012.**

SILVA, Fábio César da; SOLER, Cecília M. Tojo; BOARETTO, Antonio E.; SPOLIDORIO, Eduardo S.; FREITAS, José Guilherme de; HEINEMANN, Alexandre Bryan

*Simulação do crescimento e desenvolvimento do trigo utilizando o modelo Ceres-Wheat na região de Campinas (SP)\*: Outro olhar sobre o etanol*

---

1 Fábio Cesar SILVA é pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Professor da Fatec Piracicaba, Pós-doutorado na UPM-ETSIA, C. Postal = 6041, Cidade Universitária Zeferino Vaz, 13.083-970 Campinas SP, Brasil. E-mail: fcesar@cnptia.embrapa.br

2 Cecília M. Trojo SPOLER é Engenheira Agrônômica, Doutoranda em Irrigação e Drenagem – ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

3 Antonio E. BOARETTO é Professor Dr. CENA/USP, Piracicaba/SP.

4 Eduardo S. SPOLIDORIO é Dr. Engenheiro Agrônomo, SN – Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, Piracicaba/SP.

5 José Guilherme de FREITAS é Dr. IAC – Centro de Plantas Graníferas, Campinas/SP.

6 Alexandre Bryan HEINEMANN é pesquisador da EMBRAPA Arroz e Feijão, Goiânia/Go.