

Subperíodos fenológicos e ciclo da soja conforme grupos de maturidade e datas de semeadura

Roberto Trentin⁽¹⁾, Arno Bernardo Heldwein⁽¹⁾, Nereu Augusto Streck⁽¹⁾,
Gustavo Trentin⁽²⁾ e Joel Cordeiro da Silva⁽³⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, nº 1.000, CEP 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: trentin.rt@gmail.com, heldweinab@smail.ufsm.br, nstreck2@yahoo.com.br ⁽²⁾Embrapa Pecuária Sul, BR-153, Km 603, Vila Industrial, Caixa Postal 242, CEP 96401-970 Bagé, RS. E-mail: gustavo.trentin@embrapa.br ⁽³⁾Instituto Federal Farroupilha, CEP 97420-000 São Vicente do Sul, RS. E-mail: jcsilva@svs.iffarroupilha.edu.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi estimar a duração dos subperíodos fenológicos e do ciclo de desenvolvimento da soja, de acordo com grupos de maturidade e datas de semeadura, e determinar as funções de distribuição de probabilidades que melhor caracterizam a distribuição destes dados. Foram avaliadas as funções exponencial, gama, lognormal, normal e Weibull, tendo-se verificado a de melhor ajuste aos dados de desenvolvimento simulado da cultura, de acordo com dados meteorológicos diários coletados de outubro de 1968 a julho de 2012, na estação climatológica principal de Santa Maria, RS. A simulação do desenvolvimento da cultura foi feita para diferentes datas de semeadura, com os grupos de maturidade (GM): 5.9–6.8, ciclo precoce/semiprecoce; 6.9–7.3, ciclo médio; e 7.4–8.0, ciclo semitardio/tardio. A função lognormal é a que melhor se ajusta à duração dos subperíodos e do ciclo da soja. Esta duração varia conforme a data de semeadura, com ciclo maior nas semeaduras antecipadas (outubro) e menor nas tardias (dezembro).

Termos para indexação: *Glycine max*, datas de semeadura, modelos de desenvolvimento, função densidade de probabilidade, soma térmica.

Phenological periods and soybean cycle according to maturity groups and sowing dates

Abstract – The objective of this work was to estimate the average length of phenological subperiods and of soybean development cycle as affected by maturity groups and sowing dates, and to determine the probability distribution functions that best characterize the distribution of this data. It was evaluated the exponential, gamma, lognormal, normal, and Weibull functions, and determined the one with the best fit to the simulated crop development data, using meteorological data collected from October 1968 to July 2012, at the main climatological station of Santa Maria, RS, Brazil. Crop development was simulated for different sowing dates, considering the maturity groups (GM): 5.9–6.8, early/semiearly cycle; 6.9–7.3, medium cycle; and 7.4–8.0, semilate/late cycle. The lognormal function has the best fit for the length of soybean subperiods and cycle. This length varies according to the sowing date, with bigger cycles in early sowings (October), and smaller ones at late sowings (December).

Index terms: *Glycine max*, sowing dates, development models, probability density function, thermal summation.

Introdução

A soja (*Glycine max* L.) é a cultura de grãos com maior área cultivada no Estado do Rio Grande do Sul. Na safra 2011/2012, foram colhidos cerca de 4,2 milhões de hectares com produção de 6,525 milhões de toneladas de grãos (Acompanhamento da safra brasileira, 2012). A produtividade tem aumentado nos últimos anos, em consequência do uso de novas tecnologias e da crescente profissionalização dos produtores rurais.

A temperatura do ar e o fotoperíodo são os principais fatores abióticos que influenciam o desenvolvimento da soja, que é uma planta de dias curtos. Segundo Setiyono et al. (2007), a temperatura geralmente tem influência positiva sobre a taxa de desenvolvimento da cultura. A sensibilidade ao fotoperíodo, no entanto, pode modificar essa resposta, ou seja, uma planta de dia curto em condição de dias longos reduz sua taxa de desenvolvimento. Na soja, essa sensibilidade varia conforme o genótipo e, mesmo em cultivares sensíveis, a resposta ao fotoperíodo é quantitativa e

não absoluta, o que significa que a floração ocorrerá de qualquer modo (Rodrigues et al., 2001; Bastidas et al., 2008), o que torna mais complexa a modelização do desenvolvimento.

Modelos de simulação de desenvolvimento de culturas são ferramentas úteis para o planejamento de atividades agrícolas, como irrigação, aplicação de fungicidas, uso de fertilizantes, entre outros. Com a utilização de modelos matemáticos e a teoria de distribuição de probabilidades, é possível estimar a duração provável de subperíodos fenológicos e do ciclo de desenvolvimento das culturas. As funções de distribuição de probabilidades podem ser utilizadas para caracterizar a distribuição de dados de uma variável, analisar a probabilidade de ocorrência de um evento meteorológico, e detalhar os estudos climatológicos de maneira a expressar a probabilidade de um evento não exceder a um determinado valor. Para isso, necessita-se de uma longa série histórica de dados (Silva, 2008; Trentin, 2009).

Trabalhos que utilizaram as funções de distribuição de probabilidades têm sido utilizados para analisar a distribuição dos valores de duração dos subperíodos e do ciclo de desenvolvimento de diversas culturas, na região central do Rio Grande do Sul, como: feijoeiro (Silva, 2008), milho (Trentin, 2009) e girassol (Maldaner, 2012); porém, ainda não se dispõe desta análise para a soja.

O objetivo deste trabalho foi estimar a duração dos subperíodos fenológicos e do ciclo de desenvolvimento da soja, de acordo com grupos de maturidade e datas de semeadura e determinar as funções de probabilidades que melhor caracterizam a distribuição destes dados.

Material e Métodos

O estudo foi realizado por meio de modelos de desenvolvimento simulado da cultura da soja, publicados na literatura, e com dados meteorológicos diários de temperatura máxima do ar (T_x , °C), temperatura mínima do ar (T_n , °C) e insolação (horas), coletados na estação climatológica principal de Santa Maria, a 29°43'23"S, 53°43'15"W, à altitude de 95 m, de outubro de 1968 a julho de 2012, o que totalizou 44 anos de observações. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa.

Na simulação do desenvolvimento, considerou-se o hábito de crescimento determinado e três grupos de

maturidade (GM), conforme a indicação da Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul (Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul, 2010): 5.9–6.8, ciclo precoce/semiprecoce; 6.9–7.3, ciclo médio; e 7.4–8.0, ciclo semitardio/tardio. Adotaram-se intervalos entre as datas de semeadura (DS) de aproximadamente 10 dias dentro do período de semeadura, segundo as indicações técnicas (Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul, 2010). Para o GM 7.4–8.0, utilizaram-se as datas de semeadura de 1, 11 e 21 de outubro; 1, 11 e 21 de novembro; 1, 11, 21 e 31 de dezembro. Para o GM 6.9–7.3, consideraram-se as datas entre 11 de outubro e 21 de dezembro; e para o GM 5.9–6.8, considerou-se o período entre 21 de outubro até 21 de dezembro.

Para estimar a data de emergência, utilizou-se o cálculo da soma térmica, tendo-se adotado o valor acumulado de 92,5°C dia, a partir da temperatura-base de 10°C (Schneider et al., 1987), com uso da temperatura média diária (T), que foi obtida a partir da média aritmética de T_x e T_n . A data de ocorrência do estágio de emissão da primeira folha trifoliada (V2) foi estimada por meio do modelo Soydev (Setiyono et al., 2007), com uso de coeficientes obtidos por Streck et al. (2009), em Santa Maria, RS. O modelo Soydev utiliza uma função não linear de resposta à temperatura do ar, para determinar o número de nós da planta de soja. Esta simulação se inicia na data de emergência e termina quando o número de nós for igual ou superior a três, o que define a data de ocorrência do estágio V2.

A data de início da floração (R1) foi simulada com o modelo não linear de resposta do desenvolvimento à temperatura do ar e com o fotoperíodo proposto por Sinclair et al. (1991), com uso de diferentes coeficientes conforme o grupo de maturidade. Este modelo inicia a integração a partir da data de emergência e termina quando a taxa de desenvolvimento atinge 1,0, que corresponde à data do estágio R1.

A data de ocorrência do estágio de início de enchimento de grãos (R5) foi simulada pelo modelo proposto por Sinclair et al. (2007), por meio de regressão linear baseada no fotoperíodo e em coeficientes variáveis de acordo com o grupo de maturidade, com início na data de ocorrência de R1 e término quando a taxa de desenvolvimento atingiu 1,0, o que equivale à data de ocorrência do estágio R5. A data do estágio de maturação fisiológica (R7)

foi simulada a partir da data de ocorrência do estágio R5, por meio do cálculo da soma térmica, de maneira similar à simulação da data de emergência, tendo-se adotado a temperatura-base de 10°C e a soma térmica acumulada de 554°C dia, conforme Martorano et al. (2012).

Com as datas de início da floração (R1) e início de enchimento de grão (R5) já estimadas, a data da maturação de colheita (R8) foi simulada pelo modelo proposto por Sinclair (1986). Esta simulação foi feita sem restrição hídrica, isto é, sem a função de resposta ao deficit hídrico no algoritmo. Além dos coeficientes apresentados no trabalho de Sinclair (1986), utilizaram-se os valores de plastocrono da cultura da soja publicados por Streck et al. (2008).

A densidade de fluxo da radiação solar global incidente (R_g), necessária para a estimativa da data de ocorrência do estágio R8 pelo modelo proposto por Sinclair (1986), foi estimada por meio da equação de Ångström-Prezcott: $R_g = K_o \downarrow (b_0 + b_1 n N^{-1})$, em que K_o é a densidade de fluxo da radiação solar global, incidente no topo da atmosfera ($MJ\ m^{-2}$ por dia), em função da latitude e época do ano; b_0 e b_1 são os coeficientes mensais, ajustados para Santa Maria por Buriol et al. (2012); n é o tempo de brilho solar diário, registrado com o heliógrafo (h por dia); N é o comprimento do dia (h por dia), calculado em função da declinação solar e da latitude local. O fotoperíodo diário para Santa Maria, RS, para o qual se considerou a duração do crepúsculo civil de 6° abaixo do plano do horizonte, foi calculado conforme Kiesling (1982).

A análise de variância e o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, foram aplicados aos dados de duração dos subperíodos do ciclo e duração total do ciclo, tendo-se considerado as datas de semeadura como fonte de variação.

Os valores de duração do subperíodo e do ciclo total foram submetidos à análise de distribuição de probabilidade e aos testes para qualidade de ajuste das funções, para verificar qual função de distribuição de probabilidades (FDP) melhor representou a distribuição dos dados. Foram testadas as FDPs exponencial, gama, lognormal, normal e Weibull. O critério para a escolha das melhores funções para cada situação foi o nível de significância de 10% para pelo menos um dos testes de aderência (qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov), conforme Silva (2008) e

Trentin (2009). Quando houve mais de uma função de distribuição ajustada, para cada caso, foi escolhida a FDP que apresentou o maior nível de probabilidade indicado pelo teste qui-quadrado.

Após o ajuste das funções, foi possível estimar a duração do ciclo e dos subperíodos a 95, 90, 75 e 50% de probabilidade, por meio da função densidade de probabilidade cumulativa de cada FDP. Quando não houve ajuste a nenhuma FDP, a probabilidade foi determinada com a frequência observada.

Resultados e Discussão

Apesar de testadas cinco FDPs, para cada data de semeadura e subperíodos, não foi possível obter ajuste em todos os subperíodos. Dos 150 subperíodos avaliados, obteve-se ajuste de pelo menos uma FDP em 78 subperíodos, dos quais, em 71, obteve-se maior significância pelo teste do qui-quadrado e, em apenas 7, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. As FDPs com maior frequência de melhor ajuste foram: lognormal (35,9%), Weibull (32,1%), normal (24,4%), e gama (7,7%), nos casos em que ao menos uma FDP ajustou-se aos dados (Tabelas 1 e 2). Não houve nenhum caso de ajuste para a função exponencial.

A partir das probabilidades, pode-se afirmar que, em 95% dos casos, ou seja, em 95 de cada 100 anos, a maior duração do subperíodo semeadura-emergência (S-E) da cultura da soja ocorre com o grupo de maturidade 7.4–8.0, na semeadura de 1 de outubro, que apresentou duração igual ou menor do que 15 dias (Tabela 3 e 4). Esta interpretação pode ser aplicada às demais datas de semeadura e subperíodos estudados. Os valores obtidos pelos níveis de probabilidade tem boa correlação (r) com os valores médios da duração dos subperíodos ($r = 0,99$). As maiores durações possíveis de subperíodos, em 95% dos anos, ocorreram nas datas de semeadura 01 de outubro (GM 7.4–8.0), 11 de outubro (GM 6.9–7.3), 21 de outubro (GM 5.9–6.8) e, após essas datas, esses valores diminuíram até as últimas datas de semeadura: 21 de dezembro (GM 5.9–6.8 e 6.9–7.3) e 31 de dezembro (GM 7.4–8.0).

A duração provável do subperíodo S-E foi maior nas primeiras datas de semeadura (Tabela 3 e 4), quando se considerou, por exemplo, o GM 7.4–8.0 e a probabilidade de 90%, a duração do subperíodo foi igual ou menor do que 14 dias, na semeadura de

1 de outubro, e igual ou menor do que sete dias, na semeadura de 31 de dezembro. A maior duração em outubro se deu pelo fato de a temperatura do solo e do ar serem mais baixas nesse mês. Já nas últimas datas de semeadura (dezembro), a maior disponibilidade de radiação solar resultou em maior saldo de radiação e aumento da energia disponível para o aquecimento do solo e do ar e, conseqüentemente, aceleração do desenvolvimento da cultura.

A duração do ciclo foi representada pelas FDPs, sempre que houve ajuste aos dados (Tabela 5). Não foi possível obter ajuste em todos os ciclos totais, bem como não se obteve ajuste da FDP

exponencial aos dados. Quanto ao ciclo total, nos três grupos de maturidade e nas diferentes datas de semeadura, obteve-se o total de 25 ciclos, dos quais 19 apresentaram ajuste a pelo menos uma FDP. A função lognormal foi a que apresentou maior frequência de melhor ajuste, com 52,6%, seguida da Weibull (26,3%), normal (15,8%) e gama (5,3%). Silva (2008) e Maldaner (2012) também observaram melhor ajuste da FDP lognormal para a duração do ciclo das culturas do feijoeiro e do girassol, respectivamente.

De acordo com os dados, em 95% dos casos o ciclo da soja GM 5.9–6.8 será menor ou igual a

Tabela 1. Funções de distribuição de probabilidades (FDP) selecionadas e respectivos parâmetros para determinar a duração dos subperíodos, para os grupos de maturidade (GM), nas datas de semeadura entre 1 de outubro e 11 de novembro, simuladas para cada ano do período de 1968 a 2012, em Santa Maria, RS, 2013.

Data de semeadura	Subperíodo	GM 5.9–6.8			GM 6.9–7.3			GM 7.4–8.0		
		FDP	a ⁽¹⁾	b	FDP	a	b	FDP	a	b
1/outubro	S–E	-	-	-	-	-	-	G	21,8401	0,482
	E–V2	-	-	-	-	-	-	SA	-	-
	V2–R1	-	-	-	-	-	-	LGN	3,7955	0,091
	R1–R5	-	-	-	-	-	-	SA	-	-
	R5–R7	-	-	-	-	-	-	SA	-	-
	R7–R8	-	-	-	-	-	-	N	9,545	3,128
11/outubro	S–E	-	-	-	N	9,681	1,788	N	9,681	1,788
	E–V2	-	-	-	LGN	2,593	0,163	SA	-	-
	V2–R1	-	-	-	N	40,204	3,099	LGN	3,856	0,063
	R1–R5	-	-	-	SA	-	-	SA	-	-
	R5–R7	-	-	-	SA	-	-	N	35,068	2,095
	R7–R8	-	-	-	W	3,579	8,211	N	11,841	2,852
21/outubro	S–E	SA	-	-	SA	-	-	SA	-	-
	E–V2	SA	-	-	W	6,496	14,121	N	13,545	2,307
	V2–R1	LGN	3,596	0,071	LGN	3,713	0,061	SA	-	-
	R1–R5	SA	-	-	SA	-	-	SA	-	-
	R5–R7	SA	-	-	W	19,344	36,268	SA	-	-
	R7–R8	SA	-	-	N	8,3864	2,562	W	5,067	14,788
1/novembro	S–E	W	7,120	8,850	W	7,120	8,851	W	7,121	8,851
	E–V2	SA	-	-	SA	-	-	SA	-	-
	V2–R1	W	19,691	37,117	W	21,622	42,322	SA	-	-
	R1–R5	G	688,233	0,040	N	26,840	1,033	SA	-	-
	R5–R7	W	19,238	36,383	W	18,790	36,315	W	17,015	36,755
	R7–R8	SA	-	-	LGN	2,228	0,256	LGN	2,714	0,172
11/novembro	S–E	SA	-	-	SA	-	-	SA	-	-
	E–V2	SA	-	-	SA	-	-	LGN	2,418	0,145
	V2–R1	SA	-	-	LGN	3,721	0,0489	LGN	3,901	0,043
	R1–R5	N	25,318	0,934	SA	-	-	SA	-	-
	R5–R7	LGN	3,566	0,063	W	15,386	37,101	W	16,169	37,396
	R7–R8	LGN	1,966	0,302	SA	-	-	G	27,227	0,565

⁽¹⁾Os parâmetros são denominados de escalar (a) e de forma (b) para as FDP lognormal (LGN), gama (G) e Weibull (W); e de média (a) e de desvio-padrão (b) para a FDP normal (N). (-)Datas de semeadura não indicadas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. SA, os dados não se ajustaram a nenhuma das FDPs testadas; S, semeadura; E, emergência; V2, primeira folha trifoliada; R1, início da floração; R5, início de enchimento de grãos; R7, maturação fisiológica; e R8, maturação de colheita; estádios fenológicos descritos segundo escala proposta por Fehr et al. (1971).

137, se a semeadura ocorrer em 1 de outubro, e a 110 dias, se ocorrer em 21 de dezembro (Tabela 5). Essa mesma tendência foi observada para as demais datas de semeadura, grupos de maturidade e níveis de probabilidade. A duração total do ciclo, estimada com os diferentes níveis de probabilidade, também apresentou tendência similar à apresentada pelos valores médios da duração dos subperíodos, ou seja, a duração do ciclo é maior nas primeiras datas e menor nas últimas.

A duração de todos os subperíodos se manteve abaixo de 50 dias, nos três grupos de maturidade avaliados (Figura 1). A maior duração ocorreu no

subperíodo entre a primeira folha trifoliada (V2) e o início da floração (R1), nas primeiras datas (outubro). Contudo, nas datas a partir de meados de novembro, a maior duração se deu no subperíodo compreendido entre o início do enchimento de grãos (R5) e a maturação fisiológica (R7). Isto pode ser explicado pelo fato de a cultura da soja apresentar resposta fotoperiódica e ser induzida a florescer quando o comprimento do dia for inferior ao fotoperíodo crítico da cultivar (planta de dias curtos).

Em Santa Maria, RS, o fotoperíodo varia aproximadamente de 11,11 a 14,97 horas, nos solstícios de inverno (21 de junho) e de verão (21 de

Tabela 2. Funções de distribuição de probabilidades (FDP) selecionadas e respectivos parâmetros para determinar a duração dos subperíodos, para os grupos de maturidade (GM) nas datas de semeadura compreendidas entre 21 de novembro e 31 de dezembro, simuladas para cada ano do período de 1968 a 2012, em Santa Maria, RS, 2013.

Data de semeadura	Subperíodo	GM 5.9–6.8			GM 6.9–7.3			GM 7.4–8.0		
		FDP	a ⁽¹⁾	B	FDP	a	b	FDP	a	b
21/novembro	S-E	LGN	1,951	0,143	LGN	1,951	0,143	LGN	1,951	0,143
	E-V2	LGN	2,279	0,119	LGN	2,321	0,108	LGN	2,350	0,118
	V2-R1	LGN	3,548	0,055	LGN	3,697	0,051	SA		
	R1-R5	SA			SA			SA		
	R5-R7	W	17,454	36,97	W	16,688	37,819	W	14,353	38,512
	R7-R8	LGN	1,866	0,393	LGN	2,093	0,325	N	14,341	3,291
1/dezembro	S-E	SA			SA			SA		
	E-V2	SA			SA			LGN	2,282	0,131
	V2-R1	SA			SA			SA		
	R1-R5	SA			SA			SA		
	R5-R7	N	36,795	2,655	W	13,471	38,755	LGN	3,634	0,093
	R7-R8	W	2,088	6,494	N	7,181	3,2369	W	3,562	14,104
11/dezembro	S-E	SA			SA			SA		
	E-V2	N	8,818	1,244	SA			N	9,522	1,190
	V2-R1	SA			G	604,311	0,0611	LGN	3,755	0,033
	R1-R5	SA			SA			SA		
	R5-R7	N	37,340	2,917	N	38,250	3,271	W	11,52	40,922
	R7-R8	G	4,398	1,214	W	2,265	6,771	N	9,860	3,943
21/dezembro	S-E	SA			SA			SA		
	E-V2	SA			SA			LGN	2,183	0,133
	V2-R1	SA			SA			SA		
	R1-R5	SA			SA			SA		
	R5-R7	W	14,746	39,521	SA			LGN	3,707	0,089
	R7-R8	G	2,843	1,492	LGN	1,278	0,629	N	7,153	3,490
31/dezembro	S-E	-	-	-	-	-	-	SA		
	E-V2	-	-	-	-	-	-	SA		
	V2-R1	-	-	-	-	-	-	SA		
	R1-R5	-	-	-	-	-	-	SA		
	R5-R7	-	-	-	-	-	-	W	15,5486	43,5021
	R7-R8	-	-	-	-	-	-	W	1,8929	5,6491

⁽¹⁾Os parâmetros são denominados de escalar (a) e de forma (b) para as FDP lognormal (LGN), gama (G) e Weibull (W); e de média (a) e de desvio-padrão (b) para a FDP normal (N). (-)Datas de semeadura não indicadas pelas indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. SA, os dados não se ajustaram a nenhuma das FDP testadas; S, semeadura; E, emergência; V2, primeira folha trifoliada; R1, início da floração; R5, início de enchimento de grãos; R7, maturação fisiológica; e R8, maturação de colheita; estádios fenológicos descritos segundo escala proposta por Fehr et al. (1971).

dezembro), respectivamente. Assim, as sementeiras de outubro terão maiores durações de ciclo do que as de dezembro, pois o fotoperíodo está em ascensão até 21 de dezembro. A taxa de desenvolvimento para a floração é reduzida, em condições de dia longo, tal como é esperado para plantas de dia curto nesta condição (Sinclair et al., 2005). Após 21 de dezembro, o fotoperíodo está em declínio, o que favorece o aumento da taxa de desenvolvimento e, conseqüentemente, diminui a duração do ciclo.

Ao observar a duração média dos subperíodos (Figura 1), em função das datas de sementeira, verifica-se que o subperíodo emergência (E) até a primeira folha trifoliada (V2) do GM 5.9–6.8

variou de 12,0 dias (21 de outubro) até 8,4 dias (21 de dezembro). O subperíodo V2–R1 apresentou variação similar, com maior duração nas primeiras datas e menor nas últimas, nos GM 5.9–6.8 e 6.9–7.3. Essa variação decorreu não somente do aumento da disponibilidade térmica, mas também da resposta fotoperiódica da soja.

No subperíodo compreendido entre início da floração (R1) e o início do enchimento de grãos (R5), as três primeiras datas de sementeira simuladas (1, 11 e 21 de outubro) apresentaram maior duração do subperíodo, que decresceu até às últimas datas de sementeira (21 e 31 de dezembro) (Figura 1). Entretanto, o subperíodo compreendido entre o

Tabela 3. Duração provável (dias) dos subperíodos para os grupos de maturidade (GM), nas datas de sementeira compreendidas entre 1 de outubro e 11 de novembro, simuladas para cada ano do período de 1968 a 2012, em Santa Maria, RS, 2013.

Data de sementeira	Subperíodo	GM 5.9–6.8				GM 6.9–7.3				GM 7.4–8.0			
		95%	90%	75%	50%	95%	90%	75%	50%	95%	90%	75%	50%
1/outubro	S–E	-	-	-	-	-	-	-	-	15	14	12	10
	E–V2	-	-	-	-	-	-	-	-	20*	19*	17*	16*
	V2–R1	-	-	-	-	-	-	-	-	52	50	47	44
	R1–R5	-	-	-	-	-	-	-	-	25*	25*	24*	23*
	R5–R7	-	-	-	-	-	-	-	-	38*	37*	36*	35*
	R7–R8	-	-	-	-	-	-	-	-	15	14	12	10
11/outubro	S–E	-	-	-	-	13	12	11	10	13	12	11	10
	E–V2	-	-	-	-	18	16	15	13	18*	17*	16*	14*
	V2–R1	-	-	-	-	45	44	42	40	52	51	49	47
	R1–R5	-	-	-	-	32*	31*	31*	31*	26*	25*	25*	24*
	R5–R7	-	-	-	-	38*	37*	36*	36*	39	38	36	35
	R7–R8	-	-	-	-	11	10	9	7	17	15	14	12
21/outubro	S–E	11*	10*	9*	8*	11*	10*	9*	8*	11*	10*	9*	8*
	E–V2	16*	16*	14*	13*	17	16	15	13	17	17	15	14
	V2–R1	41	40	38	36	45	44	43	41	53*	52*	51*	49*
	R1–R5	31*	30*	30*	30*	31	30	30	29	24*	24*	24*	23*
	R5–R7	38*	38*	37*	35*	38	38	37	36	39*	38*	37*	35*
	R7–R8	11*	11*	9*	7*	13	12	10	8	18	17	16	14
1/novembro	S–E	10	10	9	8	10	10	9	8	10	10	9	8
	E–V2	15*	14*	13*	12*	15*	15*	13*	12*	16*	15*	14*	13*
	V2–R1	39	39	38	36	45	44	43	42	53*	52*	51*	50*
	R1–R5	29	29	28	28	29	28	28	27	22*	22*	22*	21*
	R5–R7	39	38	37	36	38	38	37	36	39	39	37	36
	R7–R8	11*	11*	9*	8*	14	13	11	9	20	19	17	15
11/novembro	S–E	10*	9*	9*	8*	10*	9*	9*	8*	10*	9*	9*	8*
	E–V2	13*	13*	12*	11*	14*	13*	12*	11*	14	14	12	11
	V2–R1	39*	38*	37*	36*	45	44	43	41	53	52	51	49
	R1–R5	27	27	26	25	26*	26*	25*	25*	20*	20*	20*	19*
	R5–R7	39	38	37	35	40	39	38	36	40	39	38	37
	R7–R8	12	11	9	7	14*	13*	11*	10*	21	19	17	15

(-) Datas de sementeira não recomendadas pelas indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Probabilidades estimadas por meio da frequência observada. S, sementeira; E, emergência; V2, primeira folha trifoliada; R1, início da floração; R5, início de enchimento de grãos; R7, maturação fisiológica; e R8, maturação de colheita; estádios fenológicos descritos segundo escala proposta por Fehr et al. (1971).

início do enchimento de grãos (R5) e a maturação fisiológica (R7) apresentou variação inversa, com duração maior na última data de semeadura. Isso decorreu da maior disponibilidade térmica, em meados de fevereiro (ocorrência do subperíodo R5–R7 da primeira data) do que em meados de abril (ocorrência do subperíodo R5–R7 da última data). Com a proximidade do solstício de verão, o saldo de radiação é maior, o que resulta em maior energia disponível para o aquecimento do ar e, por consequência, maior soma térmica para o desenvolvimento mais rápido da cultura.

Os valores de duração dos subperíodos, para os GM 6.9–7.3 e 7.4–8.0, são proporcionalmente

similares aos do GM 5.9–6.8; a diferença está na escala dos valores de duração dos subperíodos (Figura 1). Não houve diferenças significativas, entre as diferentes datas de semeadura, na duração dos subperíodos iniciais, S–E, E–V2 e V2–R1, com exceção do subperíodo V2–R1, do GM 7.4–8.0. Neste caso, as três últimas datas de semeadura diferiram das demais. Estas similaridades nos valores médios de duração dos subperíodos podem ser explicadas pela grande variabilidade dos valores de duração dos subperíodos, decorrente da grande variabilidade das condições meteorológicas em Santa Maria, conforme pode ser observado em Heldwein et al. (2009).

Tabela 4. Duração provável (dias) dos subperíodos para os grupos de maturidade (GM), nas datas de semeadura compreendidas entre 21 de novembro e 31 de dezembro, simuladas para cada ano do período de 1968 a 2012, em Santa Maria, RS, 2013.

Data de semeadura	Subperíodo	GM 5.9–6.8				GM 6.9–7.3				GM 7.4–8.0			
		95%	90%	75%	50%	95%	90%	75%	50%	95%	90%	75%	50%
21/novembro	S–E	9	8	8	7	9	8	8	7	9	8	8	7
	E–V2	12	11	11	10	12	12	11	10	13	12	11	10
	V2–R1	38	37	36	35	44	43	42	40	51*	50*	49*	48*
	R1–R5	24*	24*	23*	23*	24*	23*	23*	22*	19*	19*	18*	18*
	R5–R7	39	39	38	36	40	40	39	37	42	41	39	38
	R7–R8	12	11	8	6	14	12	10	8	20	19	17	14
1/dezembro	S–E	8*	8*	7*	7*	8*	8*	7*	7*	8*	8*	7*	7*
	E–V2	11*	11*	10*	9*	12*	11*	10*	10*	12	12	11	10
	V2–R1	37*	36*	35*	34*	42*	41*	40*	39*	49*	48*	47*	46*
	R1–R5	22*	22*	21*	21*	21*	21*	21*	19*	18*	17*	17*	17*
	R5–R7	41	40	39	37	42	41	40	38	44	43	40	38
	R7–R8	11	10	8	5	13	11	9	7	19	18	15	13
11/dezembro	S–E	8*	7*	7*	6*	8*	7*	7*	6*	8*	7*	7*	6*
	E–V2	11	10	10	9	11*	11*	10*	9*	11	11	10	10
	V2–R1	35*	35*	34*	33*	39	39	38	37	45	45	44	43
	R1–R5	20*	19*	19*	19*	20*	19*	19*	18*	16*	16*	16*	15*
	R5–R7	42	41	39	37	44	42	40	38	45	44	42	40
	R7–R8	10	9	7	5	11	10	8	6	16	15	13	10
21/dezembro	S–E	7*	7*	7*	6*	7*	7*	7*	6*	7*	7*	7*	6*
	E–V2	10*	10*	9*	8*	11*	10*	10*	9*	11	11	10	9
	V2–R1	33*	33*	32*	31*	37*	36*	36*	35*	43*	42*	41*	40*
	R1–R5	17*	17*	17*	16*	18*	18*	17*	17*	15*	15*	15*	15*
	R5–R7	43	42	40	39	45*	43*	41*	39*	47	46	43	41
	R7–R8	9	8	6	4	10	8	5	4	13	12	10	7
31/dezembro	S–E	-	-	-	-	-	-	-	-	7*	7*	6*	6*
	E–V2	-	-	-	-	-	-	-	-	10*	10*	9*	9*
	V2–R1	-	-	-	-	-	-	-	-	39*	39*	38*	37*
	R1–R5	-	-	-	-	-	-	-	-	15*	15*	14*	14*
	R5–R7	-	-	-	-	-	-	-	-	47	46	44	42
	R7–R8	-	-	-	-	-	-	-	-	10	9	7	5

(-) Datas de semeadura não indicadas pelas indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Probabilidades estimadas por meio da frequência observada. S, semeadura; E, emergência; V2, primeira folha trifoliada; R1, início da floração; R5, início de enchimento de grãos; R7, maturação fisiológica; e R8, maturação de colheita; estádios fenológicos descritos segundo escala proposta por Fehr et al. (1971).

A variação dos valores médios observados da duração do ciclo de desenvolvimento, para os três GM (Figura 1), foi similar à duração provável a 50% (Tabela 5); a maior duração ocorreu na primeira data de semeadura e diminuiu gradativamente até a última data. A exceção ocorreu para os ciclos das datas de semeadura 11 de outubro, 21 de outubro e 1 de novembro do GM 7.4–8.0, que foram ligeiramente maiores do que o ciclo da primeira data de semeadura (01 de outubro). Dallacort et al. (2006) utilizaram o modelo de simulação de desenvolvimento da soja Cropgro-soybean, em Palotina, PR, na latitude de 24°17'S, e também constataram que à medida que a semeadura da soja é realizada em datas mais tardias, o ciclo da cultura tende a diminuir.

Os maiores valores médios de ciclo ocorreram nas datas de semeadura 11 de outubro (GM 6.9–7.3 e 7.4–8.0) e 21 de outubro (GM 5.9–6.8), com 140, 137 e 130 dias, respectivamente (Figura 1). As menores durações de ciclo total ocorreram nas datas de semeadura 21 de dezembro (GM 5.9–6.8 e 6.9–7.3) e 31 de dezembro (GM 7.4–8.0) com, 110, 109 e 103 dias, respectivamente. Esses dados são similares aos de Dallacort et al. (2006), que obtiveram durações de ciclo das cultivares CD 202 e CD 206 (GM 5.9–6.8), com variação média de 127 dias (1ª de outubro) até 113 dias (1ª de dezembro). Mercau et al. (2007) relatam valores de duração do período semeadura-maturação fisiológica (S–R7) com variação de 94 a 158 dias, calculada para cultivares de soja desde o GM 2.0 até 7.0, em diversas regiões da Argentina, em latitudes de aproximadamente 30 a 36°S.

Tabela 5. Funções de distribuição de probabilidades (FDP) selecionadas e respectivos parâmetros para determinar a duração provável do ciclo da cultura da soja, para três grupos de maturidade, nas diferentes datas de semeadura simuladas para cada ano do período de 1968 a 2012, em Santa Maria, RS, 2013.

Grupos de maturidade	Data de semeadura	FDP	a ⁽¹⁾	b	Probabilidade			
					95%	90%	75%	50%
5.9–6.8	21/out.	LGN	4,866	0,032	137	135	133	130
	1/nov.	N	126,659	3,423	132	131	129	127
	11/nov.	W	37,677	123,613	127	126	125	122
	21/nov.	SA	-	-	122	121	119	118
	1/dez.	N	112,886	2,451	117	116	115	113
	11/dez.	SA	-	-	111	111	109	108
	21/dez.	LGN	4,638	0,019	107	106	105	103
6.9–7.3	11/out.	LGN	4,915	0,043	147	144	140	136
	21/out.	LGN	4,909	0,032	143	141	139	136
	1/nov.	N	133,500	3,560	139	138	136	134
	11/nov.	SA	-	-	135	134	132	130
	21/nov.	LGN	4,831	0,022	130	129	127	125
	1/dez.	W	60,831	121,119	123	123	122	120
	11/dez.	SA	-	-	117	116	115	114
7.4–8.0	21/dez.	SA	-	-	112	111	110	109
	1/out.	LGN	4,941	0,0592	154	151	146	140
	11/out.	G	523,462	0,2725	153	151	147	143
	21/out.	LGN	4,963	0,0385	152	150	147	143
	1/nov.	LGN	4,963	0,300	150	149	146	143
	11/nov.	W	41,023	142,297	146	145	143	141
	21/nov.	W	52,292	137,719	141	140	139	137
	1/dez.	W	48,172	132,376	135	135	133	131
	11/dez.	LGN	4,815	0,021	128	127	125	123
	21/dez.	SA	-	-	121	120	119	117
31/dez.	LGN	4,703	0,019	114	113	112	110	

⁽¹⁾Os parâmetros são denominados de escalar (a) e de forma (b) para as FDP lognormal (LGN), gama (G) e Weibull (W); e de média (a) e de desvio-padrão (b) para a FDP normal (N). SA, os dados não se ajustaram a nenhuma das FDP testadas e, nestes casos, as probabilidades foram estimadas por meio da frequência observada.

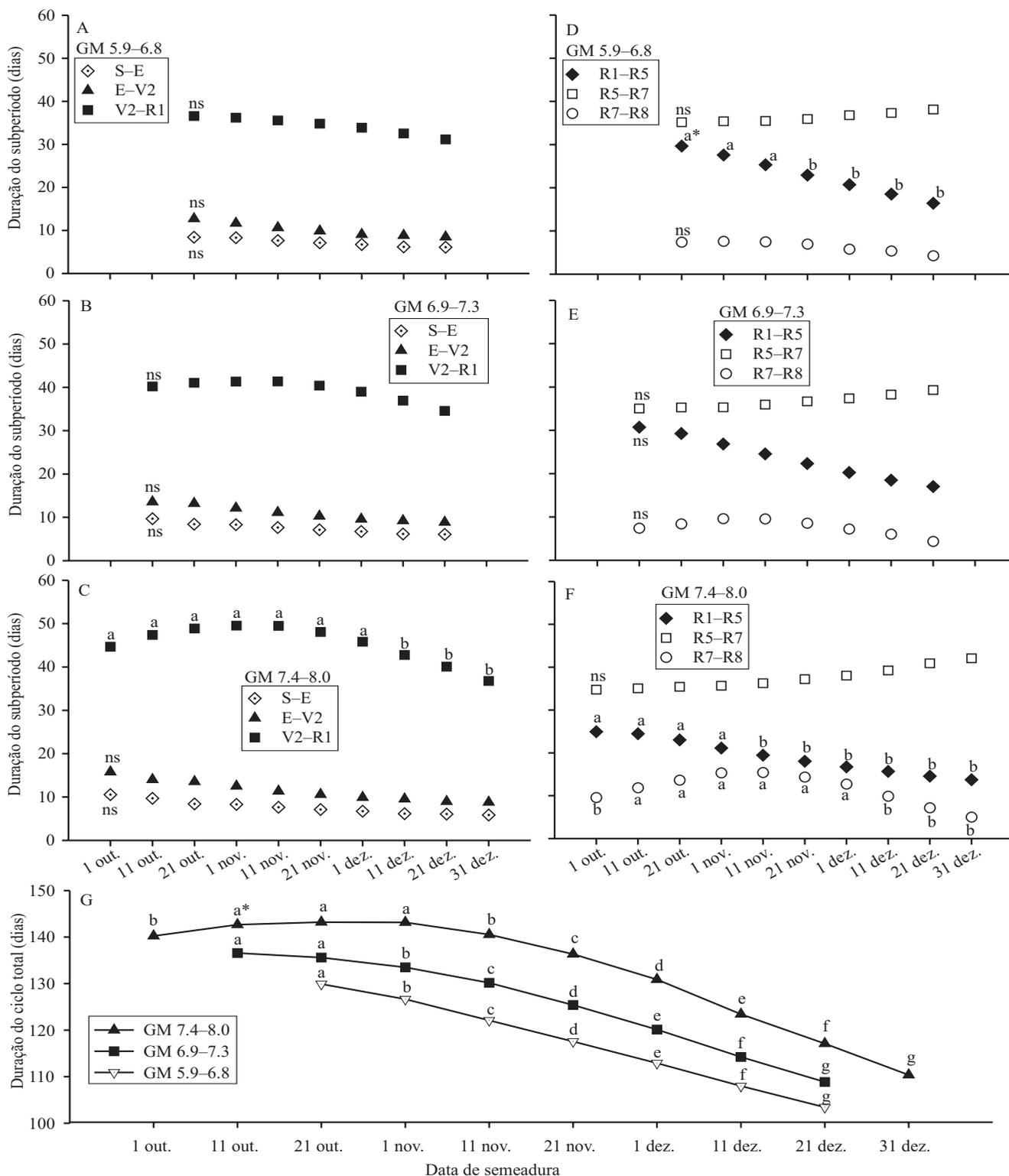


Figura 1. Duração média dos subperíodos (A, B, C, D e F) e do ciclo de desenvolvimento da cultura por grupos de maturidade da soja (G), simulados para a série histórica de 1968 a 2012, em função das datas de semeadura em Santa Maria, RS, 2013. S, semeadura; E, emergência; V2, primeira folha trifoliada; R1, início da floração; R5, início de enchimento de grãos; R7, maturação fisiológica; e R8, maturação de colheita; GM, grupos de maturidade; estádios fenológicos descritos segundo escala proposta por Fehr et al. (1971). *Médias seguidas de letras iguais, dentro do mesmo subperíodo, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. nsNão significativo.

Conclusões

1. Os modelos de simulação utilizados confirmam que a duração do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja é maior nas datas de semeadura de outubro e decresce até as datas de semeadura de 21 e 31 de dezembro.

2. As funções lognormal, Weibull e normal são as que melhor se ajustam à distribuição dos dados de duração dos subperíodos de desenvolvimento da soja.

3. A distribuição lognormal se ajusta melhor, quando se considera a duração do ciclo total de desenvolvimento da soja.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas; ao Professor Cléber Maus Alberto (Unipampa), pelas sugestões às rotinas de cálculo.

Referências

- ACOMPANHAMENTO de safra brasileira: grãos – safra 2012/2013 – intenção de plantio – primeiro levantamento – outubro/ 2012. Brasília: Conab, 2012. 36p.
- BASTIDAS, A.M.; SETIYONO, T.D.; DOBERMANN, A.; CASSMAN, K.G.; ELMORE, R.W.; GRAEF, G.L.; SPECHT, J.E. Soybean sowing date: the vegetative, reproductive, and agronomic impacts. **Crop Science**, v.48, p.727-740, 2008. DOI: 10.2135/cropsci2006.05.0292.
- BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; HELDWEIN, A.B.; PRESTES, S.D.; HORN, J.F.C. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, v.42, p.1563-1567, 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000059.
- DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L. de; FARIA, R.T. de; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.583-589, 2006. DOI: 10.4025/actasciagron.v28i4.936.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* L. Merril. **Crop Science**, v.11, p.929-931, 1971. DOI: 10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x.
- HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; STRECK, N.A. O clima de Santa Maria. **Revista Ciência Ambiente**, v.38, p.43-58, 2009.
- KIESLING, T.C. Calculation of the length of day. **Agronomy Journal**, v.74, p.758-759, 1982. DOI: 10.2134/agronj1982.00021962007400040036x.
- MALDANER, I.C. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na região central do Rio Grande do Sul**. 2012. 141p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- MARTORANO, L.G.; BERGAMASCHI, H.; FARIA, R.T. de; DALMAGO, G.A. Decision strategies for soil water estimations in soybean crops subjected to no-tillage and conventional systems, in Brazil. In: KUMAR, M. (Org.). **Problems, perspectives and challenges of agricultural water management**. Rijeka: InTech, 2012. p.439-453. DOI: 10.5772/29711.
- MERCAU, J.L.; DARDANELLI, J.L.; COLLINO, D.J.; ANDRIANI, J.M.; IRIGOYEN, A.; SATORRE, E.H. Predicting on-farm soybean yields in the pampas using CROPGRO-soybean. **Field Crops Research**, v.100, p.200-209, 2007. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.07.006.
- REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 38., 2010, Cruz Alta. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2010/2011 e 2011/2012**. Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, 2010. 168p.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMBY, J.C.B.; BERTAGNOLLI, P.F.; LUZ, J.S. da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.431-437, 2001. DOI: 10.1590/S0100-204X2001000300006.
- SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; MANFRON, P.A.; SACCOL, A.V.; ESTEFANEL, V. Temperatura base e soma térmica do subperíodo semeadura emergência para algumas cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.17, p.299-308, 1987.
- SETIYONO, T.D.; WEISS, A.; SPECHT, J.; BASTIDAS, A.M.; CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A. Understanding and modeling the effect of temperature and day length on soybean phenology under high-yield conditions. **Field Crops Research**, v.100, p.257-271, 2007. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.07.011.
- SILVA, J.C. da. **Parâmetros de irrigação para o feijoeiro em diferentes solos e épocas de semeadura na região central do Rio Grande do Sul**. 2008. 112p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I. Model development. **Field Crops Research**, v.15, p.125-141, 1986. DOI: 10.1016/0378-4290(86)90082-1.
- SINCLAIR, T.R.; KITANI, S.; HINSON, K.; BRUNIARD, J.; HORIE, T. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. **Crop Science**, v.31, p.786-790, 1991. DOI: 10.2135/cropsci1991.0011183X003100030049x.
- SINCLAIR, T.R.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environments. **Field Crops Research**, v.92, p.53-59, 2005. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.08.008.
- SINCLAIR, T.R.; SALADO-NAVARRO, L.R.; SALAS, G.; PURCELL, L.C. Soybean yields and soil water status in Argentina: simulation analysis. **Agricultural Systems**, v.94, p.471-477, 2007. DOI: 10.1016/j.agsy.2006.11.016.

STRECK, N.A.; PAULA, G.M. de; CAMERA, C.; MENEZES, N.L. de; LAGO, I. Estimativa do plastocrono em cultivares de soja. **Bragantia**, v.67, p.67-73, 2008. DOI: 10.1590/S0006-87052008000100008.

STRECK, N.A.; PAULA, G.M. de; OLIVEIRA, F.B.; SCHWANTES, A.P.; MENEZES, N.L. de. Improving node number

simulation in soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.661-668, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000700002.

TRENTIN, G. **Parâmetros de irrigação por análise numérica para a cultura do milho na região central do Rio Grande do Sul**. 2009. 192p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Recebido em 30 de abril de 2013 e aprovado em 22 de julho de 2013