

TEMPERATURA-BASE PARA CÁLCULO DOS GRAUS-DIA PARA CULTIVARES DE SOJA EM SÃO PAULO¹

MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO², ORIVALDO BRUNINI³
e MANOEL A. COELHO DE MIRANDA⁴

RESUMO - Foram determinados os graus-dia (GD) necessários para o complemento do ciclo plantio/maturação para quatro cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) nas condições do Estado de São Paulo. O estudo foi baseado em dados fenológicos obtidos de experimentos conduzidos pela Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico em Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, em três anos agrícolas. Inicialmente, analisou-se a relação entre temperatura do ar e razão de desenvolvimento das cultivares, verificando-se que a temperatura-base para a fase fenológica plantio/maturação, em todas as cultivares foi 14°C. Com base nessa temperatura determinou-se os GD para as diferentes cultivares e épocas de plantio. Foram necessários em média, 1336, 1275, 1227 e 1030 GC, respectivamente, para as cultivares UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paraná.

Termos para indexação: *Glycine max*, acumulação térmica, unidade de desenvolvimento.

BASE-TEMPERATURE FOR ESTIMATION OF THE DAYS-DEGREE FOR SOYBEAN CULTIVARS IN SÃO PAULO STATE, BRAZIL

ABSTRACT - The summation of degree-days necessary to complement the phenological phase from planting to ripening was estimated for different soybean (*Glycine mas* (L.) Merrill) cultivars, under the conditions of São Paulo State, Brazil. The study was performed in the phenological dates obtained of experiments was conducted by Leguminous Section of the Instituto Agronômico in Campinas, Ribeirão Preto and Pindamonhangaba, in three agricultural years. An analysis of the relationship between air temperature and crop development indicate that the base-temperature for the phenological phase from planting to ripening was 14°C for all cultivars. It was also observed that the total degree-days necessary was 1336, 1275, 1227 and 1030, respectively for the UFV-1, Santa Rosa, Viçosa and Paraná cultivars.

Index terms: *Glycine max*, thermal accumulation, unit of development.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja tem sido expandida por quase todo o território brasileiro. A adaptação das diferentes cultivares existentes nas diversas regiões ecológicas é controlada pelas exigências bioclimáticas da cultivar e o potencial climático dessas regiões. Dentre os elementos climáticos, um dos mais importantes no desenvolvimento da cultura da soja é a acumulação térmica representada pela temperatura média do ar. Existem vários métodos na literatura que procuram relacionar o grau de desenvol-

vimento de uma cultura com a temperatura do ar, e destes um dos mais utilizados é o das unidades térmicas ou graus-dia (Brunini et al. 1976).

O método dos graus-dia baseia-se na premissa de que uma planta necessita de uma certa quantidade de energia, representada pela soma de graus térmicos acima de uma temperatura-base, para completar determinada fase fenológica ou mesmo o seu ciclo total. Admite, além disso, uma relação linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal. Cada espécie vegetal ou variedade possui uma temperatura base, que pode variar em função da idade ou da fase fenológica da planta. É comum, no entanto, adotar-se uma única temperatura base para todo o ciclo da planta por ser mais fácil a sua aplicação.

Esta teoria também assume que temperaturas diurnas e noturnas afetam igualmente o crescimento e desenvolvimento da planta, e que a influência dos outros elementos, tais como fotoperiodismo e umidade do solo, é desprezível quando comparada à da temperatura. Mesmo considerando estas

¹ Aceito para publicação em 4 de abril de 1986.

Parte da dissertação do primeiro autor como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia (Agrometeorologia).

² Eng. - Agr., M.Sc., Seção de Climatologia Agrícola, IAC, Caixa Postal 28, CEP 13100 Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Seção de Climatologia Agrícola, IAC, Bolsista CNPq.

⁴ Eng. - Agr., M.Sc., Seção de Leguminosas, IAC. Bolsista do CNPq.

restrições tal método permite determinar com boa precisão a temperatura-base ou mesmo a duração das fases fenológicas de várias culturas, tais como: milho (Allison 1963, Aspiazú 1971, Berlato et al. 1974, 1979, Berlato & Sutili 1978, Brown 1975), plantas perenes (Benacchio & Blair 1972), alface (Brunini et al. 1976). Em alguns destes trabalhos, o erro de previsão do espigamento do milho foi de apenas dois dias. Isto se deve ao fato de que para o milho a temperatura é o elemento climático mais importante e que exerce ação preponderante no seu desenvolvimento.

Para a soja, entretanto, tal método não tem apresentado resultados muito consistentes tendo em vista que o fator fotoperíodo participa também com parcela muito significativa no desenvolvimento da planta. Gardner & Allard (1930), citados por Gandolfi & Müller (1981), concluíram que as variações de ano para ano na data de floração e conseqüentemente a duração do ciclo total em dias, de uma determinada variedade de soja plantada no mesmo dia, são conseqüentes principalmente da diferença de soma térmica durante o desenvolvimento. As diferenças porém entre variedades devem ser atribuídas as suas respostas ao fotoperíodo.

Com relação à interação, temperatura e fotoperíodo, Lawn & Byth (1973) e Major et al. (1975) concluíram que a temperatura tem influência significativa nas cultivares menos sensíveis ao fotoperíodo, e que a melhor precisão do método da soma de temperatura para a previsão da maturação é para as cultivares precoces, sugerindo que nas variedades tardias o fotoperíodo exerce efeito relativo mais acentuado.

Em experimento de semeadura contínua na Argentina, Pascale et al. (1963) observaram não haver germinação da soja antes da temperatura média do ar atingir 15°C, concordando com Brown & Chapman (1961), que admitiram que o período vegetativo da soja inicia-se quando a temperatura média do ar supera 15°C. Admitindo 15°C como temperatura base Pascale et al. (1973) verificaram que a cultura da soja na região noroeste argentina, exige entre 650 e 1.050 graus-dia, durante a fase plantio-maturação.

Embora não explique suficientemente o desenvolvimento da soja, o método graus-dia tem sido empregado para quantificar as disponibilidades tér-

micas regionais durante o ciclo da cultura (Brown 1975) e com isso estabelecer regiões térmicas para efeito de definições de tipos-agroclimáticos (Pascale 1969).

O presente estudo foi desenvolvido tendo em vista os seguintes objetivos: a) determinar a temperatura-base de desenvolvimento para quatro cultivares de soja, com diferentes escalas de maturação; b) determinar os graus-dia necessários para o complemento da fase plantio-maturação nas diferentes épocas de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados fenológicos da cultura da soja, utilizados no presente estudo, foram obtidos de experimentos conduzidos pela Seção de Leguminosas do Instituto Agrônomo de Campinas nas Estações Experimentais de Campinas (Lat. 22°54'S, Long. 47°05'W e Alt. 669 m), Ribeirão Preto (Lat. 21°12'S, Long. 47°52'W e Alt. 621 m) e Pindamonhangaba (Lat. 22°58'S, Long. 45°27'W e Alt. 560 m).

Os ensaios realizados nas Estações Experimentais de Campinas e Ribeirão Preto foram conduzidos em Latossolo Roxo Eutrófico, sendo que na Estação de Pindamonhangaba em Solo Podzolizado, série Pinhão.

As cultivares de soja utilizadas no presente estudo, segundo a escala de maturação (Miranda et al. 1982), foram as seguintes: Paraná, precoce; Viçosa, semi-precoce; Santa Rosa, média e UFV-1, tardia.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo as parcelas as épocas de plantio e as subparcelas as variedades. A área do experimento foi subdividida de acordo com as diferentes épocas de plantio, utilizando as quatro variedades de soja com quatro repetições. Cada parcela experimental continha seis linhas com cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,60 m, com uma densidade de 20 plantas por metro linear. Para efeito de amostragem foram consideradas apenas as duas linhas centrais de cada parcela.

Os tratos culturais utilizados nos ensaios foram idênticos para as três localidades, sendo feito o controle fitossanitário quantas vezes necessário. As adubações de pré-plantio foram feitas à base de 350 kg/ha da fórmula 0-18-6 e as sementes utilizadas foram inoculadas antes do plantio com inoculante comercial.

Durante o ciclo de cada cultura foram assinalados os seguintes dados fenológicos: a) data de plantio e b) data de início de maturação, quando 50% das plantas tinham coloração palha escura.

Em cada ano agrícola foram efetuados quatro diferentes épocas de plantio, durante os meses de outubro a dezembro. Os experimentos foram conduzidos durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80 em Campinas e Ribeirão Preto, e em Pindamonhangaba, somente nos anos agrícolas de 1978/79 e 1979/80.

Os dados termométricos, relativos aos períodos considerados, foram obtidos nos postos meteorológicos pertencentes à Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico e localizados próximos aos experimentos. As temperaturas médias diárias (Tmed) foram obtidas através da equação:

$$T_{med} = \frac{T_7 + T_{14} + 2 T_{21}}{4} \quad (1)$$

onde T_7 , T_{14} e T_{21} , representam, respectivamente, as temperaturas do ar em abrigo obtidas às 7, 14 e 21 horas locais.

Para a determinação da temperatura-base foi utilizado o método da menor variabilidade proposto por Arnold (1959) e utilizado por Brunini et al. (1976) e Berlatto & Sutili (1978). O método consiste em se determinar primeiramente a soma térmica das diferenças entre a temperatura média do ar durante o período considerado, e as temperaturas-base escolhidas a priori, para uma série de experimentos, isto é:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_i - TB) \quad (2)$$

onde GD são graus-dia acumulados no período, T_i é temperatura média diária ($^{\circ}C$), TB é a temperatura-base escolhida ($^{\circ}C$), n é o número de dias do período considerado.

Posteriormente, determina-se o desvio padrão em graus-dia, e a temperatura base escolhida a priori, que corresponder ao menor valor do desvio padrão da soma térmica, expresso em dias, é a temperatura base do vegetal.

O desvio padrão, em dias, é dado pela equação:

$$Sd = \frac{Sdd}{Xt - TB} \quad (3)$$

onde Sd é o desvio padrão, em dias, Sdd é o desvio padrão, em graus-dia, e Xt é a temperatura média para toda a série de plantios ou de experimentos analisados.

As temperaturas-base pré-estabelecidas para o presente estudo foram: $11^{\circ}C$, $12^{\circ}C$, $13^{\circ}C$, $14^{\circ}C$, $15^{\circ}C$, $16^{\circ}C$, $17^{\circ}C$ e $18^{\circ}C$. O limite inferior de $11^{\circ}C$ foi extraído de dados existentes na literatura e que indicam ser a temperatura base desta cultura acima de $10^{\circ}C$.

Para o cálculo dos graus-dia necessários para o complemento do ciclo plantio/maturação foi utilizada a equação (2). Assim, foram calculados os graus-dia acumulados acima da temperatura base determinada para as quatro cultivares de soja estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 e Fig. 1 são apresentadas as temperaturas-base (TB) escolhidas a priori e os respectivos desvios padrões da soma térmica expressa em dias para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, para a fase fenológica plantio/

maturação, referente às cultivares Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1, para os anos agrícolas estudados. Considerando-se que ao menor valor do desvio padrão da soma térmica corresponde a temperatura base do vegetal, as cultivares Paraná, Santa Rosa e UFV-1 apresentaram TB de $14^{\circ}C$; a cultivar Viçosa de $13^{\circ}C$, com um desvio padrão em dias de 12,60, muito próximo à TB de $14^{\circ}C$ com desvio padrão de 12,61 (Fig. 1). Tendo em vista a pequena diferença nos desvios foi considerada também a temperatura base de $14^{\circ}C$ para a cultivar Viçosa, podendo ser considerado desprezível o erro introduzido, face à amplitude dos dados considerados. Assim, considerou-se para as quatro cultivares estudadas a TB de $14^{\circ}C$. Este valor encontrado é próximo dos $15^{\circ}C$ adotados por Brown & Chapman (1961) e Pascale et al. (1973) para essa cultura. Embora as variedades utilizadas fossem diferentes, observa-se que as TB são muito próximas, indicando que a acumulação térmica final é que diferencia as cultivares.

É fato conhecido que a duração do ciclo da soja sofre influência marcante do fotoperíodo e da época de plantio. Para verificar tal efeito, os valores de graus-dia acumulados necessários à cultura foram analisados em função das diferentes épocas de plantio. A Tabela 2 e a Fig. 2 mostram os graus-dia acumulados acima de $14^{\circ}C$, do plantio à maturação, para as quatro cultivares estudadas, em função das diferentes épocas de plantio (outubro a dezembro). Nota-se pela Fig. 2 que a cultivar Paraná (ciclo curto) apresentou menor influência da época de plantio quanto à acumulação térmica do ciclo plantio/maturação. O coeficiente de variação das acumulações térmicas (7,7%), bem como o coeficiente angular da reta (-1,64) obtido pela relação entre graus-dia acumulados e a época de plantio para esta variedade foram bem inferiores aos das demais cultivares. Tais resultados indicam também, que o ciclo plantio/maturação para a cultivar Paraná é completado quando atinge, em média 1030 graus-dia.

A cultivar Viçosa (semi-precoce), para as três localidades estudadas, apresentou uma acumulação térmica média de 1227 graus-dia. Tanto o coeficiente angular (-5,15), como o coeficiente de variação (11,2%) foram superiores aos da cultivar Paraná, demonstrando haver uma influência um pouco

TABELA 1. Valores de desvio padrão da soma térmica expressa em dias (Sd) e em graus-dia (Sdd) e temperatura base (TB) correspondentes, para o período plantio/maturação de algumas cultivares de soja, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80.

Desvio padrão	Temperatura-base (TB) - °C						
	11	12	13	14	15	16	17
Paraná							
Sdd	100,9	91,9	83,1	74,7	66,8	59,8	53,5
Sd	8,42	8,35	8,31	8,30	8,35	8,55	8,90
Viçosa							
Sdd	152,2	138,9	126,0	113,5	102,6	92,3	82,3
Sd	12,68	12,63	12,60	12,61	12,82	13,19	13,69
Santa Rosa							
Sdd	173,5	158,5	143,7	129,2	115,7	102,7	90,2
Sd	14,46	14,41	14,37	14,36	14,46	14,68	15,00
UFV-1							
Sdd	202,0	184,1	166,4	149,2	132,6	116,7	102,1
Sd	16,97	16,89	16,81	16,76	16,78	16,92	17,30

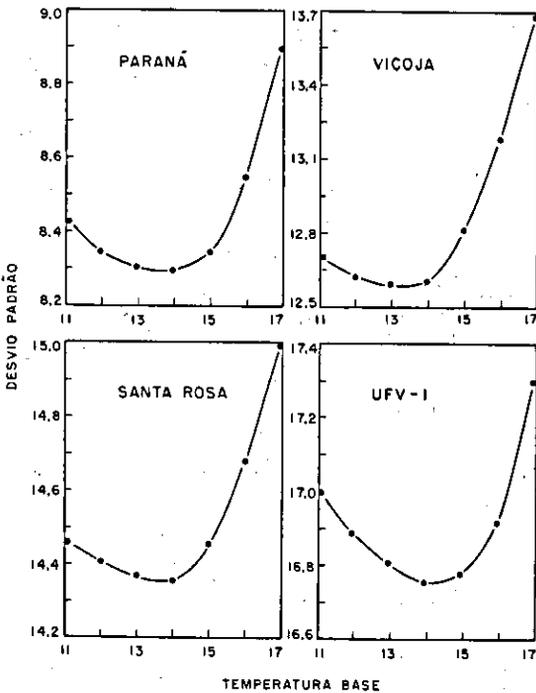


FIG. 1. Desvio padrão (em dias) em função de temperaturas-base entre 11°C e 17°C, para o período plantio/maturação para quatro cultivares de soja.

maior da época de plantio sobre o somatório térmico no ciclo plantio/maturação. A acumulação térmica necessária para completar este ciclo, em plantios no mês de outubro, foi de 1400 graus-dia, enquanto para plantios em dezembro a acumulação necessária foi de 1100 graus-dia.

O coeficiente angular da reta para a cultivar Santa Rosa foi de -6,38, e o coeficiente de variação de 12,5%. Esses valores são maiores que os da cultivar Viçosa, demonstrando haver uma influência ainda maior da época de plantio sobre a acumulação térmica para esta cultivar. Para plantios em outubro a acumulação térmica foi da ordem de 1500 graus-dia, enquanto para plantios em dezembro foram de 1100 graus-dia. A acumulação térmica média para a cultivar Santa Rosa foi de 1275 graus-dia.

A cultivar UFV-1, de ciclo longo, apresentou os maiores coeficientes; quer de variação (12,6%) como angular (-6,82), demonstrando haver grande influência da época de plantio sobre a acumulação térmica no ciclo plantio/maturação. Foram necessários cerca de 1550 graus-dia para completar o ciclo nos plantios de outubro e 1150 graus-dia nos plantios de dezembro, enquanto a acumulação térmica média para os três meses foi de 1336 graus-dia.

Essa maior influência da época de plantio sobre o somatório térmico, principalmente nas cultivares Viçosa, Santa Rosa e UFV-1, mostram que outros fatores também interferem na acumulação térmica durante o ciclo plantio/maturação. O fotoperíodo, que faz com que a planta complete seu ciclo com

menor acumulação térmica à medida que se atrasa o plantio, é um dos fatores condicionantes no somatório térmico. À medida que se atrasa o plantio (outubro a dezembro) diminui o tempo para se atingir o valor crítico do fotoperíodo, encurtando assim o ciclo total da cultura (Camargo 1984).

TABELA 2. Graus-dia acumulados acima da temperatura-base de 14°C, durante o ciclo plantio/maturação para as cultivares de soja UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paraná, em função de diferentes épocas de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80 para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

Locais	Data de plantio	UFV-1	Santa Rosa	Viçosa	Paraná
Campinas	08/11/77	1485	1392	1392	1157
	23/11/77	1350	1297	1306	1128
	08/12/77	1251	1214	1196	1102
	26/12/77	1128	1109	1111	1009
	18/10/78	1531	1427	1311	1033
	07/11/78	1361	1263	1245	1050
	28/11/78	1240	1189	1189	1011
	18/12/78	1120	1069	1069	948
	26/10/79	1444	1399	1296	1028
	05/11/79	1418	1348	1311	1157
	23/11/79	1340	1214	1175	1121
	12/12/79	1230	1109	1047	1008
	16/10/77	1606	1565	1546	1188
	07/11/77	1517	1517	1421	1027
25/11/77	1377	1339	1277	1037	
20/12/77	1186	1117	1078	950	
Ribeirão Preto	16/10/78	1619	1525	1367	946
	07/11/78	1447	1362	1316	1040
	25/11/78	1296	1201	1168	1003
	14/12/78	1156	1088	1046	939
	16/10/79	1602	1488	1387	1125
	31/10/79	1491	1401	1288	1008
	20/11/79	1330	1286	1225	987
	18/12/79	1125	1035	1007	902
	17/10/78	1451	1361	1266	963
	03/11/78	1328	1226	1209	949
Pindamonhangaba	21/11/78	1193	1184	1101	1032
	14/12/78	988	980	984	882
	11/10/79	1557	1512	1413	1188
	13/11/79	1306	1302	1265	1028
	21/11/79	1233	1228	1209	1030
	12/12/79	1060	1043	1043	1006
Média		1336,5	1274,8	1227,1	1030,8
C. variação		12,6	12,5	11,2	7,7
C. angular		-6,82	-6,38	-5,15	-1,64

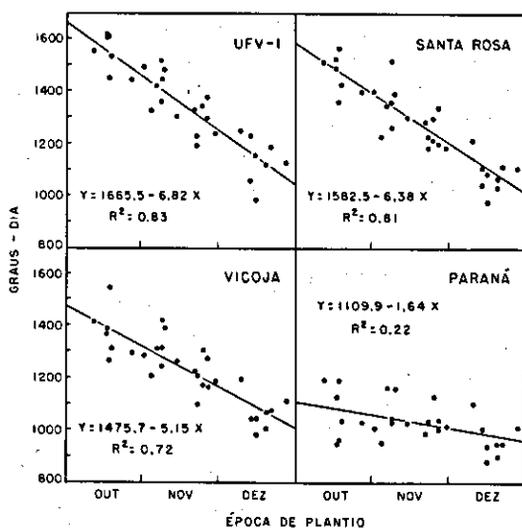


FIG. 2. Graus-dia acumulados acima da temperatura-base de 14°C do plantio à maturação, para as cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1, em função de diferentes épocas de plantio para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

CONCLUSÕES

1. O método da menor variabilidade de Arnold (1959) mostrou-se bastante consistente para a determinação das temperaturas-base das cultivares de soja estudadas, apresentando a mesma TB de 14°C, para as quatro cultivares na fase plantio/maturação.

2. O método de graus-dia para a predição da maturação aplicou-se melhor no caso das cultivares precoces. Para as tardias o fotoperíodo teve efeito mais decisivo na indução ao florescimento destas cultivares, alterando o ciclo total da cultura e conseqüentemente a acumulação térmica.

3. Foram necessários, em média, 1336, 1275, 1227 e 1030 GD, respectivamente, para as cultivares UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paraná, para o complemento da fase plantio/maturação.

REFERÊNCIAS

ALLISON, J.C.S. Use of the day-degree summation technique for specifying flowering time of maize varieties at different localities in Southern Africa. *Rhod. J. Agric. Res.*, 1:22-78, 1963.

ARNOLD, C.Y. The determination and significance of the base-temperature in a linear heat unit system. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 74:430-45, 1959.

ASPIAZÚ, C. Prognóstico de fases en cultivos de maíz dentado mediante sumas de temperatura. *Rev. Fac. Agron. Vet.*, Buenos Aires, 19(1-2):61-9, 1971.

BENACHIO, S.S. & BLAIR, B.O. A new approach to phenological research; relationships between environmental factors and days to the appearance of the first leaf in four perennial species. *Agron. J.*, 64: 294-302, 1972.

BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V.R. Relação entre temperatura e desenvolvimento do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 12., Goiânia, 1978. *Anais. Brasília, EMBRAPA-DID*, 1979. p.66.

BERLATO, M.A. & SUTILI, V.R. Ecologia do milho. II. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., Piracicaba, 1976. *Anais. Piracicaba, ESALQ*, 1978. p.523-7.

BERLATO, M.A.; SUTILI, V.R.; CASTRO, A.O. Comparação de métodos de cálculo das exigências térmicas para espigamento de milho (*Zea mays* L.). *Agron. sulriogr.*, 10(1):87-94, 1974.

BROWN, D.M. Heat units for corn in Southern Ontario. Ontario, Ministry of Agriculture and Food, 1975. 4p. (Factsheet-order, 75-7)

BROWN, D.M. & CHAPMAN, L.J. Soybean ecology. III. Soybean development units for zones and varieties in the Great Lakes Region. *Agron. J.*, 53(5):306-8, 1961.

BRUNINI, O.; LISBÃO, R.S.; BERNARDI, J.B.; FORNASIER, J.B.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston" em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, 35(19):213-9, 1976.

CAMARGO, M.B.P. Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ, 1984. 96p. Tese Mestrado.

GANDOLFI, V.H. & MULLER, L. Fotoperiodismo. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C., ed. A soja no Brasil. Campinas, ITAL, 1981. p.129-42.

LAWN, R.J. & BYTH, D.E. Response of soybeans to planting date in South-Eastern Queensland, influence of photoperiod and temperature on phasic development patterns. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:67-80, 1973.

MAJOR, D.J.; JOHNSON, D.R.; LUEDDERS, V.D. Evaluation of eleven thermal unit methods for predicting soybean development. *Crop Sci.*, 15(2):172-4, 1975.

MIRANDA, M.A.C.; MIYASAKA, S.; MASCARENHAS, H.A.A. Melhoramento da soja no Estado de São Paulo. In: FUNDAÇÃO CARGILL, Campinas. A soja no Brasil central. Campinas, 1982. p.77-112.

- PASCALE, A.J. Agroclimatic types for soybean crop in Argentina. s.l., s.ed., 1969. Trabalho apresentado no "V International Biometeorological Congress", Montreux, Suíça, 1969.
- PASCALE, A.J.; REMUSSI, C.; MARZO, L. Reacción de distintas variedades de soja a los factores bioclimáticos de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agron. Vet.*, Buenos Aires, 15(3):29-54, 1963.
- PASCALE, A.J.; VILLEGAS, J.A.; MEDINA, L.F. Aptitud agroclimática del noroeste argentino para el cultivo de la soja. *Rev. Agron. Noroeste Argent.*, 10(3-4):173-203, 1973.