EXIGÊNCIAS BIOCLIMÁTICAS E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE
PARA QUATRO CULTIVARES DE SOJA NO ESTADO DE SÃO PAULO

MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO

Orientador: Dr. Orivaldo Brunini

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Agrometeorologia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
março-1984

Aos meus pais, *Angelo e Zuleica*,
pelos esforços dedicados à minha educação,

OFEREÇO

À minha esposa, *Telma Helena*, e
aos meus filhos, *Guilherme e Daniel*,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O autor expressa os mais sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Orivaldo Brunini, pela orientação, dedicação no desenvolvimento do presente trabalho, além da amizade e colaboração durante todo o curso.

Aos Professores do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, pelos ensinamentos e amizade.

A Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas, na pessoa do Pesquisador Científico Manoel A. Coelho de Miranda, pela cessão dos dados fenológicos da cultura da soja utilizados no presente trabalho.

Aos Pesquisadores Científicos, Dr. Antonio Roberto Pereira, Diretor da DATBA, Dr. Altino Aldo Ortolani, Rogério Remo Alfonsi e Dr. Mario José Pedro Jr. da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas, pelo excelente ambiente de trabalho, constante apoio, amizade e sugestões apresentadas.

Ao Dr. Angelo Paes de Camargo, do Instituto Brasileiro do Café, pelo constante estímulo e sugestões apresentadas durante a realização do Curso de Pós-Graduação e na execução deste trabalho.

- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudos, durante o curso.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro nas pesquisas.
- À Fundação Cargill, em nome do Dr. Glauco Pinto Viegas pelo financiamento de parte dos estudos.
- Ao Instituto Agronômico de Campinas, pelo ótimo ambiente de trabalho e facilidades oferecidas durante a realização do Curso de Pós-Graduação.
- Às funcionárias, Áurea Benedita Michelotti e Ana Maria da Silva Maia Mechelon, do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, pela amizade e colaboração durante o Curso de Pós-Graduação.
- À Bibliotecária Maria Lucia Nery Dutra de Castro, pelo auxílio na elaboração do capítulo Literatura Citada.
- Às funcionárias Liliana Solha e Heloísa Sampaio Ferraz, da Seção de Climatologia Agrícola do IAC, respectivamente, pela confecção das figuras e serviço de datilografia.
- Aos demais funcionários da Seção de Climatologia Agrícola do IAC, que de uma forma ou de outra colaboraram na realização deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Exigências bioclimáticas	6
2.1.1. Exigências térmicas	6
2.1.2. Exigências fotoperiódicas	9
2.1.3. Exigências hídricas	14
2.2. Modelos agrometeorológicos de estimativa de pro- dutividade	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Material	25
3.1.1. Locais	25
3.1.1.1. Campinas	25
3.1.1.2. Ribeirão Preto	25
3.1.1.3. Pindamonhangaba	26
3.1.2. Experimento	26
3.1.2.1. Cultivares de soja	26
3.1.2.2. Características das parcelas experimentais	26
3.1.2.3. Anotações fenológicas	27
3.1.2.4. Período	27

	Página
3.1.3. Dados meteorológicos	28
3.2. Métodos	28
3.2.1. Determinação da temperatura-base	28
3.2.2. Graus-dia	29
3.2.3. Unidades fototérmicas corrigidas	30
3.2.4. Interrelação fotoperíodo e épocas de plantio	30
3.2.5. Disponibilidade hídrica no solo	30
3.2.6. Modelo agrometeorológico para estimativa da produção de grãos	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Temperatura-base	35
4.2. Graus-dia e fotoperíodo	38
4.3. Unidades fototérmicas corrigidas (UF_C)	52
4.4. Disponibilidade hídrica no solo	52
4.5. Modelo agrometeorológico de estimativa de produção de grãos	66
5. CONCLUSÕES	77
LITERATURA CITADA	79

LISTA DE TABELAS

Tabela nº		Página
1	Produção e produtividade da cultura de soja no Estado de São Paulo e no Brasil, no período 1975-1982	2
2	Valores de desvio padrão da soma térmica expresso em dias (Sd) e em graus-dia (Sdd) e temperatura-base (TB) correspondentes, para o período plantio/maturação de alguns cultivares de soja, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80	36
3	Graus-dia acumulados acima da temperatura-base de 14°C, durante o ciclo plantio/maturação para os cultivares de soja UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paraná, em função de diferentes épocas de plantio, durante os anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80 para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba	39
4	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1977/78 para a localidade de Campinas-SP	54
5	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1978/79 para a localidade de Campinas-SP	54
6	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1979/80 para a localidade de Campinas-SP	55

Tabela nº

Página

7	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1977/78 para a localidade de Ribeirão Preto-SP	55
8	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1978/79 para a localidade de Ribeirão Preto-SP	56
9	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1979/80 para a localidade de Ribeirão Preto-SP	56
10	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1978/79 para a localidade de Pindamonhangaba-SP	57
11	Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm, referente ao ano agrícola 1979/80 para a localidade de Pindamonhangaba-SP	57
12	Produtividade potencial dos cultivares de soja UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paraná, para as regiões de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba	67
13	Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivar de soja Paraná, para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80	72

Tabela nº

Página

14	Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivo de soja Viçoja, para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80	72
15	Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivo de soja Santa Rosa para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80	73
16	Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivo de soja UFV-1 para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80	73

LISTA DE FIGURAS

Figura nº		Página
1	Desvio padrão (em dias) em função de temperaturas-base entre 11 e 17°C, para o período plantio/maturação para quatro cultivares de soja	37
2	Graus-dia acumulado acima da temperatura-base de 14°C, do plantio à maturação, para os 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	40
3	Variação anual do fotoperíodo, em horas, do 22º dia de cada mês para latitudes de 10, 20 e 30° sul	43
4	Relação entre o ciclo "plantio/maturação" de quatro cultivares de soja e a época de plantio, para três locais com diferentes latitudes: Passo Fundo-RS (28°15'S), Londrina-PR (23°20'S) e Ribeirão Preto-SP (21°11'S)	44
5	Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar UFV-1, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba	46
6	Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar SANTA ROSA, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba	47

Figura nº

Página

7	Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar VIÇÓJA, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba	48
8	Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar PARANÁ, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba	49
9	Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, para os cultivares UFV-1, Santa Rosa, Viçója e Paraná em Campinas e Ribeirão Preto, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80	51
10	Unidades fototérmicas corrigidas médias, em função das diferentes épocas de plantio para os cultivares de soja Paraná, Viçója, Santa Rosa e UFV-1	53
11	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçója, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1977/78 para Campinas	58
12	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçója, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1978/79 para Campinas	59

Figura nº

Página

13	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paranã, Viçoja, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1979/80 para Campinas	60
14	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paranã, Viçoja, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1977/78 para Ribeirão Preto	61
15	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paranã, Viçoja, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1978/79 para Ribeirão Preto	62
16	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paranã, Viçoja, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1979/80 para Ribeirão Preto	63
17	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paranã, Viçoja, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1978/79 para Pindamonhangaba	64

Figura nº

Página

18	Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955)-125mm e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1, durante o ano agrícola 1979/80 para Pindamonhangaba	65
19	Produção de grãos dos cultivares de soja Paraná e Viçosa, em função das diferentes épocas de plantio para as localidades de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto e Campinas, durante os anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80	69
20	Produção de grãos dos cultivares de soja Santa Rosa e UFV-1, em função das diferentes épocas de plantio para as localidades de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto e Campinas, durante os anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80	70
21	Relação entre produtividades observadas e estimadas para os cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1 para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba	75

EXIGÊNCIAS BIOCLIMÁTICAS E ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE PARA QUATRO CULTIVARES DE SOJA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Marcelo Bento Paes de Camargo

Orientador: Orivaldo Brunini

RESUMO

Foram estudadas as exigências bioclimáticas dos cultivares de soja Paraná, Santa Rosa, Viçoja e UFV-1, nas condições do Estado de São Paulo, baseando-se em dados fenológicos obtidos de experimentos conduzidos pela Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico, em Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, durante os anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80, com quatro épocas de plantio por ano agrícola.

Inicialmente, analisou-se a relação entre temperatura do ar e razão de desenvolvimento dos cultivares, verificando-se que a temperatura-base para a fase fenológica plantio/maturação, em todos os cultivares foi 14°C. Com base nessa temperatura determinou-se os graus-dia (GD) necessários para os cultivares completarem a referida fase fenológica, em cada época de plantio; sendo necessários em média, 1336, 1275, 1227 e 1030 GD, respectivamente, para os cultivares UFV-1, Santa Rosa, Viçoja e Paraná.

O comportamento fotoperiódico dos cultivares foi estudado para diferentes épocas de plantio, determinando-se sua influência na

duração do ciclo plantio/maturação. O efeito da época de plantio na duração do ciclo mostrou-se muito mais acentuado nos cultivares de ciclo médio e longo, mostrando-se muito mais afetadas pelo fotoperíodo. As precoces praticamente não foram influenciadas.

O acompanhamento da disponibilidade hídrica no solo foi feito através do método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather-1955, em base decendial, considerando-se uma retenção de água no solo de 125mm.

A partir desses resultados, desenvolveu-se um modelo agro meteorológico de estimativa de produção de grãos, baseado na penalização de produtividades potenciais de cada cultivar de soja, em função das condições meteorológicas reinantes durante o desenvolvimento da cultura. O modelo proposto foi o seguinte:

$$Y \text{ Est} = Y \text{ Pot} \cdot F \text{ Ter} \cdot F \text{ Def} \cdot F \text{ Exc}$$

onde: Y Est = produtividade estimada; Y Pot = produtividade potencial do cultivar em cada localidade; F Ter = fator térmico correspondente à penalização pelos graus-dia acumulados; F Def = fator referente à penalização para deficit hídrico e F Exc = fator correspondente à penalização para excedente hídrico.

As estimativas da produtividade da soja, pelo modelo agro meteorológico proposto, mostraram-se bastante satisfatórias. Os coeficientes de determinação, entre dados observados e estimados variaram de 0,76 a 0,87, para os quatro cultivares estudados.

BIOCLIMATIC REQUIREMENTS AND YIELD ESTIMATION FOR
SOYBEAN CULTIVARS IN SÃO PAULO STATE - BRAZIL

Marcelo Bento Paes de Camargo

Advisor: Orivaldo Brunini

SUMMARY

The present work was carried out to determine the bioclimatic requirements of different soybean cultivars under the conditions found in São Paulo State-Brazil. The study was performed for the following cultivars: Paranã, Santa Rosa, Viçoja and UFV-1, and the bioclimatic requirements of each cultivar were determined in relation to phenological records of field experiments conducted during three years (1977/78, 1978/1979 and 1979/80), with four planting times for each year.

An analysis of the relationship between air temperature and crop development indicated that the base temperature for the phenological phase from planting to ripening is 14°C for all cultivars. It was also observed that the degree days necessary for all crops, using the base temperature of 14°C , were 1336, 1275, 1227 and 1030 respectively for the UFV-1, Santa Rosa, Viçoja and Paranã cultivars.

The relationship between day-length and crop development for different planting times, indicated that this parameter is important in determining the duration of the planting/ripening phase. It was also

observed that its effect on crop development is more important for the long and medium cycle cultivars. For the short season cultivar this effect is negligible.

The variation in the available soil moisture during the entire crop cycle was determined with the water balance method proposed by Thornthwaite and Mather (1955). Afterwards a model was proposed to estimate crop yield based on the reduction of the potential productivity when soil water content decreases below a critical value or when the surplus is above the potential evapotranspiration for a period.

The proposed model for yield estimates is:

$$Y \text{ Est} = Y \text{ Pot} \cdot F \text{ Ter} \cdot F \text{ Def} \cdot F \text{ Sur}$$

where: Y Est = estimated yield; Y Pot = potential yield for a defined locality, being a function of the cultivar and technology; F Ter = thermal factor, to express the degree of crop development (accumulated degree days); F Def = effect of water deficit in the soil on crop yield; F Sur = effect of water surplus on crop yield.

A comparison between the observed yield and the estimated using such a model was highly satisfactory with a correlation coefficient (R^2) ranging from 0,76 to 0,87 for all cultivars.

1. INTRODUÇÃO

A partir da década de setenta a cultura da soja tem apresentado uma expansão muito grande, a ponto de torná-la importante fonte de divisas para o País. A pesquisa agronômica tem fornecido suporte à essa expansão, principalmente no que se refere aos aspectos de fertilidade do solo, melhoramento genético e fitossanitário. O clima é o principal fator responsável pelas oscilações anuais de produção. Apesar dessa importância, as interações entre os elementos climáticos e o desenvolvimento desta cultura tem sido pouco estudadas no Brasil, particularmente no Estado de São Paulo.

A tabela 1 mostra a produção e a produtividade de soja no Brasil e no Estado de São Paulo referentes ao período 1975-1982. Observa-se que a produtividade mostrou-se sensivelmente reduzida em determinados anos agrícolas, como 1977/78 e 1978/79 pela ocorrência de severas restrições hídricas em períodos críticos da cultura.

Para a determinação das exigências climáticas de uma cultura, há necessidade de que os estudos agroclimáticos sejam complementados com observações fenológicas. Desta maneira caracteriza-se o estudo

Tabela 1. Produção e produtividade da cultura de soja no Estado de São Paulo e no Brasil, no período 1975-1982

Ano	São Paulo		Brasil	
	Produção	Produtividade	Produção	Produtividade
Agrícola	(1000 t)	(kg/ha)	(1000 t)	(kg/ha)
1975/76	770	1942	11230	1750
1976/77	770	1709	12510	1769
1977/78	750	1334	9530	1225
1978/79	850	1583	9950	1240
1979/80	1100	1959	15160	1727
1980/81	1300	1901	14980	1765
1981/82	990	1925	12800	1562

Fonte: Anuário Estatístico do Brasil. Fundação IBGE 1977/82

de bioclimatologia, pela análise quantitativa e qualitativa da ação do ambiente sobre o desenvolvimento e produtividade vegetal.

A duração do ciclo da cultura está associada à temperatura do ar durante a estação vegetativa, ou seja, à acumulação de unidades térmicas de desenvolvimento. O conceito de unidades térmicas admite que para a cultura atingir um determinado estágio de desenvolvimento há necessidade da acumulação de certa quantidade de tais unidades no período. Sabe-se que o ciclo das culturas, em geral, diminuem consideravelmente nos locais onde as temperaturas são mais elevadas, onde ocorre acúmulo mais rápido das unidades de desenvolvimento. Variedades de soja que nas condições do Estado de São Paulo, região tropical de altitude, apresentam um ciclo de cinco meses por exemplo, reduzem-no para três ou quatro meses apenas, em regiões equatoriais mais quentes.

Porém, isoladamente a temperatura do ar não explica todo o processo de desenvolvimento vegetal. Para a cultura da soja em particular observa-se que o fenômeno do fotoperíodo tem influência decisiva no desenvolvimento, principalmente na indução ao florescimento. Os diversos cultivares reagem de forma as mais diversas à ação do fotoperíodo, encontrando-se desde cultivares que não chegam a florescer quando as condições do comprimento do dia são inadequadas, até aquelas que se mostram totalmente indiferentes a esse fator (PASCALE, 1969a; MIYASAKA *et alii*, 1970).

O estudo das interrelações clima-planta não se baseia somente na determinação das exigências térmicas ou fotoperiódicas da cultura.

A disponibilidade de água no solo deve também ser considerada para que as plantas apresentem um bom desenvolvimento e tenham uma produtividade econômica. A deficiência hídrica pode não só afetar a duração do ciclo do vegetal, como também ocasionar sensíveis danos à produtividade.

As relações entre elementos climáticos e produção agrícola são bastante complexas, pois os fatores do ambiente podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob diferentes formas nas diversas fases do ciclo da cultura. Para melhor entendimento dessas interações, tem sido desenvolvido modelos que procuram caracterizar os efeitos das variações climáticas sobre o desenvolvimento e produção vegetal. A caracterização dessas interações são úteis nos estudos de zoneamento agrícola, de planejamento de uso da terra, assim como de estimativa da produção agrícola.

Com relação à cultura da soja, tem sido observado que o principal fator de oscilação na produtividade é a precipitação pluvial, seguido pela acumulação térmica. Entretanto, a maioria dos modelos agroclimáticos existentes (BROWN, 1975; MOTA, 1981; SEGOVIA e ANDRADE, 1982; BRUNINI *et alii*, 1982) utilizam somente a variável hídrica na estimativa da produtividade. Observa-se também, que os modelos mais simples quase sempre se baseiam em métodos de regressão estatística para a caracterização do efeito da oscilação climática sobre a produção, motivo pelo qual tais relações são sempre lineares.

Devido ao conhecimento restrito das interrelações clima-planta para a cultura da soja, nas condições de cultivo do Estado de

São Paulo, o presente estudo foi desenvolvido tendo em vista os seguintes objetivos:

a) determinar a temperatura -base de desenvolvimento de quatro diferentes cultivares de soja;

b) caracterizar os efeitos da temperatura do ar, do fotoperíodo, e da disponibilidade hídrica no solo sobre o desenvolvimento e produtividade dos cultivares estudados;

c) desenvolver um modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade agrícola desta cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Exigências bioclimáticas

2.1.1. Exigências térmicas

O Homem sempre se preocupou com a influência do clima sobre a vida vegetal, e os primeiros estudos da interação clima-planta, de que se tem registro, foram feitos há 250 anos por REAUMUR (1735), após o desenvolvimento de sua escala termométrica. Reaumur somou as temperaturas médias diárias dos meses de abril, maio e junho, em sua localidade e observou que esse somatório era praticamente um valor constante para o desenvolvimento de qualquer planta, de ano para ano. O trabalho de Reaumur ficou conhecido como a constante Reaumur de fenologia. Assumiu que esse somatório ou a constante térmica, expressava a quantidade de energia que uma determinada espécie vegetal necessitava para atingir um certo grau de maturidade. Reaumur foi o precursor do conhecido sistema de unidades térmicas ou graus-dia, usado atualmente para previsão da duração do ciclo fenológico de vários vegetais.

O conceito de graus-dia pressupõe a existência de uma temperatura base abaixo da qual a planta não se desenvolve, e se o fizer é a uma taxa muito reduzida. A cada grau de temperatura, acima da temperatura base, corresponde um grau-dia. Além disso, admite uma relação linear entre acrêscimo 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.

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, e que esta soma seria uma constante, independente da época de plantio ou do local.

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 são desprezíveis quando comparada ao da temperatura. Mesmo considerando estas 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 alii*, 1974, 1976 e 1978; BROWN, 1975), plantas perenes (BENACCHIO e BLAIR, 1972), alface (BRUNINI *et alii*, 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 e ALLARD (1930) citado por GANDOLFI e MÜLLER (1981) concluíram que as variações de ano para ano na data de floração e consequente duração do ciclo total em dias, de uma determinada variedade de soja plantada no mesmo dia são devidas principalmente à diferença de soma térmica durante o desenvolvimento. As diferenças porém entre variedades devem ser atribuídas à suas respostas ao fotoperíodo. Embora não explique suficientemente o desenvolvimento da soja, o método dos graus-dia tem sido empregado para quantificar as disponibilidades térmicas regionais durante o ciclo de cultura (BROWN, 1975) e com isso estabelecer regiões térmicas para efeito de definições de tipos agroclimáticos (PASCALE, 1969a).

BROWN (1960) estudou a relação entre a taxa de desenvolvimento de plantas de soja e temperatura do ar, em ambiente controlado, observando uma relação parabólica onde a temperatura base ocorreu próximo a 10°C e a temperatura de maior desenvolvimento em torno de 30°C . BROWN e CHAPMAN (1960) observaram ser a relação de BROWN (1960) também válida para condições de campo, desde que não houvesse limitação de umidade no solo no período do florescimento da soja.

Em experimento de semeadura contínua na Argentina, PASCALE *et alii* (1963) observaram não haver germinação da soja antes da temperatura média do ar atingir 15°C, concordando com BROWN e CHAPMAN (1961) que o período vegetativo da soja inicia quando a temperatura média do ar supera 15°C. Admitindo 15°C como temperatura base PASCALE *et alii* (1973) verificaram que a cultura da soja na região Noroeste Argentina, exige entre 650 e 1050 graus-dia, durante a fase plantio-maturação.

2.1.2. Exigências fotoperiódicas

Dada a importância do fotoperíodo no desenvolvimento vegetal, especificamente no caso do trigo e soja, alguns autores incluem o fotoperíodo na determinação das necessidades bioclimáticas dessas espécies (GESLIN, 1945; NUTTONSON, 1955; PASCALE e DAMARIO, 1954; PASCALE, 1955; PASCALE e MOTA, 1966; ROBERTSON, 1968; PASCALE, 1969b).

Utilizando artificialmente diferentes períodos de luz, PARKER e BORTHWICK (1950) determinaram que o período de escuridão (noite) é que controla a época do florescimento; como a soja floresce no campo quando os dias são menores do que um determinado valor crítico, ela é chamada de planta de dias curtos. O fotoperíodo é a principal variável associada à influência da data de plantio sobre a maturação, porém outras variáveis, como a acumulação térmica e a umidade do solo, podem apresentar efeitos importantes (HARTWIG, 1954; PASCALE *et alii*, 1963).

As variedades de soja foram divididas, para as condições dos EUA, em dez grupos de maturação, numeradas de 00 a VIII, de acordo

com a tolerância quanto à duração do dia. As variedades enquadradas nos grupos 00, 0 e I podem tolerar os dias longos das altas latitudes, enquanto as variedades classificadas nos grupos VII e VIII podem somente se desenvolver em dias curtos das regiões de baixas latitudes (PASCALE, 1972).

Com relação à interação temperatura e fotoperíodo LAWN e BYTH (1973) e MAJOR *et alii* (1975b) concluíram que a temperatura tem influência significativa nos cultivares menos sensíveis ao fotoperíodo, e que a melhor precisão do método da soma de temperatura para a previsão da maturação é para os cultivares precoces, sugerindo que nas variedades tardias o fotoperíodo exerce efeito relativo mais acentuado.

O comprimento do dia ou fotoperíodo crítico é que determina a passagem da planta do período vegetativo ao reprodutivo (florescimento) (PASCALE, 1969a). Para alguns autores (HARTWIG, 1973; GANDOLFI e MULLER, 1981), a soja é uma planta de resposta fotoperiódica do tipo quantitativo, isto é, o encurtamento do fotoperíodo acelera seu desenvolvimento. As plantas continuam a vegetar com dias longos, até que o período de luz se torne menor que o fotoperíodo crítico de cada variedade, quando então inicia a fase de florescimento.

O fotoperíodo crítico é diferente para cada cultivar de soja e determina em que latitude a cultura estará melhor adaptada. Variedades adaptadas a altas latitudes tem fotoperíodo crítico maior. Dessa maneira se tais variedades forem cultivadas em latitudes mais baixas irão florescer e maturar mais rapidamente por causa dos dias curtos determinando menor porte e rendimentos reduzidos. Por outro lado quando

uma variedade adaptada a baixas latitudes for cultivada em região de latitude maior florescerá e maturará mais tarde pelo dia mais longo, ficando demasiadamente tardia (HOWELL, 1967; MAJOR e JOHNSON, 1975; GANDOLFI *et alii*, 1977).

O comprimento do dia na fase inicial do desenvolvimento das culturas é um fator importante na determinação da época de plantio (FRANCIS, 1970). A indução floral nas variedades precoces de soja é menos afetada pelo fotoperíodo que nas tardias, demonstrando também que à medida que diminui o fotoperíodo ocorre uma aceleração no florescimento (JOHNSON, 1960).

Segundo PASCALE *et alii* (1963), a duração do período emergência-florescimento depende da época de plantio e da variedade de soja cultivada. O número de dias para completar o estágio de desenvolvimento diminui com o atraso da época de plantio desde o grupo de maturação 00 até o VIII.

A redução do ciclo total, em função do atraso da época de plantio, principalmente nos cultivares de ciclo médio a tardio é devido à maior sensibilidade desses cultivares à redução do fotoperíodo que as variedades precoces, como é o caso do cultivar Paraná. CRISWELL e HUME (1972) constataram que o fotoperíodo crítico para a indução do florescimento dos cultivares tardios é menor do que para os cultivares precoces. Entretanto, quando o comprimento do dia se reduz abaixo dos níveis críticos dos diversos cultivares, o florescimento tende a ocorrer ao mesmo tempo, induzindo a uma duração igual de ciclo total. Isso ocorre nos plantios tardios, a partir de dezembro.

A maior sensibilidade dos cultivares tardios à redução do fotoperíodo para a indução ao florescimento vem sendo confirmado sistematicamente em trabalhos experimentais (OSLER e CARTTER, 1954; PASCALE e ESCALES, 1971; CRISWELL e HUME, 1972; MAJOR *et alii*, 1975a e 1975b). Portanto, para a obtenção de qualquer modelo bioclimático para a soja, é necessário considerar não só os efeitos fotoperiódicos causados pelas diferentes latitudes, mas também os causados pelas diferentes épocas de plantio.

Para as condições da região Centro-Sul do Brasil, MIYASAKA (1958) considera que a soja, sendo de dias curtos, floresce quando os dias começam a encurtar ou seja em fevereiro. No Estado de São Paulo, durante os meses de inverno o fotoperíodo é menor do que os fotoperíodos críticos para as variedades de soja comumente cultivadas, o que determina um florescimento bastante precoce das plantas, reduzindo os ciclos da cultura. Este fato aliado às baixas temperaturas desta época do ano faz com que o desenvolvimento vegetativo e a produção de grãos sejam bastante reduzidos (MIYASAKA *et alii*, 1970). Como a maioria das variedades plantadas no Estado de São Paulo atinge a altura máxima logo após o florescimento, a reação dos cultivares ao fotoperiodismo condiciona a altura da planta (MIRANDA *et alii*, 1982)..

Em fotoperíodos curtos, associados com plantios bastante precoces, o florescimento prematuro pode resultar numa redução acentuada da altura das plantas (HARTWIG, 1954). Segundo SCOTT e ALDRICH (1970), qualquer cultivar de soja começa a florescer dentro de 30 dias após o plantio quando a duração do dia for de apenas 12 horas na ocasião da

semeadura. Consideram ainda que 55 a 60 dias, entre o plantio e o florescimento é a duração normal para o período vegetativo, e que quando este diminui ocorre redução na altura da planta e na produção de grãos.

OSLER e CARTTER (1954) concluíram que para a obtenção de altas produções de soja deve-se atrasar o plantio de variedades precoces em relação às variedades tardias; por outro lado WEISS *et alii* (1950) não encontraram diferenças significativas na produção de variedades precoces em diferentes épocas de plantio; enquanto TORRIE e BRIGGS (1956) mostraram que a produção de variedades tardias diminui com o plantio depois de 20 de maio no hemisfério Norte (novembro no hemisfério Sul).

MIYASAKA (1965) verificou que a melhor época de plantio para a soja nas condições de São Paulo é a primeira quinzena de novembro e que uma boa produção está condicionada ao fotoperíodo, temperatura e umidade do solo de cada região. Nos plantios efetuados antes de outubro, há tendência da cultura tornar-se forrageira.

KRUSE *et alii* (1976) estudaram o efeito da época de plantio sobre a duração do ciclo "plantio/maturação" para três cultivares de soja (precoce, média e tardia) para as condições de Missouri-EUA, e observaram que a medida que se atrasou o plantio houve uma redução muito maior no ciclo dos cultivares de ciclo longo do que na de ciclo precoce.

LAM-SANCHEZ (1977) efetuou várias épocas de plantio para os cultivares "Viçôja" e "Santa Rosa", em Jaboticabal-SP, baseando-se na produção de grãos e outras características da planta, verificou que a melhor época para a "Viçôja" foi a primeira década de novembro e para

a "Santa Rosa" foi a última década de outubro. Houve um efeito da época de plantio no ciclo da planta ocorrendo uma redução neste com o atraso no plantio a partir de novembro, sendo este efeito mais pronunciado no período reprodutivo (florescimento/maturação).

Quando a altura das plantas são reduzidas por plantios tardios ou precoces há tendência para as vagens serem formadas perto do solo, o que conseqüentemente acarreta perdas na colheita por causa da altura que as lâminas das colhedeiras trabalham (LAM-SANCHEZ e YUYAMA, 1979; JESUS GRANDE e BORRERO, 1981).

Em estudo das exigências bioclimáticas de soja PASCALE e ESCALES (1971, 1975) determinaram que o período "plantio/florescimento" foi influenciado principalmente pela acumulação térmica e pelo fotoperíodo reinante em cada época de plantio, e que o período "florescimento/maturação" foi influenciado principalmente pela acumulação térmica e umidade do solo, não havendo praticamente neste período influência do fotoperíodo.

2.1.3. Exigências hídricas

Estudando a importância do fator hídrico durante o ciclo da cultura da soja GRISSOM *et alii* (1955) e SPOONER (1961) verificaram que as necessidades hídricas durante o período de crescimento vegetativo são menos importantes do que durante os períodos de florescimento e frutificação. No Japão, FUKUI e OJIMA (1957) verificaram que excesso ou deficiência hídrica, entre a germinação e o florescimento retardaram o crescimento vegetativo. Entretanto deficiência hídrica após o início do

florescimento e no período de frutificação pode causar queda de flores e vagens reduzindo a produção (FUKUI e ITO, 1951).

SHAW e LAING (1965) estudaram o efeito de deficit hídricos ocorridos durante vários períodos da cultura da soja, sendo a que provocou maiores reduções na produção de grãos foi a fase de enchimento de vagens("pod-filling"), resultando em um menor número de grãos por vagem. Deficit hídrico durante o florescimento provocou também quebras nas produções reduzindo o número total de vagens. Em estudos semelhantes DOSS *et alii* (1974), MOTA (1978), DOORENBOS e KASSAM (1979), LEWIS (1981) e HEARN e CONSTABLE (1981) confirmaram ser a fase de enchimento das vagens a mais sensível ao deficit hídrico.

Estudando o efeito do fator hídrico durante o ciclo da cultura da soja, nas condições do Estado de São Paulo, ARRUDA *et alii* (1976) verificaram sua importância no período de estabelecimento da cultura, reduzindo-se na época do crescimento vegetativo e aumentando-se gradativamente a partir do florescimento, até a formação das vagens. Pouca importância apresenta no final do ciclo durante a época da maturação.

Tem sido observado (ARRUDA *et alii*, 1977) que a variação anual de produtividade da soja é uma função mais hídrica do que térmica. Porém, na fase de enchimento de vagens uma diminuição da temperatura média do ar pode ocasionar redução na produção. Esse período corresponde geralmente à segunda quinzena de março e primeira quinzena de abril, período esse com temperaturas médias do ar mais baixas do que janeiro e fevereiro. Esse fato é importante pois plantios tardios ou com cultivares de ciclo mais longo apresentarão, nestas condições, produtividades

menores por deficiência térmica durante esta fase.

No Missouri-EUA, MATSON (1964) verificou não haver diferença significativa entre experimentos com soja irrigada durante todo o ciclo, e irrigada apenas a partir do florescimento. Neste último caso a redução na produção foi muito pequena. ASHLEY e ETHRIDGE (1978) concluíram que irrigação durante o período de desenvolvimento vegetativo teve pequeno efeito sobre a produção de grãos. Entretanto uma deficiência hídrica severa, durante esta fase, pode reduzir a altura das plantas e afetar a produção. O aumento da produção ocasionado pela irrigação pode ser atribuído a muitos fatores, tais como a duração e severidade da deficiência hídrica e estágio fenológico da cultura. O estágio fenológico mais crítico e de maior resposta à irrigação é durante o enchimento de vagens (KANEMASU, 1981).

Estudando o efeito da irrigação sobre o desenvolvimento da soja, CONSTABLE e HEARN (1980) verificaram que as épocas de florescimento não foram afetadas, entretanto o período de maturação nos canteiros irrigados foi antecipado de oito a dez dias em relação aos não irrigados nos anos secos.

O tamanho das sementes não é influenciado pelas épocas de plantio. Durante o florescimento e início da formação de vagens existe uma regulação do número de vagens que a planta poderá desenvolver, sendo isto feito por meio de um "abôrito" fisiológico, porém se houver condições hídricas desfavoráveis durante o florescimento menor número de sementes serão produzidas (WEISS *et alii*, 1950; OSLER e CARTTER, 1954; TORRIE e BRIGGS, 1956).

2.2. Modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade

É grande o número de trabalhos sobre o efeito da variabilidade climática na produção vegetal. Entretanto, devido à ausência de melhor conhecimento dos processos fisiológicos relativos ao crescimento e desenvolvimento das plantas, muitos esforços para determinar os efeitos do clima no crescimento e no rendimento tem sido empíricos (BISCOE, 1977). Dependendo do pesquisador cada trabalho dá maior ênfase a um determinado aspecto (BRUNINI, 1980). Isto se justifica porque os pesquisadores envolvidos na modelagem clima-planta possuem as mais diversas formações, e cada um tenta elaborar um modelo tendo em vista a sua área de atuação. Porém, um verdadeiro modelo seria aquele que definisse qualitativa e quantitativamente todos os aspectos da interrelação clima-planta.

Os modelos tem muitas utilizações práticas nas atividades agrícolas e agrometeorológicas. Cartas e mapas dos resultados de vários modelos tem sido usados para planejamento de uso da terra e zoneamento agrícola. Os modelos tem sido utilizados também para caracterizar a duração dos ciclos das culturas, permitindo assim planejamento das semeaduras e monitoramento das épocas de colheita, e como modelo de estimativa de produção de safra baseado nos efeitos de vários elementos meteorológicos (ROBERTSON, 1983b).

Diferentes aproximações tem sido sugeridas para modelar o efeito da variabilidade climática na produção vegetal, como discutido por NEWMAN (1974), STEWART (1975), McQUIGG (1976), BAIER (1977), BRUNINI (1980) e ROBERTSON (1983a).

Em um resumo dos tipos de modelos para análise das relações clima-planta, NEWMAN (1974) define basicamente duas aproximações:

a) aproximação estocástica, que se baseia em relações matematicamente formuladas, com constantes empíricas;

b) aproximação determinística, que envolve sempre algum tipo de análise de regressão.

Por outro lado, STEWART (1975) afirma que todos os modelos de análise clima-planta, podem ser agrupados em dois grupos:

a) análise de regressão, o qual usa o mínimo de interpretação física;

b) modelos de simulação, os quais dão ênfase aos processos em estudo, através de séries de equações as quais são resolvidas simultaneamente. Essas equações são derivadas de estudos básicos de física de solo, fisiologia vegetal e micrometeorologia.

Em sua revisão sobre modelos existentes para análise da interação clima-planta, McQUIGG (1976) supõe duas aproximações básicas:

a) aproximação fisiológica, a qual é baseada no conhecimento detalhado dos processos físicos e biológicos que ocorrem em um dado intervalo de tempo no sistema solo-planta-atmosfera;

b) aproximação estatística ou correlativa, a qual se baseia na aplicação de algum tipo de análise estatística, principalmente análise de regressão.

Para BAIER (1977) os modelos das interações solo-planta-atmosfera, podem ser divididos da seguinte forma:

- a) aproximação estatística ou de regressão múltipla;
- b) aproximação fisiológica e/ou matemática dos processos envolvidos (mecânico);
- c) simulação através do uso de computadores (baseando-se em processos fisiológicos);
- d) aproximações feitas através da água disponível no solo, baseando-se principalmente em estudos de evapotranspiração.

Em uma análise mais recente destas aproximações ROBERTSON (1983a) definiu três tipos de modelos agroclimáticos:

- a) modelo empírico-estatístico, em que as variáveis meteorológicas correspondem normalmente às condições pluviométricas reinantes durante o ciclo da cultura, como no trabalho de FISHER (1924);
- b) modelo físico-estatístico, em que o modelo procura descrever matematicamente os processos envolvidos durante o ciclo da cultura através de análises parciais, como o trabalho de BAIER (1973);
- c) modelo dinâmico, que se diferencia dos demais através do grau de detalhamento individual para cada processo envolvido, necessitando ainda de um número muito maior de informações climatológicas e fenológicas, como os trabalhos de SPLINTER (1974) com milho e o de RICKMAN *et alii* (1975) com trigo de inverno.

Em relação à quantificação dos efeitos do clima nos rendimentos agrícolas STANHILL (1977) afirma que os métodos para tais estudos começaram a se desenvolver 200 anos atrás. Desde então observações rotineiras do clima e dos rendimentos tem sido realizadas como também foram desenvolvidas técnicas estatísticas de correlação e análises de regressão. Porém, somente após a Primeira Grande Guerra os trabalhos destinados a quantificar a produção agrícola e clima foram amplamente difundidos.

FISHER (1924) desenvolveu uma técnica estatística especial para analisar a influência da chuva na produção de trigo em Rothamsted (Inglaterra). A referida técnica leva em conta não somente o total de precipitação pluvial em um determinado período, mas também a sua distribuição.

A precipitação pluvial é o elemento meteorológico que tem sido mais utilizado no desenvolvimento de modelos previsores de safra, sendo o primeiro elemento meteorológico utilizado para caracterizar o efeito da seca na cultura da soja (THOMPSON, 1970).

ARRUDA *et alii* (1976) correlacionaram as precipitações ocorridas em diferentes períodos do desenvolvimento da cultura da soja com a produção final de grãos, concluindo ser possível fazer estimativas de produção de grãos com relativa precisão, analisando as precipitações acumuladas a partir da segunda quinzena de janeiro até meados de fevereiro.

Utilizando dados de precipitação pluviométrica ocorridas durante o ciclo vegetativo, WILLIAMS e ROBERTSON (1965) desenvolveram um

modelo para estimar a produção de trigo para o Canadá. Posteriormente, WILLIAMS (1969 e 1973) desenvolveu modelos que consideravam não somente a precipitação pluvial mas também a evapotranspiração potencial, sendo que a inclusão deste parâmetro melhorou consideravelmente os resultados obtidos.

HAUN (1974) procurou prever a produção de trigo, com base em dados de temperatura, precipitação e da umidade do solo estimada através do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather-1955. Efeitos consistentes foram encontrados na resposta das plantas às variáveis meteorológicas, permitindo desenvolver duas equações de previsão de produção, partindo de dados de temperatura e precipitação.

LEE e CONNAUGHTON (1969) utilizaram vários métodos de regressão múltipla para estudar a relação entre a produção de trigo e as variáveis climáticas, e encontraram resultados consistentes entre produção e as chuvas e temperaturas durante os subperíodos da cultura. Visando um refinamento nas estimativas de produção, GROSS e RUST (1972) aplicaram análise de regressão múltipla relacionando produção de soja e milho com as variáveis climáticas e tratos culturais.

Para a determinação da aptidão agroclimática do trigo na Argentina, PASCALE e DAMARIO (1969) utilizaram análises de correlação entre os rendimentos e temperatura e balanço hídrico no período do espigamento. PITTER (1977) e MOTA (1983) caracterizaram o efeito do clima sobre a produção de trigo e milho através de análise de regressão curvilínea múltipla, introduzindo além dos elementos meteorológicos a parcela relativa ao desenvolvimento tecnológico.

Visando incorporar fator hídrico na expressão de grau-dia para trigo, IDS0 *et alii* (1978) combinaram umidade do solo com acumulação térmica obtendo um novo índice para estudos clima-planta. A umidade do solo representa uma maior aproximação para identificar o suprimento hídrico para as plantas, mas poucos dados são disponíveis. DALE e SHAW (1965), mostraram que a perda de água no solo é uma função conjunta da disponibilidade de energia na atmosfera, a qual causa a evaporação do solo e transpiração das plantas, e o suprimento de água disponível no solo. Esta relação pode ser expressa com o chamado índice "R", a razão da evapotranspiração real (ER) e a evapotranspiração potencial (EP). A "ER" é relacionada com o suprimento de água e a "EP" representa a necessidade da planta. Desta maneira o índice "R" é uma medida do suprimento hídrico para a planta em relação à necessidade (YAO, 1969).

O valor ótimo do índice "R" para culturas tais como milho e amendoim, varia de 0,85 a 0,90, e quando "R" é inferior a 0,60 há necessidade de irrigação. Grandes diferenças podem ser encontradas no valor de "R", dependendo do método utilizado no cálculo de "ER" e "EP" (YAO, 1973). A utilização da razão "ER/EP" no estudo da variabilidade do rendimento nas culturas é largamente apoiada pelos estudos de NIX e FITZPATRICK (1969), CORSI e SHAW (1971), PASCALE *et alii* (1973), YAO (1973 e 1974) e MASON *et alii* (1980).

JENSEN (1968) desenvolveu um modelo para estimativa da produção agrícola dando maior ênfase à relação clima-planta. O referido modelo considera um produtório, reduzindo a produção final à medida em que as necessidades hídricas da cultura não são satisfeitas nas diferentes

fases fenológicas. Trabalhos desenvolvidos por HILLEL e GURON (1973), HANKS (1974), SHAW (1978), SELIRIO e BROWN (1979), SEGOVIA e ANDRADE (1982), são exemplos deste tipo de modelos que incorporam umidade do solo na forma de evapotranspiração ou parâmetros derivados desta.

BERLATO e GONÇALVES (1978) correlacionaram o índice hídrico "P/EP", (precipitação pluvial pela evapotranspiração potencial) e o rendimento da soja para sete períodos de desenvolvimento. Os coeficientes de correlação se mostraram altamente significativos para os períodos de trinta dias antes do aparecimento das primeiras flores e quarenta dias após o florescimento total. MOTA (1981) estabeleceu um índice de seca para caracterizar o efeito quantitativo da baixa disponibilidade hídrica no solo e a sua consequência na redução das safras de soja para o Estado do Rio Grande do Sul. Este índice corresponde ao somatório dos valores diários de $(1-ER/EP)$ no período trimestral de dezembro a fevereiro. O referido autor verificou haver necessidades da utilização de um fator de ajuste, visto que os rendimentos da soja foram muito mais baixos do que poderia ser esperado quando o índice da seca era superior a 0,45. Ponderação semelhante foi usada por SHAW (1974 e 1977) em milho, com resultados satisfatórios.

SEGOVIA e ANDRADE (1982) propuseram um modelo que penaliza a produtividade máxima de uma cultura qualquer, quando a umidade do solo se afasta da que seria considerada ideal. O principal objetivo dos autores foi o de explicar as variações que uma cultura apresenta em sua produtividade, considerando-se somente os valores da precipitação pluvial e porcentagem do espaço poroso no solo. Tal modelo permite assim

estimar as variações na safra, uma vez que se conheça a distribuição da precipitação pluvial e os limites de água disponível no solo que afetam o desenvolvimento da cultura.

Baseando-se no trabalho de MASON *et alii* (1980), BRUNINI *et alii* (1982) obtiveram a relação "ER/EP" e água disponível no solo, para penalização da produtividade em decorrência do deficit hídrico em cultura de soja a partir do modelo de SEGOVIA e ANDRADE (1982). Foi introduzido, também, um fator de correção para excedente hídrico denominado "fator excedente", diferenciando assim no modelo original de SEGOVIA e ANDRADE (1982) os efeitos do deficit e excedentes hídricos. O modelo foi aplicado para quatro cultivares de soja nas condições do Estado de São Paulo, sendo capaz de estimar satisfatoriamente a produção de grãos. Entretanto, os autores recomendam mais estudos para se conhecer melhor as influências dos demais elementos meteorológicos sobre o desenvolvimento e produção da soja.

PEDRO JUNIOR *et alii* (1983) aplicaram o modelo divulgado por DOOREMBOS e KASSAM (1979), para estimar a produtividade da soja de ciclo precoce para as condições do Estado de São Paulo. O referido modelo baseia-se na penalização da produtividade potencial em função da relação "ER/EP" corrigida através de coeficientes de produtividade durante as diferentes fases da cultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Locais

Os dados fenológicos da cultura da soja, utilizados no presente estudo, foram obtidos de experimentos conduzidos pela Seção de Leguminosas do Instituto Agronômico de Campinas nas seguintes Estações Experimentais:

3.1.1.1. Campinas

O Centro Experimental de Campinas localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude $22^{\circ}54'S$, Longitude $47^{\circ}05'W$, Altitude 669 m. O solo onde os experimentos foram conduzidos é classificado como Latossolo roxo eutrófico.

3.1.1.2. Ribeirão Preto

A Estação Experimental de Ribeirão Preto está localizada nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude $21^{\circ}12'S$, Longitude

47°52'W, Altitude 621 m. O solo onde os experimentos foram conduzidos é classificado como Latossolo roxo eutrófico.

3.1.1.3. Pindamonhangaba

A Estação Experimental de Pindamonhangaba localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude 22°58'S, Longitude 45°27'W, Altitude 560 m. O solo onde os experimentos foram conduzidos é classificado como Podzolizado, série Pinhão.

3.1.2. Experimento

3.1.2.1. Cultivares de soja

Os cultivares de soja utilizados no presente estudo, segundo a escala de maturação (MIRANDA *et alii*, 1982), foram os seguintes: Paraná, precoce; Viçosa, semi-precoce; Santa Rosa, média e UFV-1, tardia.

3.1.2.2. Características das parcelas experimentais

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 0,60m, com uma densidade 20 plantas por metro linear. Para efeito de amostragem foram colhidas 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.

3.1.2.3. Anotações fenológicas

Durante o ciclo de cada cultura foram assinalados os seguintes dados fenológicos:

- a) data de plantio;
- b) data de início de florescimento (quando 50% das plantas tinham pelo menos uma flor);
- c) data de início de maturação (quando 50% das plantas tinham coloração palha escura);
- d) produção de grãos.

Em cada ano agrícola foram efetuados quatro diferentes épocas de plantio, durante os meses de outubro a dezembro.

3.1.2.4. Período

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.

3.1.3. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos diários, relativos aos períodos considerados, foram obtidos nos postos meteorológicos pertencentes à Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas e localizados próximos aos experimentos.

A temperatura do ar foi obtida em abrigos padronizados segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), com termômetros de mercúrio em vidro localizados a 1,70m de altura. A chuva foi medida em pluviômetros, tipo Ville de Paris, com a altura de captação a 1,50m do solo.

As temperaturas médias diárias (T_{med}) foram obtidas através da equação:

$$T_{med} = \frac{T_7 + T_{14} + 2 T_{21}}{4}$$

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

3.2. Métodos

3.2.1. Determinação da temperatura-base

Para a determinação da temperatura base foi utilizado o método da menor variabilidade proposto por ARNOLD (1959) e utilizado por BRUNINI *et alii* (1976) e BERLATO e SUTILI (1976). O método consiste em se determinar primeiramente a soma 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:

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

onde GD são os graus-dia acumulados no período, T_i é temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$), TB é a temperatura base escolhida ($^{\circ}\text{C}$), 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

$$Sd = \frac{Sdd}{Xt - TB} \quad (2)$$

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 pré-estabelecidas para o presente estudo foram: 11°C , 12°C , 13°C , 14°C , 15°C , 16°C , 17°C e 18°C .

O limite inferior de 11°C foi extraído de dados existentes na literatura e que indicam ser, a temperatura base desta cultura, acima de 10°C .

3.2.2. Graus-dia

Para o cálculo dos graus-dia necessários para o complemento do ciclo plantio/maturação foi utilizada a equação (1).

Foram calculadas para os quatro cultivares de soja estudados os graus-dia acumulados acima da temperatura base determinada, no

período plantio/maturação.

3.2.3. Unidades fototérmicas corrigidas

Em função dos valores das acumulações térmicas necessárias para o complemento do ciclo plantio/maturação determinados anteriormente, calculou-se as unidades fototérmicas corrigidas diárias, isto é,

$$UF_C = \frac{GD \cdot F}{N} \quad (3)$$

onde UF_C = unidades fototérmicas corrigidas

GD = graus-dia ($^{\circ}C$)

F = duração média do período diurno durante o ciclo (h)

N = duração do ciclo plantio/maturação (dias)

3.2.4. Interrelação fotoperíodo e épocas de plantio

O comportamento fotoperiódico dos cultivares estudados, segundo a escala de maturação, condiciona a diferentes durações do ciclo (plantio/maturação) da cultura a partir das diferentes épocas de plantio. Para caracterizar esse comportamento foram executadas correlações entre as diversas épocas de plantio, variando de outubro a dezembro, e duração do ciclo total de cada variedade de soja.

3.2.5. Disponibilidade hídrica no solo

Para o cálculo da disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura utilizou-se o balanço hídrico segundo o método de THORNTHWAITE e MATHER (1955) com a determinação da evapotranspiração potencial pelo método simplificado por CAMARGO (1962), através da utilização

do índice "T". Para as condições de clima tropical do Estado de São Paulo a fórmula de Thornthwaite, para estimar a evapotranspiração potencial, mostrou-se bastante satisfatória (CAMARGO, 1962).

No presente estudo foi utilizada no balanço hídrico a capacidade de retenção de água no solo de 125 mm. Essa capacidade de retenção foi utilizada em trabalhos de zoneamento climático de soja para São Paulo (CAMARGO, 1971; CAMARGO *et alii*, 1974), para Santa Catarina e Rio Grande do Sul (MOTA *et alii*, 1974), e para o Brasil (CAMARGO *et alii*, 1977).

Através do balanço hídrico foram obtidos os seguintes elementos: a) evapotranspiração real; b) deficiência hídrica; c) excedente hídrico. O balanço hídrico foi calculado a nível decendial (10 dias), de setembro a junho de cada ano agrícola, para os três locais estudados.

3.2.6. Modelo agrometeorológico para estimativa da produção de grãos

Procurou-se desenvolver um modelo que possibilitasse a estimativa da produtividade em função de parâmetros agrometeorológicos. Como visto no capítulo de Revisão de Literatura, os fatores predominantes no desenvolvimento e produção da cultura da soja são: acumulação térmica, fotoperíodo, disponibilidade hídrica no solo, excedentes hídricos elevados que podem ocasionar danos e nível de tecnologia utilizado.

O modelo proposto baseia-se portanto, na penalização da produtividade potencial segundo as condições meteorológicas reinantes durante o ciclo da cultura. Considera-se que cada elemento climático exerce um certo controle na produtividade da cultura, funcionando como um fator de eficiência, e a produção final seria função da produção potencial da região e da sua interação com os elementos meteorológicos, de modo que:

$$Y \text{ Est} = Y \text{ Pot} \times F \text{ Ter} \times F \text{ Def} \times F \text{ Exc} \quad (4)$$

onde: $Y \text{ Est}$ é a produtividade estimada de grãos (kg/ha); $Y \text{ Pot}$ é a produtividade potencial do cultivar, para cada localidade (kg/ha); $F \text{ Ter}$ é o fator térmico indicativo do grau de desenvolvimento relativo da cultura; $F \text{ Def}$ é o fator referente à penalização para deficits hídricos; $F \text{ Exc}$ é o fator referente à penalização para excedentes hídricos.

A produtividade potencial, relativa a cada cultivar e localidade (tabela 12) foi fornecida pela Seção de Leguminosas do IAC. A produtividade potencial reflete o nível da tecnologia agrícola da região.

O fator térmico ($F \text{ Ter}$) corresponde à relação entre graus-dia acumulado e o valor médio dos graus-dia no período plantio/maturação para cada cultivar, referentes aos plantios de outubro e dezembro, ou seja:

$$F \text{ Ter} = \frac{\sum GD}{\sum GD \text{ médio}} \quad (5)$$

onde: $\sum GD$ é o somatório térmico, acima da temperatura base para cada plantio específico, durante o ciclo e $\sum GD \text{ médio}$ é o somatório térmico médio, acima da temperatura base durante o ciclo "plantio/maturação",

relativo a cada cultivar, para os 3 anos agrícolas estudados, nas diversas épocas de plantio.

De um modo geral a produtividade da soja tende a diminuir com o atraso do plantio, provocado principalmente pela menor acumulação térmica durante o ciclo. Para plantios precoces (outubro), a relação tende a ser maior que 1, enquanto para plantios tardios (dezembro) a relação passa a ser inferior a 1. Essas relações visam corrigir a estimativa da produção de soja, quanto ao aspecto térmico, independente da época de plantio, visto que ela minimiza a distorção, não só da acumulação térmica como também do fotoperíodo, que provocam alteração no comprimento dos ciclos.

O fator hídrico de penalização foi subdividido em dois, relativos ao deficit hídrico (F Def) e ao excedente hídrico (F Exc). O referente aos deficits hídricos corresponde à razão ER/EP durante o período compreendido entre o início do florescimento e o início da maturação; período este de maior necessidade hídrica e de grande importância na produtividade. Quando a relação ER/EP for inferior a 1, significa que a cultura foi submetida a um "stress" hídrico. O produtório dessas relações a níveis decendiais irão acentuar a penalização pelo efeito do deficit hídrico (BRUNINI *et alii*, 1982; SEGOVIA e ANDRADE, 1982). Para minimizar a penalização considera-se a raiz quadrada deste produtório. De outra forma ter-se-ia uma penalização demasiado severa, portanto:

$$F \text{ Def} = \sqrt{\text{Prod ER/EP}} \quad (6)$$

onde: ER/EP é a relação entre a evapotranspiração real (ER) e a potencial (EP) determinada, segundo o método de Thornthwaite e Mather, 1955

(125 mm), a nível decendial entre o início do florescimento e o início da maturação.

O fator de penalização para excedentes hídricos (F Exc) corresponde a um fator de correção, visto que para períodos com excessivos suprimentos hídricos, como a fase fenológica do início do florescimento ao início da maturação, resultam em uma redução considerável na produção de grãos. O fator de penalização para excedentes hídricos proposto é a seguinte:

$$F \text{ Exc} = 1 - K (1 - P_{fe}) \quad (7)$$

onde: K é o fator de correção: P_{fe} é o produtório dos fatores excedentes das décadas correspondentes ao início do florescimento ao início da maturação.

O fator excedente (fe), utilizado por BRUNINI *et alii* (1982), para penalização da produtividade em consequência do excedente hídrico da soja, é a relação, a nível decendial, entre o excedente e a evapotranspiração potencial, da forma:

$$fe = 1 - \left(\frac{Ex - EP}{Ex} \right) \quad (8)$$

onde: Ex é o excedente hídrico (mm), e EP é a evapotranspiração potencial (mm). A única restrição é que o excedente tem que ser maior ou igual a evapotranspiração potencial. Quando "EP" for maior que "Ex", o fator excedente deverá ser igualado a 1, independente do resultado (BRUNINI *et alii*, 1982).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Temperatura-base

Na tabela 2 e figura 1 são apresentadas as temperaturas bases (TB) escolhidas a priori (11 a 18°C) e os respectivos desvios padrões da soma térmica expressos em dias para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, para a fase fenológica "plantio/maturação", referente aos 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, os cultivares Paraná, Santa Rosa e UFV-1 apresentaram temperatura base de 14°C ; o cultivar Viçosa de 13°C , com um desvio padrão em dias de 12,60, muito próximo à TB de 14°C , com desvio padrão de 12,61 (Figura 1). Desta maneira, foi considerada a temperatura base de 14°C também, para o cultivar Viçosa, tendo em vista a pequena diferença nos desvios padrões, possibilitando considerar para os quatro cultivares estudados a TB de 14°C . O valor aqui encontrado está muito próximo dos 15°C adotados por BROWN e CHAPMAN (1961) e PASCALE *et alii* (1973). Embora as variedades de soja

Tabela 2. Valores de desvio padrão da soma térmica expresso em dias (Sd) e em graus-dia (Sdd) e temperatura base (TB) correspondentes, para o período plantio/maturação de alguns 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

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

utilizadas fossem diferentes observa-se que as temperaturas bases são muito próximas, indicando que a acumulação térmica final é que delimita os cultivares.

4.2. Graus-dia e Fotoperíodo

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 3 e a figura 2 mostram os graus-dia acumulados acima de 14°C , do plantio à maturação, para os quatro cultivares estudados, em função das diferentes épocas de plantio (outubro a dezembro) para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

Nota-se pela figura 2 que o cultivar Paraná (ciclo curto) apresentou menor influência da época de plantio quanto a acumulação térmica do ciclo "plantio/maturação". O coeficiente de variação das acumulações térmicas (7,7%), bem como o coeficiente angular da reta (-1,64) obtida entre graus-dia acumulados e época de plantio para esta variedade foram bem inferiores aos dos demais cultivares. Tais resultados indicam que o ciclo "plantio/maturação" para o cultivar Paraná, é completado quando atinge, em média, 1.030 graus-dia.

O 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 do cultivar Paraná, demonstrando haver uma

Tabela 3. Graus-dia acumulados acima da temperatura-base de 14°C, durante o ciclo plantio/maturação para os cultivares de soja UFV-1, Santa Rosa Viçosa e Paraná, em função de diferentes épocas de plantio, durante os anos agrícolas 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
RIBEIRÃO PRETO	17/10/77	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
	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
PINDAMONHANGABA	17/10/78	1451	1361	1266	963
	03/11/78	1328	1226	1209	949
	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

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

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

O coeficiente angular da reta para o cultivar Santa Rosa foi de -6,38, e o coeficiente de variação de 12,5%. Esses valores são maiores que os do cultivar Viçosa, demonstrando haver uma influência ainda maior da época de plantio sobre a acumulação térmica para este 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 o cultivar Santa Rosa foi de 1275 graus-dia.

O 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 nos 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 a medida que atrasa o plantio, é um dos fatores determinantes no somatório térmico.

Na figura 3 está representado o comprimento do período diurno em horas para o 22º dia de cada mês do ano, para latitudes de 10º, 20º e 30º S. Para um cultivar de soja que possua um fotoperíodo crítico de 13 h, o florescimento se inicia quando o comprimento do dia é menor que este nível crítico. Esse cultivar semeado em latitude de 20ºS encontraria dias indutivos no início de fevereiro; por outro lado se semeada em latitude 30ºS somente encontraria dias indutivos no início de março, quando o fotoperíodo atinge o valor crítico abaixo do qual há a indução ao florescimento (BERLATO, 1981).

Em condições de baixas latitudes o comprimento do dia apresenta menor variação estacional, o que determina redução na magnitude das respostas às datas de plantio e todos os cultivares se apresentam relativamente mais precoces. Dessa forma o mesmo cultivar se semeado na latitude 10º encontraria dias indutivos desde o início do seu ciclo.

Portanto à medida que se avança para latitudes maiores há um aumento gradual, do sub-período, que vai do plantio até o florescimento, e conseqüentemente, aumentando também seu ciclo total. A figura 4 mostra a relação entre o ciclo total em dias (plantio/maturação) dos quatro cultivares de soja (Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1) com as respectivas datas de plantio, para três localidades com latitudes diferentes ou seja, Passo Fundo-RS (28º15'S)^{1/}, Londrina-PR (23º21'S)^{2/} e Ribeirão Preto-SP (21º11'S).

^{1/} Centro Nacional de Pesquisa de soja 1978 a 1981. Resultados de Pesquisa de soja. Londrina-PR.

^{2/} EMBRAPA-CNPT 1980 a 1981. Resultados de pesquisa de soja. Passo Fundo-RS.

Figura 3. Variação anual do fotoperíodo, em horas, do 22º dia de cada mes para latitudes de 10, 20 e 30° Sul. Elaborado a partir das curvas apresentadas por FRANCIS, 1970.

Figura 4. Relação entre o ciclo "plantio/maturação" de quatro cultivares de soja e a época de plantio, para tres locais com diferentes latitudes: Passo Fundo-RS ($28^{\circ} 15' S$), Londrina-PR ($23^{\circ} 20' S$) e Ribeirão Preto-SP ($21^{\circ} 11' S$).

O ciclo total, em dias, na localidade de Passo Fundo - RS foi sempre maior que para as localidades de menor latitude (Londrina-PR, Ribeirão Preto-SP). Observa-se que a variedade Paranã classificada como de ciclo curto, para as condições geográficas do Estado de São Paulo pode ser enquadrada como de ciclo médio no Rio Grande do Sul, visto que em latitudes maiores o fotoperíodo crítico ocorre mais tarde, havendo conseqüente aumento no ciclo da planta. Esses resultados confirmam as observações de HARTWIG (1973) de que a classificação em grupos de maturação não tem validade quando não se menciona a latitude da região.

A duração do ciclo total (plantio/maturação) da soja é sensivelmente reduzida numa localidade à medida que se atrasa o plantio. A causa principal desta variação é a mesma ocasionada pela latitude, ou seja o fotoperíodo.

Nas figuras 5, 6, 7 e 8 estão representadas as durações dos ciclos totais, em dias, em função de diferentes épocas de plantio, para os quatro cultivares estudados (UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paranã), referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba. Pode-se notar que os cultivares de ciclo médio a longo apresentaram uma resposta muito mais acentuada, quanto à época de plantio, sobre a duração do ciclo, do que o cultivar Paranã, de ciclo curto. Os coeficientes angulares das retas, obtidos através de análise de regressão, para cada cultivar estudado nas três localidades foram os seguintes: para o cultivar UFV-1, variou de 0,81 a 0,99; para o cultivar Santa Rosa, de 0,68 a 0,82; para o cultivar Viçosa de 0,54 a 0,64; enquanto para o cultivar Paranã, de ciclo curto, o coeficiente angular variou de 0,25 a

Figura 5. Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar UFV-1, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

Figura 6. Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar SANTA ROSA, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

Figura 7. Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar VIÇOJA, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

Figura 8. Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, para o cultivar PARANÁ, referentes às localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

0,31, mostrando assim que para cultivares de ciclo curto a interferência da época de plantio sobre a duração do ciclo total é bem menor.

A redução do ciclo total (plantio/maturação), em função do atraso da época de plantio principalmente nos cultivares de ciclo médio a longo, é devida à maior sensibilidade desses cultivares à redução do comprimento do dia que as variedades precoces, como é o caso do cultivar Paraná. CRISWELL e HUME (1972) constataram que o comprimento do dia crítico para a indução do florescimento é menor para os cultivares tardios. Entretanto, quando o comprimento do dia se reduz abaixo dos níveis críticos dos diversos cultivares, o florescimento tende a ocorrer ao mesmo tempo, induzindo a um mesmo comprimento de ciclo total. Isto ocorre nos plantios tardios, a partir de dezembro.

Na interação entre acumulação térmica e fotoperíodo, a temperatura tem influência mais significativa nos cultivares menos sensíveis ao fotoperíodo (ciclo curto). (LAWN e BYTH, 1973 e MAJOR *et alii*, 1975b). Isto pode ser confirmado pela figura 9, que mostra a duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, para os quatro cultivares estudados nas localidades de Campinas e Ribeirão Preto. Como as latitudes desses dois locais são muito próximas ($22^{\circ}54'S$ e $21^{\circ}11'S$), o elemento climático com maior influência na duração do ciclo entre as duas localidades é a temperatura. Ribeirão Preto por apresentar temperaturas médias superiores a Campinas, provocou ciclos mais curtos, em plantios de mesma época, devido a um acúmulo mais rápido de unidades térmicas, evidenciando assim, a importância desse elemento climático, principalmente no cultivar Paraná de ciclo curto, menos afetado pelo fotoperíodo.

Figura 9. Duração do ciclo "plantio/maturação" em função da época de plantio, para os cultivares UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paraná em Campinas e Ribeirão Preto, durante os anos agrícolas de 1977/78, 1978/79 e 1979/80.

4.3. Unidades fototérmicas corrigidas (UF_c)

Uma vez que o fotoperíodo crítico não foi determinado, optou-se pelo cálculo das unidades fototérmicas médias corrigidas diárias, levando-se em conta a duração do ciclo. Tais resultados indicaram (figura 10) que esses valores de UF_c diárias foram praticamente constantes para cada cultivar, independente da época de plantio. As UF_c para os cultivares UFV-1, Santa Rosa, Viçoja e Paraná foram respectivamente 120,4, 121,1, 121,3 e 122,2, sendo que os coeficientes angulares das retas foram bastante pequenos (0,09 a 0,02) indicando não haver, praticamente, influência da época de plantio sobre as unidades fototérmicas corrigidas.

4.4. Disponibilidade hídrica no solo

A caracterização da disponibilidade hídrica no solo foi feita através de balanços hídricos decendiais para as três localidades estudadas referente aos anos agrícolas 1977/78; 1978/79 e 1979/80. Os balanços hídricos foram elaborados considerando-se uma capacidade de retenção de água no solo de 125mm. Apesar de não representar, necessariamente, a disponibilidade real de água no solo, tais balanços hídricos possibilitaram boa caracterização das condições hídricas reinantes nos respectivos anos agrícolas. Os resultados dos balanços hídricos (tabelas 4 a 11), foram colocados em gráficos, juntamente com os dados fenológicos "data de plantio", "data de início de florescimento" e "data de início de maturação", possibilitando assim uma visualização destas fases no decorrer dos respectivos anos-agrícolas (figuras 11 a 18). Observa-se pelos balanços hídricos que o ano agrícola 1977/78 foi consideravelmente

Figura 10. Unidades fototérmicas corrigidas médias, em função das diferentes épocas de plantio para os cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1.

Tabela 4. Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwalte e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1977/78 para a localidade de Campinas-Sp

Décadas	Temp. média pluv.	Prec.		ER		ER/EP		Def. hídr.		Exc. fe	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
01-10/10	21,4	61	29	29	1,0	0	16	1,0			
11-20/10	22,2	2	32	29	0,91	3	0	1,0			
21-31/10	24,7	10	45	35	0,78	10	0	1,0			
01-10/11	22,5	16	33	25	0,76	8	0	1,0			
11-20/11	20,9	93	29	29	1,0	0	3	1,0			
21-30/11	23,2	41	37	37	1,0	0	4	1,0			
01-10/12	21,3	137	31	31	1,0	0	106	0,29			
11-20/12	21,5	56	32	32	1,0	0	24	1,0			
21-31/12	21,7	93	36	36	1,0	0	57	0,63			
01-10/01	22,6	11	35	34	0,97	1	0	1,0			
11-20/01	24,1	34	40	38	0,95	2	0	1,0			
21-31/01	26,0	6	54	38	0,70	16	0	1,0			
01-10/02	24,1	13	39	26	0,67	13	0	1,0			
11-20/02	24,7	26	42	32	0,76	10	0	1,0			
21-28/02	22,8	14	27	19	0,70	8	0	1,0			
01-10/03	22,2	94	31	31	1,0	0	0	1,0			
11-20/03	25,1	0	41	30	0,73	11	0	1,0			
21-31/03	23,8	5	36	22	0,61	14	0	1,0			
01-10/04	20,9	0	26	11	0,42	15	0	1,0			
11-20/04	21,7	8	29	15	0,52	14	0	1,0			
21-30/04	19,8	1	23	8	0,35	15	0	1,0			
01-10/05	19,1	0	21	4	0,19	17	0	1,0			
11-20/05	19,4	38	21	21	1,0	0	0	1,0			
21-31/05	16,4	30	16	16	1,0	0	0	1,0			

Tabela 5. Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwalte e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1978/79 para a localidade de Campinas-Sp

Décadas	Temp. média pluv.	Prec.		ER		ER/EP		Def. hídr.		Exc. fe	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
01-10/10	22,0	0	31	12	0,39	19	0	1,0			
11-20/10	22,2	70	32	32	1,0	0	0	1,0			
21-31/10	23,0	45	38	38	1,0	0	0	1,0			
01-10/11	21,2	74	30	30	1,0	0	6	1,0			
11-20/11	20,7	51	29	29	1,0	0	22	1,0			
21-30/11	23,0	51	36	36	1,0	0	15	1,0			
01-10/12	23,0	66	37	37	1,0	0	29	1,0			
11-20/12	21,7	33	33	33	1,0	0	0	1,0			
21-31/12	22,8	74	39	39	1,0	0	35	1,0			
01-10/01	21,0	26	30	30	1,0	0	0	1,0			
11-20/01	21,4	73	31	31	1,0	0	30	1,0			
21-31/01	21,7	55	36	36	1,0	0	19	1,0			
01-10/02	23,9	7	39	36	0,92	3	0	1,0			
11-20/02	22,6	143	34	34	1,0	0	42	0,82			
21-28/02	24,3	8	31	30	0,97	1	0	1,0			
01-10/03	23,3	9	35	29	0,83	6	0	1,0			
11-20/03	22,1	61	30	30	1,0	0	0	1,0			
21-31/03	20,8	52	29	29	1,0	0	12	1,0			
01-10/04	20,6	68	26	26	1,0	0	42	0,62			
11-20/04	21,6	9	28	28	1,0	0	0	1,0			
21-30/04	18,3	30	20	20	1,0	0	0	1,0			
01-10/05	20,3	74	24	24	1,0	0	41	0,58			
11-20/05	20,1	3	23	22	0,96	1	0	1,0			
21-31/05	15,4	27	14	14	1,0	0	0	1,0			

Tabela 6. Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1979/80 para a localidade de Camplinas-SP

Décadas	Temp. média pluvi.		Prec. média pluvi.	EP		ER	ER/EP		Def. hídric.	Exc. hídric.		fe
	°C	mm		mm	mm		mm	mm		mm	mm	
01-10/10	22,2	65	31	31	1,0	0	20	1,0	0	20	1,0	1,0
11-20/10	20,4	31	27	27	1,0	0	4	1,0	0	4	1,0	1,0
21-31/10	23,9	45	41	41	1,0	0	4	1,0	0	4	1,0	1,0
01-10/11	21,6	58	31	31	1,0	0	27	1,0	0	27	1,0	1,0
11-20/11	22,2	44	33	33	1,0	0	11	1,0	0	11	1,0	1,0
21-30/11	20,9	57	29	29	1,0	0	28	1,0	0	28	1,0	1,0
01-10/12	24,3	77	41	41	1,0	0	36	1,0	0	36	1,0	1,0
11-20/12	22,0	102	34	34	1,0	0	68	0,5	0	68	0,5	1,0
21-31/12	22,4	34	38	38	1,0	0	0	1,0	0	0	1,0	1,0
01-10/01	21,9	102	33	33	1,0	0	65	0,51	0	65	0,51	1,0
11-20/01	22,2	60	34	34	1,0	0	26	1,0	0	26	1,0	1,0
21-31/01	23,1	133	41	41	1,0	0	92	0,45	0	92	0,45	1,0
01-10/02	24,3	44	40	40	1,0	0	4	1,0	0	4	1,0	1,0
11-20/02	21,8	66	32	32	1,0	0	43	0,74	0	43	0,74	1,0
21-29/02	22,5	22	29	29	1,0	0	0	1,0	0	0	1,0	1,0
01-10/03	24,9	13	41	37	0,90	4	0	1,0	4	0	1,0	1,0
11-20/03	23,2	38	34	34	1,0	0	0	1,0	0	0	1,0	1,0
21-31/03	24,2	0	41	28	0,68	13	0	1,0	13	0	1,0	1,0
01-10/04	21,3	120	28	28	1,0	0	75	0,36	0	75	0,36	1,0
11-20/04	21,6	84	28	28	1,0	0	56	0,50	0	56	0,50	1,0
21-30/04	21,5	0	28	26	0,93	2	0	1,0	2	0	1,0	1,0
01-10/05	18,8	15	20	19	0,95	1	0	1,0	1	0	1,0	1,0
11-20/05	21,1	5	25	19	0,76	6	0	1,0	6	0	1,0	1,0
21-31/05	19,9	0	24	14	0,58	10	0	1,0	10	0	1,0	1,0

Tabela 7. Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1977/78 para a localidade de Ribeirão Preto-SP

Décadas	Temp. média pluvi.		Prec. média pluvi.	EP		ER	ER/EP		Def. hídric.	Exc. hídric.		fe
	°C	mm		mm	mm		mm	mm		mm	mm	
01-10/10	22,5	20	32	32	2,3	0,72	9	0	1,0	0	1,0	1,0
11-20/10	25,5	0	43	43	12	0,28	31	0	1,0	0	1,0	1,0
21-31/10	25,9	56	49	49	4,9	1,0	0	0	1,0	0	1,0	1,0
01-10/11	24,7	4	41	41	13	0,32	28	0	1,0	0	1,0	1,0
11-20/11	22,3	85	33	33	3,3	1,0	0	0	1,0	0	1,0	1,0
21-30/11	23,2	83	37	37	3,7	1,0	0	0	1,0	0	1,0	1,0
01-10/12	22,5	184	34	34	3,4	1,0	0	148	0,23	0	1,0	1,0
11-20/12	22,9	63	36	36	3,6	1,0	0	27	1,0	0	1,0	1,0
21-31/12	23,3	28	41	41	4,1	1,0	0	0	1,0	0	1,0	1,0
01-10/01	22,3	156	34	34	3,4	1,0	0	109	0,31	0	1,0	1,0
11-20/01	24,3	62	40	40	4,0	1,0	0	22	1,0	0	1,0	1,0
21-31/01	25,7	21	51	51	4,8	0,94	3	0	1,0	0	1,0	1,0
01-10/02	24,8	2	41	29	0,71	12	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
11-20/02	24,6	39	40	40	4,0	1,0	0	0	1,0	0	1,0	1,0
21-28/02	23,2	92	28	28	2,8	1,0	0	9	1,0	0	1,0	1,0
01-10/03	22,6	122	32	32	3,2	1,0	0	48	0,66	0	1,0	1,0
11-20/03	24,7	17	38	37	0,97	1	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
21-31/03	24,3	11	40	36	0,90	7	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
01-10/04	22,1	2	30	19	0,63	11	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
11-20/04	22,7	3	31	16	0,52	15	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
21-30/04	21,0	2	26	12	0,46	14	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
01-10/05	20,6	0	24	7	0,29	17	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
11-20/05	20,3	50	22	22	1,0	0	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0
21-31/05	16,9	29	16	16	1,0	0	0	1,0	1,0	0	1,0	1,0

Tabela 8. Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1978/79 para a localidade de Ribeirão Preto-SP

Décadas	Temp. média	Prec. pluv.	EP	ER	ER/EP	Def. hídr.	Exc. hídr.	fe
	°C	mm	mm	mm		mm	mm	
01-10/10	25,0	0	40	10	0,25	30	0	1,0
11-20/10	23,5	87	35	35	1,0	0	0	1,0
21-31/10	24,5	72	43	43	1,0	0	0	1,0
01-10/11	23,0	27	35	34	0,97	1	0	1,0
11-20/11	22,9	128	36	36	1,0	0	70	0,51
21-30/11	24,0	81	38	38	1,0	0	43	0,88
01-10/12	22,6	110	35	35	1,0	0	75	0,47
11-20/12	22,2	43	34	34	1,0	0	9	1,0
21-31/12	23,1	95	41	41	1,0	0	54	0,76
01-10/01	22,3	75	34	34	1,0	0	41	0,83
11-20/01	23,6	11	38	36	0,95	2	0	1,0
21-31/01	22,8	106	39	39	1,0	0	42	0,93
01-10/02	23,9	32	38	38	1,0	0	0	1,0
11-20/02	23,3	162	36	36	1,0	0	120	0,3
21-28/02	24,8	34	32	32	1,0	0	2	1,0
01-10/03	23,9	20	36	36	1,0	0	0	1,0
11-20/03	23,1	29	34	33	0,97	1	0	1,0
21-31/03	22,1	21	33	31	0,94	2	0	1,0
01-10/04	21,6	43	28	28	1,0	0	0	1,0
11-20/04	23,1	1	32	26	0,81	6	0	1,0
21-30/04	20,1	54	22	22	1,0	0	0	1,0
01-10/05	21,4	85	26	26	1,0	0	51	0,51
11-20/05	21,3	0	26	24	0,92	2	0	1,0
21-31/05	16,7	36	16	16	1,0	0	0	1,0

Tabela 9. Balanço hídrico decendial, segundo o método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1979/80 para a localidade de Ribeirão Preto-SP

Décadas	Temp. média	Prec. pluv.	EP	ER	ER/EP	Def. hídr.	Exc. hídr.	fe
	°C	mm	mm	mm		mm	mm	
01-10/10	24,2	64	37	37	1,0	0	13	1,0
11-20/10	22,3	63	32	32	1,0	0	31	1,0
21-31/10	25,8	1	46	42	0,90	46	0	1,0
01-10/11	22,5	78	33	33	1,0	0	4	1,0
11-20/11	23,6	12	37	35	0,95	2	0	1,0
21-30/11	23,4	20	37	34	0,92	3	0	1,0
01-10/12	24,6	86	41	41	1,0	0	8	1,0
11-20/12	23,6	165	38	36	1,0	0	127	0,3
21-31/12	22,8	125	39	35	1,0	0	86	0,45
01-10/01	23,1	42	37	37	1,0	0	5	1,0
11-20/01	22,9	59	36	36	1,0	0	23	1,0
21-31/01	23,8	184	42	42	1,0	0	142	0,3
01-10/02	25,3	7	43	39	0,91	4	0	1,0
11-20/02	22,2	180	33	33	1,0	0	115	0,29
21-29/02	22,4	157	29	29	1,0	0	128	0,23
01-10/03	24,4	4	38	35	0,92	3	0	1,0
11-20/03	23,3	53	34	34	1,0	0	0	1,0
21-31/03	24,0	1	38	31	0,82	7	0	1,0
01-10/04	22,3	110	30	30	1,0	0	38	0,79
11-20/04	22,7	48	31	31	1,0	0	17	1,0
21-30/04	21,7	0	28	26	0,93	2	0	1,0
01-10/05	19,8	8	21	18	0,86	3	0	1,0
11-20/05	21,1	3	25	18	0,72	7	0	1,0
21-31/05	21,4	0	28	15	0,54	13	0	1,0

Tabela 10. Balanço hídrico decadal, segundo o método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1978/79 para a localidade de Pindamonhangaba-SP

Décadas	Temp.	Prec.	EP	ER	ER/EP	Def.	Exc.	fe
	média	pluv.	mm	mm	mm	hídr.	hídr.	
°C								
01-10/10	21,1	0	29	9	0,31	20	0	1,0
11-20/10	21,8	72	31	31	1,0	0	0	1,0
21-31/10	22,5	50	37	37	1,0	0	0	1,0
01-10/11	21,6	37	31	31	1,0	0	0	1,0
11-20/11	21,5	50	32	32	1,0	0	0	1,0
21-30/11	23,7	56	40	40	1,0	0	0	1,0
01-10/12	23,5	68	40	40	1,0	0	28	1,0
11-20/12	22,2	12	35	34	0,97	1	0	1,0
21-31/12	23,6	109	45	45	1,0	0	42	1,0
01-10/01	21,0	9	31	30	0,97	1	0	1,0
11-20/01	21,3	45	32	32	1,0	0	0	1,0
21-31/01	21,5	91	35	35	1,0	0	48	0,73
01-10/02	23,1	67	37	37	1,0	0	30	1,0
11-20/02	23,7	30	39	39	1,0	0	0	1,0
21-28/02	23,8	14	31	29	0,94	2	0	1,0
01-10/03	22,7	54	34	34	1,0	0	0	1,0
11-20/03	22,2	62	32	32	1,0	0	26	1,0
21-31/03	20,3	32	28	28	1,0	0	4	1,0
01-10/04	20,9	31	28	28	1,0	0	3	1,0
11-20/04	20,7	3	27	26	0,96	1	0	1,0
21-30/04	18,4	16	21	19	0,90	2	0	1,0
01-10/05	20,4	46	25	25	1,0	0	0	1,0
11-20/05	19,6	5	22	21	0,95	1	0	1,0
21-31/05	15,1	12	13	13	1,0	0	0	1,0

Tabela 11. Balanço hídrico decadal, segundo o método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm), referente ao ano agrícola 1979/80 para a localidade de Pindamonhangaba-SP

Décadas	Temp. média	Prec. pluv.	EP mm	ER mm	ER/EP	Def. hídr.	Exc. hídr.	fe
°C								
01-10/10	22,3	53	32	32	1,0	0	0	1,0
11-20/10	20,8	2	29	21	0,72	8	0	1,0
21-31/10	23,8	42	42	42	1,0	0	0	1,0
01-10/11	22,2	79	34	34	1,0	0	0	1,0
11-20/11	22,5	32	35	35	1,0	0	0	1,0
21-30/11	20,4	62	29	29	1,0	0	29	1,0
01-10/12	24,7	30	43	43	1,0	0	0	1,0
11-20/12	23,4	18	40	36	0,9	4	0	1,0
21-31/12	22,8	151	41	41	1,0	0	79	0,52
01-10/01	22,0	31	34	34	1,0	0	0	1,0
11-20/01	22,4	112	35	35	1,0	0	74	0,47
21-31/01	24,1	50	45	45	1,0	0	5	1,0
01-10/02	24,3	62	41	41	1,0	0	21	1,0
11-20/02	23,0	31	36	36	1,0	0	0	1,0
21-29/02	23,7	22	34	34	1,0	0	0	1,0
01-10/03	24,8	5	40	31	0,78	9	0	1,0
11-20/03	23,6	93	37	37	1,0	0	13	1,0
21-31/03	23,1	10	38	36	0,95	2	0	1,0
01-10/04	22,1	105	31	31	1,0	0	48	0,65
11-20/04	21,7	35	29	29	1,0	0	6	1,0
21-30/04	19,7	0	23	22	0,96	1	0	1,0
01-10/05	18,4	21	20	20	1,0	0	0	1,0
11-20/05	20,2	1	24	19	0,79	5	0	1,0
21-31/05	18,9	0	23	14	0,61	9	0	1,0

Figura 11. Balanço hídrico decenal, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçója, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1977/78 para Campinas. (—) plantio; Δ início do florescimento; □ início da maturação).

Figura 12. Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Parana, Vicoja, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1978/79 para Campinas. (I plantio; Δ início do florescimento; □ início da maturação).

Figura 13. Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçója, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1979/80 para Campinas. (· plântio; Δ início do florescimento; □ início da maturação).

Figura 14. Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1977/78 para Ribeirão Preto. (; plantio; Δ início do florescimento; ◻ início da maturação).

Figura 15. Balanço hídrico decenal, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1978/79 para Ribeirão Preto. ($\square$ plantio; Δ início do florescimento; $\square$ início da maturação).

Figura 16. Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1979/80 para Ribeirão Preto. () plantio; Δ início do florescimento; □ início da maturação).

Figura 17. Balanço hídrico decenal, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1978/79 para Pindamonhangaba. (. plantio; Δ início do florescimento; □ início da maturação).

Figura 18. Balanço hídrico decendial, pelo método de Thornthwaite e Mather-1955 (125 mm) e anotações fenológicas dos cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1 durante o ano agrícola 1979/80 para Pindamonhangaba. (I plantio; Δ início do florescimento; □ início da maturação).

seco, nos meses de janeiro e fevereiro, principalmente em Campinas, meses estes normalmente úmidos no Estado de São Paulo. Este período seco coincidiu, na maioria das diferentes épocas de plantio, com as fases críticas do florescimento e granação, provocando quebras acentuadas na produtividade. (Figura 11 e 14).

O ano agrícola 1978/79 apresentou para as três localidades, décadas intercaladas por deficiências e excedentes hídricos moderados, sendo este ano agrícola o que apresentou as maiores produtividades. (Figuras 12, 15 e 17). O ano agrícola 1979/80 apresentou períodos com elevados excedentes hídricos durante a maior parte do ciclo das culturas, principalmente para Ribeirão Preto e Campinas. Essa umidade elevada, notadamente quando ocorrida nas fases de granação e maturação, induziram a sensíveis reduções na produtividade (figuras 13, 16 e 18).

4.5. Modelo agrometeorológico de estimativa de produção de grãos

Considerando-se que a produtividade da soja é condicionada pelo ambiente, foi desenvolvido um modelo agrometeorológico de estimativa de produção de grãos, como descrito anteriormente. A medida que ocorre alguma restrição climática a produtividade potencial sofre penalização pelos fatores térmicos e hídricos do modelo conforme a equação (4).

A produtividade potencial dos cultivares utilizados (tabela 12) no modelo é a maior produtividade esperada para o cultivar na região, desde que não ocorra nenhuma restrição climática. Portanto,

Tabela 12. Produtividade potencial dos cultivares de soja UFV-1, Santa Rosa, Viçosa e Paraná, para as regiões de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba

Região	Produtividade potencial - kg/ha			
	UFV-1	Santa Rosa	Viçosa	Paraná
Campinas	2500	3000	3000	3000
Ribeirão Preto	2500	3500	3000	3000
Pindamonhangaba	3000	3500	3500	4000

Fonte: Seção de Leguminosas/Instituto Agronômico

depende da região e do cultivar estudado. As produtividades potenciais estimadas pela Seção de Leguminosas do IAC, embora satisfatórias, poderão ser determinadas com mais precisão para as diferentes regiões do Estado, através de experimentos específicos.

A produtividade da soja tende a diminuir com o atraso do plantio a partir de outubro, como pode-se notar pelas figuras 19 e 20, provocado pela menor acumulação térmica durante o ciclo. Plantios precoces (outubro) induzem ciclos "plantio/maturação" maiores que os tardios (dezembro), possibilitando assim acumulações térmicas maiores. Assim, procurou-se obter uma relação entre graus-dia acumulados para cada plantio específico e o graus-dia médio relativo a cada cultivar nos anos agrícolas considerados, durante o ciclo "plantio/maturação". Para plantios precoces (outubro) a relação tende a ser maior que 1, enquanto para plantios tardios (dezembro) a relação passa a ser inferior a 1. Essas relações possibilitam corrigir a estimativa da produção de soja, quanto ao aspecto térmico, independente da época de plantio, visto que ela minimiza a distorção, não só da acumulação térmica como também do fotoperíodo, que provoca alteração na duração dos ciclos.

O termo térmico do modelo corresponde assim à relação entre a acumulação de graus-dia do período "plantio/maturação" sobre o valor médio das unidades térmicas necessárias para cada cultivar durante a mesma fase fenológica, referente aos plantios de outubro a dezembro. Na tabela 3 estão representados os graus-dia acumulados para uma temperatura base de 14°C , em função da época de plantio, para cada cultivar em cada localidade nos 3 anos analisados bem como os graus-dia médios.

Figura 19. Produção de grãos dos cultivares de soja Paraná e Viçoja, em função das diferentes épocas de plantio para as localidades de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto e Campinas, durante os anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80.

Figura 20. Produção de grãos dos cultivares de soja Santa Rosa e UFV-1, em função das diferentes épocas de plantio para as localidades de Pindamonhangaba, Ribeirão Preto e Campinas, durante os anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80.

O termo relativo ao deficit hídrico do modelo é representado pela relação ER/EP (evapotranspiração real/potencial) durante o período do início do florescimento ao início da maturação, período este de maiores necessidades hídricas e de grande importância na produtividade. As relações ER/EP obtidas de balanços hídricos decendiais (10 dias), para as 3 localidades nos 3 anos agrícolas estão representadas nas tabelas 4 a 11.

O ano agrícola 79/80, para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba apresentou elevado excedente hídrico, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, coincidindo com o período de florescimento e início da maturação, provocando assim baixos rendimentos de grãos. Períodos com excedentes hídricos elevados na fase de "florescimento/início de maturação" prejudicam a produtividade da soja, (FUKUI e ITO, 1952). Assim, foi feita a correção do excedente hídrico adotando-se o fator excedente (fe) utilizado por BRUNINI *et alii* (1982) para penalização da produtividade devido ao excesso hídrico.

A formulação da equação (7) foi necessária em virtude de o excedente hídrico não possuir o mesmo efeito de penalização que o deficit hídrico. Este último tem um efeito muito mais intenso que o do excedente. Através de simulações sucessivas observou-se nessa equação o valor de K igual a 0,3, foi o que melhor se ajustou à influência do excedente hídrico sobre a produtividade.

As tabelas 13 a 16 trazem os dados das produtividades observadas dos cultivares Paraná, Viçôja, Santa Rosa e UFV-1, nas localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba durante os anos agrícolas

Tabela 13. Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivar de soja Paraná, para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80

Local	1977/78		1978/79		1979/80	
	Prod.	Est.	Prod.	Est.	Prod.	Est.
Campinas	Obs.		Obs.		Obs.	
	1309	1436	2829	2729	1755	2172
	1191	1341	2911	2733	2305	2399
	489	693	3029	2398	1572	1952
Ribeirão Preto	868	926	2062	2110	1151	1790
	2775	2658	2630	2388	2142	2237
	2258	1974	2767	2679	2238	2077
	2073	1992	2901	2831	2480	1963
Pinda- monhangaba	2067	1854	2309	2561	1072	1567
			2896	3173	4053	3825
			3313	3334	2792	2964
			3230	3514	2730	2970
			2917	3049	2147	3007

Tabela 14. Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivar de soja Viçosa, para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80

Local	1977/78		1978/79		1979/80	
	Prod.	Est.	Prod.	Est.	Prod.	Est.
Campinas	Obs.		Obs.		Obs.	
	1522	1395	2454	2279	1384	1796
	900	951	2490	2378	1184	1836
	1007	975	2186	2132	1401	1752
Ribeirão Preto	897	857	1958	1916	1188	1616
	2798	2521	2851	2523	2280	2273
	2675	2394	2263	2318	2784	2197
	2527	2207	2551	2594	2738	2109
Pinda- monhangaba	1936	1863	2342	2369	1296	1468
			3084	3122	3313	2993
			3355	3028	2605	2612
			2938	2797	2917	2968
			2647	2721	2313	2293

Tabela 15. Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivar
de soja Santa Rosa, para as localidades de Campinas,
Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos
agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80

Local	1977/78		1978/79		1979/80	
	Prod.	Prod.	Prod.	Prod.	Prod.	Prod.
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
Campinas	1907	1671	2865	2734	1830	2060
	1568	1486	2915	2522	1867	1804
	963	1139	2437	2375	1530	1707
	1148	945	2112	1999	1213	1539
Ribeirão Preto	2996	2752	3459	3160	2663	2625
	2736	2609	2426	3161	2726	2519
	2454	2598	2601	2995	2626	2327
	2306	2374	2292	2767	1663	1686
Pinda- monhangaba			3105	3229	2730	2813
			3272	3265	2376	2588
			2605	3152	2126	2440
			2751	2691	2209	2207

Tabela 16. Produtividade observada e estimada (kg/ha) do cultivar
de soja UFV-1, para as localidades de Campinas,
Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, referente aos anos
agrícolas 1977/78, 1978/79 e 1979/80

Local	1977/78		1978/79		1979/80	
	Prod.	Prod.	Prod.	Prod.	Prod.	Prod.
	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.
Campinas	1438	1107	1622	1943	1546	1555
	1564	1060	1762	1800	1309	1535
	986	1012	2330	1708	1755	1478
	1041	912	2015	1692	1709	1357
Ribeirão Preto	1796	1882	2451	2420	2171	1939
	1615	1544	2001	2450	2267	1827
	2319	1822	2113	2245	2130	1630
	2077	1861	2288	2064	1863	1461
Pinda- monhangaba			2730	2858	2543	2596
			2834	2890	2709	2524
			2646	2596	2605	2382
			2105	2218	2126	1833

de 1977/78, 1978/79 e 1979/80, assim como, os dados de produtividade estimados pelo modelo proposto. A figura 21 mostra a comparação entre essas produções observadas e estimadas.

Foram efetuados estudos de correlação entre as produções observadas (x) e estimadas (Y), sendo obtidas as seguintes equações de regressão e respectivos coeficientes de determinação:

CULTIVAR PARANÁ:

$$Y = 433,9 + 0,84 x \quad R^2 = 0,85$$

CULTIVAR VIÇOSA:

$$Y = 466,5 + 0,77 x \quad R^2 = 0,87$$

CULTIVAR SANTA ROSA:

$$Y = 260,3 + 0,91 x \quad R^2 = 0,82$$

CULTIVAR UFV-1:

$$Y = -44,5 + 0,96 x \quad R^2 = 0,76$$

Pode-se notar pelos resultados, que houve uma associação relativamente boa entre as produtividades observadas e estimadas, para os quatro cultivares, todos apresentando coeficientes de determinação elevados e com pequena dispersão dos pontos em relação à reta 1:1 (figura 21).

Figura 21. Relação entre produtividades observadas e estimadas para os cultivares de soja Paraná, Viçosa, Santa Rosa e UFV-1 para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba.

Apesar do modelo proposto considerar apenas aspectos climáticos, a associação entre as produtividades observadas e estimadas foram muito boas para os cultivares de soja estudados. A maioria dos modelos climáticos de previsão de safras consideram apenas aspectos hídricos, enquanto o modelo aqui proposto considera também o térmico, sendo relativamente simples a sua aplicação, necessitando somente de valores de precipitação pluviométrica e temperatura média do ar.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem chegar às seguintes conclusões:

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

2. O método de graus-dia para a predição da maturação aplicou-se melhor no caso dos cultivares precoces. Para os tardios não foi tão eficiente, indicando que o fotoperíodo tem efeito mais decisivo na indução ao florescimento destes cultivares.

3. O efeito da época de plantio sobre a duração do ciclo mostrou-se muito mais acentuado nos cultivares de ciclo médio a longo (Santa Rosa, Viçoja e UFV-1). As variedades tardias mostraram-se muito mais afetadas pelo fotoperíodo. As precoces, como a Paranã, praticamente não foram influenciadas, devido à sua pequena interação com o fotoperíodo.

4. A estimativa da produtividade da soja pelo modelo proposto foi bastante satisfatória, sendo que os coeficientes de determinação (R^2), entre dados observados e estimados, variaram de 0,76 a 0,87 para os diferentes cultivares. O modelo poderá ser aprimorado com a utilização de dados fenológicos de outras regiões do Estado de São Paulo e do Brasil.

5. É necessário se determinar com mais precisão a produtividade potencial dos cultivares de soja nas diferentes regiões do Estado.

6. A relação "ER/EP" a nível decendial obtida através do balanço hídrico de THORNTHWAITE e MATHER (1955), para uma capacidade de retenção de água no solo de 125mm, apresentou resultados bastante satisfatórios na quantificação da penalização dos deficits hídricos, permitindo assim, um ajuste satisfatório das estimativas das produtividades, pelo modelo agrometeorológico proposto, em relação aos resultados observados.

7. A inclusão do fator excedente de penalização no modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade, melhorou sensivelmente as estimativas principalmente nos anos com excedentes hídricos elevados.

LITERATURA CITADA

- ALLISON, J.C.S., 1963. Use of the day-degree summation technique for specifying flowering time of maize varieties at different locaties in Southern Africa. *Rhod. J. Agric. Res.*, 1:22-78.
- ARNOLD, C.Y., 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, Virginia, 74:430-445.
- ARRUDA, F.B.; H.A.A.MASCARENHAS e S.R.VIEIRA, 1978. *Efeito hídrico na produção de soja: Análise*. Campinas, Instituto Agronômico, 24p. (Boletim técnico, 38).
- ARRUDA, F.B.; H.A.A.MASCARENHAS; S.R.VIEIRA; M.A.C.MIRANDA; O. TISSELI FILHO e N.R. BRAGA, 1977. *Efeito térmico na produção de soja: Análise*. Campinas, Instituto Agronômico, 11p. (Boletim técnico, 40).
- ASHLEY, D.A. e W.J.ETHRIDGE, 1978. Irrigation effects on vegetative and reproductive development of three soybean cultivars. *Agron., J. Madison*, 70(3):467-471.

- ASPIAZU, C., 1971. Prognóstico de fases en cultivos de maiz dentado mediante sumas de temperatura. *Rev. Fac. Agron. Vet. de Buenos Aires*, 19(1-2):61-69.
- BAIER, W., 1973. Crop-weather analysis model. *Int. J. Biometeorol.*, Amsterdam, 17:313-320.
- BAIER, W., 1977. Notes on terminology of crop-weather models. In: World Meteorological Organization. *Expert Meeting on crop-weather models: Report*, Ottawa, 11-15 october, 1977. p.7-12. (Anexo V).
- BENACHIO, S.S. e B.O.BLAIR, 1972. 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.*, Madison, 64: 297-302.
- BERLATO, M.A., 1981. Bioclimatologia da soja. In: MIYASAKA, S. e J.C. MEDINA, Ed. *A soja no Brasil*. Campinas, p.175-184.
- BERLATO, M.A. e H.M.GONÇALVES, 1978. Relação entre o índice hídrico P/ETP e rendimento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agron.Sulriogr.*, Porto Alegre, 14(2):227-233.
- BERLATO, M.A.; R.MATZENAUER e V.R.SUTILI, 1978. Relação entre temperatura e desenvolvimento do milho. In: *XII Reunião Brasileira de Milho e Sorgo*, Goiania, EMBRAPA/DID, p.66.

- BERLATO, M.A. e V.R.SUTILI, 1976. Ecologia do milho II. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho. In: *Anais da XI Reunião Brasileira de Milho e Sorgo*, Piracicaba, ESALQ, p.523-527.
- BERLATO, M.A.; V.R.SUTILI e A.O.CASTRO, 1974. Comparação de métodos de cálculo das exigências térmicas para espigamento de milho (*Zea mays* L.)., *Agron. Sulriogr.*, Porto Alegre, 10(1):87-94.
- BISCOE, P., 1977. Weather, dry matter production and yield. In: LANDSBERG, J.J. e C.V. CUTTING, Ed. *Environmental effects on crop physiology: Proceedings of a symposium held at Long Ashton Research Station, University of Bristol, 13-16 April, 1975*. London, Academic Press, p. 75-100.
- BROWN, D.M., 1960. Soybean ecology I-Development temperature relationships from controlled environment studies. *Agron. J.*, Madison, 52(9): 493-496.
- BROWN, D.M., 1975. *Heat units for corn in Southern Ontario*. Ontario, Ministry of Agriculture and Food. 4p. (Factsheet-order 75-077).
- BROWN, D.M. e L.J.CHAPMAN, 1960. Soybean ecology II - Development temperature-moisture relationships from field studies. *Agron.*, J. Madison, 52(9):496-499.

- BROWN, D.M. e L.J.CHAPMAN, 1961. Soybean ecology III - Soybean development units for zones and varieties in the Great Lakes Region. *Agron. J.*, Madison, 53(5):306-308.
- BRUNINI, O., 1980. Zoneamento agroclimático, materiais e métodos. In: *XIII Reunião Brasileira de Milho e Sorgo*. Londrina, IAPAR, p.162-187.
- BRUNINI, O.; M.A.C. MIRANDA, H.A.A. MASCARENHAS; J.C.V.N. PEREIRA e N.C. SCHMIDT, 1982. Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da produtividade agrícola In: *SEGOVIA, R.M., 1982. Determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola*. Brasília, CFP. p.21-46. (Coleção Análise e Pesquisa, 24).
- BRUNINI, O.; R.S. LISBÃO; J.B. BERNARDI; J.B.FORNASIER e M.J. PEDRO JUNIOR, 1976. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston" em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, Campinas, 35(19):213-219.
- CAMARGO, A.P., 1962. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 21(12): 163-213.
- CAMARGO, A.P., 1971. Aptidão climática para as culturas da soja, girassol e amendoim no Estado de São Paulo. In: CAMARGO, A.P.; J. V. CHIARINI, P.L. DONZELI e W. SICHMANN, Ed. *Zoneamento da aptidão ecológica para a cultura da soja, girassol e amendoim do Estado de São Paulo*. São Paulo, INSTIÖLEOS, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, p.2-28.

- CAMARGO, A.P.; H.S. PINTO; M.J. PEDRO JUNIOR; O. BRUNINI; R.R. ALFONSI e A.A. ORTOLANI, 1974. Aptidão climática de culturas agrícolas. In: *Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria da Agricultura, V. 1, p.109-149.
- CAMARGO, A.P.; R.R. ALFONSI; H.S. PINTO e J.V. CHIARINI, 1977. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas de cerrado. In: FERRI, M.G., Coord. *IV Simpósio sobre o cerrado*. São Paulo, Editora da USP, p.89-120.
- CONSTABLE, G.A. e A.B. HEARN, 1980. Irrigation for crops in a sub-humid environment. The effect of irrigation on the growth and yield of soybeans. *Irrig. Sci.*, Berlin, 2:1-12.
- CORSI, W.C. e R.H. SHAW, 1971. Evaluation of stress indices for corn in Iowa. *Iowa State J. Sci.*, Ames, 46(1):79-85.
- CRISWELL, J.G. e D.J. HUME, 1972. Variation in sensitivity to photoperiod among early maturing soybean strains. *Crop. Sci.*, Madison, 12(5):657-660.
- DALE, R.F. e R.H. SHAW, 1965. The climatology of soil moisture atmospheric evaporative demand and resulting moisture stress days for corn at Ames, Iowa. *J. Appl. Meteorol.*, Boston, 4(6):66-69.
- DOORENBOS, J. e A.H. KASSAM, 1979. *Yield response to water*. Roma, FAO. 197p. (FAO-Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOSS, B.D.; R.W. PEARSON e H.T. ROGERS, 1974. Effects of soil water stress vs. various growth stages on soybean yield. *Agron. J.*, Madison, 66(3):297-299.

FISHER, R.A., 1924. The influence at rainfall on the yield of wheat at Rothamsted. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, 213:89-142.

FRANCIS, C.A., 1970. Effective day lenght for the study of photoperiod sensitive reactions on plants. *Agron. J.*, Madison, 62(6):790-793.

FUKUI, J. e M. OJIMA, 1957. Influence of soil moisture content on the growth and yield of soybean. *Proc. Crop. Sci. Soc.*, Japan, 26:40-42.

FUKUI, J. e R. ITO, 1951. Growth and yield of soybean plants as affected by the deficient soil moisture content at different growing stages. *Proc. Crop. Sci. Soc.*, Japan, 20:45-48.

FUKUI, J. e R. ITO, 1952. Fertility of the soybean as affected in short period by excessive soil moisture content at different growing period. *Proc. Crop. Sci. Soc.*, Japan, 20:271-273.

GANDOLFI, V.H. e L. MULLER, 1981. Fotoperiodismo. In: MIYASAKA, S. e J.C. MEDINA, Ed. *A Soja no Brasil*, Campinas. p.129-142.

GANDOLFI, V.H.; L. MULLER; H.C. MINOR e M.A. BERLATO, 1977. Identificação de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merril) menos sensíveis ao fotoperíodo entre cultivares tardios. *Agron. Sulriogr.*, Porto Alegre, 13(1):55-62.

- GARDNER, W.W. e H.A. ALLARD, 1930. Photoperiodic responses of soybeans in relation to temperature and other environmental factors. *J. Agric. Res. Punjab*, 41(10):719-735.
- GESLIN, H., 1945. Bioclimatologie et Recherches Agronomiques. Contribution à l'étude du Climat du Blé - *La Meteorologie*. Jan-Jun p.25-41.
- GRISSOM, P.; W.A. RANEY e P. HOGG, 1955. Crop response to irrigation in the Yazoo-Mississippi Delta. Mississippi, Miss. Agric. Exp. Sta. 21p. (Bulletin, 531).
- GROSS, E.R. e R.H. RUST, 1972. Estimation of corn and soybean yields utilizing multiple curvilinear regression methods. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 36(2):316-320.
- HANKS, R.J., 1974. Model for prediction plant yield influenced by water use. *Agron. J.*, Madison, 66(6):660-665.
- HARTWIG, E.E., 1954. Factors affecting time of planting soybeans in the Southern States. Washington, USDA. 13p. (Circular 943).
- HARTWIG, E.E., 1973. Varietal development. In: GALDWELL, B. E., Ed. *Soybeans: Improvement, production and uses*. Madison, Amer. Soc. Agron., p.187-210.
- HAUN, J.R., 1974. Prediction of spring wheat yields from temperature and precipitation data. *Agron. J.*, Madison, 66(3):405-409.

- HEARN, A.B. e G.A. CONSTABLE, 1981. Irrigation for crops in a sub-humid environment. Stress day analysis for soybeans and an economic evaluation of strategies. *Irrig. Sci.*, Berlin, 3:1-15.
- HILLEL, D. e V. GURON, 1973. Relation between evapotranspiration rate and maize yield. *Wat. Resour. Res.*, 9:703-743.
- HOWELL, R.W., 1967. Physiology of the soybean. In: NORMANN, A.G., Ed. *The Soybean*. New York, Academic Press. p.75-124.
- IDSO, S.B.; R.D. JACKSON e R.J. REGINATO, 1978. Extending the "Degree-day" concept of plant phenological development to include water stress effects. *Ecology*, Durham, 59(3):431-433.
- JENSEN, M.E., 1968. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T., Ed. *Water deficits and plant growth*. V.2, p.1-22.
- JESÚS GRANDE, M. e A. BORRERO, 1981. Effect of planting date on soybean development and production under irrigation in Southern Spain. In: JUDY, W.H. e J.A. JACKOBS, Ed. *Irrigated soybean production in arid and semi-arid regions: Proceedings of a Conference held in Cairo, Egypt, 31 Aug-6 Sept. 1979*. p.129-134. (INTSOY Series, 20).
- JOHNSON, H.W., 1960. Effects of photoperiod and time of planting on rates of development of the soybean in various stages of the life cycle. *Bot. Gaz.*, Chicago, 122:77-95.

- KANEMASU, E.T., 1981. Irrigation water requirements and water stress. In: JUDY, W.H. e J.A. JACKOBS, Ed. *Irrigated soybean production in arid and semi-arid regions*: Proceedings of a Conference held in Cairo, Egypt, 31 Aug-6 Sept. 1979. p.82-85. (INTSOY Series, 20).
- KRUZE, C.E.; J.G. SHANNON e L.A. DUCLOS, 1976. *Growth yield and date of planting studies with irrigated soybean varieties in Southeast Missouri*. Missouri, University of Missouri, College of Agriculture. 27p. (Research Bulletin, 1014).
- LAM-SÁNCHEZ, A., 1977. Alguns aspectos de produção da cultura da soja. *Arch. Latinoam. Nutr.*, Caracas, 27:77-90.
- LAM-SÁNCHEZ, A. e K. YUYAMA, 1979. Época de plantio na cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merril), cultivares "Santa Rosa" e "Viçoja" em Jaboticabal-SP. *Científica*, São Paulo, 7(2):225-234.
- LAWN, R.J. e D.E. BYTH, 1973. Response of soybeans to planting date in South-Eastern Queensland. Influence of photoperiod and temperature on phasic development patterns. *Aust. J. Agric. Res.*, Melbourne, 24:67-80.
- LEE, J. e M.J. CONNAUGHTON, 1969. Effects of weather on wheat yields. *Irish J. Agric. Res.*, 8(3):349-357.

- LEWIS, J.A., 1981. Irrigated soybeans and the production of other legumes on the latosols of Sri Lanka. In: JUDY, W.H. e J.A. JACKOBS, Ed. *Irrigated soybean production in arid and semi-arid regions: Proceedings of a Conference held in Cairo, Egypt, 31 Aug-6 Sept. 1979.* p.86-91. (INTSOY Series, 20).
- MAJOR, D.J. e D.R. JOHNSON, 1975. Predict when your soybeans will flower, mature. *Crops and Soils Mag.*, Madison, 27(5):13-17.
- MAJOR, D.J.; D.R. JOHNSON; J.W. TANNER e I.C. ANDERSON, 1975a. Effects of daylength and temperature of soybean development. *Crop. Sci.*, Madison, 15(2):174-179.
- MAJOR, D.J.; D.R. JOHNSON e V.D. LUEDDERS, 1975b. Evaluation of eleven thermal unit methods for predicting soybean development. *Crop. Sci.*, Madison, 15(2):172-174.
- MASON, W.K.; G.A. CONSTABLE e R.C.G. SMITH, 1980. Irrigation for crops in a sub-humid environment. The water requirements of soybeans. *Irrig. Sci.*, Berlin, 2:13-22
- MATSON, A.L., 1964. Some factors affecting the yield of soybeans to irrigation. *Agron. J.*, Madison, 56(6):552-555.
- McQUIGG, J.D., 1976. Modelling the impact of climatic variability for the purpose of estimating grain yields. In: *Modelling-climate-plants-soils: Proceedings of a Symposium*, April 20-21, 1976. Ontario, University of Guelph. p.4-18.

- MIRANDA, M.A.C.; S. MIYASAKA e H.A.A. MASCARENHAS, 1982. Melhoramento da soja no Estado de São Paulo. In: Fundação Cargill. *A Soja no Brasil Central*. Campinas, p.77-112.
- MIYASAKA, S., 1958. Contribuição para o melhoramento da soja no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 47p. (Tese de Doutorado).
- MIYASAKA, S., 1965. *Instruções para a cultura da soja*. Campinas, Instituto Agronômico. 20p. (Boletim Técnico, 122).
- MIYASAKA, S.; G. GUIMARÃES; R. KIIHL; L.A.C. LOVADINI e J.D.DEMATÊ, 1970. Variedades de soja indiferentes ao fotoperiodismo e tolerantes a baixas temperaturas. *Bragantia*, Campinas, 29(15):169-173.
- MOTA, F.S., 1978. *Soybean and weather*. Geneva, World Meteorological Organization, 64p. (Technical note, 64).
- MOTA, F.S., 1981. Índice de seca para soja. Contribuição para um modelo de previsão do rendimento da soja no Rio Grande do Sul. *Pesq. Agrop. Bras.*, Brasília, 16(3):371-383.
- MOTA, F.S., 1983. Weather-technology models for corn and soybeans in the South of Brazil. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 28(1):49-64.
- MOTA, F.S.; M.I.C. BEIRSDORF e J.R.B. GARCEZ, 1974. *Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Pelotas, Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Sul. 122p. (Circular, 50-V.2).

- NEWMAN, J.E., 1974. Applying meteorology to agriculture. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 13(1):1-3.
- NIX, H.A. e E.A. FITZPATRICK, 1969. An index for crop water stress related to wheat and grain sorghum yield. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, (6):32-37.
- NUTTONSON, M.Y., 1955. Wheat - Climate Relationships and the Use of Phenology in Ascertaining the Thermal and Photo-Thermal Requirements of Wheat.- *Amer. Inst. Crop. Ecol.*, Washington - 388p.
- OSLER, R.D. e J.L. CARTTER, 1954. Effect of planting date on chemical composition and growth characteristics of soybeans. *Agron. J.*, Madison, 46(6):267-269.
- PARKER, M.W. e H.A. BORTHWICK, 1950. Influence of light on plant growth. *Ann. Rev. Pl. Physiol.*, California, 1:43-58.
- PASCALE, A.J., 1955. Metodo para Determinar las Caracteristicas Bioclimaticas de una Variedad de Trigo. *Meteoros*, 5 (1-2):5-18.
- PASCALE, A.J., 1969a. Agroclimatic types for soybean crop in Argentina. In: *V International Biometeorological Congress*, Montreaux, Switzerland, p.1-19.
- PASCALE, A.J., 1969b. Requerimientos Bioclimaticos de Trigos Argentinos. *Rev. Fac. Agron. Vet.*, Buenos Aires, 17(2):7-17.

- PASCALE, A.J., 1972. The bioclimatic requirements of crops. In: *Proceedings of the WMO Seminar on Agricultural Meteorology with special reference to tropical areas of Regions III and IV*. Barbados, (WMO nº 310) p.87-96.
- PASCALE, A.J. e A. ESCALES, 1971. Requerimientos bioclimáticos de los grupos de cultivares de soja. I-Subperíodo siembra-floración. *Rev. Fac. Agron. Vet.*, Buenos Aires, 19(1-2):15-24.
- PASCALE, A.J. e A. ESCALES, 1975. Requerimientos bioclimáticos de los cultivares de soja. II-Subperíodo floración-maduración. *IDIA*, Buenos Aires, 31:53-63. Suplemento.
- PASCALE, A.J. e E.A. DAMARIO, 1954. El índice Heliotérmico Aplicado a los Trigos Argentinos. *Meteoros* 4(3):129-157.
- PASCALE, A.J. e E.A. DAMARIO, 1969. Aptitud agroclimática de la Provincia del Chaco para el cultivo de trigo. *Rev. Fac. Agron. Vet.*, Buenos Aires, 17(3):49-61.
- PASCALE, A.J. e F.S. MOTA, 1966. Aspectos Bioclimáticos da Cultura do Trigo no Rio Grande do Sul. *Pesq. agropec. bras.* 1:123-140.
- PASCALE, A.J.; C. REMUSSI e L. MARZO, 1963. Reacción de distintas variedades de soja a los factores bioclimáticos de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agron. Vet.*, Buenos Aires, 15(3):29-54.

PASCALE, A.J.; J.A. VILLEGAS e L.F. MEDINA, 1973. Aptitud agroclimática del Noroeste Argentino para el cultivo de la soja. *Rev. Agron. Noroeste Argentino*, San Miguel de Tucuman, 10(3-4):173-203.

PEDRO JUNIOR, M.J.; M.B.P. CAMARGO, O. BRUNINI; R.R. ALFONSI; A.A. ORTOLANI e M.A.C. MIRANDA, 1983. Teste de um modelo para estimativa da produtividade da soja. In: *Resumos III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Campinas, Instituto Agronômico, p.138-139.

PITTER, R.L., 1977. The effect of weather and technology on wheat yields in Oregon. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 18(2):115-131.

REAUMUR, R.A.F., 1735. Observations du thermomètre, faites à Paris pendant l'année 1735. *Mém: Acad. Sci.*, Paris. Apud: ROBERTSON, G. W., 1968. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. *Int. J. Biometeorol.*, Amsterdam, 12(3):191-223.

RICKMAN, R.W.; R.E. RAMING e R.R. ALLMARAS, 1975. Modelling dry matter accumulation in dryland winter wheat. *Agron. J.*, Madison, 67(3):283-289.

ROBERTSON, G.W., 1968. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. *Int. J. Biometeorol.*, Amsterdam, 12(3):191-223.

ROBERTSON, G.W., 1983a. *Guidelines on crop-weather models*. Geneva, World Meteorological Organization, 115p. (World Climate Application Programme, 50).

- ROBERTSON, G.W., 1983b. *Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops*. Geneva, World Meteorological Organization. 158p. (Agricultural Meteorology-CAGM Report, 15).
- SCOTT, W.O. e S.R. ALDRICH, 1970. *Modern soybean production*. Cincinnati, Ohio, Farm Quarterly. 192p.
- SEGOVIA, R.M. e E.G. ANDRADE, 1982. Um modelo de determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola. In: *Determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola*. Brasília, CFP. p.11-18. (Coleção Análise e Pesquisa, 24).
- SELIRIO, I.S. e D.M. BROWN, 1979. Soil moisture based simulation of forage yield. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 20(2):99-114.
- SHAW, R.H., 1974. A weighted moisture-stress index for corn in Iowa. *Iowa State J. Res.*, Ames, 49(2):101-114.
- SHAW, R.H., 1977. Use of a moisture-stress index for examining climate trends and corn yields in Iowa. *Iowa State J. Res.*, Ames, 51(3):249-254.
- SHAW, R.H., 1978. *Modelling crop yields using climatic data*. In: Proceedings of 1978 LACIE corn-soybean Seminar. NASA, Texas, p.129-143.
- Apud: SOTO; H.A.H., Um modelo simples de estimativa de produção de forragem para colonião (*Panicum maximum* Jacq.) e pangola (A-24 *Digitaria pentzii* Stent) usando parâmetros climáticos. Piracicaba, ESALQ/USP, 58p. (Dissertação de Mestrado).

- SHAW, R.H. e D.R. LAING, 1965. Moisture stress and plant response. In: PIERRE, W.H. Ed. *Plant environment and efficient water use*. Madison, Am. Soc. Agron. p.73-94.
- SPLINTER, W.E., 1974. Modelling of plant growth for yield prediction. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 14(2):243-253.
- SPOONER, A.E., 1961. *Effect of irrigation timing and length of flooding periods on soybean yields*. Fayetteville, Arkansas Agric. Exp.Station. 27p. (Bulletin, 644).
- STANHILL, G., 1977. Quantifying weather-crop relationships. In: LANDSBERG, J.J. e C.V. CUTTING, Ed. *Environmental effects on crop physiology*. Proceedings of a Symposium held at Long Ashton Research Station, University of Bristol, 13-16 April 1975. London, Academic Press, p.23-27.
- STEWART, D.W., 1975. Modelling plant atmosphere systems. Ottawa, Department of Transportation. (Monograph 5). Apud: BRUNINI, O. Zoneamento agroclimático, materiais e métodos. In: *XIII Reunião Brasileira de Milho e Sorgo*. Londrina, IAPAR, 1980. p.162-187.
- THOMPSON, L.M., 1970. Weather and technology in the production of soybeans in the Central United States. *Agron. J.*, Madison, 62(2):232-236.

- THORNTHWAITE, C.W. e J.R. MATHER, 1955. *The water balance*. Centerton, New Jersey. Drexel Institute of Tecnology, 104p. (Publications in climatology, V.8, nº 1).
- TORRIE, J.H. e G.M. BRIGGS, 1956. Effect of planting date on yield and other characteristics of soybeans. *Agron. J.*, Madison, 47(5):210-212.
- WEISS, M.G.; C.R. WEBER; L.F. WILLIAMS e A.H. PROBST, 1950. *Variability of agronomic and seed compositional characters in soybeans, as influenced by variety and time of planting*. Washington, USDA, 39p. (Technical Bulletin, 1017).
- WILLIAMS, G.D.V., 1969. Weather and prairie wheat production. *Can. J. Agr. Econ.*, 17(1):99-109.
- WILLIAMS, G.D.V., 1973. Estimates of prairie provincial wheat yields based on precipitation and potential evapotranspiration. *Can. J. Pl. Sci.*, 53:17-30.
- WILLIAMS, G.D.V. e G.W. ROBERTSON, 1965. Estimating most probable prairie wheat production from precipitation data. *Can. J. Pl. Sci.*, 45:34-47.
- YAO, A.Y.M., 1969. The R index for plant water requirements. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 6(4):259-273.

- YAO, A.Y.M., 1973. Evaluating climatic limitations for a specific agricultural enterprise. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 12(1):65-73.
- YAO, A.Y.M., 1974. Agricultural potential estimated from the ratio of actual to potential evapotranspiration. *Agric. Meteorol.*, Amsterdam, 13(3):405-417.