

ISSN 0104-1347

## Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo

### Climatic risks for maize crop in São Paulo state, Brazil

Orivaldo Brunini<sup>1,5</sup>, Jurandir Zullo Jr<sup>2,5</sup>, Hilton Silveira Pinto<sup>3,5</sup>, Eduardo Assad<sup>4</sup>,  
Eduardo Sawazaki<sup>1</sup>, Aildson P. Duarte<sup>1</sup> e Maria Elisa Z. Patterniani<sup>1</sup>

**Resumo** - Os riscos climáticos para o cultivo de milho foram avaliados em base decendial para os 645 municípios do estado de São Paulo. A duração do ciclo fenológico foi estimada em função das exigências térmicas nos subperíodos “emergência-florescimento” e “emergência-início de maturação”, considerando-se uma temperatura base de 8°C e 10°C, respectivamente, para cada etapa fenológica. A demanda de água e os períodos com deficiência ou excesso hídrico foram determinados utilizando-se o coeficiente de cultura (Kc) apropriado, enquanto que o ISNA (Índice de Satisfação das Necessidades de Água) foi calculado utilizando-se um programa de simulação do balanço hídrico. Os riscos de geada e insuficiência térmica também foram incorporados ao estudo. Os resultados indicam que este tipo de estudo mostrou ser eficaz na quantificação e na qualificação de áreas e de épocas adequadas a semeadura dessa cultura com 80% de probabilidade de sucesso de redução de riscos climáticos.

**Palavras-chave:** zoneamento agrícola, unidades de calor, ISNA, *Zea mays* L., Brasil.

**Abstract** - The climatic risks for maize production were evaluated during 10 days period for all the 645 counties in São Paulo state, Brazil. Crop growing length period was estimated using the growing degree days concept, considering a base temperature of 8°C and 10°C for the emergence-flowering and emergence-ripening phases respectively. Crop water requirements and water deficits or surplus were determined using the appropriate crop coefficient (Kc). The ISNA (crop water requirement index) was determined using a water balance program. Frost risks and constrains air temperature were also evaluated. The results indicated that this analyze is adequated to quantify and qualify suitable areas for maize cultivation at 80% probability level of avoiding climatic risks.

**Key words** - crop zoning, heat units, ISNA, *Zea mays* L., Brazil.

### Introdução

A cultura de milho ocupa a sétima posição em valor econômico no estado de São Paulo, dentro do contexto do agronegócio. A receita bruta no ano de 1999 foi de R\$ 558 milhões, correspondendo a 5,34% do valor bruto da agropecuária (APTA,

2000). A área cultivada, em 2000, nas duas safras (verão e safrinha) foi, respectivamente, 702 e 405 mil hectares, sendo superada somente pela cana-de-açúcar.

O cultivo agrícola de verão não apresenta predominância em nenhuma região, enquanto que o cultivo de milho safrinha apresenta a predominân-

<sup>1</sup> Pesquisador do IAC, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP. Email: brunini@cec.iac.br

<sup>2</sup> Pesquisador da Unicamp, Campinas, SP.

<sup>3</sup> Professor da Unicamp, Campinas, SP.

<sup>4</sup> Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

<sup>5</sup> Bolsista do CNPq-PQ.

cia em quatro regiões, correspondendo a 89% do total semeado (DUARTE *et al.*, 2000).

As restrições climáticas (seca, geada, frio, altas temperaturas e excesso de chuvas) sobre a cultura são muito variadas devido aos sistemas de cultivo (épocas de semeadura, principalmente), que podem ser realizados, teoricamente, o ano todo. Além disso, os diferentes tipos de solo, com capacidades de retenção de água variada, induzem a um comportamento distinto das cultivares, podendo provocar perdas drásticas de rendimento.

A falta de água no solo é, sem dúvida, a principal causa de redução na produção vegetal. O estresse de água na planta resulta da interação entre a disponibilidade de água no solo, a demanda evaporativa e os fatores fisiológicos.

Vários trabalhos tratando da necessidade de água pela cultura do milho foram realizados no Brasil. Os trabalhos de ESPINOZA (1979, 1980) foram desenvolvidos em condições de Cerrado, onde a ocorrência de “veranicos” é elevada, enquanto que os de BRUNINI (1981, 1982) foram conduzidos em condições de clima mais úmido e com menor probabilidade de ocorrência de “veranicos” durante o ciclo da cultura.

A evapotranspiração real (ETR), nos trabalhos citados acima, foi determinada pelo método do Balanço Hídrico em condições de campo (REICHARDT, 1975; BRUNINI, 1982). Observa-se que cultivares precoces têm um menor consumo total, com a evapotranspiração real diária, de três destas cultivares, variando de 3 a 8 mm.

De maneira geral, em São Paulo, a precipitação pluvial no período de outubro a janeiro e a água disponível no solo necessária ao desenvolvimento

vegetal não são restritivas. Porém, podem ocorrer em algumas regiões do estado, e em épocas ou anos específicos, períodos em que a precipitação seja nula e a água disponível no solo não seja suficiente para atender à demanda da cultura. Podem ocorrer, também, “veranicos” que se forem de longa duração irão comprometer seriamente a produção vegetal. Por outro lado, semeaduras antecipadas em setembro, ou tardias, de fevereiro a março, podem estar sujeitas a altas probabilidades de estresse hídrico ou seca.

Estudos realizados por BRUNINI *et al.* (1977) determinaram a disponibilidade máxima de água no solo, considerando uma profundidade efetiva de exploração do solo pelas raízes de 40 cm, agrupando-os em quatro grupos principais como descrito na Tabela 1.

O milho é influenciado pelas condições térmicas do ambiente desde a semeadura até a maturação, em função da fase fenológica em que se encontra. Os processos fisiológicos, na sua maioria, ocorrem numa faixa de temperatura de 0 até 40°C. Os efeitos da temperatura sobre os processos de desenvolvimento de um vegetal, em geral, devem ser muito bem estudados e analisados para uma melhor interpretação dos fenômenos que ocorrem numa comunidade vegetal. Os métodos que se baseiam somente na temperatura do ar para análise do desenvolvimento vegetal, pressupõem uma linearidade entre temperatura e o desenvolvimento da cultura.

Entre esses métodos, o de graus-dia ou unidades térmicas é bastante utilizado, pois assume que existe uma temperatura (denominada temperatura base) abaixo da qual a planta não se desenvolve ou o faz de maneira muito reduzida e lentamente.

**Tabela 1.** Água disponível no solo até a profundidade de exploração de raízes de 40 cm no solo e limite abaixo do qual a cultura passa a ser afetada em função da evapotranspiração potencial (BRUNINI *et al.*, 1977).

Localidade	Tipo de solo	Água disponível no solo mm	Limite abaixo do qual a cultura é afetada (mm)	
			3 < ETP ≤ 5	ETP ≤ 3
Assis	Latossolo roxo	50	35	25
Ribeirão Preto	Latossolo roxo	50	35	25
Capão Bonito	Latossolo vermelho-amarelo	42	29	21
Tarumã	Latossolo roxo	50	35	25
Votuporanga	Latossolo arenoso	32	22	16
Tarumã	Latossolo roxo textural	70	50	35

PASCALÉ (1953) observou que o florescimento e a maturação do milho ocorrem mais rapidamente quando as temperaturas médias do ar situam-se ao redor de 25°C, havendo um retardamento à medida que se diminui essa temperatura. O mesmo autor conclui que não é possível o cultivo dessa planta quando a temperatura média do verão for inferior a 19°C, ou se a temperatura média noturna dessa estação for inferior a 13°C.

Estudando o efeito da alta temperatura na viabilidade do pólen, HERRERO & JOHNSON (1980) observaram que a exposição prolongada a temperaturas acima de 32°C reduz a germinação dos pólenes, sendo que, em alguns genótipos, essa redução pode chegar a 100%.

Com relação à temperatura base (tb), a maioria dos estudos encontram uma tb de 8 a 10°C. BERLATO & SUTILI (1976) determinaram as temperaturas base (tb), para os subperíodos fenológicos de emergência-germinação e emergência-espigamento, para três cultivares de milho, pelo método da menor variabilidade. Observaram que a temperatura variou de 4 a 8°C, sendo que a cultivar tardia apresentou a maior (tb), enquanto que a precoce a menor. Os valores encontrados por estes autores foram semelhantes aos encontrados por PRIMAULT (1969). Inúmeros outros trabalhos encontrados na literatura afirmam como sendo de 10°C a temperatura base para esse vegetal (CHIRKOV, 1965; MEDERSKI et al., 1973).

Mais recentemente, BRUNINI et al. (1995) e BARBANO et al. (2000), determinaram a temperatura base e os graus-dia necessários para completar os diferentes períodos do ciclo de desenvolvimento de distintas cultivares de milho em uso no estado de São Paulo. A temperatura base determinada foi de 8°C no subperíodo emergência-florescimento e 10°C no subperíodo emergência-início de maturação, sendo que o acúmulo térmico variou em função do tipo de cultivar e subperíodo fenológico.

GOMES (1995), determinou que a temperatura mínima do ar que prejudica a cultura de milho seria de 3°C (registrada em abrigo termométrico). Estudo desenvolvido por CAMARGO et al. (1993), determinou a probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas para diversas localidades do estado de São Paulo. Esses mesmos au-

tores observaram que a região sul do estado de São Paulo, assim como o Médio Vale do Paranapanema, apresentam grande probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas (geadas), de junho a agosto, sendo em média, 48% no sudoeste e 34% no Médio Vale do Paranapanema; em nível mensal e anual, esses valores passam a ser 71 e 57%, respectivamente.

Com base nas exigências térmicas e hídricas determinadas para a cultura de milho, procurou-se determinar as épocas mais adequadas ao cultivo agrícola com menores probabilidades de riscos climáticos, como seca, geada e chuva excessiva nos períodos fenológicos críticos.

## Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido com base na série homogênea de dados diários de precipitação pluviométrica de 390 localidades do estado de São Paulo, da Rede Hidrológica do DAAE/SRH, compreendendo o período 1961 a 1990. Além disso, houve complementação com dados meteorológicos da rede do Instituto Agrônomo de Campinas (Figura 1).

As temperaturas médias do ar foram estimadas em função do trabalho de PINTO et al. (1972) e PEDRO JÚNIOR et al. (1991). A evapotranspiração potencial para cálculo dos balanços hídricos e da demanda de água pela cultura foi estimada pelo método de THORNTHWAITE (1948).

Sabendo-se que o ciclo da cultura está intimamente relacionado à temperatura do ar nas semeaduras tardias de milho na região sul do estado e no Vale do Paranapanema, o trabalho considerou não só as condições térmicas para semeadura, mas também a probabilidade de ocorrência de eventos extremos nas fases mais críticas da cultura (florescimento e formação de espigas).

Para a quantificação da demanda de água pela evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>m</sub>), há necessidade do conhecimento do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), visto que, de maneira geral ET<sub>m</sub> pode ser relacionada à ETP pela fórmula:

$$ET_m = K_c \cdot ETP$$

Os valores de K<sub>c</sub> para três tipos de cultivares de milho (superprecoce, precoce e normal) foram



completar as diferentes fases fenológicas das cultivares, como apresentada na Tabela 2 (BRUNINI et al., 1995).

O método utilizado para a determinação das datas de semeadura foi baseado na análise do consumo de água pela cultura, dando prioridade aos períodos críticos de desenvolvimento. Embora diversos fatores de clima e solo sejam determinantes da potencialidade de um ambiente, foram considerados como decisivos, no estabelecimento dos riscos climáticos, a precipitação pluvial diária, a capacidade de armazenamento de água do solo e a variação da temperatura.

No tocante à precipitação, da mesma forma que se preocupou com totais mensais, decendiais e quinquidiais, procurou-se também caracterizá-la quanto à sua frequência de ocorrência.

Para o Balanço Hídrico relativo a períodos de dez dias, os dados de entrada no modelo foram: precipitação pluvial e evapotranspiração potencial (ETP) diárias, coeficientes de cultura (Kc), fases fenológicas, ciclo da cultura (variando em função dos graus-dia) e água disponível no solo na zona radicular, conforme descritos anteriormente.

As simulações das épocas de semeadura foram feitas a cada dez dias, a partir de 1º de setembro até fim de abril. Do balanço hídrico, a variável mais importante na definição dos riscos é o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA), definido pela relação entre evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração máxima (ETm) da cultura, por ser um indicador de atendimento da

necessidade de água pela planta. Tomaram-se valores médios anuais do ISNA para o período entre as fases de florescimento e produção, período este crítico ao déficit hídrico para a produção de milho, e efetuou-se a análise freqüencial do ISNA para 20, 50 e 80% de ocorrência. Utilizou-se a freqüência de 80% para espacialização dos dados, por ser mais conservadora. Foram definidas três classes de ISNA para diferenciação dos ambientes dentro do estado de São Paulo, ou seja:  $ISNA > 0,55$  (região agroclimática favorável, com pequeno risco climático);  $0,55 > ISNA > 0,45$  (região agroclimática intermediária, com médio risco); e  $ISNA < 0,45$  (região agroclimática desfavorável, com alto risco climático e elevado déficit hídrico). A duração dos ciclos foi determinada para cada posto pluviométrico (rede do DAEE) e para cada data de semeadura em função da relação entre a temperatura base (Tb) e graus-dia (GD). Para cálculo do balanço hídrico, os valores de disponibilidade de água no solo foram: 30 mm para textura arenosa, 50 mm para textura média e 70 mm para textura argilosa, considerando-se uma profundidade efetiva do sistema radicular de 40 cm.

Assim, para o estado de São Paulo, as datas favoráveis à semeadura de milho foram aquelas que atenderam aos seguintes critérios:

- a) índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) igual ou superior a 0,55 na fase de florescimento e produção, para uma freqüência de ocorrência igual ou superior a 80% dos casos analisados;
- b) temperatura mínima média durante todo o ciclo igual ou superior a 10°C ; e
- c) duração econômica máxima do ciclo de 150 dias, para ciclos precoce e superprecoce, e de 165 dias para ciclo normal.

Os valores do ISNA calculados para cada estação pluviométrica foram espacializados utilizando-se um sistema de informações geográficas, baseado nos métodos descritos por ASSAD & SANO (1998). Para cada data possível de semeadura foi gerado um mapa identificando as zonas favoráveis e desfavoráveis para a semeadura de milho.

**Tabela 2.** Relação entre temperatura base e graus-dia desde a emergência para distintas cultivares de milho e fases fenológicas.

Cultivar	Fase fenológica			
	Emergência	Florescimento masculino	Emergência	Início maturação
	Tb	GD	Tb	GD
Superprecoce	8	747	10	1075
Precoce	8	820	10	1190
Normal	8	862	10	1237

Tb - Temperatura base °C; GD - Graus-dia.

## Resultados e discussão

Os resultados podem ser analisados e interpretados das seguintes maneiras:

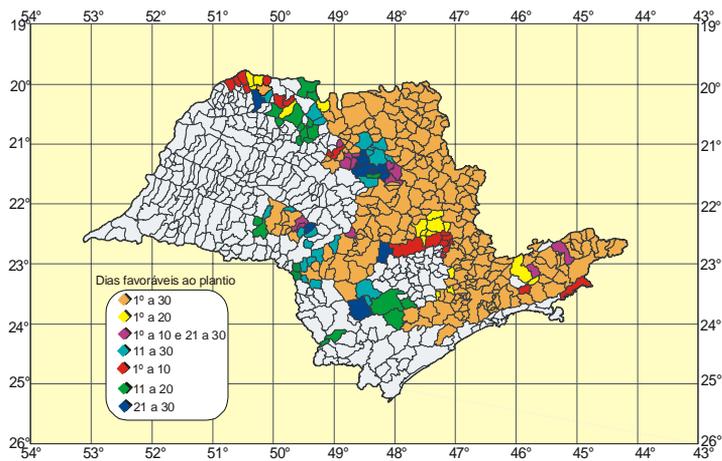
- fixando-se um tipo de solo e um ciclo, e observando os resultados em função da variação das datas de simulação;
- fixando-se uma data e um ciclo, e variando o tipo de solo; e
- fixando uma data e um tipo de solo, e variando um ciclo.

Em todos os três casos existe uma forte variação espacial das condições para semeadura, o que evidencia a grande variabilidade climática no estado de São Paulo.

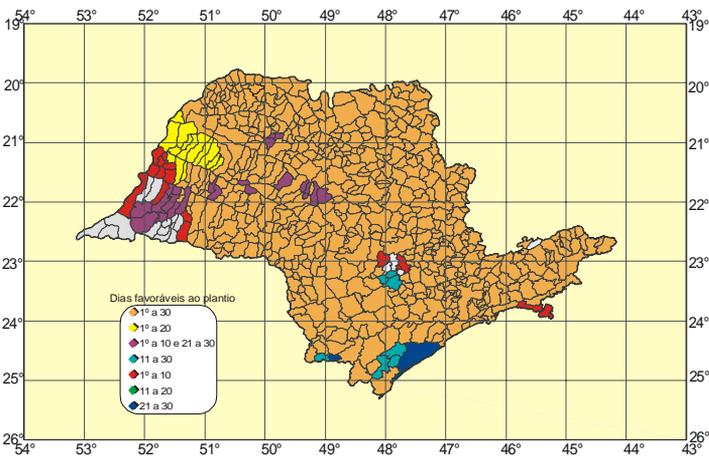
Como resultado foram obtidos 216 mapas, considerando as 24 datas escolhidas, três tipos de solo e três ciclos. Para discussão são apresentadas três figuras com os resultados das datas de semeadura para o mês de novembro, considerando o ciclo normal, e com os solos variando de arenosos (CAD 30 mm), médios (CAD 50 mm) e argilosos (CAD 70 mm). Estes resultados estão ilustrados nas Figuras 3, 4 e 5.

Na Figura 3, o solo é de baixa disponibilidade de água. Neste caso existe uma forte restrição à semeadura nas regiões noroeste e sudoeste do estado. Já em toda região centro-norte (São Carlos, Ribeirão Preto, Franca, Mococa) e nordeste (todo Vale do Paraíba), a semeadura pode ser feita durante todo o mês de novembro, com baixo risco. A restrição climática é pluviométrica. Existe chuva suficiente para semeadura, mas as condições de disponibilidade de água no solo e ocorrência de “veranicos” indicam fortes chances, (superiores a 20%, portanto risco de perda de uma safra em cinco), de deficiência de água na fase de florescimento e formação de espigas.

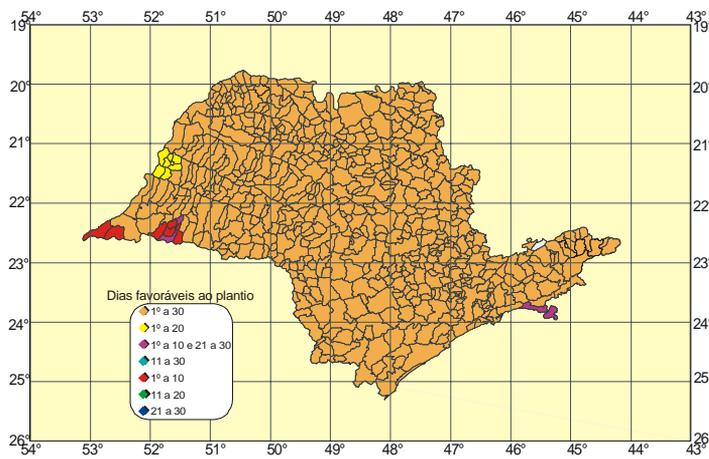
Na Figura 4, o solo é de média disponibilidade de água. As restrições de semeadura limitam-se às regiões de Presidente Prudente, Teodoro Sampaio,



**Figura 3.** Regiões e datas agroclimaticamente favoráveis à semeadura de milho de ciclo normal, durante o mês de novembro, para solos arenosos (CAD 30 mm).



**Figura 4.** Regiões e datas agroclimaticamente favoráveis à semeadura de milho de ciclo normal durante o mês de novembro, para solos médios (CAD 50 mm).



**Figura 5.** Regiões e datas agroclimaticamente favoráveis à semeadura de milho de ciclo normal durante o mês de novembro, para solos argilosos (CAD 70 mm).

Dracena, e mais ao litoral, nas regiões próximas à Registro e Caraguatatuba. No restante do estado, o risco é menor, sendo considerado favorável para semeadura durante todo o mês. Com o aumento da disponibilidade de água, o risco é reduzido, e não existem limitações térmicas.

Na Figura 5, é ilustrado o melhor resultado, ou seja, solos com alta disponibilidade de água. Neste caso, praticamente em todo o estado não existe limitação para semeadura no mês de novembro. Quando é feita uma análise espaço-temporal, considerando mesmo tipo de solo e mesmo ciclo, os meses que apresentam as melhores condições para semeadura são outubro e novembro. As restrições começam a aparecer fortemente em dezembro, o que indica deficiência hídrica entre 60 e 70 dias após a semeadura, comprometendo o rendimento.

Essa mesma análise poderia ser feita para as semeaduras realizadas em fevereiro, março e abril, períodos de semeadura da “safrinha”. Somente algumas reduzidas áreas do estado de São Paulo, como médio do Paranapanema e alta Mogiana, possuem as condições climáticas necessárias para a semeadura, porém a produtividade esperada é muito inferior às semeaduras de outubro a dezembro. Por outro lado, como as semeaduras sucedem outras culturas, a semeadura é limitada pela primeira. Neste caso, estas restrições são hídricas e térmicas, caracterizando essa prática como de alto risco, pois a geada e seca são altamente prováveis de ocorrer. Dessa maneira, os riscos climáticos para semeadura de milho safrinha devem ser avaliados sobre aspectos mais complexos e que não foram adotados para esse trabalho.

## Conclusões

- Nesse estudo, foram consideradas quatro variáveis para estabelecer as datas de semeadura de milho no estado de São Paulo, sintetizadas em um índice ISNA (ETR/ETm): precipitação pluviual, temperatura (graus-dia), duração do ciclo e tipo de solo. Os resultados das análises espaço-temporal destas variáveis, materializadas na forma de mapas dos índices ISNA indicam:
- para os solos de baixa disponibilidade de água, existe uma forte restrição à semeadura de mi-

lho, durante, praticamente, toda a estação chuvosa;

- a medida que a disponibilidade de água no solo aumenta, os riscos de semeadura nos meses de outubro e novembro são reduzidos, e voltam a ter importância nos meses de dezembro e janeiro (semeaduras com restrição); e
- no caso das semeaduras em fevereiro, março e abril, aparecem as restrições hídricas e térmicas, sendo portanto, consideradas semeaduras de alto risco, e limitadas às regiões da alta Mogiana, médio Paranapanema e alta Araraquarense, porém estudos específicos para este tipo de cultivo precisam ser conduzidos.

## Referências bibliográficas

- APTA. Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. Relatório técnico - Grupo de trabalho - **Cadeia produtiva milho e soja - 2000**. 37p. (Mimeografado)
- ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas. Aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA SPI, 1998. 434p.
- BARBANO, M.T., DUARTE, A.P., BRUNINI, O. et al. Acúmulo térmico e duração do sub-período semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia, 2000. p.32.
- BERLATO, M.A., SUTILI, U.R. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência-espigamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho. In: REUNIÃO TÉCNICA DE MILHO E SORGO, 21., 1976, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, 1976.
- BRUNINI, O. **Estudo do transporte de água no sistema de solo planta atmosfera para a cultura do milho**. Relatório CNPq, 1981. 100p.
- BRUNINI, O. **Balanço hídrico em condições de campo para cultivares de milho**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 14., 1982, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis, 1982.
- BRUNINI, O. Consumo hídrico e parâmetros ecológicos da cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.93-122.

- BRUNINI, O., BORTOLETTO, N., MARTINS, A.L.M. et al. Determinação das exigências térmicas e hídricas de cultivares de milho. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 3., 1995, Assis. **Resumos...** Campinas: IAC/CDV, 1995. p.141-145.
- BRUNINI, O., GROHMANN, F., BENICASA, M. Variação estacional do armazenamento e das perdas de água em unidades de solo do estado de São Paulo. **Científica**, Jaboticabal, v. Especial n.5, p.119-123, 1977.
- CAMARGO, M.B.P., PEDRO JÚNIOR, M.J., ALFONSI, R.R. et al. Probabilidade de ocorrências de temperaturas absolutas mensais e anual no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.52, n.2, p.161-168, 1993.
- CHIRKOV, Y.I. Agrometeorological indices in the development and formation of maize crops. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.2, p.121-126, 1965.
- DUARTE, A.P., MARTINS, A.C.N., BRUNINI, O. et al. **Milho safrinha, técnicas para o cultivo no estado de São Paulo**. Campinas: CATI, 2000. 16p. (Documento técnico, 113).
- ESPINOZA, W. Efeito da densidade de plantio sobre a evapotranspiração do milho irrigado na época seca no cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, p.343-350, 1979.
- ESPINOZA, W. Extração de água pelo milho em latossolo da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, p.69-78, 1980.
- GOMES, J. Estudos de risco para o milho na "safrinha". In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 3., 1995, Assis. **Resumos...** Campinas: IAC/CDV, 1995. p.111-113.
- HERRERO, M.P., JOHNSON, R.R. High temperature stress and pollen viability of maize. **Crop Science**, Madison, v.20, n.6, p.796-800, 1980.
- MEDERSKI, H.J., HILLER, M.E., WEAVER, C.R. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, n.5, p.743-747, 1973.
- PASCALÉ, A.J. Mapa fenológico do milho en la Republica Argentina. **Meteoros**, v.3, n.4, p.383-394, 1953.
- PEDRO JÚNIOR, M.J., MELLO, M.H.A., ORTOLANI, A.A. et al. **Estimativa das temperaturas médias mensais das máximas e das mínimas para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1991. 11p. (Boletim técnico, 142).
- PINTO, H.S., ORTOLANI, A.A., ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do estado de São Paulo em função de altitude e latitude**. São Paulo: Instituto Geografia/USP, 1972. (Caderno de ciências da terra, 23).
- PRIMAULT, B. D'une application pratique des indices biometeorologiques. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.6, p.71-96, 1969.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Fundação Cargill, 1975. 286p.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, v.38, p.55-94, 1948.