**MODELO PARA ESTIMAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO
NO ESTADO DE SÃO PAULO**

LUÍS GONZAGA MEDEIROS DE FIGUEREDO JÚNIOR

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia, Área de concentração:
Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Março - 2004

**MODELO PARA ESTIMAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO
NO ESTADO DE SÃO PAULO**

LUÍS GONZAGA MEDEIROS DE FIGUEREDO JÚNIOR

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **DURVAL DOURADO NETO**

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia, Área de concentração:
Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo – Brasil

Março - 2004

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Figueredo Júnior, Luís Gonzaga Medeiros de
Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São
Paulo / Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior. - - Piracicaba, 2004.
68 p. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
Bibliografia.

1. Balanço hídrico 2. Desenvolvimento vegetal 3. Época de semeadura 4. Geo-
processamento 5. Grãos 6. Milho 7. Simulação (Estatística) 8. Zoneamento agrícola
I. Título

CDD 633.15

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

À minha esposa Cleide, pelo carinho e compreensão, e ao filho Luís Neto,

DEDICO

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio e incentivo,

OFEREÇO

DOUTOR DA NOSSA TERRA

Ontem,
quando eu só gostava
da terra, você, vocês todos
sorriram de mim.

Hoje,
Chamam-me de Doutor.
Doutor da minha terra
que me enterra, e que
enterra quem não é Doutor.
Dou todas minhas forças,
eu sou minha terra,
e quem não é, não é nada.
É só terra.

E se não a conhece,
não será nada não Senhor!

Marcos Brito

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a realização deste curso, o qual só me fez crescer profissional e espiritualmente.

Ao professor Dr. Durval Dourado Neto, pela dedicação e empenho dedicados em sua valiosa orientação.

Ao grande mestre, professor Dr. Nilson Augusto Villa Nova, pelo apoio incondicional na realização do trabalho.

Ao professor Dr. Gerd Sparovek pelo apoio e infra-estrutura disponibilizados para realização do trabalho.

Ao corpo docente ligado ao curso, especialmente aos professores: Dr. Sérgio Nascimento Duarte, Dr. José Antonio Frizzzone, Dr. Marcos Vinícius Follegatti, Dr. Tarlei Arriel Botrel, Dr. Quirijn de Jong van Lier e Dr. Antonio Roberto Pereira, pela colaboração durante a realização do curso.

Ao professor Dr. Benito Moreira de Azevedo, pelo incentivo ao ingresso no curso.

Ao professor Dr. Milcíades Gadelha de Lima pela concessão de dados e apoio na realização do trabalho.

Ao professor Dr. Paulo Augusto Manfron, pelas palavras de encorajamento em momentos decisivos.

Ao Engenheiro Agrônomo Alberto Barreto pela contribuição na área de geoprocessamento.

Aos amigos Nildo Dias, Édson Cabral, Edinaldo Mousinho, Marcos Emanuel, René Chipana, Boanerges Júnior e Luiza Duenhas, pela presteza em momentos difíceis.

Aos colegas de curso Manuel Navarro, Vinícius Maia, Cecília Tojo, Roberta Brushi, Adriana, João Célio, Tales Müller, José Alves Júnior, Tony Araújo e Cláudio Ricardo, pela saudável convivência.

À Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xii
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Cultura de milho: fisiologia da produção	3
2.2 Elementos do clima e produtividade da cultura de milho	4
2.2.1 Temperatura	6
2.2.2 Radiação solar	7
2.2.3 Precipitação pluvial e balanço hídrico	9
2.3 Aptidão agrícola	11
2.4 Modelagem em agricultura	12
2.5 Geoestatística: conceitos e fundamentos gerais	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Desenvolvimento do modelo	16
3.1.1 Conversão de CO_2 em CH_2O	16
3.1.2 Correção para respiração de manutenção e crescimento (CR_{MC})	19
3.1.3 Correção para interceptação de radiação solar (CR_s).....	19
3.1.4 Índice de colheita (IC).....	19
3.1.5 Produtividade potencial de grãos ($\text{PP}_{\text{grãos}}$).....	20
3.2 Balanço hídrico.....	20

3.2.1 Evapotranspiração de referência (ou Potencial).....	20
3.2.2 Índice térmico e coeficiente empírico composto.....	21
3.2.3 Evapotranspiração máxima.....	21
3.2.4 Capacidade de água disponível.....	21
3.2.5 Saldo (S) e negativo acumulado (L).....	22
3.2.6 Variação do armazenamento.....	22
3.2.7 Critérios de iniciar o balanço hídrico.....	22
3.2.8 Evapotranspiração real.....	23
3.2.9 Deficiência hídrica.....	23
3.2.10 Fator de depleção de produtividade (Fd).....	23
3.3 Produtividade deplecionada de grãos ($P_{grãos}$).....	23
3.4 Avaliação do modelo.....	24
3.5 Análise estatística.....	24
3.6 Semivariogramas.....	25
3.7 Elaboração dos mapas.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 Análises de regressão.....	29
4.2 Variáveis climáticas.....	30
4.3 Estimativas de produtividade potencial de grãos de milho.....	31
4.4 Deficiência hídrica.....	37
4.5 Estimativas de produtividade deplecionada de grãos de milho.....	38
4.6 Considerações finais.....	57
5 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Curvas de assimilação de dióxido de carbono (A_{dc} , $\mu\text{L cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$) para plantas C4 em função da radiação solar absorvida (q , $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) e da temperatura (T , $^{\circ}\text{C}$) do ar (adaptado de Heemst, 1986)	17
2 Representação das estações climáticas do Estado de São Paulo com dados de temperatura e chuva utilizados na Krigagem.....	28
3 Representação dos pontos com dados de radiação solar global utilizados na Krigagem.....	28
4 Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) média dos meses de junho a setembro e dezembro a março no estado de São Paulo	31
5 Radiação solar global ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) dos meses de junho a setembro e dezembro a março no Estado de São Paulo	31
6 Comparação entre produtividades potenciais de grãos de milho observadas (P_o , kg.ha^{-1}) (Lima, 1995; Gadioli, 1999; Pioneer, 2002; Forsthofer, 2002) e estimada (P_e , kg.ha^{-1}) pelo modelo proposto	32
7 Produtividade potencial (kg.ha^{-1}) de grãos de milho no estado de São Paulo estimada com início de ciclo no primeiro dia dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho	34
8 Produtividade potencial (kg.ha^{-1}) de grãos de milho no estado de São Paulo estimada com início do ciclo no primeiro dia dos meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro	35
9 Deficiência hídrica (mm) do solo no período referente aos meses de junho a setembro, e dezembro a março no estado de São Paulo	37

10 Produtividade deplecionada (kg.ha^{-1}) de grãos de milho no estado de São Paulo estimado com época de semeadura no primeiro dia dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e julho.....	39
11 Produtividade deplecionada (kg.ha^{-1}) de grãos de milho no estado de São Paulo estimado com época de semeadura no primeiro dia dos meses julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro.....	40

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Espectro da radiação solar, o seu efeito nas plantas e os instrumentos utilizados na sua medição.....	8
2 Regiões espectrais de maior importância para as plantas.....	8
3 Parâmetros referentes aos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de temperatura utilizados na interpolação por Krigagem.....	25
4 Parâmetros referentes aos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de chuva utilizados na interpolação por Krigagem.....	26
5 Parâmetros referentes aos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de radiação solar global utilizados na interpolação por Krigagem.....	26
6 Coeficientes e respectivos intervalos de confiança (95%) das análises de regressão para estimativa de A_{dc} , IAF, CR_{mc} e k	29
7 Análises de variância das análises de regressão para estimativa de A_{dc} , IAF, CR_{mc} e k	30
8 Produtividades potenciais de grãos de milho observadas (P_o) e estimadas (P_e) e os respectivos desvios (d , %)......	32
9 Campeões nacionais de produtividade de milho no Brasil no período de 1981 a 1999.....	36
10 Genótipos de milho mais recomendados para cada época de semeadura nos 645 municípios do estado de São Paulo. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável.....	42

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

α	Declinação solar (radianos)
ϕ	Latitude local (radianos)
q	Radiação solar absorvida ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)
C	Duração do ciclo da cultura (dias)
T	Temperatura média do ciclo ($^{\circ}\text{C}$)
i	Período mensal
j	Período diário
f	Período entre a emergência e o florescimento do milho (dias)
H	Fotoperíodo (horas)
k	Coefficiente de extinção da radiação solar
u	Umidade (%)
Dr	Desenvolvimento relativo
Fd	Fator de depleção de produtividade
T_b	Temperatura basal do milho (10°C)
R_s	Radiação solar global ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)
IC	Índice de colheita
GD	Graus-dia ($^{\circ}\text{C}.\text{dia}$)
P_{rc}	Poder refletor da cultura
D_{FR}	Duração da fase reprodutiva (dias)
CR_s	Correção para interceptação de radiação solar
ET_0	Evapotranspiração de referência (mm)

I	Índice térmico
<i>a</i>	Coefficiente empírico composto
ET _m	Evapotranspiração máxima (mm)
ET _r	Evapotranspiração real (mm)
S	Saldo (balanço hídrico) (mm)
<i>L</i>	Negativo acumulado (mm)
N	Número de dias para o cálculo de ET ₀
ppt	Precipitação (ou chuva) (mm)
Kc	Coefficiente de cultivo
CAD	Capacidade de água disponível (mm)
Arm	Armazenamento de água no solo (mm)
θ _{cc}	Umidade do solo à capacidade de campo (cm ³ .cm ⁻³)
θ _{pmp}	Umidade do solo no ponto de murcha permanente (cm ³ .cm ⁻³)
Ze	Profundidade efetiva do sistema radicular (cm)
Dh	Deficiência hídrica (mm)
<i>Exc</i>	Excedente hídrico (mm)
PP _{grãos}	Produtividade potencial de grãos de milho (kg.ha ⁻¹)
P _{grãos}	Produtividade deplecionada de grãos de milho (kg.ha ⁻¹)
IAF	Índice de área foliar (m ² .m ⁻²)
Adc	Assimilação de CO ₂ (μl.cm ⁻² .h ⁻¹)
CR _{mc}	Correção para respiração de manutenção e crescimento
pmp	Ponto de maturidade fisiológica
M _{CH2O}	Massa bruta de carboidrato produzido (kg.ha ⁻¹)

MODELO PARA ESTIMAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Autor: LUÍS GONZAGA MEDEIROS DE FIGUEREDO JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. DURVAL DOURADO NETO

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo propor um modelo para estimação da produtividade de grãos de milho para o Estado de São Paulo com base nos valores mensais de temperatura, radiação solar e chuva, no intuito de disponibilizar ferramenta para o planejamento regional (identificação das épocas do ano e dos locais mais indicados para o cultivo de milho). O uso de modelos de crescimento e desenvolvimento vegetal possibilita uma economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para tomada de decisões referentes ao manejo no setor agrícola por possibilitar uma previsão do processo de interesse e/ou um melhor entendimento do sistema em estudo. O conhecimento da quantidade de energia solar disponível às plantas, bem como da capacidade de conversão da mesma em energia química metabólica, possibilita prever produtividade de grãos, no caso do milho, quanto à eficiência de conversão em biomassa, através de um modelo geral mecanístico, levando em consideração aspectos agrometeorológicos, fisiológicos, genéticos e edáficos. A assimilação de CO_2 pode ser convertida em massa de carboidrato, produzida durante o processo de fotossíntese, em função do índice de área foliar, temperatura e radiação solar absorvida. Estimando-se os valores de radiação solar absorvida, fotoperíodo, índice de área foliar e duração do ciclo, considerando as correções quanto à respiração de manutenção e crescimento, bem como a variação temporal da área foliar, pode-se transformar esse valor em massa líquida de carboidrato total final produzida durante o ciclo. O balanço hídrico foi utilizado com a

finalidade de estimar a deficiência hídrica durante o ciclo da cultura de milho, sendo adotado o método de Thornthwaite & Mather (1955), sendo a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Thornthwaite (1948). A produtividade deplecionada de grãos de milho foi estimada a partir dos dados de produtividade potencial predita pelo modelo, considerando-se a depleção em função da evapotranspiração relativa (relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração da cultura). A partir de dados climáticos obtidos de estações e postos meteorológicos localizados em diversas partes do estado de São Paulo, foram elaborados mapas de superfície no programa TNTmips, com a identificação, por município, das localidades com potencial para o desenvolvimento da cultura de milho. Através destes mapas, é possível identificar restrições quanto à deficiência hídrica, temperatura, radiação solar, produtividade potencial e produtividade de grãos de milho no estado de São Paulo.

MODEL TO ESTIMATE CORN YIELD AT SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Author: LUÍS GONZAGA MEDEIROS DE FIGUEREDO JÚNIOR

Adviser: Dr. DURVAL DOURADO NETO

SUMMARY

The present work has the objective to suggest a model to estimate potential yield and corn yield for São Paulo state based on monthly values of temperature, solar radiation and rainfall, in order to dispose a tool for regional planning (identification of sites and timing during the year more indicated for maize cropping). The use of growing and development models allows savings in time, work and resources needed for making decisions regarding agricultural management, by enabling a preview of the process of interest and/or a better understanding of the system being studied. The knowledge of the available amount of solar energy to plants and the capability of those to convert it into metabolic chemical energy, allows to preview grain yield, in the case of corn, regarding to biomass converting efficiency, through a general mechanistic model, considering agro-meteorological, physiological, genetical and edaphological aspects. The carbon dioxide (CO₂) assimilation can be converted into mass of carbohydrates produced during photosynthesis process, as a function of leaf area index, air temperature and absorbed solar radiation. By estimating the values of solar radiation, the photoperiod, the leaf area index, and the cycle length, and considering the corrections related to growing and maintenance respiration, as well as the temporal variation of leaf area, it is possible to transform those value into final net mass of total carbohydrate produced during the cycle. The hydric balance, as proposed by Thornthwaite & Mather (1955), was used with the objective to estimate the hydric deficit during maize cycle, being the reference

evapotranspiration being estimated by Thornthwaite (1948). Corn yield was estimated up from potential yield predicted by the model, considering the depletion from the relative evapotranspiration (relation between real evapotranspiration and crop evapotranspiration). Starting from climatic data obtained from several meteorological station located at different sites in São Paulo State, Brazil, surface maps were elaborated using TNTmips software, with the identification, by county, of those sites with maize development potential. Through those maps it is possible to identify restriction regarding hydric deficit, temperature, solar radiation, potential yield, and corn yield in São Paulo State.

1 INTRODUÇÃO

Em função do valor nutritivo e dos altos rendimentos alcançados, o milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, assumindo grande importância social e econômica. No Brasil, o milho é cultivado em todas as regiões, ocupando uma área de aproximadamente 13 milhões de hectares (Conab, 2004a).

A produtividade média de grãos de milho (safra normal) no Brasil e no Estado de São Paulo é da ordem de 3.500 kg.ha⁻¹ e 4.600 kg.ha⁻¹, respectivamente (Conab, 2004b), valores muito abaixo do desejado, considerando seu potencial produtivo, que com a utilização de alto nível tecnológico, ultrapassa 16.000 kg.ha⁻¹ (Coelho, 2003). Todavia, a cultura de milho vem experimentando importantes avanços nos mais diversos campos da ciência agrônômica, possibilitando uma melhor compreensão do processo produtivo e de suas interações com o meio, o que tem gerado aumentos significativos na produtividade, principalmente na região Centro-Sul, responsável por mais de 90% do total produzido no país (Conab, 2004a).

Novas tecnologias como sistemas de informações geográficas, sensoriamento remoto e modelos de simulação de crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas, vêm sendo desenvolvidas nas últimas décadas, abrindo novos caminhos para pesquisa de planejamento e manejo de práticas agrícolas.

O uso de modelos de culturas para simulações em computadores possibilita uma economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para planejamento e tomada de decisões de manejo no setor agrícola. A utilização de modelos de culturas em associação a técnicas de geoprocessamento facilita a identificação de locais e épocas mais recomendadas para o desenvolvimento das culturas, tornando-se uma importante ferramenta para o zoneamento agrícola e difusão de informações.

O conhecimento das relações energia-planta é imprescindível para a elaboração de modelos de cultura bem estruturados. Dessa maneira, para que os resultados obtidos sejam satisfatórios, os principais processos fisiológicos da planta, bem como sua interação com as condições do ambiente, devem ser corretamente estimados. Não obstante, a caracterização espaço-temporal de elementos climáticos como temperatura, radiação solar e chuva, é um fator decisivo para a aplicação de um modelo de cultura.

O presente trabalho tem por objetivo propor um modelo para estimação da produtividade de grãos de milho para o Estado de São Paulo com base nos valores mensais de temperatura, radiação solar e chuva, no intuito de disponibilizar ferramenta para o planejamento regional (identificação dos locais e das épocas do ano mais indicados para o cultivo de milho).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura de milho: fisiologia da produção

Entre as principais culturas de cereais dos trópicos sub-úmidos e semi-áridos, o milho tem a mais alta produtividade em condições adequadas de água e fertilidade do solo. Porém, é uma das culturas mais sensíveis ao estresse hídrico (Lima, 1995). Além disso, a capacidade da planta em produzir fitomassa seca está diretamente relacionada com a quantidade de energia luminosa disponível e com a capacidade de aproveitamento dessa energia. Por esse motivo, torna-se importante a análise do desenvolvimento da cultura em diferentes situações (Costa, 1994).

O milho, por ser um planta tipo C4, apresenta características fisiológicas favoráveis no que se refere à eficiência de conversão de carbono mineral (representado pelo gás carbônico da atmosfera) em compostos orgânicos como os carboidratos. Isto ocorre porque no processo fotossintético destas plantas, o CO₂ é continuamente concentrado nas células da bainha vascular das folhas e, em seguida, redistribuído para posterior utilização (Salisbury, 1992).

A principal diferença fisiológica entre as plantas que apresentam fotossíntese C3 e C4, está relacionada ao processo de fotorrespiração. As plantas de fotossíntese C3 perdem de 20 a 50% do carbono fixado devido a fotorrespiração, enquanto as plantas com fotossíntese C4, como o milho, não apresentam perdas mensuráveis de CO₂ neste processo (Floss, 2002).

A respiração é o processo pelo qual compostos altamente energéticos são sintetizados a partir dos carboidratos produzidos na fotossíntese, podendo ser dividida, teoricamente, em respiração de crescimento e de manutenção. A respiração de crescimento é definida como a produção de novos compostos orgânicos, enquanto a de

manutenção consiste na realocação de outros compostos existentes e está relacionada com o consumo de energia para promover a organização estrutural da planta (Oliveira, 1990).

O rendimento fotossintético da planta representa a interação entre a resposta fotossintética de folhas individuais com a disponibilidade de luz que incide sobre elas (Costa, 1994). A eficiência de interceptação de radiação solar depende da idade da planta, da arquitetura foliar, do arranjo espacial de plantas e da população empregada, ao passo que a eficiência de conversão, depende principalmente da temperatura, do estado nutricional e do equilíbrio hídrico das plantas.

A fotossíntese é função da magnitude da área foliar e da duração das folhas em plena atividade com balanço energético positivo, enquanto a variação temporal da área foliar depende do tipo de cultura. Geralmente, a área foliar aumenta até um máximo, onde permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, sobretudo em função da senescência das folhas mais velhas (Pereira & Machado, 1987). Nesse sentido, Gadioli (1999) acrescenta que a produtividade da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa.

A partição dos fotoassimilados é função principalmente do genótipo e das relações de fonte-dreno (Dourado Neto, 1999). O índice de colheita, ou seja, a fração dos grãos produzidos em relação à fitomassa seca total da planta pode indicar a habilidade de um híbrido combinar produtividade e destinar fitomassa seca acumulada aos componentes de interesse econômico (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

2.2 Elementos do clima e produtividade da cultura de milho

A importância das condições climáticas, durante a estação de crescimento na produtividade da cultura de milho, é amplamente reconhecida por muitos pesquisadores (Fancelli & Lima, 1982; Rosenberg et al., 1983; Cruz et al., 1994; Dourado Neto, 1999; Fancelli & Dourado Neto, 2000). Por outro lado, as características agroclimáticas de várias localidades podem influenciar diferentemente a produtividade da cultura.

Entende-se por produtividade potencial de uma cultura, a máxima produção por unidade de área obtida por um genótipo altamente produtivo e bem adaptado ao respectivo ambiente, em condições (durante todo o ciclo) de adequado suprimento de água e nutrientes, e sem sofrer limitações por fatores externos tais como pragas e doenças. A produtividade deplecionada da cultura, por sua vez, é a produção por unidade de área em condições tais que pelo menos um fator interfere no processo produtivo, limitando o potencial do genótipo considerado (Doorenbos & Kassam, 1994).

Dessa maneira, a extensão com que a cultura pode expressar o seu potencial genético é determinada por sua interação com a radiação solar, temperatura do ar, pressão de vapor d'água na atmosfera, velocidade do vento e características físico-hídricas do solo (Rosenberg et al., 1983). A quantificação da relação entre a produtividade da cultura e variáveis agroclimáticas, permite que o impacto dessas variáveis na produtividade, durante o ciclo da cultura, seja avaliado (Mondragón, 1990).

O milho, sendo uma planta de origem tropical, exige, durante o seu ciclo vegetativo, calor e água para se desenvolver e produzir satisfatoriamente, proporcionando produtividades compensadoras. Independente da tecnologia aplicada, o período de tempo e as condições climáticas em que a cultura é submetida constituem-se em preponderantes fatores de produção.

A quantificação dos elementos do clima, portanto, pode ser utilizada no ajuste de modelos de simulação de desenvolvimento e crescimento de culturas, tornando-se um importante instrumento para pesquisa, planejamento e monitoramento de culturas (Pandolfo, 1995).

A utilização de modelos probabilísticos adequados para estimativa da distribuição de chuva, radiação solar e temperatura, permite obter precisão matemática e resultados consistentes, mesmo em séries históricas mais curtas de dados (Camargo et al., 1985; Frizzone et al., 1985; Alfonsi et al., 1995). Entretanto, em alguns casos não é possível dispor de séries históricas de dados climáticos. Nessas circunstâncias, a média passa a ser o parâmetro utilizado.

2.2.1 Temperatura

A temperatura expressa, em valores numéricos, o nível de energia interna em função da temperatura do ar naquele momento, possibilitando trocas com o sistema e o meio, provocando estímulos, ativando ou desativando funções vitais, tais como a respiração e transpiração (Ometto, 1981).

A elevação da temperatura contribui para a redução da taxa fotossintética líquida em função do aumento da respiração, interferindo diretamente na produção. Assim, temperaturas elevadas prevalecentes no período noturno (superior a 24 °C) promovem um consumo energético demasiado, em função do incremento da respiração celular, ocasionando menor saldo de fotoassimilados, com conseqüente queda na produtividade da cultura de milho (Dourado Neto, 1999). Em contrapartida, a maioria dos materiais (híbridos ou variedades cultivadas) existentes atualmente não se desenvolve em temperaturas inferiores a 10 °C, que é considerada a temperatura basal para a espécie (Villa Nova et al., 1972).

No desenvolvimento do milho, a duração do ciclo em dias tem demonstrado inconsistência. Isso se deve ao fato de que a duração de subperíodos e dos ciclos da planta estão associados às variações das condições ambientais, e não ao número de dias dos meses. De forma generalizada, a temperatura apresenta-se como o elemento climático mais importante para predizer os eventos fenológicos da cultura (Gadioli, 1999).

Tendo em vista o sucesso na predição de datas de ocorrência dos estádios de desenvolvimento da cultura do milho, modeladores têm assumido que o conceito *unidade térmica* é universalmente aplicável (Lima, 1995). Conforme Villa Nova et al. (1972), a quantidade de energia exigida por uma cultura tem sido expressa em graus-dia, ou unidades térmicas de desenvolvimento, exigência térmica, exigência calórica. A base teórica para essa técnica é que, dos processos envolvidos no desenvolvimento da cultura, todos são sensíveis à temperatura do ar, cabendo enfatizar que a resposta das plantas à temperatura do ar obedece a limites (inferior e superior) e é extensiva ao desenvolvimento total da cultura.

Os genótipos de milho são classificados comercialmente em normais, precoces e superprecoces, conforme suas exigências calóricas no período compreendido entre a emergência e o florescimento (fase vegetativa). Os genótipos normais apresentam exigências térmicas de 890 a 1200°C.dia, os precoces, de 831 a 890°C.dia, e os superprecoces, de 780 a 830°C.dia (Embrapa, 2004).

2.2.2 Radiação solar

A radiação solar que alcança a superfície terrestre pode ser separada basicamente em dois componentes, um quando a radiação é direta, outro quando é refletida ou espalhada por nuvens e pela atmosfera (Goudriaan & Laar, 1992). A radiação independente de ser direta ou difusa pode ser separada em duas bandas, ou seja, radiação de baixo comprimento de onda ($< 3000\text{nm}$) e radiação térmica ($> 3000\text{nm}$).

As radiações de baixo comprimento de onda são subdivididas ainda em bandas, as quais produzem diferentes efeitos sobre as plantas (Tabela 1 e Tabela 2). A faixa de radiação dita visível (400 a 700 nm) tem especial interesse porque estas radiações são fotossinteticamente ativas (Kubins, 1971).

O balanço de energia radiante, denominado de radiação líquida, vem a ser o saldo de radiação sobre uma superfície (Ometto, 1981). Algumas considerações sobre a importância do balanço de energia e a radiação líquida na determinação do fluxo de vapor d'água na atmosfera são feitas por Villanueva (1987) e diversos foram os estudos desenvolvidos por pesquisadores voltados ao monitoramento do saldo de radiação, bem como aos aspectos de sua partição nos mais variados sistemas agrícolas. Esses fatores são de grande importância para verificação da quantidade e distribuição de luz na cobertura vegetal.

A radiação solar é praticamente a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. Sendo assim, a produção final de fitomassa seca de uma planta depende, em última instância, da eficiência com que as folhas convertem energia radiante em energia química por meio da fotossíntese (Assis & Mendez, 1989).

Tabela 1. Espectro da radiação solar, o seu efeito nas plantas e os instrumentos utilizados na sua medição

Nome	Faixa (nm)	Efeitos nas plantas	Instrumentos
Ultravioleta	< 280	Morte rápida	Termófilo com filtros espectrais
	280 – 315	Prejudicial	
	315 – 400	Morfogênico	
Visível	400 – 700	Fotossintético	Medidor de fluxo quântico
Vermelho	610 – 700	Morfogênico	Termófilo com filtros
Infravermelho	700 – 800	Morfogênico	Termófilo com filtros
Ondas-curtas	300 – 3000	Fotossintético, Morfogênico, balanço energético	Termófilo coberto com vidro
Terrestre (térmica)	$3 \times 10^3 - 10^5$	Balanço energético	Termófilo com filtros
Radiação total e líquida	$300 - 10^5$	Balanço energético e hídrico	Termófilos com polietileno

Fonte: Kubins (1971)

Tabela 2. Regiões espectrais de maior importância para as plantas

Região espectral (nm)	Caráter de absorção	Efeito fisiológico
Ultravioleta < 280	Pelo protoplasma	Letal em grandes quantidades
280 – 315	Pelo protoplasma	Grande efeito morfogênico; estimula algumas biossínteses; grande efeito nos processos fisiológicos
315 – 400	Pelas clorofilas e protoplasma	Sem nenhum efeito específico, pequeno efeito na fotossíntese
Radiação ativa fotossinteticamente		
400 – 510	Forte, pelas clorofilas e carotenóides	Grande efeito na fotossíntese; grande efeito morfogênico
510 – 610	Menos que o anterior	Pequeno efeito na fotossíntese
610 – 720	Forte, pelas clorofilas	Grande efeito na fotossíntese
Infravermelho		
720 – 1000	Fraca	Estimula o processo de alongação
> 1000	Pela água dos tecidos	Sem nenhum efeito sobre os processos fotoquímicos ou bioquímicos; convertido a calor

Fonte: Kubins (1971)

Com relação ao fotoperíodo, o milho é considerado como planta neutra ou de dias curtos (Reichardt, 1987; Doorenbos & Kassam, 1994). Seu desenvolvimento é, porém, muito afetado pela quantidade de radiação solar, e as maiores produtividades são alcançadas em condições de altas radiações, em virtude de pertencer ao grupo de plantas “C4”, o que lhe confere alta produtividade biológica (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

2.2.3 Precipitação pluvial e balanço hídrico

Nas regiões tropicais, a precipitação pluvial ou chuva, é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície terrestre após os processos de evaporação e condensação, completando, assim, o ciclo hidrológico. A quantidade e a distribuição de chuvas que ocorrem anualmente em uma região determinam o tipo de vegetação natural e o tipo de exploração agrícola possível (Pereira et al., 2002).

A frequência de chuvas é sem dúvida um dos elementos climáticos mais importantes que afetam a produtividade de determinada cultura (Alfonsi et al., 1995). Dessa maneira, o conhecimento da probabilidade de ocorrência de chuvas é importante para manejo das culturas e planejamento da irrigação (Cruz et al., 1994; Alfonsi et al., 1997). Para tanto, é necessário dispor de uma série de dados de chuva no local ou região. Um método simples de calcular a probabilidade de ocorrência de chuva a partir de uma sequência de valores medidos, segundo Thom (1966), baseia-se na ordenação crescente ou decrescente de valores. Se a ordenação for crescente, a probabilidade corresponderá a um valor igual ou menor que o limite escolhido; se for decrescente, estima-se o inverso.

A quantidade de água que se encontra disponível no solo durante as fases fenológicas da cultura é fundamental para o sucesso da produção agrícola. Dessa maneira, Fancelli & Dourado Neto (2000) justificam que a necessidade de suprimento hídrico para o pleno desenvolvimento dos vegetais, decorre das múltiplas funções que ela desempenha na fisiologia das plantas, pois, praticamente todos os processos metabólicos são influenciados pelo conteúdo de água.

Os processos que envolvem fluxo de água (infiltração, redistribuição, evaporação e absorção pelas plantas) são interdependentes e, quase sempre, ocorrem simultaneamente. Reichardt & Timm (2004) consideram que para estudar o ciclo da

água em um solo vegetado, é necessário considerar o balanço hídrico, que se refere ao somatório das quantidades de água que entram e saem de um volume de solo, num dado intervalo de tempo, sendo o resultado a quantidade líquida de água que nele permanece disponível às plantas.

O balanço hídrico é estimado com a finalidade de se conhecer deficiência e/ou excedente hídricos durante o ciclo de uma cultura, constituindo-se uma ferramenta muito útil para a recomendação ou não do seu cultivo em determinada região, bem como para definir época de semeadura (Thorntwaite & Mather, 1955). Assim, um balanço entre a precipitação e a evapotranspiração, pode indicar de forma mais consistente as disponibilidades hídricas de uma região no decorrer do ano, auxiliando sobremaneira no planejamento efetivo da cultura em função do local escolhido, bem como sobre a necessidade do uso de irrigação em determinada época do ano (Fancelli & Lima, 1982).

Na elaboração do balanço hídrico climatológico, o primeiro passo é a seleção da capacidade de água disponível – CAD, ou seja, a lâmina de água correspondente ao intervalo de umidade entre a capacidade de campo – CC e o ponto de murcha permanente – PMP (Pereira et al., 2002). Como o balanço hídrico é mais utilizado para fins de caracterização da disponibilidade hídrica de uma região em bases climatológicas e comparativas, a seleção da CAD é feita em função do tipo de cultura ao qual se quer aplicá-lo e do tipo de solo (Thorntwaite & Mather, 1955).

Para suprir as exigências hídricas da cultura do milho, segundo Fancelli & Lima (1982), deve ocorrer um mínimo de 200 mm de precipitação no verão, sem a necessidade de irrigação. Reichardt (1987) comenta que genótipos de ciclo normal exigem de 500 e 800 mm de água por ciclo. Entretanto, Fancelli & Dourado Neto (2000), destacam que tal limitação encontra-se mais diretamente condicionada à distribuição, do que à quantidade total de chuvas ocorrida no período.

O consumo de água pela cultura do milho varia de acordo com a localização geográfica e condições climáticas. Segundo Castro (1979) foi observado um consumo médio de 4,7 mm por dia em Piracicaba – SP, enquanto Saunders et al. (1984), obtiveram um consumo médio de 5,8 mm por dia no município de Quixadá – CE. Outras observações experimentais referentes a essa cultura, evidenciam índices diários de

consumo de água próximos a 10 mm, quando as plantas encontram-se submetidas a condições de intenso calor e baixa umidade relativa do ar (Daker, 1969).

A cultura do milho apresenta três estádios de desenvolvimento mais sensíveis ao déficit hídrico: o primeiro é a iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; o segundo refere-se ao subperíodo de fertilização, quando o potencial de produção é estabelecido; o terceiro é o do enchimento de grãos (Paterniani, 1978). Por outro lado, as fases mais sensíveis ao excedente hídrico são a germinação, a diferenciação do pendão e, do espigamento até a maturação fisiológica (Mondragón, 1990).

A relação entre a produtividade relativa e a evapotranspiração relativa (razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima) vem sendo utilizada em modelos de simulação de culturas que utilizam disponibilidades energética (Doorenbos & Kassam, 1994) e hídrica (Chang, 1968, citado por Medeiros et al., 1991), assumindo grande importância no planejamento das culturas irrigadas. Uma vez estabelecida a curva de resposta entre evapotranspiração relativa e produtividade, é possível avaliar a eficiência da irrigação sobre o rendimento, o que permite obter uma estimativa com e sem o uso da irrigação, a partir de dados do balanço hídrico.

2.3 Aptidão agrícola

Uma região apresenta várias sub-regiões com distintas condições de solo e clima e, portanto, com potenciais distintos para a exploração econômica de determinada cultura (Ramalho Filho & Beek, 1995).

A aptidão agrícola dos solos para a agricultura, segundo Fancelli & Lima (1982), é influenciada por quatro fatores distintos e diretamente ligados a uma atividade agrícola racional, ou seja: (i) fertilidade; (ii) disponibilidade de água; (iii) susceptibilidade à mecanização e (iv) deficiência de aeração. O melhoramento de quaisquer desses fatores, por sua vez poderá ser extremamente dependente do grau de conhecimento técnico do agricultor, das condições sócio-econômicas predominantes na região, do complexo climático local, das oportunidades de mercado, do destino da produção, além de outros relativos à situação reinante no momento.

Fancelli & Dourado Neto (2000) acrescentam que para o milho, bem como para qualquer outra cultura, evidencia-se a necessidade da ocorrência de um conjunto de fatores edafoclimáticos plenamente interligados, de forma a propiciar um desenvolvimento adequado à planta, conferindo rendimento compensatório.

A elaboração de modelos eficientes que permitem obter a previsão de safra e a indicação da cultura de milho para uma determinada região está na dependência do conhecimento das exigências calóricas dessa cultura e das condições dos elementos do clima (radiação solar, temperatura e precipitação pluvial, principalmente), bem como da correta interpretação de levantamento de solos.

2.4 Modelagem em agricultura

Reynolds (1979) definiu modelo como sendo uma equação ou conjunto de equações que representam um processo. Para De Wit (1982), modelo é a representação simplificada de um sistema, enquanto simulação é a arte de construir modelos matemáticos. Em ciência, modelos são ferramentas que ajudam a conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico (Leal & De-Polli, 1999).

Existem diversas classificações propostas para diferenciar os modelos. Uma delas divide os modelos em matemáticos e de simulação. O primeiro tipo refere-se a representações matemáticas de um fenômeno, enquanto o segundo engloba um ou mais modelos matemáticos, representando fenômenos mais complexos (Barros, 1998).

Os modelos matemáticos podem ser de três tipos: (i) empíricos, baseados em dados puramente observados; (ii) estocásticos, em que o processo é descrito pelas leis de probabilidade e (iii) mecanísticos, que consideram as leis físicas, químicas e biológicas no processo, sendo os mais versáteis dentre os tipos de modelos matemáticos (Pautian et al., 1992).

Os modelos de simulação, conforme Addiscott (1993) podem ser divididos em: (i) determinísticos, em que um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido e (ii) estocásticos, em que a incerteza é considerada na sua estrutura. Essas duas categorias mencionadas podem ainda dividir os modelos de simulação em: (i)

mecanísticos, que procuram descrever os mecanismos envolvidos no processo e (ii) funcionais, que descrevem apenas os aspectos gerais do processo.

Pesquisadores de diversas partes do mundo vêm usando vários modelos de culturas, testando a habilidade na simulação de eventos fenológicos, produção de biomassa e produtividade de grãos (Dourado Neto, 1999).

Segundo Thornley (1976), inúmeras vantagens podem ser conseguidas com o uso de modelos bem elaborados, considerando que os mesmos devem resumir convenientemente uma gama de informações, permitindo progressos no conhecimento da planta e suas interações com o ambiente, além de esclarecer pontos em que o conhecimento seja limitado.

Os modelos de simulação de crescimento e previsão de produtividade de culturas permitem fazer simulações de longo prazo, sendo realizadas geralmente a um baixo custo, utilizando-se características do solo e práticas de manejo da cultura durante o período de dados climatológicos históricos disponíveis para determinado local (Muchov et al., 1991).

A previsão de produtividade torna-se mais precisa quando os modelos de simulação são usados para estimar a produção em grandes áreas (Lozarda & Angelocci, 1999). Por outro lado, Hoogenboom (2000) afirma que a utilização de modelos, com fins de predição, pode ter aplicações, tanto previamente à semeadura, como durante o crescimento e desenvolvimento da cultura, podendo essa informação ser usada ao nível de propriedades rurais ou de instituições governamentais para planejamento de políticas agrícolas.

Diversos autores desenvolveram modelos que simulam o desenvolvimento da planta, o acúmulo de fitomassa seca nos diferentes componentes da planta e o índice de área foliar, em função de parâmetros fenológicos e climáticos (Keulen et al., 1982; Keulen & Wolf, 1986; Spitters et al., 1986a,b). Cada um destes modelos simula parte do processo de produção da planta ou cultura, sendo desenvolvidos em condições climáticas específicas. Apesar de sua importância para a pesquisa e a agricultura, sua aplicação pode tornar-se limitada quando se pretende fazer estimativas em condições distintas daquelas em que tais modelos foram desenvolvidos.

O modelo “Water and Agrochemical Vadose Environment” (WAVE) foi desenvolvido em condições climáticas mais amplas. Esse modelo é parte de um projeto do Instituto de Pesquisas científicas na agricultura e indústria da Bélgica, sendo resultado de inúmeras pesquisas que objetivaram o desenvolvimento, a calibração e validação de modelos matemáticos que descrevem a quantidade de matéria e energia no sistema solo-planta-atmosfera, e consistem de diferentes módulos de simulação do crescimento de plantas e movimento da água, solutos, calor e nitrogênio no solo (Vanclooster et al., 1994).

Uma equipe interdisciplinar do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos desenvolveu o modelo Crop-Environment Resource Synthesis (CERES)-Maize com o objetivo de quantificar os efeitos independentes e interativos do genótipo, clima e atributos do solo no crescimento e produção de milho. O referido modelo simula os principais processos fisiológicos da planta, incluindo: fotossíntese; respiração; acumulação e partição de fitomassa; fenologia; crescimento de folhas, caules e raízes; extração de água do solo e, evapotranspiração (Hoogenboom, 2000).

Os modelos WAVE e CERES-Maize, são capazes de simular satisfatoriamente em distintas situações (Vanclooster et al., 1994, Lima, 1995; Soler, 2000). Contudo, estes modelos são bastante complexos e sua aplicação requer uma grande quantidade de parâmetros de entrada, tornando sua utilização limitada pela dificuldade na obtenção dos dados requeridos nas simulações.

Com base nas relações energia-planta, um procedimento mais simples foi desenvolvido por Doorenbos & Kassam (1994) para estimativa da produtividade potencial de diversas culturas, incluindo o milho. Simulações realizadas com a utilização deste modelo, requerem uma quantidade relativamente pequena de dados de entrada, o que facilita sua aplicação (Villa Nova et al., 2001). O modelo desenvolvido no presente trabalho tem por base as equações apresentadas por Doorenbos & Kassam (1994) para estimativa da produtividade potencial da cultura de milho.

2.5 Geoestatística: conceitos e fundamentos gerais

A estatística clássica utiliza parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno, e baseia-se na hipótese de que as variações de um local para outro são aleatórias (Gomes & Garcia, 2002). Quando uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial, deve-se utilizar um enfoque relativamente novo, ou seja, a geoestatística (Oliver & Webster, 1991; Gaston et al., 2001). Este enfoque tem como base, a teoria das variáveis regionalizadas, que é a aplicação do formalismo das funções aleatórias para o reconhecimento e a estimativa de fenômenos naturais (Matheron, 1971).

Para determinar qual dessas duas áreas da estatística é mais adequada para cada caso, a ferramenta utilizada é o semivariograma, que expressa a dependência espacial entre as amostras (Gonçalves, 1997; Frogbrook et al., 2002). O ajuste de modelos matemáticos aos pontos de um semivariograma, segundo Goovaerts (1999), normalmente é feito pelos métodos da minimização do quadrado dos desvios, assumindo normalidade e independência dos resíduos e homogeneidade de variâncias.

Para Webster (1985), um modelo matemático a ser ajustado ao semivariograma, necessita incluir três parâmetros: um intercepto ou “efeito pepita”, um “patamar”, atingido após uma distância correspondente ao “alcance”. Além disto, a forma da curva deve se ajustar aos pontos experimentais na região de crescimento da função, ou seja, para a distância entre zero e o alcance.

No caso de haver dependência espacial, pode-se estimar valores da propriedade em estudo para os locais não amostrados na área considerada, por meio de técnicas de interpolação. O método da krigagem, bastante utilizado em ciência agrônoma (Goovaerts, 1999; Viana da Mata et al., 1999; Deegle & Ribeiro Júnior, 2000; Cerri, 2003), utiliza um interpolador não tendencioso e de variância mínima que assegura a melhor estimativa dos dados, por ser de variância mínima e por assegurar que o somatório dos pesos é igual à unidade. Essa estimativa tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir destes dados (Gonçalves, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Desenvolvimento do modelo

Baseado nas relações entre dados agroclimáticos e a conversão de energia solar que resulta em produção de fitomassa seca, elaborou-se o modelo para estimar a produtividade da cultura de milho.

3.1.1 Conversão de CO₂ em CH₂O

A fixação de dióxido de carbono (CO₂) pelas plantas, para a produção bruta de carboidrato (CH₂O) está relacionada com a fração da radiação fotossinteticamente ativa do espectro solar, de acordo com a seguinte equação:

A assimilação de CO₂ pelas plantas C4 praticamente cessa com baixos valores de energia, e varia também em função da temperatura. A relação de dependência entre a fixação de CO₂ pela cultura de milho, radiação solar absorvível e temperatura (Figura 1), foi construída com base em dados experimentais obtidos por Heemst (1986), que quantificou o processo em câmaras de controle interno de temperatura e irradiância. A partir destes dados chegou-se ao modelo para estimativa da assimilação de CO₂ em plantas C4, expresso pela equação:

$$A_{dc} = a.e^{-\frac{1}{2}\left\{\frac{1}{c}\left[\ln\left(\frac{q}{b}\right)\right]^2 + \frac{1}{f}\left[\ln\left(\frac{T}{d}\right)\right]^2\right\}} \quad (2)$$

em que A_{dc} se refere à assimilação de CO₂ (μL.cm⁻².h⁻¹), q à radiação solar absorvida (cal.cm⁻².min⁻¹, $0 < q \leq 0,4$), T à temperatura média do ciclo (°C, $15 \leq T \leq 35$), e a , b , c , d , f aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão múltipla

($a = 262,9636617 \mu\text{L}.\text{cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$; $b = 0,468547664 \text{ cal}.\text{cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$; $c = 1,230198161$; $d = 33,54420813 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $f = 0,538660895$).

Figura 1 - Curvas de assimilação de dióxido de carbono (Adc , $\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$) para plantas C4 em função da radiação solar absorvida (q , $\text{cal}.\text{cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) e da temperatura (T , $^{\circ}\text{C}$) do ar (adaptado de Heemst, 1986)

Sendo as massas moleculares de $\text{CO}_2 = 44\text{g mol}^{-1}$ e de $\text{CH}_2\text{O} = 30\text{g mol}^{-1}$, a assimilação de dióxido de carbono ($\mu\text{L}.\text{cm}^{-2}.\text{h}^{-1}$) pode ser convertida em massa bruta de carboidrato produzido ($\text{MP}_{\text{CH}_2\text{O}}$, $\text{g}.\text{h}^{-1}.\text{cm}^{-2}$ de folha), a partir da equação geral dos gases e de dados climáticos (temperatura e radiação solar absorvida).

Considerando-se a massa bruta de carboidrato produzido como sendo o valor médio diário para a duração do ciclo inteiro (DC_{pmf} , dias), estimado a partir do número de graus-dia, da emergência ao ponto de maturidade fisiológica (GD_{pmf} , $^{\circ}\text{C}.\text{dia}$), conhecendo-se o fotoperíodo médio do ciclo (H , $\text{horas}.\text{dia}^{-1}$) e o índice de área foliar médio no ciclo (IAF_m , $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$), estimado em função do desenvolvimento relativo da cultura (Dr_j), pode-se estimar o rendimento de carboidrato total ($\text{M}_{\text{CH}_2\text{O}}$, $\text{kg}.\text{ha}^{-1}.\text{ciclo}^{-1}$), através das seguintes equações:

$$M_{CH_2O} = \frac{36,585 \cdot Adc \cdot IAF_m \cdot DC_{pmf} \cdot H}{T + 273} \quad (3)$$

$$DC_{pmf} = \frac{GD_{pmf}}{(T - T_b)} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{180} \cdot \text{sen} \left[\frac{\pi}{180} \cdot \text{sen}(dj + 283) \cdot \frac{360}{365} \right] \cdot 23,5 \quad (5)$$

$$H = \frac{24}{\pi} \cdot \arccos[-tg(\alpha) \cdot tg(\phi)] \quad (6)$$

$$IAF_j = e^{a+b \cdot Dr_j + c \cdot \sqrt{Dr_j}} \quad (7)$$

$$IAF_m = \left(\frac{\sum_{j=1}^{DC_{pmf}} IAF_j}{DC_{pmf}} \right) \cdot FC_{IAF} \quad (8)$$

$$Dr_j = \frac{GD_j}{GD_{pmf}} = \frac{\sum_{jj=1}^j (T_{jj} - Tb)}{\sum_{jj=1}^{DC_{PMF}} (T_{jj} - Tb)} \quad (9)$$

em que T_b se refere à temperatura basal da cultura (10°C, Villa Nova et al., 1972), T_{jj} à temperatura (°C) média diária, α à declinação solar (radianos) no dia juliano (dj) mediano do ciclo, ϕ à latitude (radianos) do local, GD_{pmf} ao número de graus-dia, da emergência ao ponto de maturidade fisiológica, e a , b , c aos parâmetros empíricos determinados em análise de regressão ($a = -7,63393 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$; $b = -15,55692 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$; $c = 24,176556 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), a partir de dados obtidos por Lima (1995) para genótipos de milho com exigências calóricas alta, média e baixa. Considerando que ocorre uma variação linear do IAF para populações (P_o) entre 4 e 6,5 plantas. m^{-2} (Basanta, 1999), utiliza-se um fator de correção (FC_{IAF}) para ajustar o IAF_m , expresso por:

$$FC_{IAF} = 0,11764 \cdot P_o + 0,2915 \quad (10)$$

Para se transformar a massa bruta de carboidrato total final (M_{CH_2O}) em massa de matéria seca dos diferentes órgãos (grãos, folhas, raízes, p.e.), é necessário que se façam algumas correções.

Com base no conceito de De Wit (1965, 1982), concebido para estimar produtividade potencial de uma cultura através da energia disponível no local considerado, e a partir de dados experimentais obtidos na literatura, chegou-se às correções necessárias para estimar a produtividade potencial da cultura de milho.

3.1.2 Correção para respiração de manutenção e crescimento (CR_{MC})

A fitomassa seca consumida nos processos de manutenção e crescimento ao longo do desenvolvimento depende principalmente da temperatura média do ar (T), sendo a correção utilizada para estimar o saldo (fotossíntese líquida) expressa por:

$$CR_{MC} = a + b.T + cT^2 \quad (11)$$

em que a , b , c , se referem aos parâmetros empíricos determinados em análise de regressão com base em dados obtidos de Doorenbos & Kassam (1994), sendo $a = -0,545$; $b = 0,0786^\circ\text{C}^{-1}$; $c = -0,0013^\circ\text{C}^{-2}$ ($15 \leq T \leq 35^\circ\text{C}$).

3.1.3 Correção para interceptação de radiação solar (CR_s)

Pelo princípio da Lei de Beer-Bouguer-Lambert (Ometto, 1981), é possível estimar a interceptação da radiação solar por uma comunidade de plantas, sendo a correção da radiação solar média absorvida obtida em função do índice de área foliar médio (IAF_m) da cultura durante o ciclo.

$$CR_s = 1 - e^{-k \cdot IAF_m} \quad (12)$$

$$k = a + b \cdot \sqrt{IAF} \quad (13)$$

em que k se refere ao coeficiente de extinção da radiação, e a , b , aos parâmetros empíricos determinados em análise de regressão com base em dados obtidos de Doorenbos & Kassam (1994), sendo $a = 0,27697 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ e $b = -0,06097 \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$.

3.1.4 Índice de colheita (IC)

Refere-se à fração de fitomassa seca do órgão de interesse (normalmente grãos) colhido em relação à Fitomassa seca total (FS_t) elaborada, a qual é obtida em função de dados experimentais. De acordo com dados relatados na literatura (Doorenbos & Kassam, 1994; Lima, 1995; Gadioli, 1999; Barros, 1998; Sá, 2001), o índice de colheita

para milho (grãos) varia de 0,3 a 0,5, sendo o valor de 0,4 considerado satisfatório para obtenção de alta produtividade.

3.1.5 Produtividade potencial de grãos (PP_{gr})

A produtividade potencial de grãos foi estimada considerando-se uma população de 6,5 plantas.m⁻² (Po_{max}) e índice de colheita de 0,4 (IC_{max}).

$$PP_{grãos} = \frac{M_{CH_2O} \cdot CR_{mc} \cdot CR_s \cdot IC_{max}}{1 - u} \quad (14)$$

em que u se refere à umidade do grão após secagem, que normalmente situa-se em 13% (0,13 g.g⁻¹).

3.2 Balanço hídrico

Para elaboração do balanço hídrico, adotou-se o modelo proposto por Dourado Neto et al. (1991), que permite uma variação do coeficiente de evapotranspiração da cultura (Kc) e de profundidade efetiva do sistema radicular (Ze) para qualquer distribuição de dados climatológicos disponíveis, utilizando o método de Thornthwaite & Mather (1955), com algumas modificações. A escolha desse método foi baseada em resultados obtidos por Camargo (1962) e Camargo & Sentelhas (1995), que demonstraram sua viabilidade de uso para as condições do estado de São Paulo.

3.2.1 Evapotranspiração de referência (ou Potencial)

Evapotranspiração de referência (ET_{0i} , mm.período⁻¹) é definida como sendo “a perda total de água, na forma de vapor normal de uma superfície natural bem suprida de água à atmosfera, ocorrendo quando a folhagem vegetal se mantém turgescente e quando o processo decorre dependente de atributos do clima, não havendo restrição de água ou cobertura vegetal”. Calcula-se ET_{0i} utilizando-se a seguinte equação (Thornthwaite, 1948):

$$ET_{0i} = \gamma \cdot \left(\sigma \cdot \frac{T_i}{I} \right)^a \cdot \left(\frac{H_i}{12} \right) \cdot N_i \quad (15)$$

em que T_i refere-se à temperatura média (°C), γ e σ aos parâmetros empíricos ($\gamma = 0,53$ mm.dia⁻¹ e $\sigma = 10^\circ\text{C}^{-1}$), I ao índice térmico, a ao coeficiente empírico composto, N_i ao

número de dias e H_i ao número possível de horas de brilho solar no dia mediano do i -ésimo período.

3.2.2 Índice térmico e coeficiente empírico composto

O índice térmico (I) é calculado pela seguinte equação:

$$I = \beta_1 \cdot \sum_{i=1}^{12} T_i^{\beta_2} \quad (16)$$

em que T_i se refere à temperatura ($^{\circ}\text{C}$) média diária do j -ésimo mês e β_1 e β_2 ao parâmetro empírico ($\beta_1 = 0,08745^{\circ}\text{C}^{-\beta_2}$ e $\beta_2 = 1,514$).

O coeficiente empírico composto (a) é calculado da seguinte maneira:

$$a = a_0 + a_1 \cdot I + a_2 \cdot I^2 + a_3 \cdot I^3 \quad (17)$$

em que $a_0 = 0,49239$; $a_1 = 0,01792$; $a_2 = -0,0000771$; $a_3 = 0,000000675$.

3.2.3 Evapotranspiração máxima

A evapotranspiração máxima (ET_{m_i}) representa a maior troca de gases possíveis entre a cultura e a atmosfera, e corresponde à máxima produtividade da cultura. Estima-se a evapotranspiração máxima da cultura multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_{o_i}) pelo coeficiente de evapotranspiração da cultura (Kc_i) no i -ésimo período, ou seja:

$$ET_{m_i} = ET_{o_i} \cdot Kc_i \quad (18)$$

em que Kc_i é obtido na literatura (Doorenbos & Pruitt, 1997) através de valores tabelados em função do estágio fenológico da cultura. No presente trabalho considerou-se valor um médio ($Kc = 1$) para o coeficiente de cultivo durante o ciclo da cultura.

3.2.4 Capacidade de água disponível

Capacidade de água disponível (CAD, mm) é o armazenamento máximo de água disponível para a cultura, podendo ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$CAD_i = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot Ze_i \cdot 10 \quad (19)$$

em que Ze_i é a profundidade efetiva do sistema radicular (cm) no i -ésimo período, θ_{cc} é a capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) e θ_{pmp} é o ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$).

Nas estimativas realizadas no presente trabalho foi utilizado um valor médio padrão ($CAD = 50$ mm) para o cálculo do balanço hídrico.

3.2.5 Saldo (S) e negativo acumulado (L)

O saldo do armazenamento é obtido pela diferença entre a precipitação e a evapotranspiração máxima da cultura no i -ésimo período.

$$S_i = ppt_i - ET_{m_i} \quad (20)$$

O negativo acumulado pode ser entendido como a diferença acumulada das chuvas e da evapotranspiração potencial até o período em questão, o qual é estimado utilizando o seguinte procedimento:

Se $S_i < 0$:

$$L_i = L_{i-1} + (ppt_i - ET_{0_i}) \quad (21)$$

$$Arm_i = CAD_i \cdot e^{\left(\frac{L_i}{CAD_i}\right)} \quad (22)$$

Se $S_i \geq 0$:

$$L_i = -CAD \cdot \ln\left(\frac{Arm_i}{CAD_i}\right) \quad (23)$$

$$Arm_i = Arm_{i-1} + S_i \quad (24)$$

em que L_i se refere ao negativo acumulado (mm), Arm_i ao armazenamento (mm) e CAD_i à capacidade de água disponível (mm) no i -ésimo período.

3.2.6 Variação do armazenamento

A variação do armazenamento é obtida pela diferença entre o armazenamento do período em questão (Arm_i) e o armazenamento do período anterior (Arm_{i-1}):

$$\Delta Arm_i = Arm_i - Arm_{i-1} \quad (25)$$

3.2.7 Critérios de iniciar o balanço hídrico

Para iniciar o balanço hídrico, Thornthwaite & Mather (1955) consideram que o solo se encontra na capacidade de campo no final do período úmido ($L = 0$; $Arm = CAD$). Os autores assumiram que a evapotranspiração varia linearmente

com o armazenamento de água no solo, e que o armazenamento varia exponencialmente com o negativo acumulado.

3.2.8 Evapotranspiração real

A evapotranspiração real é definida como a perda de água pelas plantas que realmente ocorre em função da disponibilidade de água no solo. Há duas situações distintas para o seu cálculo:

$$ETr_i = ETm_i \text{ (se } S_i \geq 0 \text{)} \quad (26)$$

$$ETr_i = ppt_i + \Delta Arm_i \text{ (se } S_i < 0 \text{)} \quad (27)$$

em que ppt_i se refere à chuva.

3.2.9 Deficiência hídrica

Deficiência hídrica (Dh_i) é definida como a diferença entre a ETr_i e a ETm_i . Existe então deficiência hídrica nos períodos em que a ETr_i é menor que a ETm_i , em consequência da soma da chuva e da variação de água armazenada no perfil do solo ocorridos, não suprir a demanda evapotranspiratória.

$$Dh_i = 0 \text{ (se } S_i \geq 0 \text{)} \quad (28)$$

$$Dh_i = ETm_i - ETr_i \text{ (se } S_i < 0 \text{)} \quad (29)$$

3.2.10 Fator de depleção de produtividade (Fd)

A depleção de produtividade causada pela deficiência hídrica no solo é calculada pela relação entre o somatório da evapotranspiração real (ETr_j) e o somatório da evapotranspiração máxima (ETm_j) da cultura no j-ésimo período, ou seja:

$$Fd = \frac{\sum_{j=1}^{DC_{pmf}} ETr_j}{\sum_{j=1}^{DC_{pmf}} ETm_j} \quad (30)$$

3.3 Produtividade deplecionada de grãos ($P_{grãos}$)

A estimação da produtividade deplecionada (em função da evapotranspiração relativa) de grãos de milho no presente trabalho foi realizada considerando o índice de

colheita e a população de plantas como dependentes do fator de depleção de produtividade, ou seja:

$$Po = Po_{\min} + \frac{Po_{\max} - Po_{\min}}{1 - Po_{\min}} \cdot (Fd - Fd_{\min}) \quad (31)$$

$$IC = IC_{\min} + \frac{IC_{\max} - IC_{\min}}{1 - IC_{\min}} \cdot (Fd - Fd_{\min}) \quad (32)$$

em que $Po_{\min}$ se refere à população mínima (4 plantas.m⁻²), $Po_{\max}$ à população máxima (6,5 plantas.m⁻²), $IC_{\min}$ ao índice de colheita mínimo (0,3), $IC_{\max}$ ao índice de colheita máximo (0,4), considerados no presente modelo, e $Fd_{\min}$ ao fator de depleção mínimo encontrado durante o cálculo do fator de depleção. Dessa maneira, a redução da população de plantas causada pela deficiência hídrica no solo, afeta diretamente o índice de área foliar, utilizado no cálculo da massa bruta de carboidrato (M_{CH_2O}).

A produtividade deplecionada de grãos de milho foi estimada utilizando-se a seguinte expressão:

$$P_{\text{grãos}} = \frac{M_{CH_2O} \cdot CR_{mc} \cdot CR_s \cdot IC}{1 - u} \quad (33)$$

3.4 Avaliação do modelo

O modelo proposto foi avaliado a partir de estimativas de produtividade potencial de grãos de milho comparadas aos dados obtidos em experimentos realizados por Lima (1995), Gadioli (1999), Forsthofer et al. (2002) e Pioneer (2002).

Em cada trabalho foram avaliados genótipos de milho com diferentes exigências calóricas, semeados em épocas distintas. Os dados foram coletados em ensaios experimentais realizados nos municípios de Piracicaba, SP (Lima, 1995), Taubaté, SP (Gadioli, 1999), Porto Alegre, RS (Forsthofer et al., 2002) e Tupaciguara, MG e Barreiras, BA (Pioneer, 2002).

3.5 Análise estatística

Os modelos obtidos a partir de análises de regressão para estimativa da assimilação de dióxido de carbono (Equação 2), do índice de área foliar (Equação 7), do

coeficiente de respiração de manutenção e crescimento (Equação 11) e do coeficiente de extinção da radiação solar (Equação 13) foram analisados por meio da significância (intervalo de confiança) e da análise de variância (Teste F) de seus parâmetros.

A análise estatística para avaliação do modelo de estimação da produtividade de grãos de milho consistiu na comparação dos valores de produtividade potencial obtidos nas simulações com os observados, utilizando modelo linear.

3.6 Semivariogramas

Para análise dos dados climáticos utilizados na elaboração dos mapas de produtividade potencial e produtividade deplecionada, utilizou-se a teoria das variáveis regionalizadas (Matheron, 1971), cuja ferramenta base é o semivariograma, definido como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [v(x_i) - v(x_i + h)]^2 \quad (34)$$

sendo $v(x_i)$ o valor da propriedade medida no local x_i e $N(h)$ o número de pares de dados separados pelo vetor h .

O programa computacional TNTmips foi utilizado para construir os semivariogramas experimentais de cada variável climática e para escolha do modelo matemático teórico que melhor se ajustasse aos dados dos semivariogramas experimentais (Tabelas 3, 4 e 5).

Tabela 3. Parâmetros referentes aos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de temperatura utilizados na interpolação por Krigagem

Mês	Patamar	Mês	Patamar
janeiro	2,160948	julho	2,528692
fevereiro	2,310111	agosto	3,139174
março	2,441744	setembro	3,274524
abril	2,455585	outubro	2,846164
maio	2,431168	novembro	2,427983
junho	2,647437	dezembro	2,534323

nº de intervalos: 54; comprimento do intervalo: 0,183541; alcance: 2,936653

Tabela 4. Parâmetros referentes aos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de chuva utilizados na interpolação por Krigagem

Mês	Alcance	Patamar	Mês	Alcance	Patamar
Janeiro	2,753112	1582,578258	julho	3,120193	452,613548
fevereiro	3,487275	1239,258784	agosto	3,303734	464,119093
Março	3,303734	1847,217986	setembro	3,303734	655,847120
Abril	3,487275	1376,878847	outubro	3,487275	832,152494
Maiο	3,303734	712,778211	novembro	2,753112	1141,795107
Junho	2,753112	478,536553	dezembro	2,753112	1815,866568

nº de intervalos: 54; comprimento do intervalo: 0,183541

Tabela 5. Parâmetros referentes aos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de radiação solar global utilizados na interpolação por Krigagem

Mês	Alcance	Patamar	Mês	Alcance	Patamar
Janeiro	3,797104	314,254220	julho	3,586154	1462,894785
fevereiro	3,586154	563,590034	agosto	3,797104	746,317904
Março	2,953303	502,015293	setembro	3,586154	1770,234911
Abril	3,375204	972,287086	outubro	3,586154	1811,885674
Maiο	3,586154	435,491407	novembro	4,008054	761,459393
Junho	3,586154	952,596545	dezembro	4,429955	544,785177

nº de intervalos: 45; comprimento do intervalo: 0,210950

3.7 Elaboração dos mapas

Os dados de temperatura e chuva referentes a 272 municípios (265 municípios paulistas e 7 municípios de estados vizinhos, Figura 2) foram obtidos no Departamento de Ciências Exatas – ESALQ/USP¹, sendo originados pelo Departamento de Águas e energia elétrica de São Paulo – DAEE e Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Foram utilizados valores médios mensais obtidos a partir de séries de dados variando de 15 a 80 anos de coleta, dependendo da localidade. Para as demais localidades do estado

¹ <http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil>

de São Paulo, os valores médios utilizados foram estimados por meio de interpolação por Krigagem, a partir dos dados disponíveis.

Os dados de radiação solar global (média mensal) foram obtidos do Laboratório de Energia Solar/INMET, gerados pelo modelo físico BRAZILSR, com base em dados do satélite geostacionário GOES-8. Os dados foram gerados em malhas de 0,5° de latitude x 0,5° de longitude, conforme apresentado na Figura 3.

Os mapas de superfície dos valores de temperatura, precipitação pluvial e radiação solar global foram elaborados por meio de interpolação por Krigagem ordinária, em malhas com espaçamento de 2 x 2 km, utilizando-se o mapa de contorno do estado de São Paulo como referência.

A partir dos valores médios mensais de temperatura, radiação solar global e precipitação pluvial obtidos por meio de Krigagem, para os 645 municípios do estado de São Paulo, processaram-se as simulações no software elaborado em Visual Basic para estimativa de produtividade potencial e produtividade deplecionada de grãos de milho e deficiência hídrica no solo. Esses atributos, por sua vez, foram exportados para o programa *TNTmips* para confecção dos mapas de superfície dos valores de produtividade potencial e produtividade deplecionada de grãos de milho e deficiência hídrica no solo para o Estado de São Paulo.

Figura 2 - Representação das estações climáticas com dados de temperatura e chuva utilizados na Krigagem

Figura 3 - Representação dos pontos com dados de radiação solar global utilizados na Krigagem

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de regressão

Com base em dados obtidos na literatura, foram elaborados modelos para estimativa da assimilação de dióxido de carbono (A_{dc} , Equação 2), do índice de área foliar (IAF, Equação 7), do coeficiente de respiração de manutenção e crescimento (CR_{mc} , Equação 11) e do coeficiente de extinção da radiação solar (k , Equação 13), a partir de análises de regressão, sendo analisados por meio da significância (intervalo de confiança) e da análise de variância (Teste F) de seus parâmetros (Tabela 6 e Tabela 7).

Tabela 6. Coeficientes e respectivos intervalos de confiança (95%) das análises de regressão para estimativa de A_{dc} , IAF, CR_{mc} e k

Coeficiente	Valor	Intervalo de confiança	
	Assimilação de dióxido de carbono (A _{dc})		
a	262,963616	238,457017	287,470216
b	0,468548	0,260334	0,676761
c	1,230198	0,88544	1,574956
d	33,544208	29,87975	37,208666
e	0,538661	0,444727	0,632595
	Índice de área foliar (IAF)		
a	-7,633931	-10,213314	-5,054548
b	-15,55692	-19,790184	-11,323656
c	24,176556	17,524381	30,828732
	Coeficiente de respiração de manutenção e crescimento (CR _{mc})		
a	-0,545	-0,72312	-0,36688
b	0,0786	0,061242	0,095972
c	-0,0013	-0,001702	-0,00094
	Coeficiente de extinção da radiação solar (k)		
a	0,27697	0,222437	0,331503
b	-0,060968	-0,092452	-0,029483

Tabela 7. Análises de variância das análises de regressão para estimativa de A_{dc}, IAF, CR_{mc} e k

CV	GL	QM	F _c	F _{tab} (0,01)
Assimilação de dióxido de carbono (A _{dc})				
Modelo	4	47837,434	282,99	4,43
Erro	20	169,045		
Total	24			
Índice de área foliar (IAF)				
Modelo	2	23,39197	245,46	9,55
Erro	7	0,095299		
Total	9			
Coeficiente de respiração de manutenção e crescimento (CR _{mc})				
Modelo	2	0,100533	296,3	30,81
Erro	3	0,000339		
Total	5			
Coeficiente de extinção da radiação solar (k)				
Modelo	1	0,003521	37,42	34,12
Erro	3	0,0000941		
Total	4			

F_c = valor de F calculado na análise de variância; F_{tab} (0,01) = valor de F tabelado ao nível de significância de 1%.

Os modelos selecionados atenderam aos critérios estabelecidos para escolha dos mesmos, ou seja, todos os parâmetros foram significativos, e o valor de F calculado foi sempre maior que o F tabelado com nível de significância de 1%. Desta maneira, as Equações 2, 7, 11 e 13 podem ser utilizadas para estimativas de produtividade da cultura de milho com o procedimento apresentado.

4.2 Variáveis climáticas

Nas Figuras 4 e 5, pode-se observar os valores médios de temperatura e radiação solar global, respectivamente, no Estado de São Paulo, para os períodos que apresentaram os valores extremos (inferior e superior) destas variáveis.

Figura 4 - Temperatura (°C) média do ar nos meses de junho a setembro e dezembro a março no estado de São Paulo

Figura 5 - Radiação solar global ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) nos meses de junho a setembro e dezembro a março no Estado de São Paulo

4.3 Estimativas de produtividade potencial de grãos de milho

O modelo proposto foi avaliado a partir de estimativas de produtividade potencial de grãos de milho comparadas aos dados obtidos em experimentos realizados por Lima (1995), Gadioli (1999), Forsthofer (2002) e Pioneer (2002), sendo o resumo da avaliação apresentado na Figura 6 e na Tabela 8. A comparação realizada é possível, porque tanto os valores estimados, quanto os valores observados, referem-se à produtividade potencial de grãos de milho em condições adequadas de suprimento de água e nutrientes, sem sofrer injúrias por pragas e doenças, e sem competição com plantas daninhas.

Figura 6 - Comparação entre produtividades potenciais de grãos de milho observadas (P_o , kg.ha^{-1}) (Lima, 1995; Gadioli, 1999; Pioneer, 2002; Forsthofer et al., 2002) e estimada (P_e , kg.ha^{-1}) pelo modelo proposto

Tabela 8. Produtividades potenciais de grãos de milho observadas (P_o) e estimadas (P_e) e os respectivos desvios (d , %)

Fonte	Local	P_o (kg.ha^{-1})	P_e (kg.ha^{-1})	d^1
Lima (1995)	Piracicaba-SP	11.157	10.873	-2,55
Lima (1995)	Piracicaba-SP	10.765	11.413	6,02
Lima (1995)	Piracicaba-SP	10.577	11.458	8,33
Lima (1995)	Piracicaba-SP	11.961	10.762	-10,02
Lima (1995)	Piracicaba-SP	10.470	11.222	7,18
Lima (1995)	Piracicaba-SP	10.508	11.511	9,55
Gadioli (1999)	Taubaté-SP	10.553	9.181	-13,00
Gadioli (1999)	Taubaté-SP	9.859	10.470	6,20
Gadioli (1999)	Taubaté-SP	10.258	9.662	-5,81
Gadioli (1999)	Taubaté-SP	10.570	10.413	-1,49
Gadioli (1999)	Taubaté-SP	9.321	10.019	7,49
Gadioli (1999)	Taubaté-SP	9.551	8.985	-5,93
Forsthofer et al. (2002)	Porto Alegre-RS	7.610	7.446	-2,16
Forsthofer et al. (2002)	Porto Alegre-RS	10.380	11.100	6,94
Forsthofer et al. (2002)	Porto Alegre-RS	5.023	4.900	-2,45
Pioneer (2002)	Tapacigura-MG	8.900	8.500	-4,49
Pioneer (2002)	Barreiras-BA	9.900	9.908	0,08

¹ $d(\%) = \frac{P_e - P_o}{P_o} \times 100$

De acordo as simulações realizadas, pode-se observar que os erros de estimativa ultrapassaram 10% apenas em duas situações (Tabela 8). Os resultados indicam que as produtividades potenciais estimadas pelo modelo proposto apresentaram ajuste satisfatório aos dados utilizados (Figura 6). Para calibração do modelo, foram utilizadas produtividades potenciais (observadas) de grãos de milho variando de 5.023 a 11.961 kg.ha⁻¹, em cinco diferentes localidades, onde os desvios variaram de -13% (subestimativa) em Taubaté, SP a 9,55% (superestimativa) em Piracicaba, SP (Tabela 8).

Os mapas com atribuição de valores para as estimativas de produtividade potencial de grãos de milho, com épocas de início do ciclo (emergência das plântulas) de janeiro a dezembro no Estado de São Paulo, são apresentados nas Figuras 7 e 8.

Vale ressaltar que o início do ciclo corresponde à fase de emergência das plântulas, sendo a duração do ciclo o período entre a emergência e o ponto de maturidade fisiológica.

De acordo com os resultados das estimativas de produtividade potencial de milho no estado de São Paulo, pode-se perceber que, para todo o estado, as maiores produtividades foram observadas com início do ciclo a partir do mês de outubro até janeiro. Isto porque o ciclo da cultura coincide com as épocas em que a temperatura do ar e a radiação solar estão mais elevadas. Por outro lado, a diminuição dos valores de temperatura do ar e de radiação solar a partir de fevereiro, causa uma redução na produtividade potencial (Figuras 7 e 8).

Cruz et al. (1994) comentam que o cultivo de milho, com semeadura no período de fevereiro a abril (safrinha), é comum entre os produtores que procuram um melhor preço para o produto, porém com obtenção de produtividades mais baixas.

De acordo com estes resultados, portanto, pode-se inferir que o modelo proposto apresenta coerência nas estimativas realizadas, tendo em vista que as épocas de início do ciclo mais recomendadas, são aquelas em que ocorrem as maiores produtividades potenciais de grãos de milho no Estado de São Paulo (Conab, 2004b), ou seja, na safra normal, quando a disponibilidade de energia e água no sistema é mais elevada.

As áreas que apresentaram os maiores valores de produtividade potencial de grãos de milho são aquelas situadas na região Centro-Oeste do estado, para todas as

épocas simuladas, indicando que estas localidades apresentam maior potencial para o cultivo de milho.

Figura 7 - Produtividade potencial ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de grãos de milho no estado de São Paulo estimada com início do ciclo no primeiro dia dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho

Figura 8 - Produtividade potencial (kg.ha^{-1}) de grãos de milho no estado de São Paulo estimada com início do ciclo no primeiro dia dos meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro

O potencial de produtividade de grãos de milho, conforme estudos teóricos, com simulações feitas com o uso de computadores, para as condições do cinturão do milho nos EUA (Corn Belt.) é da ordem de $31.400 \text{ kg.ha}^{-1}$ (YAMADA, 1997). Entretanto,

poucos dados são disponíveis relatando produtividades recordes de milho no campo. De acordo com Vyn (2001), há relatos do agricultor Herman Warsaw do Estado de Illinois, EUA, que em 1985 obteve 23.200 kg.ha⁻¹, e do agricultor Francis Child do Estado de Iowa, EUA, que em 1999 obteve o recorde de 24.700 kg.ha⁻¹.

No Brasil, a partir da década de 70, foram instituídos os concursos de produtividade de milho, coordenados pelas instituições oficiais de assistência técnica, pesquisa e firmas produtoras de sementes. Além do caráter educacional e da transferência de tecnologias aos agricultores, busca-se também, com base nas tecnologias disponíveis, a obtenção de altas produtividades de milho (Coelho et al., 2003). Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos campeões de produtividade de milho no Brasil.

Tabela 9. Campeões nacionais de produtividade de milho no Brasil no período de 1981 a 1999

Ano agrícola	Agricultor	Local	Produtividade (kg.ha ⁻¹)
1981/1982	Walter Bernades	Alegre, ES	14.677
1982/1983	Ailton Novais	Pratápolis, MG	13.436
1983/1984	José A.B. Cardoso	Batatais, SP	15.138
1984/1985	José G. Cerqueira	Codisburgo, MG	14.110
1985/1986	Marcelo C. Madeira	Divinolândia, MG	15.563
1986/1987	Bauke D. Dijkstra	Ponta Grossa, PR	15.777
1987/1988	Lister F. Fernandes	Ituverava, SP	16.058
1988/1989	Sebastião A. Silva	Coromandel, MG	14.666
1989/1990	Nercy S. Santos	Bonito, MS	15.665
1990/1991	Sebastião G. Souza	Bonito, MS	15.738
1991/1992	Romildo F. Dias	Capinópolis, MG	15.740
1992/1993	Antonio P. Marques	Sabinópolis, MG	15.990
1993/1994	Geraldo N. Lacerda	Virginópolis, MG	16.828
1994/1995	David G. Nascimento	P. do Rio Grande, MG	15.389
1995/1996	Ademar B. Melo	Carmo do Cajuru, MG	15.786
1996/1997	Geniplo F. Silva	Carmo do Cajuru, MG	13.989
1997/1998	Lázaro E. Rabelo	Coromel, MG	12.750
1998/1999	Paulo C. Cabral	Alterosa, MG	13.369

Fonte: Coelho et al. (2003)

Com base nesses resultados, observa-se que o recorde de produtividade de grãos de milho no Brasil é de 16.800 kg.ha⁻¹, obtido no município de Virginópolis, MG, no

ano de 1994. No Estado de São Paulo, a produtividade máxima alcançada foi de 16.058 kg.ha⁻¹, na safra 1987/1988. Esses resultados, portanto, confirmam o potencial produtivo da cultura do milho estimado pelo presente modelo, demonstrando que a ordem de grandeza dos valores simulados para o Estado de São Paulo, está de acordo com as observações de campo registradas por agricultores.

Vale ressaltar que, a interpretação dos resultados apresentados nas Figuras 7 e 8, deve estar associada aos resultados apresentados na Tabela 10. Isto porque se adotou como critério de recomendação do cultivo de milho em cada época de semeadura, a ocorrência do florescimento da cultura em até 75 dias, estimado a partir das exigências calóricas dos genótipos classificados como normal (950 °C.dia), precoce (850 °C.dia) ou superprecoce (750 °C.dia). O genótipo é recomendado considerando-se 60 dias como sendo ótimo para o período entre a emergência e o florescimento, selecionando-se aquele que apresenta soma calórica mais próxima deste período. Na Tabela 10, portanto, há indicação do genótipo mais recomendado quanto ao ciclo para cada município do estado de São Paulo, nas doze épocas de semeadura simuladas.

4.4 Deficiência hídrica

Na Figura 9 pode-se observar os valores médios de deficiência hídrica no Estado de São Paulo, para os períodos que apresentaram os valores extremos (inferior e superior) desta variável.

Figura 9 – Deficiência hídrica (mm) do solo no período referente aos meses de junho a setembro, e dezembro a março no estado de São Paulo

A deficiência hídrica no solo como fator limitante da produtividade de grãos de milho é bastante pesquisada (Castro, 1979; Matzenauer et al., 1995; Doorenbos & Kassam, 1994; Alfonsi et al., 1997), sendo seu conhecimento imprescindível para o manejo da cultura. Os períodos de maior (dezembro a março) e menor (junho a setembro) oferta hídrica no solo são apresentados (Figura 9) como indicativo das épocas mais apropriadas para cada regime de cultivo, ou seja, sequeiro ou irrigado, respectivamente.

Durante o período compreendido entre os meses de dezembro a março, foram observados baixos valores de deficiência hídrica no solo, para todo o estado, com valores sempre inferiores a 25 mm (Figura 9).

As áreas que apresentaram os maiores valores de deficiência hídrica no solo, no período de junho a setembro (Figura 9), são aquelas situadas na região Noroeste do estado, indicando que estas localidades apresentam limitações para o cultivo de milho no regime de sequeiro com início do ciclo entre os meses de abril a setembro.

4.5 Estimativas de produtividade deplecionada de grãos de milho

As estimativas de produtividade deplecionada de grãos de milho com início de ciclo de janeiro a dezembro no Estado de São Paulo são apresentadas nas Figuras 10 e 11.

De acordo com os resultados das estimativas de produtividade deplecionada de grãos de milho, pode-se perceber que os maiores valores, para todo o estado de São Paulo, foram observados com épocas de semeadura nos meses de outubro, novembro e dezembro. Isto ocorre porque, tanto a disponibilidade de energia no sistema é elevada (Figuras 5 e 6) nesta época do ano, resultando em altas produtividades potenciais (Figuras 7 e 8), como a deficiência hídrica nos meses de dezembro a março é relativamente baixa (Figura 9) em grande parte do estado, propiciando o atendimento hídrico da cultura nas fases mais sensíveis ao estresse hídrico. Por outro lado, a elevação da deficiência hídrica observada nos meses de junho a setembro (Figura 9), causou uma redução na produtividade deplecionada para os ciclos iniciados a partir de março até setembro, especialmente nas áreas situadas na região Noroeste do estado.

Figura 10 - Produtividade deplecionada (kg.ha^{-1}) de grãos de milho no estado de São Paulo estimada com início do ciclo no primeiro dia dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho

Figura 11 - Produtividade deplecionada (kg.ha^{-1}) de grãos de milho no estado de São Paulo estimada com início do ciclo no primeiro dia dos meses julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro

Estes resultados, portanto, corroboram com aqueles encontrados por Alfonsi et al. (1997), que encontraram as maiores probabilidades de atendimento hídrico para o milho semeado em outubro, novembro e dezembro em seis municípios paulistas.

Fazendo-se uma comparação dos resultados de produtividade potencial com os de produtividade deplecionada para início de ciclo nos meses de agosto e setembro, pode-se perceber que o fator limitante do processo produtivo nesta época do ano seria a disponibilidade hídrica, já que os valores de produtividade potencial (função de temperatura e radiação solar) são relativamente elevados, especialmente na região Noroeste do estado.

Desta maneira, a exploração da cultura do milho com início do ciclo a partir do mês de agosto, pode ser viável em muitas localidades do estado de São Paulo, com a utilização de irrigação. Informações pessoais de alguns pesquisadores e produtores relatam que o cultivo de milho nesta época do ano está se tornando prática comum no estado de São Paulo.

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Adamantina	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Adolfo	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Aguai	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Águas da Prata	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Águas de Lindóia	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Águas de Santa Barbara	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Águas de Sao Pedro	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Agudos	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Alambari	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Alfredo Marcondes	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Altair	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Altinópolis	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Alto Alegre	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Alumínio	P	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Álvares Florence	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Álvares Machado	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Álvaro de Carvalho	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Alvinlândia	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Americana	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Américo Brasiliense	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Américo de Campos	P	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Amparo	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Analândia	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Andradina	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Angatuba	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Anhembi	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Anhumas	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Aparecida	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Aparecida D'oeste	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Apiáí	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S
Aracariguama	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Aracatuba	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Aracoiaba da Serra	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Aramina	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Arandu	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Arapei	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Araraquara	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Araras	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Arco-Íris	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Arealva	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Areias	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Areiopolis	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Ariranha	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Artur Nogueira	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Arujá	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Asasia	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Assis	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Atibaia	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Auriflama	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Avai	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Avanhangava	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Avaré	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Bady Bassitt	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Balbinos	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Bálsamo	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Bananal	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Barão de Antonina	P	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Barbosa	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Bariri	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Barra Bonita	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Barra do Chapéu	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Barra do Turvo	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S
Barretos	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Barrinha	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Barueri	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Bastos	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Batatais	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Bauru	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Bebedouro	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Bento de Abreu	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Bernardino de Campo	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Bertioga	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Bilac	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Birigui	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Biritiba-Mirim	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Boa Esperança do Sul	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Bocaina	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Bofete	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Boituva	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Bom Jesus dos Perdões	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Bom Sucesso de Itararé	P	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	P	P
Bora	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Boraceia	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Borborema	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Borebi	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Botucatu	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Bragança Paulista	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Braúna	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Brejo Alegre	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Brodosqui	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Brotas	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Buri	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Buritama	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Buritizal	S	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Cabrália Paulista	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Cabreúva	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Caçapava	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Cachoeira Paulista	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Caconde	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Cafelândia	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Caiabu	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Caieiras	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Caiuá	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Cajamar	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Cajati	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Cajobi	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Cajuru	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Campina do Monte Alegre	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Campinas	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Campo Limpo Paulista	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Campos do Jordão	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Campos Novos Paulista	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Cananéia	N	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N
Canas	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Cândido Mota	P	S	S	S	NR	S	S	S	S	P	P	P
Cândido Rodrigues	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Canitar	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Capão Bonito	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Capela do Alto	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Capivari	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Caraguatatuba	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Carapicuíba	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Cardoso	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Casa Branca	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	S
Cássia dos Coqueiros	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Castilho	N	N	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Catanduva	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Catiguá	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cedral	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Cerqueira César	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Cerquillo	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Cesário Lange	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Charqueada	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Chavantes	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Clementina	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Colina	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Colômbia	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Conchal	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Conchas	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Cordeirópolis	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Coroados	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Coronel Macedo	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	P	P
Corumbataí	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P	P
Cosmópolis	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Cosmorama	P	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Cotia	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Cravinhos	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Cristais Paulista	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Cruzália	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Cruzeiro	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Cubatão	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Cunha	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Descalvado	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Diadema	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Dirce Reis	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Divinolândia	P	S	S	S	NR	S	S	S	S	S	P	P
Dobrada	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Dois Córregos	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Dolcinópolis	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Dourado	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Dracena	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Duartina	P	S	S	S	NR	S	S	S	S	P	P	P
Dumont	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Echapora	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Eldorado	N	P	S	S	S	S	S	S	P	N	N	N
Elias Fausto	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Elisiário	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Embaúba	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Embu	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Embu-Guaçu	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Emilianópolis	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

[illegible]

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Guarujá	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Guarulhos	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Guatapara	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Guzolândia	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Herculândia	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Holambra	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Hortolândia	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Iacanga	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Iacri	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Iaras	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Ibaté	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Ibira	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Ibirarema	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Ibitinga	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Ibiúna	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Icém	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Iepe	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Igaraçu do Tietê	P	S	S	S	NR	S	S	S	S	P	P	P
Igarapava	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Igaratá	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Iguape	P	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	P	P
Ilha Comprida	N	P	S	S	NR	S	S	S	S	P	N	N
Ilha Solteira	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Ilha Bela	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Indaiatuba	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Indiana	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Indiaporá	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Inúbia Paulista	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Ipauçu	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Iperó	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Ipeúna	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Ipiguá	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Iporanga	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S
Ipuã	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Iracemápolis	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Irapuã	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Irapuru	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Itabera	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Itaí	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Itajobi	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Itaju	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Itanhaém	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Itaoca	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Itapecirica da Serra	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Itapetininga	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Itapeva	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Itapevi	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Itapira	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Itapirapuã Paulista	P	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Itápolis	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Itaporanga	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Itapuí	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Itapura	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Itaquaquecetuba	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Itararé	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Itariri	N	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Itatiba	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Itatinga	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Itirapina	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Itirapuã	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S	S
Itobi	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Itu	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Itupeva	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Ituverava	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Jaborandi	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Jaboticabal	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Jacareí	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Jaci	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Jacupiranga	N	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Jaguariúna	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Jales	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Jambeiro	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Jandira	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Jardinópolis	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Jarinu	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Jaú	P	S	S	S	NR	S	S	S	S	P	P	P
Jeriquara	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S	S
Joanópolis	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
João Ramalho	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
José Bonifácio	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Júlio Mesquita	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Jumirim	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Jundiaí	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Junqueirópolis	N	P	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Juquiá	N	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Juquitiba	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Lagoinha	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Laranjal Paulista	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Lavínia	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Lavrinhas	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Leme	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Lençóis Paulista	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Limeira	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Lindóia	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Lins	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Lorena	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Lourdes	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Louveira	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Lucélia	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Lucianópolis	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Luis Antônio	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Luiziânia	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Lupércio	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Lutécia	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Macatuba	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Macaubal	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Macedônia	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Magda	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Mairinque	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Mairipora	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Manduri	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	P	P
Marabá Paulista	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Maracá	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Marapoama	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Mariápolis	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Marília	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Marinópolis	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Martinópolis	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Matão	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Mauá	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Mendonça	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Meridiano	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Mesópolis	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Miguelópolis	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Mineiros do Tietê	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Mira Estrela	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Miracatu	N	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Mirandópolis	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
M. do Paranapanema	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Mirassol	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Mirassolândia	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Mococa	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Mogii-Guaçu	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Mogi das Cruzes	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Mogi Mirim	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Mombuca	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Monções	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Monguágua	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Monte Alegre do Sul	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Monte Alto	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Monte Aprazível	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Monte Azul Paulista	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Monte Castelo	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Monte Mor	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Monteiro Lobato	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Morro Agudo	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Morungaba	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Motuca	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Murutinga do Sul	N	P	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Nantes	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Narandiba	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Natividade da Serra	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Nazaré Paulista	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Neves Paulista	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Nhandeara	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Nipoa	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Nova Aliança	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Nova Campina	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	P	P
Nova Canaã Paulista	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Nova Castilho	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Nova Europa	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Nova Granada	P	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Nova Guataporanga	N	P	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Nova Independência	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Nova Luzitânia	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Nova Odessa	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Novais	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Novo Horizonte	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Nuporanga	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Ocaçu	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Óleo	P	S	S	S	NR	S	S	S	S	P	P	P
Ólimpia	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
OndaVerde	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Oriente	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Orindiuva	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Orlândia	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Osasco	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Oscar Bressane	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Oswaldo Cruz	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Ourinhos	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Ouro Verde	N	P	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Ouroeste	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Pacaembu	N	P	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Palestina	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Palmares Paulista	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Palmeira D'oeste	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Palmital	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Panorama	N	P	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Paraguassu Paulista	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Paraibuna	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Paraíso	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Paranapanema	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Paranapuã	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Parapuã	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Pardinho	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Pariquera-Açu	P	P	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	N
Parisi	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Patrocínio Paulista	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Paulicéia	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Paulínia	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Paulistânia	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Paulo de Faria	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Pederneiras	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Pedra Bela	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Pedranópolis	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Pedregulho	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Pedreira	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Pedrinhas Paulista	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Pedro de Toledo	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Penápolis	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Pereira Barreto	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Pereiras	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Peruíbe	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Piacatu	N	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Piedade	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pilar do Sul	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Pindamonhangaba	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Pindorama	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Pinhalzinho	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Piquerobi	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Piquete	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Piracaia	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Piracicaba	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Piraju	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Pirajuí	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Pirangi	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Pirapora do Bom Jesus	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Pirapozinho	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Pirassununga	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Piratininga	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Pitangueiras	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Planalto	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Platina	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Poá	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Poloni	P	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Pompéia	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Pongai	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Pontal	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Pontalinda	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Pontes Gestal	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Populina	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Porangaba	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Porto Feliz	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Porto Ferreira	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Potim	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Potirendaba	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Pracinha	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Pradópolis	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Praia Grande	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S
Pratânia	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Presidente Alves	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Presidente Bernardes	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Presidente Epitácio	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Presidente Prudente	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Presidente Venceslau	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Promissão	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Quadra	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Quatá	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Santa Albertina	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Santa Bárbara D'oeste	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Santa Branca	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Santa Clara D'oeste	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
S. Cruz da Conceição	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
S. Cruz da Esperança	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
S. Cruz das Palmeiras	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
S. Cruz do Rio Pardo	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Santa Ernestina	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Santa Fé do Sul	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Santa Gertrudes	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Santa Isabel	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Santa Lúcia	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Santa Maria da Serra	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Santa Mercedes	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
S. Rita do Passa Quatro	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Santa Rita D'oeste	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Santa Rosa do Viterbo	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Santa Salete	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Santana da Ponte Pensa	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Santana de Parnaíba	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Santo Anastácio	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Santo André	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
S. Antônio da Alegria	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	S	S
S. Antônio de Posse	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
S. Antônio do	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Aracanguá												
S. Antônio do Jardim	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
S. Antônio do Pinhal	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Santo Expedito	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Santópolis do Aguapeí	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Santos	P	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	N
São Bento do Sapucaí	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
S. Bernardo do Campo	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
São Caetano do Sul	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
São Carlos	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
São Francisco	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
São João da Boa Vista	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
S. João das Duas Pontes	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
São João de Iracema	N	P	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
São João do Pau D'alho	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
São Joaquim da Barra	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
São José da Bela Vista	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
São José do Barreiro	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
São José do Rio Pardo	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
São José do Rio Preto	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
São José dos Campos	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
São Lourenço da Serra	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
São Luis do Paraitinga	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
São Manuel	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
São Miguel Arcanjo	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
São Paulo	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
São Pedro	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
São Pedro do Turvo	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
São Roque	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
São Sebastiao	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
São Sebastiao da Gramma	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
São Simão	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
São Vicente	N	N	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Sarapuá	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Sarutaia	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Sebastianópolis do Sul	P	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Serra Azul	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Serra Negra	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Serrana	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Sertãozinho	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Sete Barras	N	N	P	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Severinia	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Silveiras	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Socorro	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Sorocaba	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Sud Menucci	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Sumaré	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Suzanópolis	N	N	P	S	S	S	P	P	N	N	N	N
Suzano	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Tabapuã	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Tabatinga	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Taboão da Serra	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Taciba	N	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Taguaí	P	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Taiacu	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Taiúva	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Tambaú	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	S
Tanabi	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Tapiraí	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Tapiratiba	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	S	S

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Taquaral	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Taquaritinga	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Taquarituba	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Taquarivai	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P
Tarabai	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Taruma	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Tatuí	P	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	P	P
Taubaté	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Tejupã	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Teodoro Sampaio	N	P	S	S	S	S	S	S	P	P	N	N
Terra Roxa	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Tietê	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Timburi	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	P	P	P
Torre de Pedra	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Torrinha	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Trabiju	P	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	N
Tremembé	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S
Três Fronteiras	N	N	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Tuiuti	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Tupã	P	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P
Tupi Paulista	N	P	P	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Turiuba	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Turmalina	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Ubarana	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Ubatuba	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Ubirajara	P	S	S	NR	NR	S	S	S	S	P	P	P
Uchôa	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
União Paulista	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N
Urânia	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Uru	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	N	N
Urupês	P	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P
Valentim Gentil	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Valinhos	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Valparaíso	N	P	S	S	S	S	S	P	N	N	N	N
Vargem	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Vargem Grande do Sul	S	S	S	NR	NR	S	S	S	S	S	P	P
Vargem Grande Paulista	P	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Várzea Paulista	S	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S	P
Vera Cruz	S	S	S	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Vinhedo	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	S
Viradouro	P	S	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P
Vista Alegre do Alto	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	P

Tabela 10. Genótipos de milho mais recomendados para cada início de ciclo nos municípios do Estado de São Paulo, durante os doze meses do ano. N: normal; P: precoce; S: superprecoce; NR: não recomendável

Município	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Vitória Brasil	N	P	P	S	S	S	P	N	N	N	N	N
Votorantim	P	S	NR	NR	NR	NR	S	S	S	S	P	P
Votuporanga	P	P	S	S	S	S	S	P	P	P	P	N
Zacarias	N	P	S	S	S	S	S	P	P	N	N	N

4.6 Considerações finais

Os resultados obtidos no presente trabalho devem ser utilizados apenas como um indicativo da variação espaço-temporal das variáveis envolvidas. A tomada de decisão deve ser orientada pela análise econômica de todos os fatores que interferem no processo produtivo, principalmente no que diz respeito à época de semeadura e a adoção ou não da prática de irrigação.

A definição do ciclo em função da época do ano, conforme adotado no presente trabalho (Tabela 10), parece ser válida como critério de recomendação ou não dos genótipos mais adequados em cada localidade, haja vista que os ciclos normais predominaram nas épocas mais quentes do ano, enquanto nas épocas e/ou locais mais frios houve predominância de ciclos superprecoces ou não se recomenda nenhum dos genótipos. Como exemplo pode-se mencionar o município de Campos do Jordão, que apresentou limitação para o cultivo de milho, não sendo recomendada a exploração desta cultura em nenhuma época do ano.

Com o aumento da competitividade nos diversos setores da economia, o desenvolvimento de cinturões de produção de uma determinada cultura, em regiões mais favoráveis, onde ela possa mais facilmente expressar o seu potencial produtivo, é extremamente importante.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que: (i) o modelo proposto é utilizável para definir a ordem de grandeza da produtividade potencial de grãos de milho no Estado de São Paulo; (ii) o modelo proposto pode ser utilizado como ferramenta para o planejamento regional da implantação da cultura de milho, possibilitando a identificação dos locais e das épocas do ano mais indicados para o cultivo de milho; (iii) as épocas do ano com maiores valores de temperatura e radiação solar resultaram em aumento da produtividade potencial de grãos de milho; (iv) a deficiência hídrica ocorrida no período de junho a setembro causou redução considerável na produtividade de grãos de milho, especialmente na região Noroeste do Estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, v.69, p.15-40, 1993.
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR., M.J.; CAMARGO, M.B.P. et al. **Zoneamento agroclimático e probabilidade de atendimento hídrico para as culturas de soja, milho, arroz de sequeiro e feijão no estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. 8p. (Boletim Científico).
- ALFONSI, R.R.; VICTORIA FILHO, R.; SENTELHAS, P.C. Épocas de semeadura para a cultura do milho no Estado de São Paulo, baseadas na probabilidade de atendimento hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.43-49, 1997.
- ASSIS, F.N.; MENDEZ, M.E.G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.2, n.7, p.797-800, 1989.
- BARROS, A.H.C. Análise de crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.): Experimentos e modelos. Viçosa, 1998. 85p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- BASANTA, M.D.V. Modelo para estimativa do volume máximo de calda visando a aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1999. 65 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.21, p.163-203, 1962.

- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação de modelos para a estimativa de evapotranspiração potencial mensal em base diária, para Campinas e Ribeirão Preto (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 9., Campina Grande, 1995. **Anais** Campina Grande: SBA, 1995. p.415-417.
- CAMARGO, M.B.P.; ARRUDA, H.V.; PEDRO JR., M.J. et al. Melhores épocas de plantio do trigo no Estado de São Paulo baseadas na probabilidade de atendimento hídrico. **Bragantia**, v.44, n.1, p.255-261, 1985.
- CASTRO, P.T. Evapotranspiração atual e potencial de uma cultura de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1979. 61p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CERRI, C.E.P. Variabilidade espacial e temporal do carbono do solo na conversão de floresta em pastagens na Amazônia Ocidental (Rondônia). Piracicaba, 2003. 159p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- COELHO, A.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Rendimento de milho no Brasil: chegamos ao máximo? Piracicaba: Potafos, 2003. 12p. (Informações agronômicas, 101)
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Avaliação da safra agrícola 2002/2003: sexto levantamento, agosto/2003. <http://www.conab.gov.br> (19 fev 2004a).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Comparativo da área, produção e produtividade safra 2001/2002 e safra 2002/2003. <http://www.conab.gov.br> (18 fev 2004b).
- COSTA, A.F.S. Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L), avaliada em diferentes épocas de plantio. Viçosa, 1994. 109p. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- CRUZ, J.C.; CORREA, L.A.; SANS, L.M.A. et al. Avaliação de cultivares de milho safrinha na região Centro-Sul. In: SEMINARIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 2., Assis. 1994. **Resumos** Campinas: Instituto Agrônomo, 1994. p.35-40.

- DAKER, A. **A água na agricultura**: manual de hidráulica agrícola. 3.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1969. v.3. 453p.
- De WIT, C.T. Photosynthesis of leaf canopies. Wageningen: Pudoc, 1965. 57p (Agriculture Research Report, 663)
- De WIT, C.T. Simulation of living systems. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; LAAR, H.H.van (Ed.). **Simulation of plant growth and crops production**. Wageningen: Pudoc, 1982. p.3-8.
- DEEGLE, P.J.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. Model based geostatistics. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 14., Caxambu, 2000. **Publicação especial**. São Paulo: ABE, 2000. 129p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de GHEYI, H. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Trad. de GHEYI, H. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24)
- DOURADO NETO, D. Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho. Piracicaba, 1999. 229p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- DOURADO NETO, D.; SAAD, A.M.; JONG van LIER, Q. **Curso de agricultura irrigada**. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Agricultura, 1991. 190p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2003/04. <http://www.cnpms.embrapa.br/cultivares/index.html> (28 jan. 2004).
- FANCELLI, A.L.; LIMA, U.A. **Milho**: Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: FEALQ, 1982. 112p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FLOSS, E.L. Fotossíntese das plantas cultivadas. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2002. 135p. (Cadernos de agronomia, 5)

- FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G. et al. Fenologia, crescimento e desenvolvimento de híbridos de milho em três épocas de semeadura. Congresso Nacional de Milho e Sorgo. 24. CD-ROM. Resumos expandidos. Florianópolis. ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri. 2002.
- FRIZZONE, J.A.; RETTORE, P.R.; PERERIRA, G.T. Análise de distribuição das precipitações em períodos de 5 a 10 dias na região de pereira Barreto (SP) utilizando a distribuição gama incompleta. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.22, p.2-4, 1985.
- FROGBROOK, Z.L.; OLIVER, M.A.; SALAH, M.; ELLIS, R.H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, v.18, p.1-9, 2002.
- GADIOLI, J.L. Estimativa de rendimento de grãos e caracterização fitotécnica da cultura de milho (*Zea mays* L). Piracicaba, 1999. 86p. Dissertação (Mestrado.) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GASTON, L.A.; LOCKE, M.A.; ZABLOTOWICS, R.M.; REDDY, K.N. Spatial variability of soil properties and weed population in the Mississippi delta. **Soil Science of America Journal**, v.65, p.449-459, 2001.
- GOMES, F.P.; GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação. Piracicaba, 1997. 118p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, v.89, n.1/2, p.1-45, 1999.
- GOUDRIAAN, J.; LAAR, H.H. van. **Modelling potential crop growth processes: the textbook with exercises**. Dordrecht: Kluwer, 1992. 239p.

- HEEMST, H.D.J. van. Physiological principles. In: KEULEN, H.van.; WOLF, J. **Modeling of agricultural production: Weather, soils and crops**. Wageningen: Pudoc, 1986. p.13-26.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.103, 2000. p.137-157.
- KEULEN, H.van.; WOLF, J. **Modeling of agricultural production: Weather, soils and crops**. Wageningen: Pudoc, 1986. 463p.
- KEULEN, H.van.; PENNING DE VRIES, F.W.T.; DRESS, E.M. A summary model for crop growth. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; VAN LAAR, H. H. (Ed). **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Pudoc, 1982. p.87-97.
- KUBINS, S. Measurement of radiant energy. In: SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P.G. Plant photosynthetic production, manual of methods. Hague: W. Junk 1971. p.702-765.
- LEAL, M.A.A.; DE-POLLI, H. Aplicações de modelos ao estudo da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.245-264.
- LIMA, M.G. Calibração e validação do modelo ceres-maize em condições tropicais do BrasPiracicaba, 1995. 119p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- LOZARDA, B.I.; ANGELOCI, L.R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.37-43, 1999.
- MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Fointanebleu: Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fointanebleu, 1971. 211p.

- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.3, p.85-92, 1995.
- MEDEIROS, S.L.P.; WESTPHALEN, S.L.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.1, p.1-10, 1991.
- MONDRAGÓN, V.E.C. Estimativa da produtividade da cultura do milho em minas gerais, baseada em variáveis climáticas e em tendência tecnológica. Viçosa, 1990. 68p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- MUCHOV, R.C.; HAMMER, G.L.; CARBERRY, P.S. Optimizing crop and cultivar selection in response to climatic risk. In: MUCHOV, R.C.; BELLAMY, J.A. (Ed.) **Climatic risk in crop production models and management for the semiarid Tropics and Subtropics**. Wallingford: CAB International, 1991. p.235-262.
- OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. How geostatistic can help you. **Soil Use and Management**, v.7, n.4, p.206-217, 1991.
- OLIVEIRA, R.F. de. **Fotossíntese**. Piracicaba: Depto. de Botânica/ESALQ, 1990. 35p.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 440p.
- PANDOLFO, C. Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.). Porto Alegre, 1995. 128p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul.
- PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargill, 1978. 650p.
- PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.476-488, 1992.
- PEDRO JÚNIOR., M.J.; ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P. et al. Disponibilidade de radiação solar global para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1989. 13p. (Boletim Técnico, 123)

- PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. Campinas, Instituto Agrônômico, 1987. 33p. (Boletim Técnico, 114)
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- PIONEER. **Resultados Milho**: safra 2001/2002. Santa Cruz do Sul: Pioneer Sementes, 2002. 20p.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: Conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.
- REYNOLDS, J.F. Some misconceptions of mathematical modeling. **What's New Plant Physiology**, v.10, n.11, p.41-44, 1979.
- ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate**: The biological environment. New York: John Wiley, 1983. 495p.
- SÁ, M. de. Aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares modernas e primitivas de milho. Lavras, 2001. 54p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.
- SALISBURY, F.B. **Plant Physiology**. Belmont: Wadsworth, 1992. 682p.
- SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T.; MATIAS FILHO, J.; BEZERRA, F.M.L. Uso consutivo da cultura do milho sob condições naturais de precipitação na microrregião homogênea de Quixeramobim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 14., Fortaleza, 1984. **Anais**. Fortaleza: UFC/SBEA, 1984. p.142-151.
- SOLER, C.T. Uso do modelo CERES-Maize para identificação de características genéticas desejáveis para milho "Safrinha" e determinação de práticas adequadas de manejo em condições de risco climático. 2000. 86p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. I: Components of incoming solar radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.38, p.217-229, 1986a.
- SPITTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. II: Calculation of canopy photosynthesis. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.38, p.231-242, 1986b.
- THOM, H.C.S. Some methods of climatological analysis. Roma: FAO, 1966. 50p. (FAO. Technical Notes 81)
- THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in plant physiology**: a quantitative approach to problems in plant crop physiology. London: Academic Press, 1976. 318p.
- THORNTON, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, n.38, p. 55-94, 1948.
- THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- VANCLOOSTER, M.; VIAENE, J.; DIELS, J.; CHRISTIAENS, K. **Wave**: a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven Press, 1994. 1v.
- VIANA DA MATA, J.D.; GONÇALVES, A.C.A.; VIEIRA, S.R.; FOLEGATTI, M.V. Relação entre produtividade e resistência à penetração em área irrigada por pivô central, sob dois sistemas de preparo. **Acta Scientiarum**, v.21, n.3, p.519-525, 1999.
- VILLA NOVA, N.A.; SANTIAGO, A.V.; RESENDE, F.C. **Energia solar**: aspectos físicos e de captura pela biomassa. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. 20p.
- VILLA NOVA, N.A.; PEDRO JÚNIOR, M.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1972. 8p.(Cadernos de Ciências da Terra, 30)

- VILLANUEVA, J.G. Estudo do coeficiente de transferência do vapor d'água sobre a cultura do feijão. Piracicaba, 1987. 58p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VYN, T.J. Nutrient placement and high yield management in corn. In: CONFERENCE PROCEEDINGS, Indianapolis, p.7-9, 2001.
- YAMADA, T. O nitrogênio e o potássio na adubação da cultura do milho. Piracicaba: Potafos, 1997. 4p. (Informações Agronômicas, 78)
- WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis in the field. **Advances in Soil Science**, v.3, p.1-70, 1985.