

ISSN 0104-1347

Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo

Model for estimating corn yield based on the soil water balance

Durval Dourado Neto^{1,5}, Gerd Sparovek^{2,5}, Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior³, Antônio Luiz Fancelli¹, Paulo Augusto Manfron⁴ e Sandro Luís Petter Medeiros⁴

Resumo – Com o objetivo de estimar a produtividade de grãos de milho deplecionada, com base no balanço hídrico, o modelo proposto foi testado em diferentes localidades do Estado de São Paulo. Fixando a soma calórica, foram simuladas produtividades deplecionadas em diferentes condições de deficiência hídrica, em função da época do ano. Para o cálculo do balanço hídrico e da produtividade deplecionada, desenvolveu-se um software em linguagem de programação Visual BASIC, em ambiente Windows. As estimativas obtidas para todos os municípios do Estado de São Paulo indicam que o modelo proposto é utilizável para definir a ordem de grandeza de produtividade deplecionada de grãos de milho a partir do conhecimento de variáveis agrometeorológicas e da cultura.

Palavras-chave: Evapotranspiração, milho, modelagem.

Abstract – With the purpose of estimating corn yield based on the water balance, the proposed model was tested in different counties of São Paulo State, Brazil. Fixing the degree-days, the corn yield was simulated for different water deficit conditions as a function of sowing dates. For the water balance and the corn yield computation, a software in Visual Basic for Windows environment was developed. The estimated values for all counties in São Paulo State showed that the proposed model is useful to define the magnitude order of corn yield as function as climatic and crop variables.

Key words: Evapotranspiration, maize, modeling.

Introdução

Entre as principais culturas de cereais dos trópicos subúmidos e semiáridos, o milho tem a mais alta produção em condições ótimas de água e fertilidade do solo (FANCELLI & LIMA, 1982). É, porém, uma das culturas mais sensíveis ao estresse hídrico, com os estádios de desenvolvimento mais críticos: (i) iniciação floral e desenvolvimento da

inflorescência; (ii) fertilização, e (iii) enchimento de grãos (PATERNIANI, 1978).

A disponibilidade hídrica, durante o ciclo de uma cultura, pode ser estimada por meio do balanço hídrico, constituindo-se em uma ferramenta muito útil para a recomendação ou não do seu cultivo em determinada região, bem como para definir época de semeadura (THORNTHWAITE & MATHER, 1955).

¹Dr. Prof. Departamento de Produção Vegetal. USP-ESALQ.

²Dr. Prof. Departamento de Solos e Nutrição de Plantas. USP-ESALQ.

³Eng. Agrônomo. Doutorando em Irrigação e Drenagem. USP-ESALQ. Bolsista CAPES. lgfigue@esalq.usp.br.

⁴Dr. Prof. Departamento de Fitotecnia CCR-UFMS.

⁵Bolsista CNPq.

Para o processo de planejamento, as funções de produção água-cultura constituem o elemento básico de decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente à operação de projetos de irrigação, permitem tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível (FRIZZONE, 1998). A quantificação de elementos climáticos, portanto, pode ser utilizada no ajuste de modelos de simulação de desenvolvimento e crescimento de culturas e é instrumento aplicável à pesquisa, ao planejamento e ao monitoramento de culturas.

Alguns modelos de simulação já foram desenvolvidos para estimar o efeito da deficiência hídrica no rendimento de culturas, assumindo grande importância no planejamento das culturas irrigadas (DOORENBOS & KASSAM, 1979; SUDAR *et al.*, 1981; FRIZZONE & OLITTA, 1990). O modelo proposto por DOORENBOS & KASSAM (1979), um dos mais conhecidos da literatura, foi avaliado por FERRAUDO *et al.* (1995), que obtiveram resultados satisfatórios no ajuste dos dados de rendimento de milho para a região de Ribeirão Preto (SP).

O referido modelo quantifica a resposta de determinada cultura à deficiência hídrica, por meio de um fator de resposta que relaciona a queda de rendimento relativo com o déficit de evapotranspiração relativa (razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima). O coeficiente de cultivo, entretanto, não está explicitamente considerado na sua estrutura, o que pode implicar em estimativas pouco representativas para determinadas situações, especialmente quando a deficiência hídrica ocorre em grande parte do ciclo, ou em mais de um estágio de desenvolvimento da cultura.

Neste trabalho, tem-se por objetivo estimar produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo.

Material e métodos

O modelo proposto para estimativa da depleção de produtividade de milho a partir do balanço hídrico, foi elaborado com base na relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração máxima e na estimativa da produtividade potencial da cultura (FIGUEREDO JÚNIOR, 2002).

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 (K_c) e de profundidade efetiva do sistema radicular (Z_e) 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).

Evapotranspiração de referência (ET_0 , 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, ocorre quando a folhagem vegetal se mantém turgesciente e, quando o processo decorre dependente de atributos do clima, não havendo restrição de água ou cobertura vegetal”. Calcula-se ET_0 utilizando-se a seguinte equação (THORNTHWAITE, 1948):

$$ET_0 = 0,53 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_i}{I}\right)^a \cdot \left(\frac{H_i}{12}\right) N_i \quad (1)$$

em que T_i refere-se à temperatura média (°C), I ao índice térmico, a ao coeficiente empírico composto, N_i ao número de dias e H_i é o número possível de horas de brilho solar no dia mediano do i -ésimo período.

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

$$I = 0,08745 \cdot \sum_{j=1}^{12} T_j^{1,514} \quad (2)$$

em que T_j se refere à temperatura (em °C) média diária do j -ésimo mês.

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

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

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

A evapotranspiração máxima (ET_m) representa a maior troca de gases possíveis entre a cultura e a atmosfera, e corresponde ao máximo rendimento da cultura. Estima-se a evapotranspiração máxima da cultura multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_0) pelo coeficiente de evapotranspiração da cultura (K_c) no i -ésimo período, ou seja:

$$ET_{m_i} = ET_0 \cdot K_{c_i} \quad (4)$$

em que Kc_i é obtido na literatura por meio de valores tabelados em função do estágio fenológico da cultura. No presente trabalho o fator de depleção de produtividade (Fd) foi calculado considerando-se um valor médio para o coeficiente de cultivo ($Kc = 1$) durante o ciclo da cultura.

Entende-se por saldo (S_i) a alteração no armazenamento, obtida pela diferença entre o armazenamento do período em questão (Arm_i) e o armazenamento do período anterior (Arm_{i-1}):

$$S_i = Arm_i - Arm_{i-1} \quad (5)$$

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

Se $ppt_i - ETm_i < 0$:

$$L_i = L_{i-1} + |ppt_i - ETm_i| \quad (6)$$

$$Arm_i = CAD_i \cdot e^{-\left(\frac{L_i}{CAD_i}\right)} \quad (7)$$

Se $ppt_i - ETm_i \geq 0$:

$$L_i = -CAD_i \cdot \ln\left(\frac{Arm_i}{CAD_i}\right) \quad (8)$$

$$Arm_i = Arm_{i-1} + S_i \quad (9)$$

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

O critério de iniciar o balanço hídrico, segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955) considera que o solo encontra-se 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:

$$Arm_i = CAD_i \cdot e^{-\frac{L_i}{CAD_i}} \quad (10)$$

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

$$CAD_i = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot Ze_i \cdot 10 \quad (11)$$

em que Ze_i é a profundidade efetiva do sistema radicular (cm) no i -ésimo período, θ_{cc} é a capacidade de campo ($cm^3 \cdot cm^{-3}$) e θ_{pmp} é o ponto de murcha permanente ($cm^3 \cdot cm^{-3}$). Nas estimativas realizadas no presente trabalho, foi utilizado um valor médio padrão ($CAD = 50$ mm) para o cálculo do balanço hídrico.

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

$$ETr_i = ETm_i \quad (ppt_i \geq ETm_i) \quad (12)$$

$$ETr_i = ppt_i + |S_i| \quad (ppt_i < ETm_i) \quad (13)$$

em que ppt_i se refere à chuva.

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, não suprirem a demanda evapotranspiratória.

O modelo proposto foi avaliado a partir de estimativas de produtividade de grãos de milho comparadas aos dados obtidos em experimentos realizados por LIMA (1995), GADIOLI (1999) e FIGUEREDO JÚNIOR (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, Tupaciguara-MG e Barreiras-BA (FIGUEREDO JÚNIOR, 2002).

Os modelos obtidos, a partir de análises de regressão, para estimativa da assimilação de dióxido de carbono, do índice de área foliar, do coeficiente de respiração de manutenção e crescimento e do coeficiente de extinção da radiação solar 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 estimativa de produtividade de milho consistiu na comparação dos valores de produtividade obtidos nas simulações com os observados, utilizando modelo linear. Para validação do modelo, considerou-se a hipótese de nulidade, ou seja, os coeficientes lineares, angulares e de correlação iguais a zero, um e um, respectivamente.

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

$$g(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [v(x_i) - v(x_i + h)]^2 \quad (14)$$

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 TNTmips foi utilizado para construir os semivariogramas experimentais de cada variável climática. O mesmo programa computacional foi utilizado para escolha do modelo matemático teórico que melhor se ajustasse aos dados dos semivariogramas experimentais (Tabelas 1 a 3).

Os dados de temperatura e chuva referentes a 272 municípios (265 municípios paulistas e 7 municípios de estados vizinhos, Figura 1) foram obtidos no Departamento de Ciências Exatas – ESALQ/USP (2002), e são originários do Departamento de Águas

e energia elétrica de São Paulo – DAEE e Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Para as demais localidades do Estado 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 (média mensal) foram obtidos do Laboratório de Energia Solar/INMET, e gerados pelo modelo físico BRAZILSR, com base em dados do satélite geoestacionário GOES-8. Os dados foram gerados em malhas de 0,5° de latitude x 0,5° de longitude, conforme apresentado na Figura 2.

Os mapas de superfície dos valores de temperatura, precipitação pluvial e radiação solar 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 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 e rendimento 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 e rendimento de milho e deficiência hídrica no solo para o Estado de São Paulo.

Tabela 1. Parâmetros dos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de temperatura utilizados na interpolação por Krigagem.

Mês	Patamar
Janeiro	2,160948
Fevereiro	2,310111
Março	2,441744
Abril	2,455585
Mai	2,431168
Junho	2,647437
Julho	2,528692
Agosto	3,139174
Setembro	3,274524
Outubro	2,846164
Novembro	2,427983
Dezembro	2,534323

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

Tabela 2. Parâmetros dos modelos esféricos ajustados aos semivariogramas dos dados de chuva utilizados na interpolação por Krigagem.

Mês	Alcance	Patamar
Janeiro	2,753112	1582,578258
Fevereiro	3,487275	1239,258784
Março	3,303734	1847,217986
Abril	3,487275	1376,878847
Mai	3,303734	712,778211
Junho	2,753112	478,536553
Julho	3,120193	452,613548
Agosto	3,303734	464,119093
Setembro	3,303734	655,847120
Outubro	3,487275	832,152494
Novembro	2,753112	1141,795107
Dezembro	2,753112	1815,866568

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

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

Mês	Alcance	Patamar
Janeiro	3,797104	314,254220
Fevereiro	3,586154	563,590034
Março	2,953303	502,015293
Abril	3,375204	972,287086
Mai	3,586154	435,491407
Junho	3,586154	952,596545
Julho	3,586154	1462,894785
Agosto	3,797104	746,317904
Setembro	3,586154	1770,234911
Outubro	3,586154	1811,885674
Novembro	4,008054	761,459393
Dezembro	4,429955	544,785177

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

Resultados e discussão

Na Figura 3, 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.

A deficiência hídrica no solo como fator limitante do rendimento de grãos de milho é bastante pesquisada (ALFONSI et al., 1997; DOORENBOS & PRUITT, 1997), e seu conhecimento é 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 3) como indicativo das épocas mais apropriadas para cada re-



Figura 2. Representação das estações climáticas do Estado de São Paulo com dados de radiação utilizados na Krigagem.



Figura 1. Representação das estações climáticas do Estado de São Paulo com dados de temperatura e chuva utilizados na Krigagem.

gime 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 3).

As áreas que apresentaram os maiores valores de deficiência hídrica no solo, no período de junho a setembro (Figura 3), são aquelas situadas na região Noroeste do estado, indicando que estas localidades apresentam limitações para o cultivo de milho no regime de sequeiro com semeadura entre os meses de abril a setembro.

As estimativas de rendimento de grãos de milho com épocas de semeadura de janeiro a dezembro no Estado de São Paulo são apresentadas nas Figuras 4 e 5.

De acordo com os resultados das estimativas de rendimento de grãos de milho, pode-se perceber que os maiores rendimentos, para todo o estado de São Paulo, foram observados com épocas de semeadura nos meses de outubro, novembro e dezembro. Isso ocorre porque, tanto a disponibilidade de energia no sistema é elevada nessa época do ano, resultando em altas produtividades, como a deficiência hídrica nos meses de dezembro a março, é relativamente baixa 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, causou uma redução no rendimento para

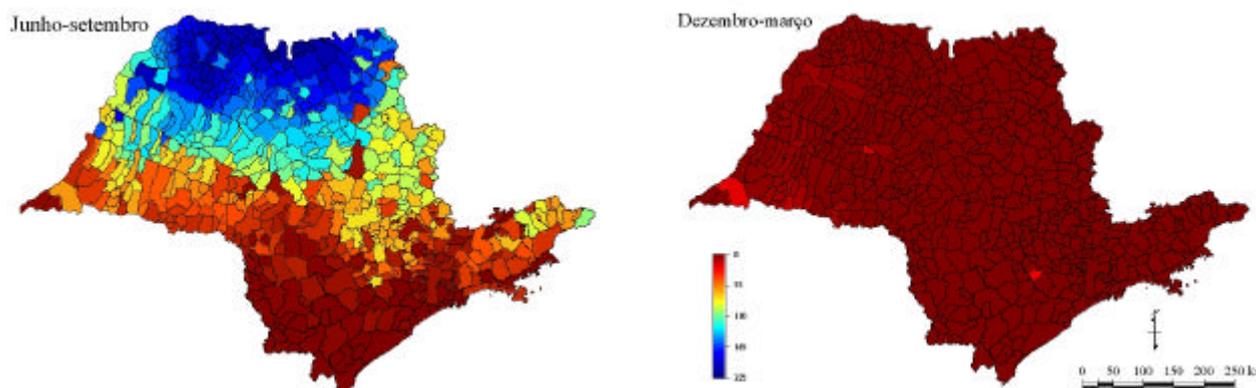


Figura 3. Deficiência hídrica (mm) do período referente aos meses de junho a setembro, e dezembro a março no estado de São Paulo.

as semeaduras realizadas a partir de março até setembro, especialmente, nas áreas situadas na região Noroeste do estado.

Esses resultados, portanto, corroboram com aqueles encontrados por ALFONSI *et al.* (1997), de 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 com os de rendimento para semeadura 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 (função de temperatura e radiação solar) são relativamente elevados, especialmente na Região Noroeste do estado.

Desta maneira, a exploração da cultura do milho semeado 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.

Todavia, 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.

Conclusões

As estimativas obtidas para os diferentes municípios do estado de São Paulo indicam que o modelo proposto é utilizável para definir a ordem de grandeza de produtividade de grãos de milho a partir do conhecimento de variáveis agrometeorológicas e da cultura.

O modelo proposto pode ser utilizado como ferramenta no zoneamento agrícola da cultura de milho, e auxilia o produtor na escolha da época de semeadura. A definição do genótipo em função da época do ano demonstrou que os ciclos normais predominaram nas épocas mais quentes do ano, enquanto, nas épocas e/ou locais mais frios, houve predominância de ciclos tardios ou não recomendado nenhum dos genótipos. Como exemplo pode-se mencionar o município de Campos do Jordão, que apresentou limitação para o cultivo de milho, portanto, não se recomendada a exploração desta cultura em nenhuma época do ano.

Referências bibliográficas

- 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.
- CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Bragantia**, v.21, n.12, p.163-213, 1962.

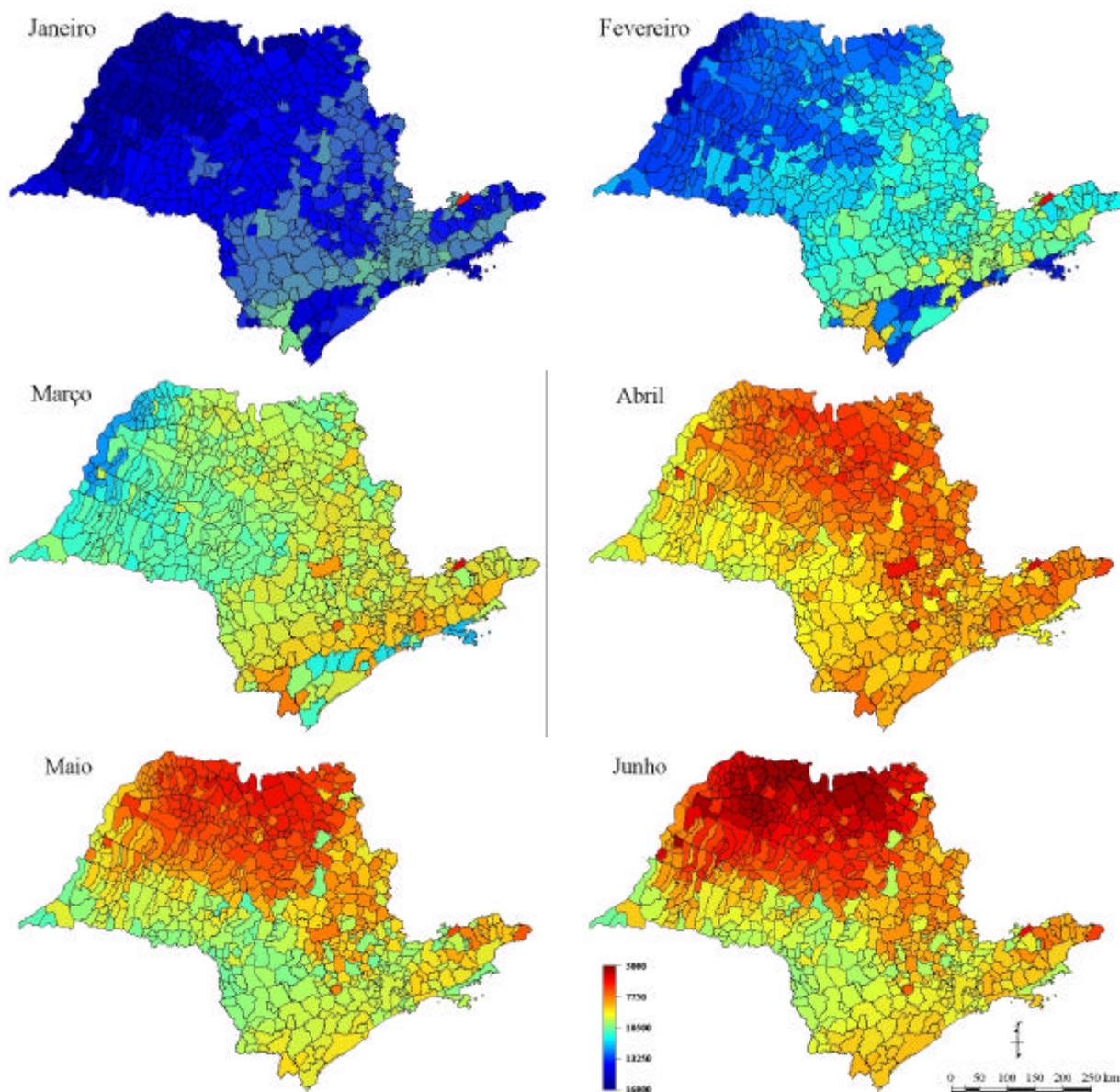


Figura 4. Produtividade deplecionada de grãos de milho no estado de São Paulo estimado com época de semeadura no primeiro dia dos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho.

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., 1995. Campina Grande, **Anais...**, Campina Grande: SBA, 1995, p. 415-417.

Departamento de Ciências Exatas – ESALQ/USP. Disponível em: <http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo>, acessado em: 25/07/2002X.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Tradução de GHEYI, H. et al. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

FANCELLI, A.L.; LIMA, U.A. **Milho**: Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: FEALQ, 1982. 112 p.

FERRAUDO, A.S.; ANDRÉ, R.G.B.; PINHO, S.Z. Modelo agrometeorológico para estimar rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 3, n. 1, p. 93-96, 1995.

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. et al. Proposta de modelo mecanístico para a estimativa de rendimento potencial da cultura de milho. In: CONGRESSO NACIO-

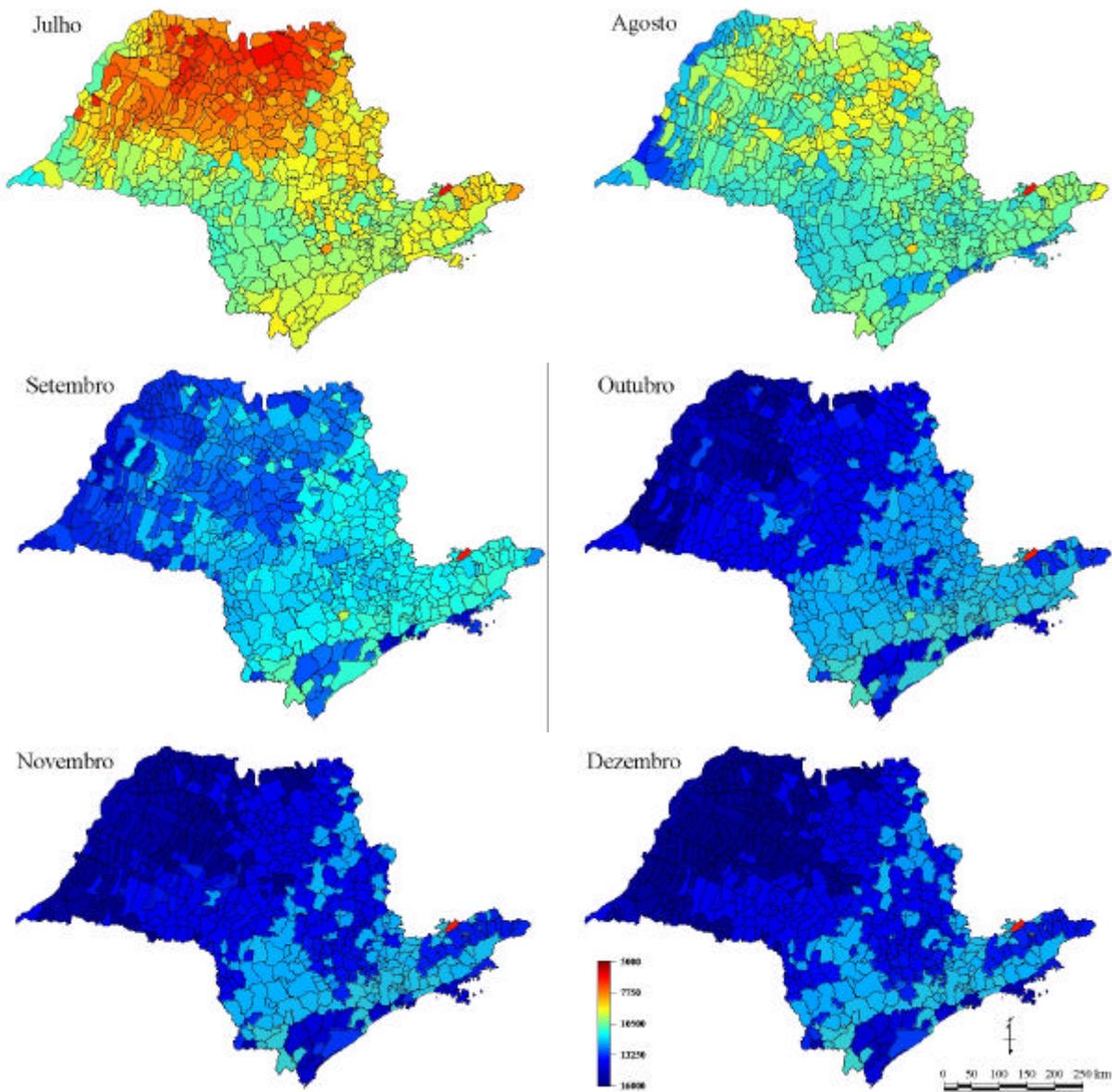


Figura 5. Produtividade deplecionada de grãos de milho no estado de São Paulo estimado com época de semeadura no primeiro dia dos meses julho, agosto, setembro, outubro novembro e dezembro.

NAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002. Florianópolis, *Anais...*, Florianópolis: CNPMS/EPAGRI, 2002 (CD-Rom).

FRIZZONE, J.A. Função de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 27., 1998, Poços de Caldas, *Anais...*, Lavras: UFLA/SBEA, 1998, p. 87-116.

FRIZZONE, J.A.; OLITTA, A.F.L. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção de trigo. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 23-36, 1990.

GADIOLI, J.L. **Estimativa de rendimento de grãos e caracterização fitotécnica da cultura de milho (*Zea mays* L).** Piracicaba, 1999. 86 p.: il. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo CERES-maize em condições tropicais do Brasil.** Piracicaba, 1995. 119 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Fointanebleu: Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fointanebleu, 1971. 211 p.

PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargill, 1978. 650 p.

SUDAR, R.A.; SAXTON, K.E.; SPOMER, R.G. A predictive model of water stress in corn and soybean. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 1, p.97-102. 1981.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in climatology**, New Jersey, Drexel Institute of Technology, v.8, n.1, 1955. 104 p.