

TESTE DE MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE MONITORAMENTO E DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DO CAFEIRO (*Coffea arabica* L.) NO ESTADO DE SÃO PAULO

Marcelo B. P de CAMARGO ^{1,5} E-mail: mcamargo@iac.sp.gov.br, Marco A. dos SANTOS ², Orivaldo BRUNINI ^{1,5}, Joel I. FAHL ¹, Elza J. L. MEIRELES ³ e Bernardo LORENA ⁴

¹IAC/APTA, Campinas, SP, ²Curso PG/IAC/APTA, Campinas, SP, ³Embrapa Café, Brasília, DF, ⁴CATI, Campinas, SP, ⁵Bolsa de Produtividade, CNPq.

Resumo:

O desenvolvimento de modelo agrometeorológico que possibilite a estimativa de quebra de produtividade antecipada é importante para subsidiar programas de previsão de safras de café. Uma boa estimativa da produtividade implica na utilização de modelos que considerem os efeitos ambientais aos processos fisiológicos determinantes da produção. Este trabalho teve o objetivo de testar um modelo matemático agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro para três diferentes escalas produtivas “talhão”, “propriedade” e “município” em diferentes regiões do Estado de São Paulo. Dados meteorológicos e de produtividade foram coletados no IAC e CATI para o período de 2000 a 2004. O modelo se baseia na penalização da produtividade potencial da cultura em função do déficit hídrico quantificado através da relação $[1 - (ET_r/ET_p)]$ ajustadas por diferentes coeficientes de sensibilidade da cultura (K_y) ocorridos em diferentes fases fenológicas. O modelo considera também os efeitos da produtividade do ano anterior e temperaturas adversas ocorridas em fases fenológicas críticas. Os modelos parametrizados, nas três escalas produtivas consideradas, apresentaram ajustes satisfatórios entre valores observados e estimados, com valores do índice “d” variando de 0,88 a 0,92, “R” variando de 0,81 a 0,87 e erros aleatórios relativamente baixos de 5,1 a 9,4 sacas.ha⁻¹ e sistemáticos de 3,5 a 7,1 sacas.ha⁻¹. O modelo apresentou pequena tendência a superestimar as produtividades estimadas. Os resultados indicam que o modelo parametrizado em diferentes escalas produtivas tem potencial para estimar a produtividade do café, podendo servir como subsídio aos trabalhos de previsão de safra.

Palavras-chave: fenologia, produtividade, modelagem, coeficientes de sensibilidade.

TEST OF AN AGROMETEOROLOGICAL MODEL FOR MONITORING AND PREDICTING COFFEE YIELD IN SAO PAULO STATE, BRAZIL

Abstract:

Agrometeorological models can allow a good knowledge of the quantitative influence of the climatic conditions, such as air temperature and soil water balance, on the development of the coffee plant and grain production. A method to reliably monitor and assess agrometeorological impact on coffee yields just before the beginning of the maturation growth stage is proposed. Grain yield data were taken from adult coffee plants from coffee plantations at four different regions of the State of Sao Paulo, Brazil. Basically, the agrometeorological model is based in two parts: First, the model estimates the beginning of the floral induction based on accumulated growing degree days, and a critical rainfall depth. The second part is based on penalization of the potential crop grain yield according the previous yield and the water stress ratio (ET_a/ET_p) derived by 10-day soil water balance occurred during different growth stages. These ratios were weighted by derivation of crop phase yield-response sensitivity coefficients (K_y values) in a multiplicative type model. Also, the model considers penalization for minimum and maximum air temperature. An analysis of the sensitivity coefficients values shows that this model gives higher weight to the water relations during flowering and coffee bean formation phases. This period generally occurs between October and January and it will determine the production of the coffee crop. The statistical analysis for actual and estimated coffee grain yield presented “R” between 0.81 and 0.87, d-index of agreement between 0.88 and 0.92. The results support the overall conclusion that the proposed model show a good capacity to estimate the grain yield. This agrometeorological model looks promising as a tool for monitoring climatic impacts on coffee grain yields

Key words: phenology, productivity, modelling, sensitivity coefficients.

Introdução

A estimativa antecipada e precisa da produção de café requer o conhecimento do tripé "Área-Produtividade-Tempo". A *área* pode ser estimada através das tecnologias de imagem de satélite georeferenciadas à campo como base para o mapeamento geoprocessado e conseqüente cadastramento das áreas cafeeiras. O *tempo* é importante, pois uma estimativa consistente deve ser obtida antecipadamente, pelo menos até o último bimestre do ano anterior à produção. O conhecimento da *produtividade* é fundamental para caracterizar a produção final, onde a produtividade envolve vários fatores como

insumos, avanços técnicos, fatores biológicos e climáticos, na qual esse último é fundamental, podendo ser bem caracterizado através de modelos agrometeorológicos.

Estes modelos possibilitam o monitoramento e a estimativa de produtividade antecipada, podendo ser importantes para subsidiar os programas oficiais de previsão de safra de café. Como o cafeeiro tem a sua produtividade afetada pela bionalidade e pelas condições meteorológicas, em especial deficiência hídrica e temperaturas adversas, uma boa estimativa da produtividade implica na elaboração de modelos que considerem os efeitos ambientais aos processos fisiológicos determinantes da produção.

Camargo et. al. (2003) propuseram um modelo matemático agrometeorológico de monitoramento visando estimar a quebra de produtividade do café, baseado em componentes fenológicos, hídricos e térmicos. Os autores ressaltam a necessidade da parametrização dos coeficientes hídricos e térmicos, e validação do modelo. Santos (2005) parametrizou os coeficientes de sensibilidade do modelo, que passou a considerar também os efeitos da bionalidade produtiva. O modelo matemático agrometeorológico parametrizado foi testado com dados independentes, visando a obtenção de estimativas de produtividade mais consistentes, as quais segundo Costa (1997) são dependentes das diferentes escalas produtivas, como talhão, propriedade, município e região.

O objetivo do trabalho foi testar o modelo matemático agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro proposto por Camargo et al. (2003) e parametrizado por Santos (2005) para diferentes escalas de produção (talhão, propriedade e município) e regiões no Estado de São Paulo.

Material e Métodos

O modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa da quebra da produtividade do café “ $Q(\%)$ ” proposto por Camargo et al. (2003), é um modelo matemático-mecânico, sendo composto por componente fenológico e fatores de penalização hídricos (DH) e térmicos (temperaturas adversas) da seguinte forma:

$$Q(\%) = \left[1 - \left(Ky \left(1 - \frac{ETr}{ETp} \right) \right) \right] * [1 - f.TMIN] * [1 - f.TMAX]$$

O componente fenológico é utilizado para estimar o início da fase do florescimento pleno do cafeeiro, de acordo com Camargo e Camargo (2001). O componente hídrico do modelo é similar aos trabalhos de Doorenbos e Kassan (1979) e Picini et al (1999), e se baseia nos resultados do balanço hídrico seqüencial, onde o estresse hídrico por deficiência é quantificado através de “produtórios decendiais” das relações $[1 - (ETr/ETp)]$ ajustadas por diferentes coeficientes de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (ky) ocorridos nas quatro fases fenológicas mais críticas (indução floral, florescimento, granação e maturação). Para a estimativa dos valores de ETp e ETr, utilizou-se o modelo de balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), em escala decendial seqüencial. A capacidade máxima de água disponível (CAD) considerada foi de 100mm que segundo Camargo e Pereira (1994) atende a grande maioria dos tipos de solos das áreas cafeeiras do Estado de São Paulo. A parametrização decendial dos valores de ky foi apresentada por Santos (2005) de acordo com a fenologia bional do cafeeiro proposta por Camargo e Camargo (2001). Os maiores valores dos coeficientes “ky” foram determinados para as fases do florescimento e granação, sendo a grandeza dependente das escalas produtivas.

O modelo de Camargo et al. (2003) considera ainda temperaturas adversas, como temperaturas elevadas durante o florescimento e geadas. A penalização por geada é baseada no modelo “gaussiano” que estima a porcentagem (%) de cafeeiros danificados com base na ocorrência de temperaturas mínimas absolutas inferiores a 2°C no abrigo meteorológico. A penalização por temperaturas máximas foi feita com base no modelo de “gompertz” que considera o efeito da ocorrência de temperaturas superiores a 34°C durante o período crítico do florescimento.

O modelo testado incorporou os efeitos da alternância (bionalidade) produtiva, relacionando a produtividade do ano anterior (Yaa) com a produtividade potencial (Yp), ajustados por diferentes coeficientes de sensibilidade da bionalidade (Ky0) de acordo com a escala produtiva considerada. Os valores de Ky0 determinados por Santos (2005) foram 1,05 para “planta”, 0,96 para “talhão”, 0,63 para “propriedade” e 0,45 para “município”, indicando assim, que quanto maior a escala considerada (município), menor a amplitude das produtividades.

Assim o modelo agrometeorológico de estimativa (Yest) de produtividade (sc/ha) fica:

$$Yest = \left\{ \left(Ky0 \left(\frac{Yaa}{Yp} \right) \right) * \left[1 - \left(ky \left(1 - \frac{Etr}{Etp} \right) \right) \right] * [1 - f.geada] * [1 - f.Tmáx] \right\}$$

Para o teste, foram considerados dados independentes de produtividades observadas de café adulto, coletados junto a CATI, IAC e Cooperativas do período de 2000 a 2004 referentes a quatro diferentes regiões agroecológicas do Estado de São Paulo, representadas por Franca, Mococa, Campinas e Marília. As produtividades foram consideradas em três níveis de escala produtiva: talhão, propriedade e município.

Os valores diários de temperaturas máximas e mínimas e precipitações pluviárias foram obtidos junto aos arquivos do setor de Climatologia Agrícola do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) de postos meteorológicos localizados próximos às áreas cafeeiras.

Para os testes do modelo foram comparadas as produtividades estimadas e observadas utilizando-se de “plotagem” gráfica e análises de regressão envolvendo coeficientes de correlação (R) que indica precisão, índice de concordância “d” que indica o grau de exatidão (Willmot et al., 1985), erros sistemático (Es) e aleatórios (Ea).

Resultados e Discussão

Resultados do modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa da quebra de produtividade do café “ $Q(\%)$ ” referentes aos anos agrícolas 2000/01 a 2004/05 para as regiões de Franca, Mococa, Campinas e Marília estão apresentados na Figura 1. Pode-se observar que o ano agrícola 2002/03 foi o que apresentou maiores quebras (18 a 25%) devido às pronunciadas adversidades térmicas e hídricas ocorridas em 2002. Pode-se observar também que as estimativas de quebra de produtividade se estabilizam a partir do mês de dezembro.

Análises de regressão envolvendo estimativas de produtividades pelos modelos parametrizados para as escalas produtivas de talhão, propriedade e município, comparadas com as produtividades observadas apresentaram valores de coeficientes de concordância “d” e de correlação “R”, respectivamente de 0,90 e 0,81 para talhão, 0,92 e 0,87 para propriedade e 0,88 e 0,86 para município, indicando um bom grau de exatidão e médio grau de precisão dos modelos.

Os desempenhos dos modelos na estimativa da produtividade, comparados com as produtividades observadas de café para as três escalas produtivas estão apresentadas na Figura 2. Pela comparação entre as produtividades observadas e estimadas e pela reta 1:1 e da regressão linear, verifica-se que o desempenho do modelo foi similar para as escalas de propriedade e município, que apresentaram valores de erros aleatórios (Ea) relativamente baixos (5,1 e 5,4 sc/ha), enquanto para talhão os valores de Ea foram relativamente altos (9,4 sc/ha). Os erros sistemáticos (Es) foram baixos para os níveis de talhão (3,5 sc/ha) e propriedade (3,9 sc/ha) e médio para município (7,1 sc/ha). Este valor relativamente alto de “Es” para a escala município, indica que o modelo tendeu a superestimar levemente as baixas produtividades e subestimar as altas.

Os resultados indicam que o modelo matemático agrometeorológico proposto por Camargo et al. (2003) que considera fatores de penalização por déficit hídrico, pela produtividade do ano anterior e por temperaturas adversas, e parametrizado por Santos (2005) em diferentes escalas produtivas, tem potencial para estimar a produtividade do café podendo servir como importante subsídio aos trabalhos de previsão de safra da cultura cafeeira.

Referências bibliográficas

- Camargo, A.P.; Pereira, A.R. (1994) Agrometeorology of the coffee crop. Geneva, World Meteorological Organization, 96p. (Agricultural Meteorology Cam Report, 58).
- Camargo, A.P.; Camargo, M.B.P. (2001) Definição e esquematização das fase fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, 60(1):65-68.
- Camargo, M.B.P.; Pedro Junior, M.J.; Ortolani, A.A.; Alfonsi, R.R.; Pinto, H.S. (1984) Relações entre a precipitação pluviométrica e a produtividade do cafeeiro. *Ecossistema*, 9(1):166-171.
- Camargo, M.B.P.; Santos, M.A.; Pedro Junior, M.J.; Fahl, J.I.; Brunini, O.; Meireles, E.J.L.; Bardin, L. (2003) Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à previsão de safra de café (*Coffea arabica* L.): resultados preliminares. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 3., 2003, Porto Seguro. *Anais...* Brasília, Embrapa Café. pp.75-76.
- Carvalho, L.G.; Sedyama, G.C.; Cecon, P.R.; Ramos Alves, H.M. (2003) Avaliação de um modelo agrometeorológico para previsão de produtividade de café em três localidades da região sul do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 11(2):343-352.
- Costa, L.C. (1997) Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10., 1997. Piracicaba. *Anais...* Piracicaba, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, pp.3-6.
- Doorenbos, J.; Kassan, A. H. (1979) *Yield response to water*. Rome: FAO, 197p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- Picini, A.G.; Camargo, M.B.P.; Ortolani, A.A.; Fazuoli, C.; Gallo, P.B. (1999) Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. *Bragantia*, 58(1), p.157-170.
- Pinto, H.S.P.; Zullo, J.R.; Brunini, O.; Alfonsi, R.R.; Camargo, M.B.P.; Coral, G.; Barbano, M.T. (2000) Um modelo para estimativa de danos causados por geadas em cafezais. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1, 2000. Poços de Caldas. *Resumos expandidos...* Brasília, Embrapa Café e MINASPLAN, pp. 120-122.

Santos, M.A. dos. (2005) Parametrização de coeficientes de sensibilidade e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Campinas, 146p. Dissertação (Mestrado), Instituto Agrônomo de Campinas, APTA, 2005.

Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. (1955) The water balance. Centerton, N. J., 104p. (Publications in Climatology. v.8, n. 1).

Willmot, C.J.; Ackleson, S.G.; Davis, J. J.; Feddema, K.M.; Klink, D.R. (1985) Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, 90:8995-9005.

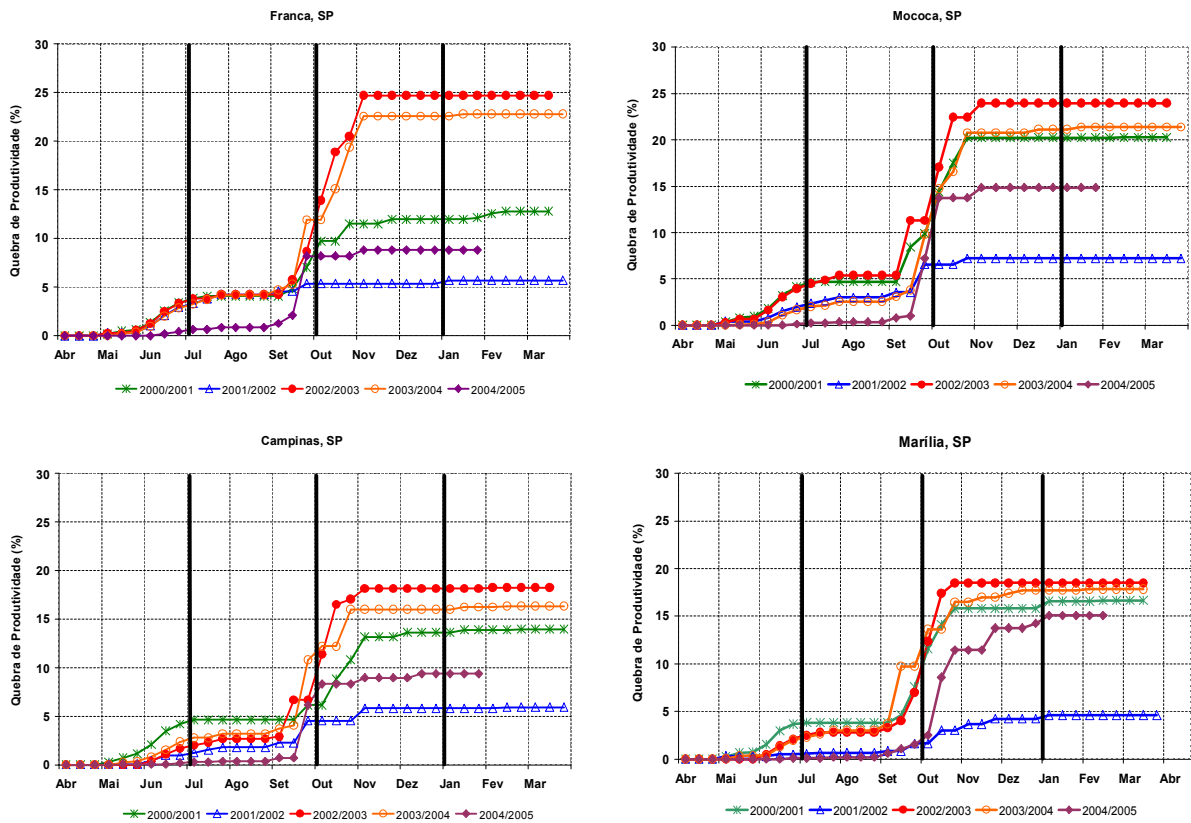


Figura 1. Estimativas de quebra da produtividade do café “ $Q(\%)$ ” referentes aos anos agrícolas 2000/01 a 2004/05 para as regiões de Franca, Mococa, Campinas e Marília.

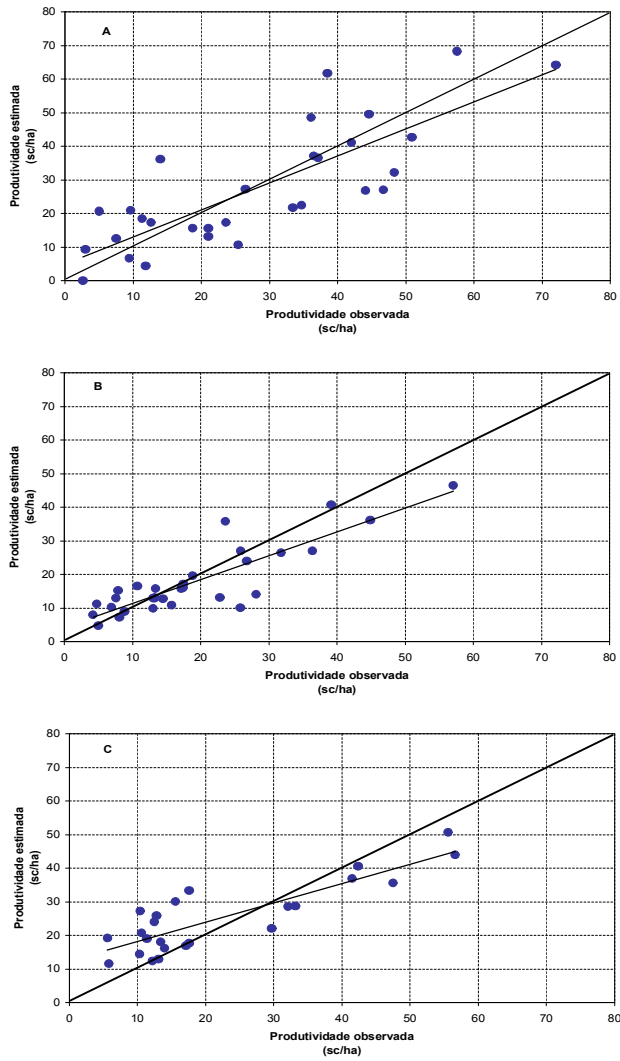


Figura 2. Produtividades observadas e estimadas (sc/ha) pelo modelo matemático agrometeorológico para as escalas produtivas de talhão, propriedade e município.