

PARAMETRIZAÇÃO DE MODELO AGROMETEOROLÓGICO DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) PARA DIFERENTES ESCALAS: PLANTA, TALHÃO, PROPRIEDADE E MUNICÍPIO

Marco A. dos SANTOS¹ E-mail: mcamargo@iac.sp.gov.br, Marcelo B. P. de CAMARGO^{2,4}, Joel I. FAHL², Mário J. PEDRO JUNIOR^{2,4}, Luiz C. FAZUOLI^{2,4} e Bernardo LORENA³

¹ Curso PG/IAC/APTA, Campinas, SP, ² IAC/APTA, Campinas, SP, ³CATI, Campinas,SP, ⁴Bolsa de Produtividade, CNPq.

Resumo:

O cafeeiro tem a sua produtividade afetada pela bienalidade e pelas condições meteorológicas, em especial deficiência hídrica e temperaturas adversas do ar. O objetivo do trabalho foi modificar e parametrizar um modelo matemático agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro para quatro diferentes escalas produtivas (planta, talhão, propriedade e município) em diferentes regiões cafeeiras do Estado de São Paulo. Os dados meteorológicos e de produtividade foram coletados no IAC, CATI e cooperativas. O modelo original se baseia na penalização da produtividade potencial da cultura em função do déficit hídrico ajustadas por diferentes coeficientes de sensibilidade da cultura (ky) ocorridos em diferentes fases fenológicas. O modelo considera ainda os efeitos de temperaturas adversas, como geadas e temperaturas elevadas durante o florescimento. O modelo foi modificado visando considerar também os efeitos da bienalidade produtiva por meio de coeficientes de sensibilidade (ky0). A parametrização dos coeficientes foi feita com base em critérios e observações experimentais de acordo com a fenologia bienal do cafeeiro. Resultados indicaram os maiores valores dos coeficientes “ky” para as fases do florescimento e granação. Os valores dos coeficientes de sensibilidade (ky0) foram diferentes dependendo das escalas, 1,05 para planta, 0,96 para talhão, 0,63 para propriedade e 0,45 para município. Testes preliminares indicam que o modelo modificado e parametrizado nos diferentes níveis hierárquicos mostrou ter potencial para estimar produtividades do cafeeiro.

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

CALIBRATION OF THE SENSITIVITY COEFFICIENTS OF AN AGROMETEOROLOGICAL MODEL FOR PREDICTING COFFEE YIELD IN SAO PAULO STATE, BRAZIL

Abstract:

The coffee plant productivity is affected by the previous yield, by the agrometeorological conditions, specially water deficit and extreme air temperatures. The objectives of the present work were modify and calibrate an agrometeorological model to monitor and to estimate the coffee productivity just before the beginning of the maturation growth stage, considering four different hierachical levels of productivity, such as plant, plot, farm and county. Grain yield data were taken from adult coffee plantations at different regions of the States of Sao Paulo, Brazil. This model is based on penalization of the water stress ratio 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 (ky values) in a multiplicative type model. It was modified to consider also penalization of the potential crop grain yield according the previous yield by sensitivity coefficients (ky0 values), and penalization for minimum (frost) and maximum air temperature (flowering period). An analysis of the sensitivity coefficients “ky” values shows that this model gives higher weight to the water relations during floral induction, and especially during the flowering and coffee bean formation phases. These periods generally occur between September and January and it will determine the coffee production. The “ky0” coefficients showed different values according the hierachical levels of productivity, 1.05 for plant, 0.96 for plot, 0.63 for farm, and 0.45 for county. Model validation was satisfactory regardless the region and the hierachical levels considered. The statistical analysis for actual and estimated coffee grain yield using the calibrated model presented relative high “R” and d-index of agreement values. This agrometeorological model looks promising as a tool for monitoring climatic impacts on coffee grain yields.

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

Introdução

O conhecimento prévio das safras agrícolas torna-se cada vez mais uma questão estratégica para o país, quer seja para o planejamento do abastecimento interno, como para a orientação das ações referentes ao mercado externo. A estimativa antecipada e precisa da produção de café requer o conhecimento do tripé "Produtividade-Área-Tempo". 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 de monitoramento. Modelos que possibilitem a estimativa de produtividade antecipada são importantes para subsidiar os programas oficiais de previsão de safra de café. Como o cafeeiro tem a sua produtividade afetada pela bienalidade e pelas condições meteorológicas, em especial deficiência hídrica e temperaturas adversas do ar, uma boa estimativa da produtividade implica na elaboração de modelos que considerem os efeitos ambientais aos processos fisiológicos determinantes da produção.

A maioria dos modelos agrometeorológicos existentes estimam a produtividade do café baseados apenas no fator hídrico (Lains e Silva, 1956, Tosello e Arruda, 1962, Camargo et. al., 1984, Silva et al., 1987, Liu e Liu, 1988, Weill, 1990, Picini., 1998, Carvalho et al., 2003). Picini et al. (1999) e Carvalho et al. (2003) propuseram e testaram diferentes modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade do café, baseados nos modelos matemáticos de Doorenbos e Kassan (1979) e de Rao (1988). Esses modelos sugerem que a demanda hídrica seja expressa pela razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial ocorridos nos diferentes estádios fenológicos da cultura, quantificando assim o efeito da água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade final.

O modelo de Picini et al. (1999) considera a produtividade do ano anterior, pois a interdependência de um ano sobre o subsequente afeta diretamente a produtividade do cafeeiro causando a bienalidade produtiva. Isto ocorre em decorrência da partição de elementos fotossintetizados entre fases reprodutiva e de crescimento vegetativo que acontecem simultaneamente (Barros, 1997). O modelo de Picini et al. (1999) penaliza também a produtividade apenas pelo fator déficit hídrico, o qual segundo Carvalho et al (2003) e Camargo et al. (2003) não deve ser considerado isoladamente, pois outros fatores climáticos interferem na produtividade, especialmente temperaturas adversas ocorridas nas diferentes fases fenológicas da cultura. Assim, Camargo et. al. (2003) propuseram um modelo matemático fenológico-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 de sensibilidade e teste do modelo para diferentes regiões. A identificação e parametrização dos coeficientes de sensibilidade relacionados aos fatores fenológicos, térmicos e do balanço hídrico são de fundamental importância para a obtenção de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade mais consistentes, os quais são dependentes dos níveis hierárquicos de estimativa de produtividade, como para planta, talhão, município ou região.

O objetivo do trabalho foi modificar e parametrizar o modelo matemático agrometeorológico proposto por Camargo et al. (2003) de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro para quatro diferentes níveis hierárquicos (planta, talhão, propriedade e município) em diferentes regiões cafeeiras do Estado de São Paulo.

Material e Métodos

Dados de produtividade de cafeeiros adultos, do período de 1961 a 2002, foram coletados no IAC, CATI e Cooperativas referentes a cinco diferentes regiões agroecológicas do Estado de São Paulo, representadas por Campinas, Mococa, Franca, Marília e Jales. Conforme considerações apresentadas por Costa (1997) sobre a necessidade de estabelecer diferentes níveis de hierarquia dos sistemas produtivos na modelagem da produtividade de uma cultura, neste trabalho foram considerados quatro diferentes níveis: planta (I), talhão (I+1), propriedade (I+2) e município (I+3). Os valores diários de temperaturas máximas e mínimas e precipitações pluviárias foram obtidos junto aos arquivos do setor de Climatologia Agrícola do IAC.

Utilizou-se o modelo matemático agrometeorológico de monitoramento e de estimativa da quebra da produtividade do café proposto por Camargo et al. (2003), caracterizado basicamente como um modelo matemático-mecânico composto por componente fenológico e fatores de penalização hídricos (DH) e térmicos (temperaturas adversas). O componente fenológico é utilizado para estimar o início da fase do florescimento pleno do cafeeiro, de acordo com Camargo e Camargo (2001). Neste trabalho foram alterados os valores de ET_p acumulados e o totais de chuva necessários para a antese.

O componente hídrico do modelo é similar aos trabalhos de Doorenbos e Kassan (1979) e Picini (1998), e se baseia nos resultados do balanço hídrico seqüencial (ET_p , ET_r), onde o estresse hídrico por deficiência é quantificado através de “produtórios decendiais” das relações $[1-(ET_r/ET_p)]$ ajustadas por diferentes coeficientes de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (K_y) ocorridos nas quatro fases fenológicas mais críticas (indução floral, florescimento, granação e maturação). Para a estimativa dos valores de ET_p e ET_r , 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 Alfonsi et al. (1990) e 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 K_y foi feita por intermédio de critérios e observações experimentais de acordo com a fenologia bienal do cafeeiro proposta por Camargo e Camargo (2001). Foram testadas quinze diferentes seqüências de K_y , variando a grandeza dos coeficientes durante as fases fenológicas críticas da cultura.

O modelo proposto por Camargo et al. (2003) considera ainda temperaturas adversas, como temperaturas elevadas durante o florescimento e geadas. A penalização por geadas foi similar ao modelo linear proposto por Pinto et al. (2000) que considera danos inferiores a $0,7^{\circ}C$. Neste trabalho foi utilizado um modelo gaussiano (Figura 1) que estima a porcentagem (%) de cafeeiros danificados com base na ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais inferiores a $2^{\circ}C$ no abrigo meteorológico. A penalização por temperaturas máximas durante o florescimento, foi feita utilizando o

modelo de “Gompertz” (Figura 2) que considera temperatura média das máximas a nível decendial de 30°C, durante os três primeiros decêndios após a plena antese, equivalente a temperaturas máximas absolutas do ar superiores a 34°C.

Neste trabalho foi incorporado o efeito da alternância (bienalidade) produtiva, relacionando a produtividade do ano anterior (Y_{aa}) com a produtividade potencial (Y_p), ajustados por diferentes coeficientes de sensibilidade da bienalidade (Ky_0) de acordo com o nível hierárquico considerado.

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

$$Y_{est} = \left\{ \left(Ky_0 \left(\frac{Y_{aa}}{Y_p} \right) \right) * \left[1 - \left(ky \left(1 - \frac{E_{tr}}{E_{tp}} \right) \right) \right] * [1 - f.guada] * [1 - f.Tmáx] \right\}$$

Resultados e Discussão

Os valores de E_{Tp} acumulado e do total de chuva mínima necessária que melhor estimaram o início da fase do florescimento pleno do cafeeiro foram 340mm e 5mm, respectivamente.

A parametrização dos coeficientes de sensibilidade do cafeeiro ao déficit hídrico (ky) indicou que as fases fenológicas da indução floral, florescimento e granação possuem diferentes valores visando as penalizações decendiais do modelo matemático agrometeorológico de estimativa de produtividade. As análises estatísticas das séries dos coeficientes ky indicaram três diferentes seqüências (Figura 3) como sendo as melhores séries para as penalizações, dependendo da escala produtiva. Coeficientes “R” e “d” de Wilmott et al. (1985) ficaram entre 0,73 e 0,93, indicando bom desempenho nas estimativas de produtividade. Para as escalas produtivas “planta” e “talhão”, a melhor série foi a ky_{10} , enquanto para as escalas “propriedade” e “município” foram as séries ky_{15} e ky_{11} , respectivamente. Estas seqüências consideram valores de coeficientes de sensibilidade ao estresse hídrico em penalizações decendiais de 12 meses, variando de abril (indução floral) do ano anterior a março do ano da produção (maturação). Os maiores valores dos coeficientes são relativos às fases da indução floral, florescimento e granação, especialmente as duas últimas, concordando com Picini et al. (1999) que indicaram serem os meses de setembro a janeiro os mais decisivos para a formação da produção do café.

Os valores dos coeficientes de sensibilidade (ky_0) foram diferentes dependendo dos níveis hierárquicos, 1,05 para “planta”, 0,96 para “talhão”, 0,63 para “propriedade” e 0,45 para “município”, indicando assim que quanto maior o nível hierárquico considerado (município), menor a amplitude das produtividades.

Testes preliminares indicam que o modelo agrometeorológico proposto por Camargo et al. (2003) modificado e parametrizado, considerando diferentes séries de coeficientes de sensibilidade à deficiência hídrica e coeficientes de penalização pela produtividade do ano anterior, mostrou ter potencial para estimativas de produtividade do cafeeiro no Estado de São Paulo. Produtividades estimadas pelos modelos nas quatro escalas produtivas (planta, talhão, propriedade e município) possuem um bom grau de exatidão e precisão, apresentando pequenos valores de erros aleatórios.

Referências bibliográficas

- Affonsi, R.R.; Pedro Junior, M.J.; Arruda, F.B.; Ortolani, A.A.; Camargo, M.B.P.; Brunini, O. Guia agrometeorológico do agricultor irrigante no.1. Boletim Técnico do IAC, Campinas, SP, v.133, n.1, p.1-62, 1990.
- Barros, I. Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas. Piracicaba, 1997. 82 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Camargo, A.P.; Pereira, A.R. Agrometeorology of the coffee crop. Geneve: World Meteorological Organization, 1994. 96 p. (Agricultural Meteorology Cam Report, 58).
- Camargo, A.P.; Camargo, M.B.P. Definição e esquematização das fase fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. Bragantia, Campinas, SP v.60, n.1, p.65-68, 2001.
- Camargo, M.B.P.; Pedro Junior, M.J.; Ortolani, A.A.; Alfonsi, R.R.; Pinto, H.S. Relações entre a precipitação pluviométrica e a produtividade do cafeeiro. Ecosistema, Espírito Santo do Pinhal, SP v.9, n.1, p.166-171, 1984.
- Camargo, M.B.P.; Santos, M.A.; Pedro Junior, M.J.; Fahl, J.I.; Brunini, O.; Meireles, E.J.L.; Bardin, L. 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 Cafês do Brasil, 3., 2003. Porto Seguro, Anais, Porto Seguro: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003. p. 75-76.

- Carvalho, L.G.; Sedyama, G.C.; Cecon, P.R.; Ramos Alves, H.M. 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*, Santa Maria, v.11, n.2, p.343-352, 2003.
- Costa, L.C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, 1997. Piracicaba, Anais, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 3-6.
- Doorenbos, J.; Kassan, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 197 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).
- Lains e Silva, H. Contribuição para o estudo das causas de variação anual de produção de café. *Revista do Café Português*, v.3, n.10, p.13-28, 1956.
- Liu, W. T. H.; Liu, B. W. Y. Comparação de três modelos de previsão de safra de café no Estado de Minas Gerais. *Ciência e Cultura*, v. 40, n.8, p. 801-807, 1988.
- Picini, A. G. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo, Piracicaba, 1998. 132 p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Picini,A.G.; Camargo,M.B.P.; Ortolani,A.A.; FazuoliL.C.; Gallo,P.B. desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. *Bragantia*, Campinas, SP, v.58, n.1, p.157-170, 1999.
- Pinto, H.S.P.; Zullo, JR.; Brunini,O.;Alfonsi,,R.R.; Camargo,M.B.P.; Coral,G.; Barbano,M.T. Um modelo para estimativa de danos causados por geadas em cafezais. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1, 2000. Poços de Caldas, Anais, Poços de Caldas: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2000. p. 120-122.
- Rao, N.H.; Sarma, P.B.S.; Chander, S. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, v. 13, p. 25-32, 1988.
- Silva, G.L.S.P.; Vicente, J.R.; Caser, D.V. Avaliação de previsões de rendimento de culturas no Estado de São Paulo, fornecidas por modelos agrometeorológicos, anos agrícolas 1984/85 e 1985/86. *Informações Econômicas*, v.17, n.6, p.61-45, 1987.
- Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. The water balance. Centerton, N. J. 1955, 104 p. (Publications in Climatology. vol 8, n. 1).
- Tosello, R.N.; Arruda, H.V. Correlação entre estimativas oficiais de produção de café e precipitação pluviométrica, no Estado de São Paulo. *Bragantia*, v.21, p.449-465, 1962.
- Weill, M.A.M. Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) na região de Marília e Garça, SP. Piracicaba, 1990. 182 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- Willmot, C.J.; Ackleson, S.G.; Davis, J. J.; Feddema, K.M.; Klink, D.R. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal Geograph Researh*, v. 90, p. 8995-9005, 1985.

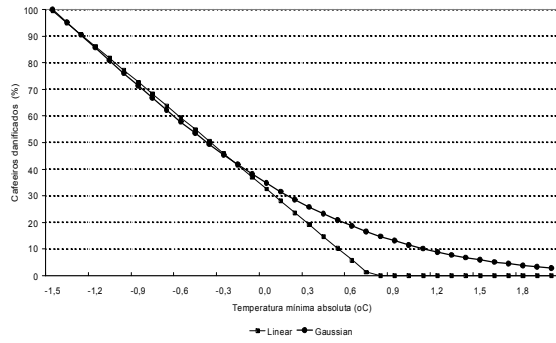


Figura 1. Estimativas de cafeeiros danificados (%) causados por temperaturas mínimas absolutas de abrigo meteorológico, segundo os modelos de Pinto et al. (2000) e o modelo “gaussiano” proposto.

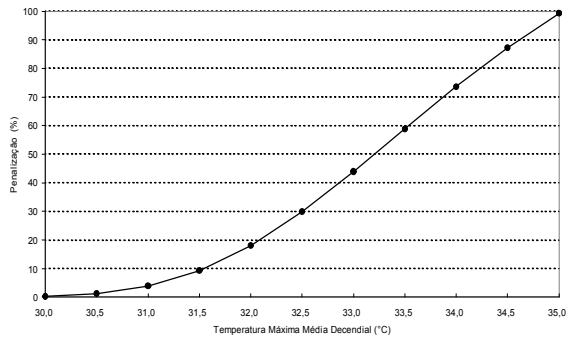


Figura 2. Estimativas de danos em cafeeiros (%) causados por temperaturas máximas médias ocorridas durante os três primeiros decêndios após a plena antese, segundo o modelo de “gompertz” proposto.

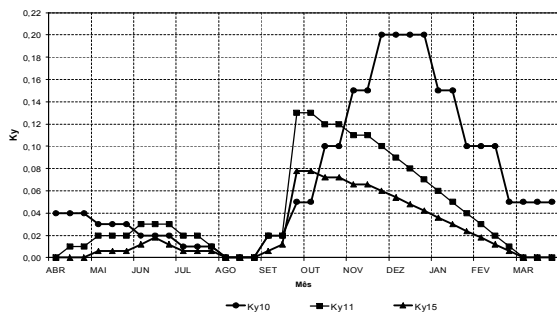


Figura 3. Diferentes séries de coeficientes de sensibilidade do cafeeiro quanto a deficiências hídricas (ky) em função das fases fenológicas da cultura.