

TENDÊNCIAS TEMPORAIS NOS VALORES DE QUEBRA RELATIVA DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO CAFÉ PARA A REGIÃO DE MOCOCA-SP NO PERÍODO DE 1961 A 2008

LUDMILA BARDIN¹, GABRIEL CONSTANTINO BLAIN²,
MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO^{2,3}

¹Eng^a Ambiental, Doutoranda PG/IAC/APTA Campinas-SP, Bolsista CAPES, ludmila_bardin@yahoo.com.br; ²Pesquisador Científico, IAC/APTA, Campinas-SP, gabriel@iac.sp.gov.br, mcamargo@iac.sp.gov.br. ³Bolsista de Produtividade Científica CNPq.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO: O objetivo do trabalho foi detectar tendências na série temporal de valores de quebra de produtividade do cafeeiro, no período de 1961 a 2008, para a região de Mococa, no Estado de São Paulo. Por meio de métodos paramétricos e não paramétricos houve detecção de elevação nos dados constituintes dessa série ocasionada por condições térmicas e hídricas adversas. Futuros estudos deverão determinar se essa alteração deve-se à intensificação de fatores relacionados ao suprimento hídrico e/ou a temperaturas do ar adversas ao longo dos diferentes estádios fenológicos da cultura.

PALAVRAS-CHAVE: métodos paramétricos, métodos não-paramétricos.

TEMPORAL TENDENCIES IN THE RELATIVE BREAK OF COFFEE CROP PRODUCTIVITY DURING 1961-2009 PERIOD FOR THE MOCOCA REGION, STATE OF SAO PAULO, BRAZIL

ABSTRACT: The objective of the work was to detect temporal tendencies in the series of values of relative break of coffee crop productivity during the period from 1961 to 2008, for the Mococa region, State of São Paulo. Through parametric and nonparametric methods there was elevation detection in the constituent data of that series caused by water deficiencies and thermal conditions. Futures studies should determine if that alteration is due to the intensification of factors related to the adverse water supply and/or to air temperature increase occurred along to the different coffee growth stages.

KEYWORDS: parametric and nonparametric methods.

INTRODUÇÃO: As pesquisas agrícolas devem considerar, entre outros fatores, impactos relacionados à mudanças climáticas (Zullo et al., 2006) indicadas por trabalhos como os do IPCC (2001a e 2001b). Os cenários de clima futuro com temperaturas mais elevadas poderão acarretar em severa redução da área cultivada de café no Estado de São Paulo (Pinto et al., 2008). Diversos trabalhos utilizam a análise estatística de séries temporais para a detecção de alterações climáticas. Vincent et al. (2005) observaram tendências de elevação ligadas principalmente à temperatura nas costas da América do Sul. Haylock et al. (2006) analisando tendências em séries de valores diários de chuva na América do Sul (1960 a 2000), afirmam que o padrão de alteração observado nos valores extremos é, de modo geral, o mesmo para os totais anuais. Assim, torna-se importante verificar tendências temporais nas respostas das culturas às diversas condições meteorológicas ocorridas nas últimas décadas. Modelos agrometeorológicos que relacionam condições ambientes, como disponibilidade hídrica no solo e temperaturas adversas com fenologia e quebra relativa de produtividade (QRP%) do

cafeeiro são importantes para subsidiar os programas de previsão de safra de café. Estes modelos consideram que cada fator climático exerce controle na produtividade da cultura por influenciar em determinados períodos fenológicos críticos, como na indução floral, na floração, na formação e na maturação dos frutos dos cafeeiros (Camargo et al., 2007). Assim, o objetivo do trabalho foi detectar tendências na série temporal de valores de QRP% no período de 1961 a 2008, para a região de Mococa, representativa da região cafeeira do Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS: Utilizou-se o modelo agrometeorológico de estimativa da quebra relativa de produtividade para a cultura do café (Camargo et al., 2007), baseado em componentes fenológicos, hídricos e térmicos, equação (1):

$$QRP(\%) = [(1 - f. DH) * (1 - f. geada) * (1 - f. Tmax)] \quad (1)$$

Em que: QRP(%) é a estimativa da quebra relativa de produtividade; *f. DH*, *f.geada* e *f.Tmax* são os fatores de penalização por deficiência hídrica e temperaturas adversas. O modelo considera diferentes índices de sensibilidade a déficit hídrico e térmico em forma de penalização multiplicativa durante as fases fenológicas críticas do cafeeiro. O componente hídrico é baseado nos resultados do balanço hídrico decendial, sendo que a deficiência hídrica foi quantificada por meio do déficit de ET relativa [1-ETr/ETp], ajustados por diferentes fatores de sensibilidade da cultura (*Ky*) ao déficit hídrico acontecidos nas diferentes fases fenológicas da cultura de acordo com Santos e Camargo (2006). Foram utilizados dados de temperatura do ar e precipitação pluvial da localidade de Mococa-SP, representativa da região cafeeira paulista referente ao período de 1961 a 2009. A série temporal de QRP(%) foi gerada com base no modelo proposto por Camargo et al., 2007. A investigação de tendências nos valores de QRP(%) foi realizada utilizando-se métodos paramétricos, teste da razão da verossimilhança (Λ^*), e não paramétricos, teste de Mann-Kendall (MK). A primeira etapa para o emprego do Λ^* foi a verificação, por meio dos testes de aderência Kolmogorv-Smirnov (KS) e qui-quadrado (χ^2), do ajuste dos dados de QRP(%) à distribuição gama. Descrições do KS, do χ^2 e da distribuição gama podem ser encontradas em Wilks (2006). O Λ^* foi calculado por meio das equações 2 e 3.

$$\Lambda^* = 2\left\{ \left[\sum_{i=1961}^{2008} L_1(\alpha_1, \beta_1; x_i) + \sum_{i=1961}^{1984} L_1(\alpha_2, \beta_2; x_i) \right] - \left[\sum_{i=1984}^{2008} L_1(\alpha, \beta; x_i) \right] \right\} \quad (2)$$

Em que:

$$L(\alpha, \beta; x_i) = (\alpha - 1) * \ln(x_i / \beta) - (x_i / \beta) - \ln(\beta) - \ln[\Gamma(\alpha)] \quad (3)$$

α e β são, respectivamente, parâmetros de forma e de escala da distribuição gama. Quanto maior a diferença entre os valores de quebra estimados em cada período (1961 a 1983 e 1984 a 2008) maior a diferença entre os somatórios $\sum L(\alpha, \beta; x_i)$ de cada amostra e, conseqüentemente, maior será o valor de Λ^* . Adotando o nível 10% de significância, o valor crítico é 4,605. Quando $\Lambda^* > 4,605$ a hipótese de nulidade (H_0), definida como igualdade estatística entre as duas amostras, é rejeitada. Inicialmente proposto por Mann (1945) e Kendall (1975) o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) pode ser definido, para uma série $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_i, Z_j, \dots, Z_n\}$ por:

$$T = \sum_{j < i} \text{sinal}(Z_i - Z_j) \quad \text{em que:} \quad \text{sinal}(Z_i - Z_j) = \begin{cases} 1; & \text{para } Z_i - Z_j > 0 \\ 0; & \text{para } Z_i - Z_j = 0 \\ -1; & \text{para } Z_i - Z_j < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Considerando a inexistência de observações adjacentes iguais e a independência temporal entre os n valores da série; quando não há presença de tendências T é normalmente com média $E(T) = 0$. O valor final da estatística do MK pode ser estimado por:

$$\text{MK} = \begin{cases} \frac{T - 1}{\sqrt{\text{Var}(T)}}; & \text{para } T > 0 \\ 0; & \text{para } T = 0 \\ \frac{T + 1}{\sqrt{\text{Var}(T)}}; & \text{para } T < 0 \end{cases} \quad \text{para} \quad \text{Var}(T) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

Adotando-se H_0 como a inexistência de tendências temporais; H_0 não é rejeitada se, em um teste bilateral, o valor absoluto de MK for menor que um determinado valor Z da tabela da distribuição normal reduzida. Adotando o nível 5% de significância, H_0 não será rejeitada sempre $-1,96 < \text{MK} < 1,96$. Tendências de elevação (queda) resultam em valores positivos (negativos) de MK.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A justificativa da adoção conjunta de métodos paramétricos e não paramétricos repousa nas limitações/qualidades inerentes a ambos as formas de investigação estatística. Nesse aspecto, a parametrização de uma distribuição empírica é importante no sentido de limitar possíveis deficiências causadas pelo número finito de dados contidos na série. De acordo com Dale (1968), o fato de um evento não ser registrado em uma amostra, probabilidade empírica igual a zero, não significa que ele não esteja ou não estará contido na população desse elemento. Busca-se, por meio do ajuste a uma distribuição teórica, a curva densidade de probabilidade que contenha todos os possíveis valores contidos na população da variável sob estudo. Contudo, apesar de ser interessante minimizar possíveis falhas amostrais, o amaciamento nas probabilidades de ocorrência resultantes desse ajuste pode limitar a robustez de testes como o Λ^* na detecção de tendências em séries temporais. Em contra partida, apesar de não fazerem qualquer distinção sobre a distribuição populacional de que os dados são provenientes, não há ajuste/amaciamento a uma curva teórica, métodos não paramétricos como o MK, podem ser mais sensível às falhas na coleta amostral. As características inerentes ao modelo de Camargo et al., (2007) capazes de gerar uma série temporal de dados de QRP% livre de persistência são, sob o aspecto estatístico, extremamente importantes. O ajuste de distribuições empíricas a modelos paramétricos é interessante se as probabilidades associadas aos dados constituintes dessa série temporal forem independentes entre si. Para dados auto-correlacionados a utilização desse tipo de análise resultaria em perdas de informações. Em outro aspecto, séries que contenham persistência temporal em seus valores tendem a apresentar variâncias amostrais superiores à variâncias populacionais. Observando-se a equação 4 verifica-se que a presença dessa última característica nas séries de QRP%, resultaria em elevação da probabilidade do erro estatístico tipo I na condução do método não paramétrico MK. Os valores resultantes da aplicação dos testes de aderência KS e χ^2 foram, respectivamente, 0,108 e 4,703. Dessa forma, verifica-se que a função densidade de probabilidade associada à distribuição gama (FDPG) pode, até o

nível 10% de significância, ser utilizada na descrição analítica da série de QRP%. Na Figura 1 são ilustradas a aplicação do Λ^* e do MK e os parâmetros de forma (α) e de escala (β) das FDPG ajustadas a cada período. Observa-se a significativa alteração nas curvas de probabilidades paramétricas relativas aos anos de 1961 a 1984 e 1985 a 2008, indicando rejeição de H_0 . O valor 9,946 do Λ^* indica uma probabilidade inferior à 0,01% de rejeição de uma H_0 verdadeira. Com isso, verifica-se considerável elevação nos valores de QRP% ocorrida nos últimos 24 anos. Essa característica é corroborada pelo MK, uma vez que o valor dessa estatística, 2,13, superou o limite de significância adotado.

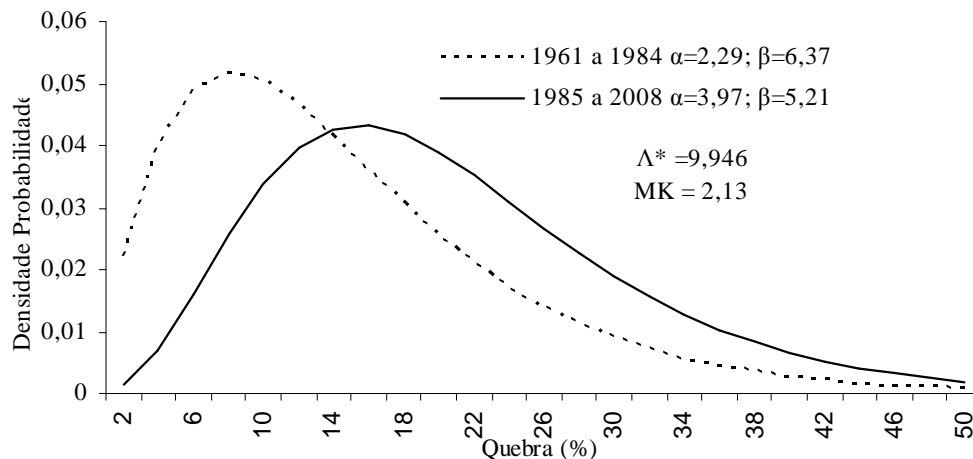


Figura 1. Teste da Razão da Verossimilhança (Λ^*), Mann-Kendall (MK) e parâmetros α e β das funções densidade de probabilidade gama, ajustadas aos anos de 1961 a 1984 e 1985 a 2008, na localidade de Mococa-SP.

CONCLUSÕES: Com base em modelos paramétricos e não paramétricos, houve detecção de elevação nas quebras de produtividade da cultura do Café no período de 1961 a 2008 na região de Mococa, ocasionadas por condições térmicas e hídricas adversas. Futuros estudos deverão determinar se essa elevação nos valores de QRP% é devida à intensificação de fatores relacionados ao suprimento hídrico e/ou a temperaturas do ar adversas ao longo dos diferentes estádios fenológicos da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

DALE, R. F. *Applied Climatology*, West Laffayette, Indiana: Purdue University, USA, 1968, 125p.

CAMARGO, M.B.P.; ROLIM, G.S.; SANTOS, M.A. Modelagem agroclimática do café: estimativa e mapeamento das produtividades. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, 2007. p. 58-65.

HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M.; et al. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, Boston, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

KENDALL, M.A.; STUART, A. **The advanced theory of statistics**. Londres: Charles Griffin & Company Limited, 1967. 690p.

MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, Bristol, v.13, p.245-259, 1945.

PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; ZULLO JR., J. et al. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Embrapa/Unicamp. Campinas, 81p. Agosto, 2008.

SANTOS, M.A.; CAMARGO, M.B.P. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 1, p.173-183, 2006.

VINCENT, L.A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*, v.18, p.5011-5023, 2005.

WILKS, D.S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Ed. 2nd, Academic Press San Diego, 467p., 2006.

ZULLO, J., J., PINTO, H., S., ASSAD, E., D., Impact assessment study of climate change on agricultural zoning, *Meteorological Applications*, (13): p. 69-80 Cambridge University Press, 2006