

# QUANTIFICAÇÃO DO EFEITO DOS ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE UM ENSAIO DE CAFÉ EM RIBEIRÃO PRETO, SP<sup>1</sup>.

A. IAFFE<sup>2</sup>; F.B. ARRUDA<sup>3</sup>; E. SAKAI<sup>3</sup>, R. C.M. PIRES<sup>3</sup> e R.O. CALHEIROS<sup>3</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho estudou a influência de fatores climáticos na produção de cafeeiros em ensaio conduzido em um Latossolo Roxo, em Ribeirão Preto, SP. As produções anuais foram correlacionadas, em regressões simples e múltiplas, com os seguintes elementos: radiação solar, temperaturas máximas, média e mínimas, precipitação, e sua frequência, precipitação menos evapotranspiração (P-EP), relação entre evapotranspiração real e potencial (ER/EP), excesso e déficit hídrico. As correlações e equações significativas indicaram: (a) que a produção do ano anterior explicava cerca de 70% da sua variação, (b) houve efeito positivo das chuvas no período de agosto a setembro, com eficiência de 11,8 kg de café coco por milímetro de chuva, (c) houve efeito positivo da radiação solar em novembro, porém com indicação de haver colinearidade, (d) houve efeito negativo da temperatura máxima em junho do ano anterior à produção e da temperatura mínima em novembro. Há indicações de resposta natural à melhoria da precipitação e de que um adequado manejo de irrigação pode induzir florescimento em época mais favorável.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem, produção, irrigação, temperatura, *Coffea arabica* L.

**ABSTRACT:** This work analyses the influence of agrometeorological factors on coffee yield in an eight year experiment carried out in a clay soil, in Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. A simple and multiple correlation were performed between annual yield and the following elements: solar radiation, maximum, medium and minimum air temperature, total and frequency of rainfall, precipitation minus evapotranspiration (P-ETP), ratio between real and potential evapotranspiration (ETR/ETP) and water excess and deficit. The selected significant ( $\alpha=10\%$ ) correlation equation indicated that: (a) the coffee production obtained in the year before was able to explain close to 70% of biennial yield variation; (b) a positive effect of rainfall occurred from August to October, with an efficiency of 11,8 kg/mm; (c) a positive effect of solar radiation in November, however, there is indication that was a colinearity effect; (d) negative effects of maximum temperature in June and minimum temperature in November. There was a natural response on yield due to rainfall pattern and a good possibility that water management can induce the occurrence of flowering in a more favorable period for production.

**KEYWORDS:** model, yield, irrigation, temperature, *Coffea arabica* L.

## INTRODUÇÃO

Tentativas de quantificar o efeito do clima e, principalmente, das precipitações têm sido feitas com várias culturas (Silva *et al.*, 1986), inclusive em café em São Paulo (Camargo *et al.*, 1984; Weill *et al.*, 1999), entre outros. A quantificação da produção pode contribuir com subsídios e informações básicas para a elaboração de previsões de safra, planejamento agrícola e da irrigação. A exemplo de Weill *et al.* (1999), para o entendimento do efeito hídrico na produção são necessários mais estudos com uma abordagem mais ampla do que apenas o estabelecimento da função dose-resposta de um único fator. O objetivo do presente estudo foi o de melhor conhecer as relações entre a produção do cafeeiro e as variações climáticas, para melhor avaliar o possível benefício da irrigação suplementar em Ribeirão Preto.

## MATERIAL E MÉTODO

Foram utilizados os resultados de um experimento de irrigação de café Mundo Novo conduzido na Estação Experimental de Ribeirão Preto do Instituto Agrônomo, em Latossolo Roxo, no período de 1957 a 1967 (Barreto *et al.*, 1972). Apenas os resultados da produção do tratamento Não Irrigado foram correlacionados aos dados climáticos. Os dados agrometeorológicos foram obtidos em Estação próxima do ensaio. As seguintes variáveis, em número de 12 foram selecionadas para análise: temperaturas máxima, média e mínima do ar, radiação solar e os componentes do balanço hídrico de Thornthwaite e Matter (1955). A

<sup>1</sup> Trabalho parcialmente financiado pelo **Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café**.

<sup>2</sup> Eng. Agr., M.S., Bolsista do PNP&D-Café no Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC. E-mail: [iaffe@cec.iac.br](mailto:iaffe@cec.iac.br).

<sup>3</sup> Pesquisadores Científicos, Instituto Agrônomo de Campinas, Centro de Ecofisiologia e Biofísica, Caixa Postal 28, CEP 13001-970, Campinas, SP. E-mails: [farruda@cec.iac.br](mailto:farruda@cec.iac.br), [emilio@cec.iac.br](mailto:emilio@cec.iac.br), [rmpires@cec.iac.br](mailto:rmpires@cec.iac.br) e [rocalhei@cec.iac.br](mailto:rocalhei@cec.iac.br).

radiação e a evapotranspiração foram calculadas por Penman modificado, de acordo com Villa Nova e Ometto (1981). Os dados foram organizados em períodos mensais e trimestrais, aproximadamente associados com as fases fenológicas. Nas matrizes, a produção do ano foi correlacionada com os registros meteorológicos do ano anterior e dos meses do ano até a data da colheita, denominando 1 a 12 para janeiro a dezembro do ano anterior à colheita, e de 13 a 17, respectivamente para os meses de janeiro a maio do ano em que foi colhida a produção. Após selecionadas as variáveis com potencial preditivo por correlações simples, elas foram combinadas para análise multivariada, por meio do programa estatístico SANEST (Zonta et al., 1989). As equações geradas foram selecionadas de acordo com os seguintes critérios: o valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), graficamente entre os valores observados e estimados pela equação, a significância estatística pelo teste F, a significância dos parâmetros pelo teste  $t$ , indicativo se a variável seria útil para a previsão, e pelo coeficiente  $C_p$  de Mallows, para verificação de erro na estimativa dos parâmetros atribuídos a cada variável, sendo  $C_p = \frac{(SSE)_p}{S^2} + (2p - n)$  onde,  $n$  é o número de observações;  $p$  é o

número de termos (variáveis) na equação e  $S^2$  é a estimativa da  $\sigma^2$  obtida para o modelo mais completo. O limite crítico de significância estatística (indicado por \*) do coeficiente de correlação ( $r$ ) para 7 pares de dados com a probabilidade de 10% é 0.669 (Parker, 1973). A inclusão de grande número de variáveis corresponde a um coeficiente de determinação mais alto, porém o maior número de termos pode introduzir tendências resultando em erros na atribuição de parâmetros para cada variável. O coeficiente  $C_p$  de Mallow é útil na seleção das equações. Na ausência de tendenciosidade entre as variáveis incluídas no modelo, a expectativa de  $C_p$  tende a  $p$  (número de variáveis preditivas). Com este critério, o menor modelo com  $C_p$  próximo de  $p$  seria o melhor modelo (também por um enfoque mais prático, pois necessita de menor número de variáveis). Valores de  $C_p > p$  evidenciam uma superestimativa no parâmetro de alguma das variáveis. Valores  $C_p < p$  resultam de forte colinearidade entre as variáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No conjunto de equações relacionando a produção anual do cafeeiro e as variações climáticas, verificou-se que as que incluíram a produção do ano anterior obtiveram melhor ajuste, concordante com Picini (1998). Vários fatores são relacionados ao ciclo bienal do cafeeiro. Entre eles encontram-se exemplos bem documentados na literatura: a arquitetura da planta café (Upreti et al. 1992), competição por fotoassimilados entre órgãos vegetativos e reprodutivos (Cannell et al. 1969), entre outros.

O efeito do ano anterior na produção do cafeeiro pode ser representado pela equação:

$$(\text{Produção do ano}) = 7630 - 0,76 (\text{Produção do ano anterior}).$$

A relação apresentou as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ( $r^2=0,69$ ), teste F significativo e para o parâmetro atribuído à produção anterior o teste  $t$  também foi significativo, em probabilidade de 90%.

O período em análise englobou cafeeiros a partir de 4 anos de idade, em plena produções. Esse resultado indica que a produção do ano anterior explica cerca de quase 70% da variação da produtividade da lavoura e que pouco efeito deve ter o clima, exceto sob condições de estresse severo, geadas ou situações extremas.

As regressões múltiplas selecionadas são apresentadas com suas estatísticas na Tabela 1. A melhor correlação considera o efeito positivo da precipitação no período de agosto a outubro. Durante o experimento nesse período a precipitação variou de 2 a 250 mm. Para cada milímetro de chuva correspondeu um aumento de 11,8 kg de café em coco por hectare. No ensaio, o tratamento Irrigado produziu cerca de 13% a mais que o Não Irrigado, e as irrigações se concentraram em setembro. Ao se analisar as outras equações significativas, verificou-se que apenas o termo radiação solar em novembro teve efeito positivo. No entanto o coeficiente de Mallow ( $C_p-p$ ) indica a existência de forte colinearidade entre as variáveis. Possivelmente, o mês de novembro, considerado chuvoso, beneficiaria a produção caso as chuvas fossem mais concentradas e com menor nebulosidade no período. Os coeficientes negativos apresentados para as variável temperatura máxima do ar em junho (período de abotoamento) e mínima em novembro são discutidas em outro trabalho. Apesar das regressões múltiplas não contemplarem o efeito da temperatura no florescimento, ela ficou evidenciada nos resultados das regressões simples. Altas temperaturas na fase de chumbinho/granação e pós florescimento foram observados e concordantes com os obtidos por Arruda et al. (1999). Possivelmente relacionado ao fenômeno denominado estrelinha, e abortamento floral. Drinan et al. (1995) observaram florescimento de nove cultivares de café em casa de vegetação na Austrália. Reportaram que maior número de botões florais foram observados nas seguintes temperaturas (diurnas/noturnas): 23°/18° e 18°/13° C, não ocorrendo iniciação floral às temperaturas 33°/28° C. Relataram que as altas temperaturas induziram má formação floral. As correlações com temperatura mínima também foram negativas. Aparentemente discordante com o sinal adotado nos modelos de Silva et al. (1986), entre outros, para a

previsão de produtividade de café no Estado de São Paulo. Os autores incluíram as temperaturas mínimas no modelo, representando o efeito deletério da geada. Na série de produção de café em Ribeirão Preto, observando-se a matriz de temperaturas nota-se que não ocorreram valores extremos de geada. A escala de temperaturas mínimas variou de 2° a 19° C e a de temperaturas máximas de 23,5° a 39,2° C. As correlações negativas com a produção, indicaram que o aumento da temperatura noturna de setembro a novembro (início e desenvolvimento do grão) podem estar relacionadas com o aumento da respiração de manutenção às custas da matéria seca acumulada na planta (Thornley, 1976). Temperaturas afetando crescimento vegetativo foram observadas por Drinan *et al.* (1995). Carvalho *et al.* (1998) investigaram o efeito de temperaturas baixas não congelantes ( $8^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ) por algumas horas (2 ou 3 horas), por noite. O objetivo do estudo foi observar alterações nas taxas fotossintéticas, de transpiração e de condutância estomática. Segundo os autores, a resposta foi distinta entre *cafeeiros C. arabica* L e *C. canephora* P. Apesar de não observarem alterações significativas nas taxas fotossintéticas, detectaram modificações na anatomia foliar dos cafeeiros. Os resultados reforçam a necessidade de mais investigações sobre o efeito integrado das condições ambientais, de um adequado planejamento e da importância do manejo de irrigação para induzir o florescimento em período mais favorável. Na Tabela 1 a equação (4) considera a frequência de precipitações em dezembro. Apesar de não significativa estatisticamente, ela representa a ocorrência de veranicos em dezembro, melhorando o ajuste. A sua importância pode ser verificada no experimento durante a seca ocorrida em dezembro de 1963, pela baixa produção do tratamento Não Irrigado comparado ao Irrigado (Barreto *et al.*, 1972).

**Tabela 1.** Equações selecionadas para interpretar a variação de rendimento de cafeeiros Mundo Novo como função dos parâmetros climáticos em Ribeirão Preto. São apresentadas as variáveis, coeficientes de determinação e significância estatística ( $\alpha=10\%$ ).

Eq.nº	Variáveis	t	r <sup>2</sup>	F	n	Cp-p
1	Pd = 4124 - 0,66 Pd ant + 11,84 P8,9,10	*	0,84	*	7	3.0
2	Pd=33842-0,45Pd ant+58 Q11-1443Tmax6	ns	0.78*	*	7	-0.5
3	Pd=51006 -2732 Tmi11	*	0.76	*	8	2.0
4	Pd=2124 - 0,60 Pd ant +392 F12 +1,8 P12	ns	0,65	ns	7	0.2

Códigos: Pd = Previsão da produção; Pd ant= Produção do ano anterior; P8,9,10= Precipitação acumulada do trimestre ago, set, out; Tmax6= Temperatura máxima média ocorrida em junho do ano anterior à produção; Tmi11= Temperatura mínima de novembro; F12 e P12= Frequência e precipitação do mês de dezembro.

## CONCLUSÕES

A variável produção do ano anterior, isoladamente, correspondeu com 69% do grau de explicação da variação da produção no ensaio ( $r^2$ ). Outros estimadores de influência nos modelos são os relacionados positivamente com as variáveis de precipitação de agosto a outubro e radiação solar em novembro. Houve correlação negativa com a temperatura máxima em junho no abotoamento da safra e temperatura mínima em novembro. O conjunto de fatores provavelmente modula o efeito principal (contra-safra ou bienalidade), favorecendo ou penalizando a safra em curso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Arruda, F.B.; Weill, M. A.; Iaffe, A.; Sakai, E.; Pires, R.C. Estudo da influência do clima e da disponibilidade hídrica na produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em Pindorama, SP. In: 25º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Franca, SP. p.294-300, 1999.
- Barreto,G.B.; Reis, A.J.; Demattê, J.B.; Igue, T. Experiência de irrigação e modo de formação de café novo. I - Resultados da E.E. Ribeirão Preto. *Bragantia*, Campinas, 31(4):41-58, 1972.
- Camargo, M. B. P. de; Pedro Júnior, M. J.; Ortolani, A. A.; Alfonsi, R. R.; Pinto, H. S. Relações entre a precipitação pluviométrica e a produtividade do cafeeiro. *Ecosistema*, v.9, p. 166- 171, 1984.
- Cannell, M. G. R.; Huxley, P. Seasonal differences in the pattern of assimilate movement in branches of *Coffea arabica* L. *Annals of Applied Biology*, v. 67, p. 99-120, 1969.
- Carvalho, L.M.; Silva, E.A.M.; Mosquim, P.R.; Azevedo, A.A.; Cecon, P.R. Alterações morfofisiológicas em cafeeiros submetidos a baixas temperaturas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 10(2): 131-136, 1998.

- Drinnan, J.E.; Menzel, C.M. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*coffea arabica* L.). *Journal of Horticultural Science*, 70(1) 25-34 Jan, 1995.
- Parker, R.E. *Introductory Statistics for biology*. London, UK. The Institute of Biology's studies n.43 by Arnold, E. (ed), 58 p., 1973.
- Picini, A. G. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo. (Dissertação para título de mestre em agronomia, área de concentração agrometeorologia). Piracicaba, ESALQ / USP, 132p., 1998.
- Silva, G.L.S.; Vicente, J.R.; Caser, D.V. Variações do tempo e produtividade agrícola: um subsídio à previsão de safras no Estado de São Paulo. Campinas, Fundação CARGILL, 1986.
- Thornley, J.H.M. *Mathematical models in plant physiology. A quantitative approach to problems in plant and crop physiology*. London:Academic Press, 318 p., 1976.
- Upreti, G.; Bittenbender, H.C.; Ingamells, H. Rapid estimation of coffee yield. *Fourteenth international scientific colloquium on coffee*. p. 585-593. 1992
- Weill, M.A.M. Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeiros na região de Marília e Garça, SP. Piracicaba, ESALQ, 200 p., 1990. (Dissertação, Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- Zonta, E.P.; Machado, A.A. SANEST - Sistema de análise estatística para microcomputadores. Universidade Federal de Pelotas, RS. 1989 (manual do sistema).
- Villa Nova, N.A. & Ometto, J.C. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4. Fortaleza, Anais. ABRH v.3 p. 281-299., 1981.

## **AVISO**

ESTA PUBLICAÇÃO PODE SER ADQUIRIDA NOS  
SEGUINTE ENDEREÇOS:

### **FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES**

Edifício Sede, s/nº. - Campus Universitário da UFV  
Viçosa - MG  
Cep: 36571-000  
Tels: (31) 3891-3204 / 3899-2485  
Fax : (31) 3891-3911

### **EMBRAPA CAFÉ**

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (Final)  
Edifício Sede da Embrapa - sala 321  
Brasília - DF  
Cep: 70770-901  
Tel: (61) 448-4378  
Fax: (61) 448-4425