

ISSN 0104-1347

## Avaliação de um modelo agrometeorológico para a previsão de produtividade de café em três localidades da Região Sul do Estado de Minas Gerais<sup>1</sup>

Evaluation of an agrometeorological model to predict coffee productivity on three sites in southern Minas Gerais state, Brazil

Luiz Gonsaga de Carvalho<sup>2</sup>, Gilberto Chohaku Sedyama<sup>3</sup>, Paulo Roberto Cecon<sup>4</sup> e Helena Maria Ramos Alves<sup>5</sup>

**Resumo** - Neste trabalho teve-se por objetivo aplicar o modelo proposto por STEWART et al. (1976), adaptado por PICINI (1998) para a cultura do café, para prever produtividades em três municípios do Estado de Minas Gerais. O modelo consistiu na regressão linear múltipla da produtividade como função da produtividade do ano anterior e índices de penalização hídrica. Os modelos apresentaram valores de  $R^2$  variando de 0,59 a 0,89. Pelos resultados obtidos, conclui-se que os modelos não se mostram satisfatórios na previsão de produtividades da cultura do café, verificando que os erros relativos percentuais das estimativas são bastante discrepantes, havendo, também, tendências de superestimarem as produtividades.

**Palavras-chave:** cafeeiro; modelagem agrometeorológica; balanço hídrico; previsão de safras.

**Abstract** - The objective of this study was to evaluate the model proposed by STEWART et al. (1976), adapted by PICINI (1998) for the coffee crop, to forecast the yield of three municipal districts in Minas Gerais State, Brazil. The model consisted in a multiple linear regression of yield data as a function of the previous annual yield and water depletion indexes of the soil. The model presented values of  $R^2$  from 0.59 to 0.89. Based on the obtained results, it was concluded that the model is not satisfactory to predict coffee yields, since it presents a tendency of overestimating productivity and quite divergent percentile relative errors of the estimates.

**Key words:** coffee crop; agrometeorological modeling; water balance; yield forecast.

### Introdução

A oferta de produtos agrícolas e, logicamente, a regularidade do abastecimento do mercado podem ser afetadas pelas oscilações das condições climáticas e ainda, afetarem a estabilidade de preços em geral. Desta forma, torna-se importante a realização de estudos sobre a produtividade das culturas relacionadas com as variações climáticas, visando um adequado planejamento.

Quanto à natureza fisiológica, já há muito tempo a literatura apresenta trabalhos relacionados à

bienalidade de produção do cafeeiro, como os realizados por BEAUMONT (1939) e DEAN (1939). Tal natureza pode ser explicada pela concorrência entre as funções vegetativas e reprodutivas, ou seja, nos anos de grande produção, o crescimento dos frutos absorve maior parte da atividade da planta, prejudicando o desenvolvimento vegetativo. Como no cafeeiro, o fruto do ano seguinte se desenvolve nas partes novas dos ramos do ano anterior, há, conseqüentemente, produção menor (RENA & MAESTRI, 1985).

WEILL (1990) verificou que os elementos climáticos são os que individualmente explicam a

<sup>1</sup>Parte da tese de doutorado do primeiro autor. Projeto financiado pelo CNPQ, Proc. N. 474244/2001-6 (NV), mod. APQ;

<sup>2</sup>D.S., Professor Adjunto, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, CP 37, CEP 37200-000, Lavras, MG, e-mail: lgonsaga@ufla.br;

<sup>3</sup>Ph.D., Professor Titular, DEA/UFV, e-mail: sediyama@ufv.br;

<sup>4</sup>D.S., Professor Titular, DPI/UFV, e-mail: cecon@dpi.ufv.br;

<sup>5</sup>Ph.D., Pesquisadora, EMBRAPA, e-mail: helena@ufla.br

maior parte da variabilidade total da produção do cafeeiro do Estado de São Paulo, em comparação com fatores edáficos e biológicos desse vegetal. Verificou também que a fase de florescimento tem grande influência sobre a produção final. O café cultivado com finalidade comercial no Brasil floresce na primavera, frutifica no verão, amadurece no outono e é colhido no inverno (MATIELLO, 1991).

A exigência de umidade do cafeeiro é bastante variável, de acordo com as fases do ciclo da planta. No período de vegetação e frutificação, correspondente aos meses de outubro a maio, o cafeeiro precisa de adequada disponibilidade de água no solo. Nas fases de colheita e repouso, de junho a setembro, a necessidade é pequena, e o solo pode ficar com menor quantidade de água, sem grandes prejuízos para a planta. Uma deficiência hídrica, nesse período, chega mesmo a estimular o abotoamento do cafeeiro, conduzindo, ainda, a uma florada mais uniforme quando reiniciam as chuvas (MATIELLO, 1991). Segundo VOSSEN (1990), a redução na produção está relacionada com o acúmulo do déficit hídrico, dependendo do estágio fenológico submetido ao estresse hídrico, sendo esse efeito aditivo e podendo, também, ser multiplicativo.

HOOGENBOOM (2000) apresentou uma ampla discussão sobre a contribuição da agrometeorologia em modelos de simulação das culturas e suas aplicações, seja no crescimento, seja no desenvolvimento, o que constitui uma ferramenta de grande utilidade no manejo e na tomada de decisão na agricultura, como também na produção das culturas.

A modelagem agrometeorológica permite, antecipadamente, o conhecimento quantitativo das condições climáticas sobre o desenvolvimento e a produção de culturas agrícolas. Vários trabalhos são encontrados na literatura, mostrando desenvolvimento, testes e análises de modelos agrometeorológicos para estimativa da produtividade de diversas culturas agrícolas, podendo citar-se, entre estes, os realizados por CAMARGO (1984), MORAES et al. (1998), CAMARGO et al. (1999), FIGUEIREDO JÚNIOR et al. (2003) e ANDRADE JÚNIOR et al. (2003).

O trabalho realizado por CAMARGO et al. (1999) constou da aplicação de um modelo agrometeorológico multiplicativo para estimar a produtividade para o cultivar de laranja 'Valência', no qual verificou que a penalização da produtividade potencial em função da restrição hídrica durante os estádi-

os fenológicos do pré-florescimento, do florescimento e do pegamento, apresentou desempenho satisfatório.

PICINI (1998) parametrizou e testou modelos matemáticos agrometeorológicos e, dentre esses, o que permitiu obter melhores resultados, após algumas modificações, foi o aditivo desenvolvido por STEWART et al. (1976) e proposto por DOORENBOS & KASSAM (1979), de acordo com a equação a seguir:

$$\frac{Y_e}{Y_p} = ky_0 \left( \frac{Y_a}{Y_p} \right) + \sum_{i=1}^n ky_i \left( \frac{ETR}{ETP} \right) \quad (1)$$

em que,  $Y_e$  é a produtividade estimada;  $Y_p$ , a produtividade potencial;  $ky_0$ , o coeficiente de penalização relativo à produtividade do ano anterior;  $Y_a$ , a produtividade do ano anterior;  $ky_i$ , o coeficiente de resposta da cultura ao suprimento de água para os sucessivos estádios fenológicos da cultura;  $ETR$ , a evapotranspiração real da cultura,  $ETP$  a evapotranspiração potencial e  $ETR/ETP$ , a penalização hídrica.

Esse modelo segue o estatístico tradicional. A variável dependente é representada pela relação  $Y_e/Y_p$ , e as variáveis independentes de entrada no modelo são  $Y_a/Y_p$  e  $(ETR/ETP)_i$ .

Conforme apresentam PICINI et al. (1999), esse modelo foi testado e parametrizado, obtendo resultados de produtividade do cafeeiro altamente dependente da produtividade do ano anterior e particularmente sensível ao estresse hídrico durante o estágio fenológico do "final da dormência das gemas/florescimento" e do estágio "final do florescimento/início da formação do grão". Além disso, constataram que os períodos trimestrais, agosto/setembro/outubro; novembro/dezembro/janeiro; fevereiro/março/abril, adotados na penalização hídrica do modelo, foi a combinação que apresentou melhor resultado.

Diante disso, o desenvolvimento e, ou, adaptação e testes de modelos alternativos para a predição da produtividade de café, com o objetivo de reduzir os custos e, conseqüentemente, obter maior agilidade no levantamento de dados, é bastante pertinente para os tempos atuais. Sendo assim, este trabalho objetivou parametrizar e testar o modelo agrometeorológico de previsão de safras desenvolvido por STEWART et al. (1976) e adaptado para a cultura do café por PICINI et al. (1999), utilizando-se dados de produtividades de lavouras cafeeiras de três localidades do Sul do Estado de Minas Gerais.

## Material e métodos

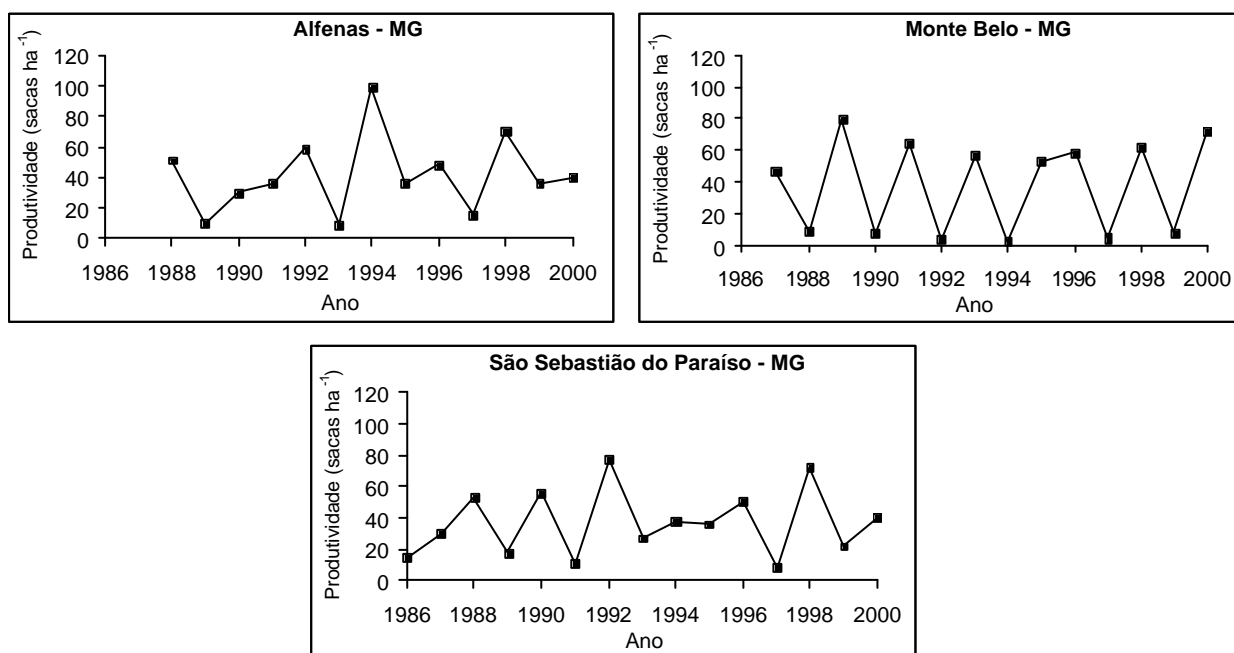
Os dados de produtividades utilizados, com a caracterização da bionalidade de produção bem definida, estão apresentados na Figura 1.

As produtividades potenciais adotadas foram 99, 81 e 88 sacas  $ha^{-1}$  para os municípios de Alfenas, Monte Belo e São Sebastião do Paraíso, respectivamente. As duas primeiras por serem bastante acima das médias das lavouras em que se obtiveram estes dados e a última surgiu do acréscimo de 10% sobre o valor médio das produtividades máximas de todos as glebas do local, com base na recomendação de KANEMASU (1983).

Os dados diários de temperaturas médias e precipitações pluviais foram obtidos de postos de coleta de elementos climáticos existentes nas fazendas, como no caso das lavouras representativas dos municípios de Alfenas e Monte Alegre. Para o município de São Sebastião do Paraíso, estes elementos climáticos foram obtidos em uma estação agroclimática pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) cuja distância à gleba, da qual se utilizaram os dados de produtividade para a parametrização do modelo, foi relativamente maior em comparação com os outros municípios.

As estimativas da disponibilidade hídrica do solo foram realizadas pelo método proposto por THORNTHWAITE & MATHER (1955), apresentado por PEREIRA et al. (1997). Assumiu-se um valor médio de capacidade de água disponível no solo de 100 mm, o qual pode ser considerado como uma condição média para a maioria dos tipos de solos cultivados com cafeeiros em Minas Gerais. Esse valor foi também adotado por MATIELLO (1991), CAMARGO & PEREIRA (1994) e PICINI (1998). O valor do coeficiente da cultura ( $K_c$ ) utilizado para a estimativa da evapotranspiração da cultura foi igual a 1 (um), conforme CAMARGO & PEREIRA (1994). As temperaturas médias e precipitações pluviais diárias foram agrupadas em escala decendial e mensal, obtendo-se as respectivas médias. Efetuado o balanço hídrico, obteve-se em seguida as estimativas das evapotranspirações relativas (ETR/ETP) para os respectivos períodos em estudo, decendial e mensal. As variáveis ETR/ETP foram adotadas como penalizadores hídricos dos modelos, segundo as seqüências descritas adiante.

Utilizaram-se duas seqüências distintas de períodos, inerente ao ciclo fenológico da cultura, para representarem as penalizações hídricas do modelo. A primeira seqüência, baseada em resultados obtidos por PICINI (1998), compôs-se por três períodos tri-



**Figura 1.** Séries anuais de produtividades de glebas de lavouras cafeeiras representativas dos municípios da região Sul do Estado de Minas Gerais utilizadas na parametrização dos modelos.

mestrais, sendo assim definidos: agosto/setembro/outubro; novembro/dezembro/janeiro e fevereiro/março/abril. A segunda seqüência, conforme MATIELLO (1991), ficou composta por quatro períodos trimestrais: julho/agosto/setembro; outubro/novembro/dezembro; janeiro/fevereiro/março e abril/maio/junho. Em cada um destes períodos ano a ano, concomitantemente com o período de produtividades, obteve-se a média das evapotranspirações relativas (média de nove valores quando, na escala decendial e de três valores, quando na escala mensal).

Conforme a equação 1, o coeficiente de resposta relativo à produtividade do ano anterior ( $ky_0$ ) e os de resposta da cultura às variáveis de penalizações hídricas ( $ky_i$ ) foram obtidos por análise de regressão linear múltipla. Os modelos foram avaliados por meio da significância dos parâmetros da regressão utilizando o teste “t”, pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e no fenômeno estudado.

Assim, este modelo foi ajustado para as seguintes combinações de dados: **Seqüência1-Mensal:** dados referentes às médias trimestrais de ETR/ETP mensais para a seqüência composta pelos períodos agosto/setembro/outubro; novembro/dezembro/janeiro e fevereiro/março/abril; **Seqüência1-Decendial:** dados referentes às médias trimestrais de ETR/ETP decendiais para a seqüência composta pelos períodos agosto/setembro/outubro; novembro/dezembro/janeiro e fevereiro/março/abril; **Seqüência2-Mensal:** dados referentes às médias trimestrais de ETR/ETP mensais para a seqüência composta pelos períodos julho/agosto/setembro; outubro/novembro/dezembro; janeiro/fevereiro/março e abril/maio/junho; **Seqüência2-Decendial:** dados referentes às médias trimestrais de ETR/ETP decendiais para a seqüência composta pelos períodos julho/agosto/setembro; outubro/novembro/dezembro; janeiro/fevereiro/março e abril/maio/junho.

Os testes dos modelos foram realizados com dados de produtividades observadas de outras glebas das lavouras cafeeiras de cada município, conforme relataram PICINI (1998) e HOOGENBOOM et al. (1992). Para a avaliação dos testes, foram comparadas as produtividades estimadas e observadas, conhecendo-se o erro relativo percentual (ERP), o qual foi também utilizado por LEAL (2000).

Além disso, fez-se a plotagem gráfica, das relações das produtividades estimadas e observadas

com a produtividade potencial ( $Ye/Yp$  e  $Yo/Yp$ ). Procedeu-se à análise de regressão linear simples com a reta passando pela origem, sendo o modelo avaliado pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e, pela concordância expressa pelo índice “d” de WILLMOTT et al. (1985), conforme a equação 2. O índice “d”, com variação entre 0 e 1, indica o grau de exatidão entre valores estimados e observados, com a ressalva de que, quanto mais próximo de 1 (um), melhor a exatidão do modelo em prever a variável dependente, ao passo que o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) indica a precisão do modelo, ou seja, quanto da variação da variável dependente é explicada por aquela das variáveis independentes.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Ye_i - Yo_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Ye_i - \bar{Yo}| + |Yo_i - \bar{Yo}|)^2} \right] \quad (2)$$

em que, d é o índice de concordância,  $Ye_i$  o i-ésimo valor previsto ou estimado,  $Yo_i$  o i-ésimo valor observado e  $\bar{Yo}$  a média dos valores observados.

## Resultados e discussão

Na Tabela 1, verifica-se um resumo dos resultados estatísticos dos modelos parametrizados. Para Alfenas e São Sebastião do Paraíso, avaliando os coeficientes de determinação e significância das estimativas dos parâmetros da regressão, constatou-se que os modelos apresentam ligeira melhoria quando parametrizados a partir de ETR/ETP de médias mensais ou quando pela segunda seqüência de períodos trimestrais. Contudo, em termos práticos, essa melhora parece pouco significativa, o que poderá se confirmar pelos testes dos modelos descritos adiante. Para Monte Belo, notou-se que o primeiro modelo, cujas penalizações hídricas (ETR/ETP) foram calculadas pela primeira seqüência de períodos trimestrais, possui um desempenho estatístico ligeiramente melhor em relação ao segundo, resultado que se opõe àqueles dos outros municípios.

A título de exemplo da Tabela 1, o modelo 1 (Seqüência1-Mensal) para Alfenas fica assim definido:

$$\hat{Y}_e = Y_p \left[ \begin{array}{l} 4,0593 - 0,4820 \left( \frac{Y_a}{Y_p} \right) - 0,5253 \left( \frac{ETR}{ETP} \right) - \\ - 2,0900 \left( \frac{ETR}{ETP} \right)_2 - 1,1172 \left( \frac{ETR}{ETP} \right)_3 \end{array} \right] \quad (3)$$

Verifica-se ainda, na Tabela 1, que os parâmetros  $ky_0$  para os três municípios, pertencentes à variável  $Y_a$  (produtividade do ano anterior), são, pelo teste “t”, significativamente diferentes de zero ( $P \leq 0,0194$ ), indicando a importância dessa variável como a de entrada do modelo na previsão de produtividade para a cultura do café. Ela está associada à característica fisiológica da bienalidade de produção do cafeeiro, conforme relatos de BEAUMONT (1939) e RENA & MAESTRI (1985).

Nota-se também, nessa mesma Tabela, que, entre os parâmetros referentes às variáveis de penalização hídrica ( $ky_1$  a  $ky_4$ ), os que apresentam maior significância estatística são  $ky_1$  e  $ky_2$  ( $P \leq 0,1060$ ). Como se pode observar, de modo geral, compreendem os períodos de julho a janeiro, indicando a maior importância da disponibilidade hídrica para o cafeeiro nesse período. Mais especificamente para o modelo parametrizado com a seqüência 2, para Alfenas, o parâmetro  $ky_2$  é o que apresenta a maior significância ( $P \leq 0,0109$ ), sendo ele associado à penalização hídrica (ETR/ETP) referente ao período do ciclo agrícola de outubro a dezembro. Isso evidencia a grande importância da disponibilidade hídrica para o cafeeiro nesse período, coincidindo com as fases de florescimento e início de formação dos frutos. Em Monte Belo e São Sebastião do Paraíso não foram verificadas significâncias estatísticas entre os parâmetros referentes às variáveis de penalização hídrica ( $ky_1$  a  $ky_4$ ).

A avaliação geral dos módulos dos parâmetros das equações dos modelos (Tabela 1), excluindo-se, em parte, o município de São Sebastião do Paraíso, permitiu apontar a importância do coeficiente de resposta à penalização hídrica (parâmetro  $ky_2$ ), referente ao período do ano de outubro a janeiro, cujos módulos apresentaram maiores magnitudes, o que mostra portanto, a sensibilidade do modelo à variação da disponibilidade hídrica no período correspondente, fase importante para o florescimento e formação dos frutos (CAMARGO, 1987).

Para os testes foram usados dados de produtividades de gleba independente, porém, próxima àquela em que se obtiveram os dados para a parametrização dos modelos. A representação gráfica destes dados com as respectivas estimativas para comparação dos resultados encontra-se nas Figuras 2a a 7a. A divisão do ciclo agrícola em fases fenológicas distintas, representadas pelas duas seqüências de períodos trimestrais e com a finalidade de verificar possíveis diferenças de desempenhos nos resultados finais, não se mostrou eficiente, podendo, então, seguir a recomendação da distribuição das fases fenológicas segundo MATIELLO (1991). Isso também foi verificado quando se separaram os dados dos elementos climáticos em períodos mensais e decendiais para a realização do balanço hídrico. Mostra-se, portanto, que a separação dos dados de elementos climáticos, em escala decendial, com o propósito de melhor caracterizar as médias não foi eficiente, sendo possível trabalhar somente com médias mensais, cujos dados estão mais facilmente disponíveis nas fontes de registros, razão pela qual, aqui estão mostrados somente os gráficos dos modelos originados de médias mensais.

Verifica-se que, de modo geral, as estimativas tendem a apresentar um comportamento similar aos dados observados. Para o caso particular do município de Monte Belo, nota-se que as estimativas tendem a apresentar um comportamento similar aos dados observados mais pronunciadamente até a primeira metade do período analisado (1994), a partir do qual, o comportamento continuou seguindo a tendência dos valores observados, porém com maior discrepância. Isso ocorreu porque a série dos dados apresentou efeito bienal de produção até 1994, com alternâncias claramente definidas; a partir desse ano, o comportamento dos dados modificou-se, tornando as estimativas, por sua vez, com desempenhos também diferenciados.

Os desempenhos estatísticos dos modelos originados de médias mensais são apresentados nas Figuras 2b a 7b. Pela plotagem das produtividades observadas e estimadas em relação à produtividade potencial e pela análise de regressão linear simples com a reta de regressão passando pela origem, verifica-se que os desempenhos dos modelos são similares. Para Alfenas os valores do índice “d”, de WILLMOTT et al. (1985), varia de 0,81 a 0,84 e  $r^2$  de 0,61 a 0,67. Para Monte Belo, há maior dispersão, com índices “d” variando de 0,73 a 0,76 e  $r^2$  de 0,48 a 0,59. Em São Sebastião do Paraíso, a dispersão é

**Tabela 1.** Coeficientes de determinação, testes F, coeficientes da regressão e respectivos testes estatísticos (teste t) dos modelos de regressão linear múltipla para os municípios de Alfenas, Monte Belo e São Sebastião do Paraíso do Estado de Minas Gerais

Coeficientes	Seqüência 1 <sup>(1)</sup>				Seqüência 2 <sup>(2)</sup>			
	Médias mensais <sup>(3)</sup>		Médias decendiais <sup>(4)</sup>		Médias mensais <sup>(3)</sup>		Médias decendiais <sup>(4)</sup>	
	Modelo 1	Valor-P <sup>(5)</sup>	Modelo 2	Valor-P <sup>(5)</sup>	Modelo 3	Valor-P <sup>(5)</sup>	Modelo 4	Valor-P <sup>(5)</sup>
<b>Alfenas</b>								
R <sup>2</sup>	0,8828		0,8434		0,8930		0,8792	
Prob≥F <sup>6</sup>	0,0023		0,0060		0,0071		0,0100	
Interseção	4,0593	0,0051	2,2917	0,0525	0,9315	0,7176	1,3401	0,1551
ky <sub>0</sub>	-0,4820	0,0194	-0,5946	0,0125	-0,6465	0,0117	-0,6324	0,0079
ky <sub>1</sub>	-0,5253	0,0405	-0,7541	0,0168	-0,5140	0,1018	-0,5122	0,1060
ky <sub>2</sub>	-2,0900	0,0152	-1,5022	0,0633	-1,5804	0,0093	-1,2694	0,0109
ky <sub>3</sub>	-1,1172	0,2256	0,2992	0,7262	1,1541	0,6372	0,5426	0,5120
ky <sub>4</sub>	-	-	-	-	0,4612	0,3653	0,3210	0,4992
<b>Monte Belo</b>								
R <sup>2</sup>	0,7829		-		0,7727		-	
Prob≥F <sup>6</sup>	0,0092		-		0,0325		-	
Interseção	-3,3990	0,4678	-	-	-0,1516	0,9865	-	-
ky <sub>0</sub>	-0,7538	0,0073	-	-	-0,8616	0,0045	-	-
ky <sub>1</sub>	-0,3338	0,4759	-	-	-0,2051	0,6462	-	-
ky <sub>2</sub>	4,7314	0,2792	-	-	1,6656	0,3650	-	-
ky <sub>3</sub>	-0,2549	0,9470	-	-	-0,2172	0,9812	-	-
ky <sub>4</sub>	-	-	-	-	-0,2902	0,6867	-	-
<b>São Sebastião do Paraíso</b>								
R <sup>2</sup>	0,7082		0,5921		0,7355		0,7177	
Prob≥F <sup>6</sup>	0,0164		0,0648		0,0310		0,0391	
Interseção	-3,6582	0,3512	0,1488	0,9669	-9,2148	0,1858	-0,3307	0,8995
ky <sub>0</sub>	-0,6792	0,0046	-0,6870	0,0109	-0,9029	0,0019	-1,0357	0,0031
ky <sub>1</sub>	-0,2585	0,3710	-0,2202	0,5428	-0,2539	0,3873	-0,6258	0,0997
ky <sub>2</sub>	-1,4757	0,6339	0,5708	0,8486	0,7723	0,4949	2,1842	0,1561
ky <sub>3</sub>	6,1028	0,0929	0,1632	0,9439	9,3175	0,1705	-0,3193	0,9055
ky <sub>4</sub>	-	-	-	-	0,1615	0,7841	-0,1346	0,8053

<sup>(1)</sup> Seqüência de três períodos trimestrais adotados na penalização hídrica do modelo: agosto/setembro/outubro; novembro/dezembro/ janeiro e fevereiro/março/abril.

<sup>(2)</sup> Seqüência de quatro períodos trimestrais adotados na penalização hídrica do modelo: julho/agosto/setembro; outubro/novembro/ dezembro; janeiro/fevereiro/março e abril/maio/junho.

<sup>(3)</sup> Penalizações hídricas do modelo calculadas de médias do balanço hídrico seriado mensal.

<sup>(4)</sup> Penalizações hídricas do modelo calculadas de médias do balanço hídrico decendial.

<sup>(5)</sup> Valor do nível de significância dos parâmetros da equação de regressão pelo teste t.

<sup>(6)</sup> Nível Crítico do Teste F.

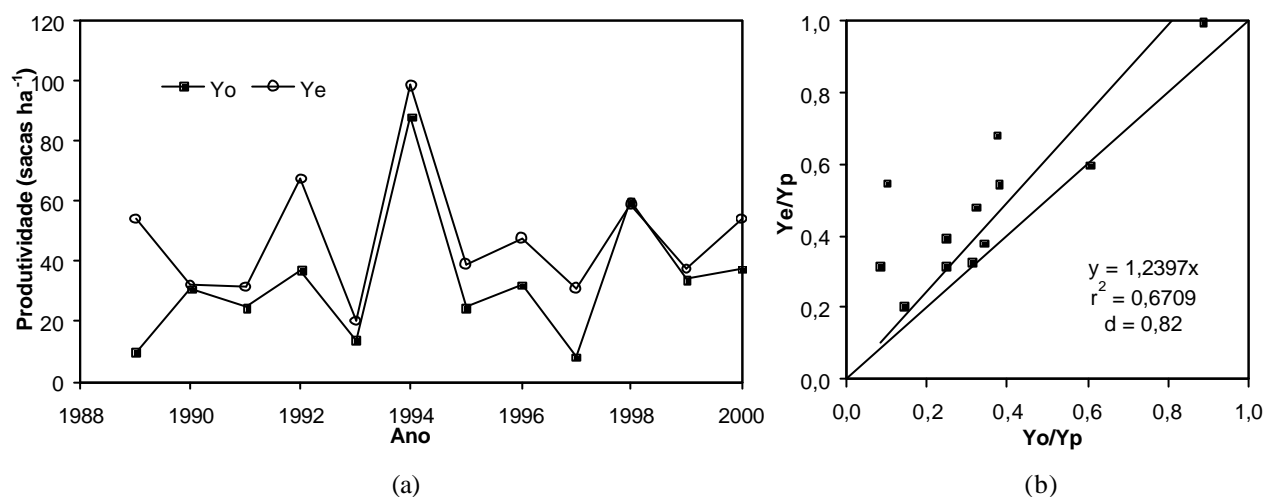
maior ainda, com índices “d” variando de 0,50 a 0,65 e r<sup>2</sup> de 0,07 a 0,24. Observa-se também, que pelas retas ajustadas, os modelos tendem a superestimar as produtividades. Porém, estes desempenhos são ainda relativamente baixos, indicando grande variação entre os valores observados e estimados, sendo notado que as variações dos resultados dos erros re-

lativos percentuais (ERP) mostraram-se de modo geral bastante discrepantes variando de -19 a 470 %; de -70 a 1611 % e -72 a 1937 %, para os municípios de Alfenas, Monte Belo e São Sebastião do Paraíso, respectivamente. Essas discrepâncias também foram encontradas por LEAL (2000), ao utilizar o modelo de STEWART et al. (1976), para estimar a produtivi-

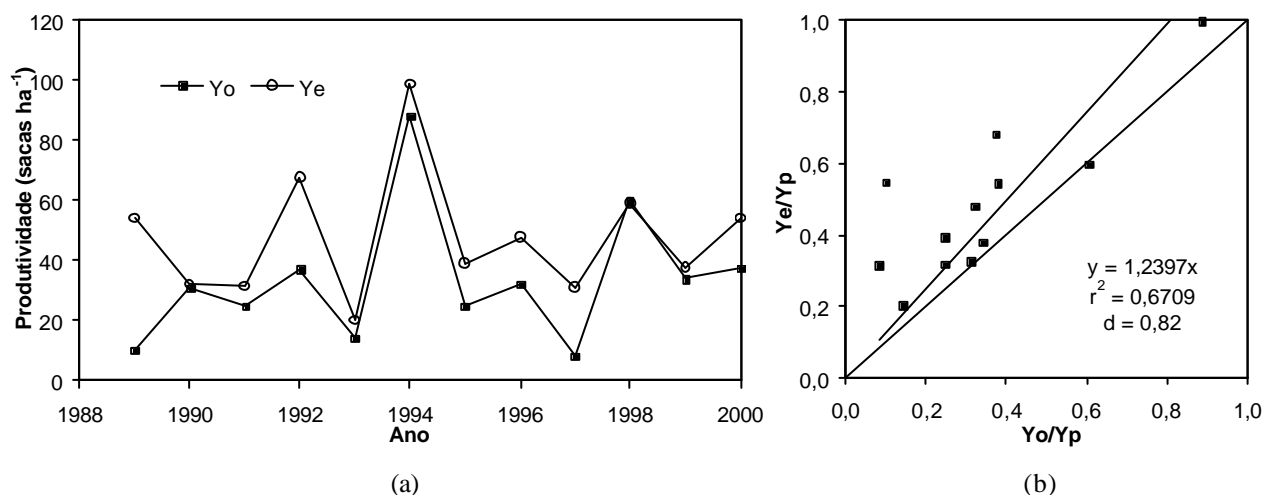
dade das culturas de milho, soja, sorgo e trigo para as localidades de Capinópolis e Montes Claros no Estado de Minas Gerais, cujos resultados dos erros relativos percentuais, de modo geral, variaram de -82 a 382 %. PICINI (1998), por sua vez, também observou uma grande variação entre as produtividades observadas e estimadas da cultura do café, variando de -67% a 153% e  $d = 0,98$ , contudo, as produtividades com as quais foram originados os modelos apresentaram o efeito da bialidade de produção claramente visível. Essa característica dos dados se mostra importante para o ajuste do modelo.

Há de se considerar também que as observações dos elementos climáticos, em razão das distân-

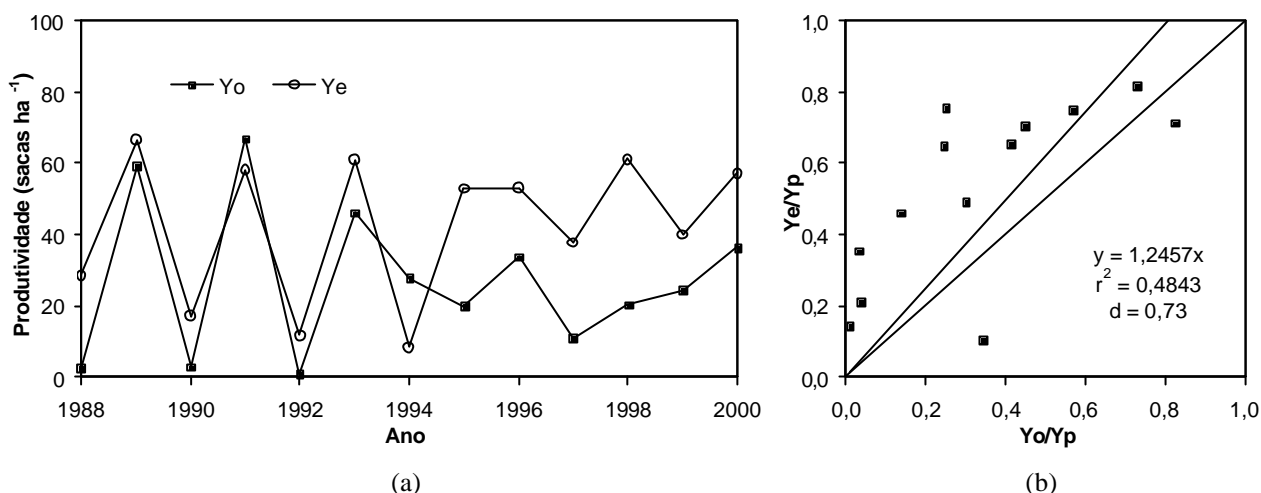
cias dos postos de medidas em relação às glebas, das quais se utilizaram os valores de produtividades, tenham contribuído para os baixos desempenhos dos modelos, principalmente com relação à precipitação pluvial por ser um elemento de grande variabilidade espacial. As características de solo e padrão tecnológico de manejo da cultura, dentre outros, são também fatores determinantes na produtividade, contudo estes aspectos não foram considerados neste trabalho, em que se procurou somente avaliar a disponibilidade hídrica com base na evapotranspiração relativa durante o ciclo da cultura. Isto decorre também do fato de que a maioria dos modelos agrometeorológicos, têm por proposta, somente estudar a correlação da produtividade com os elementos climáticos.



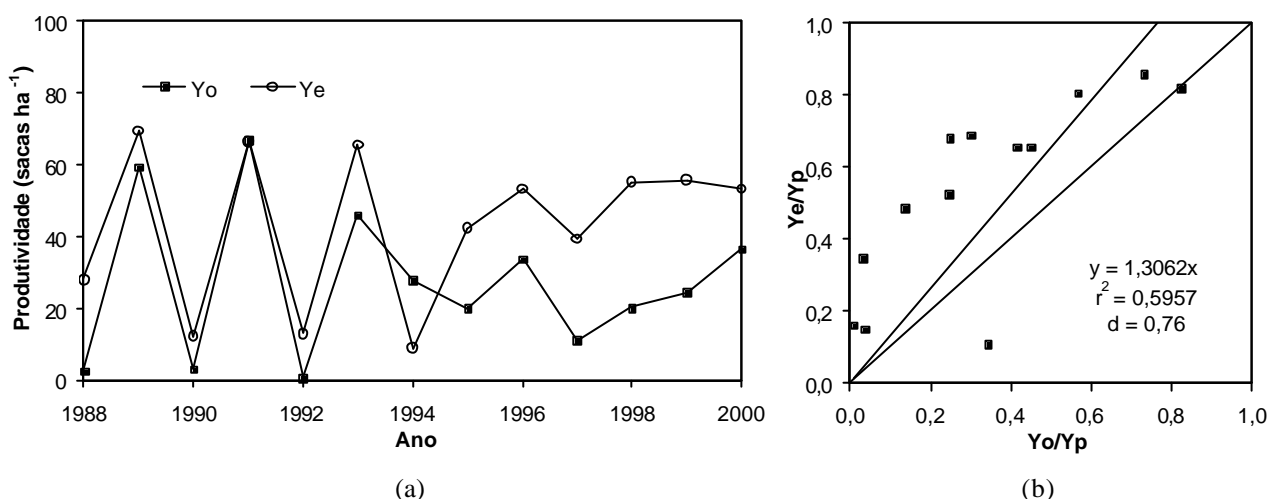
**Figura 3.** Produtividades observadas e estimadas pelo modelo de penalizações hídricas de médias mensais da segunda seqüência trimestral em Alfenas, MG (a), e respectivos índices de desempenho (b).



**Figura 3.** Produtividades observadas e estimadas pelo modelo de penalizações hídricas de médias mensais da segunda seqüência trimestral em Alfenas, MG (a), e respectivos índices de desempenho (b).



**Figura 4.** Produtividades observadas e estimadas pelo modelo de penalizações hídricas de médias mensais da primeira seqüência trimestral em Monte Belo, MG (a), e respectivos índices de desempenho (b).



**Figura 5.** Produtividades observadas e estimadas pelo modelo de penalizações hídricas de médias mensais da segunda seqüência trimestral em Monte Belo, MG (a), e respectivos índices de desempenho (b).

## Conclusão

Os modelos não se mostraram satisfatórios na previsão de produtividades para a cultura do café, apresentando erros relativos das estimativas com grandes discrepâncias e tendência de superestimar as produtividades.

## Referências bibliográficas

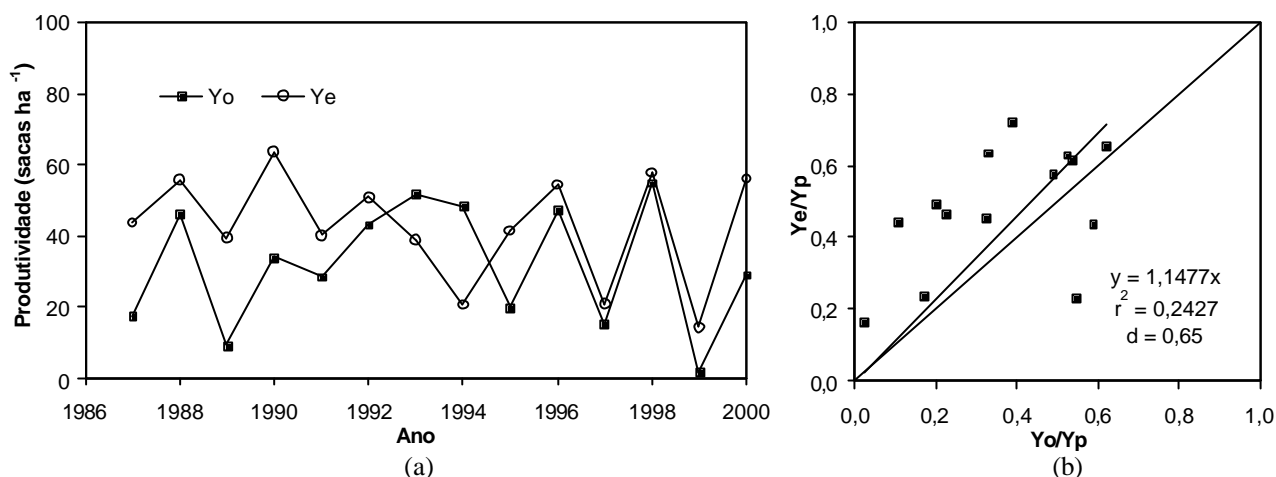
ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; CARDOSO, M.J.; RIBEIRO, V.Q. Parametrização de modelos agrometeorológicos de previsão de safra para a cultura

do milho na região de Parnaíba, Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003. Santa Maria, **Anais...**, Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2003. p. 887-888.

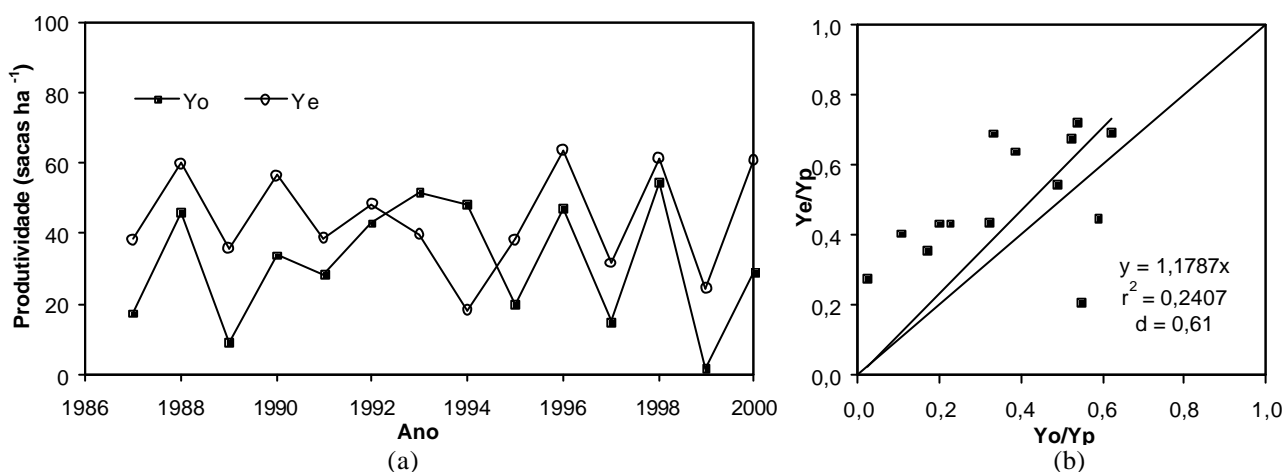
BEAUMONT, J.H. An analysis of growth and yield relationships of coffeetrees in the Kona District, Hawaii. **Journal of Agricultural Research**, Washington, D.C., v. 59, n. 3, p. 223-235, 1939.

CAMARGO, M.B.P. **Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo**. Piracicab: ESALQ-USP, 1984. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.





**Figura 6.** Produtividades observadas e estimadas pelo modelo de penalizações hídricas de médias mensais da primeira seqüência trimestral em São Sebastião do Paraíso, MG (a), e respectivos índices de desempenho (b).



**Figura 7.** Produtividades observadas e estimadas pelo modelo de penalizações hídricas de médias mensais da segunda seqüência trimestral em São Sebastião do Paraíso, MG (a), e respectivos índices de desempenho (b).

CAMARGO, A.P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987. Campinas, *Anais...*, Campinas: Fundação Cargill, 1987, p. 53-90.

CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, 1994. 99 p. (Agricultural Meteorological CAgM Report, 58).

CAMARGO, M.B.P. de. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja

valência. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 171-178, 1999.

DEAN, L.A. Relationships between rainfall and coffee yields in the Kona District, Hawaii. **Journal of Agriculture Research**, Washington, D.C., v. 59, n. 3, p. 217-222, 1939.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 197 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

FIGUEIREDO JÚNIOR, L.G.M. de et al. Avaliação e calibração de modelo para a estimativa de produtividade

- de da cultura de milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003. Santa Maria, **Anais...**, Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2003. p. 851-852.
- HOOGENBOOM, G.; Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 103, p. 137-157, 2000.
- HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J. Modelling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO and BEANGRO: A review. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 6, p. 2043-2056, 1992.
- KANEMASU, E.T. Yield and water-use relationships: some problems of relating grain yield to transpiration. In: TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.R.; SINCLAIR, T.R. (ed.). **Limitations to efficient water user in crop production**. Madison: American Society of Agronomy, 1983. cap. 9B, p. 413-417.
- LEAL, B.G. **Sistema computacional para avaliação e estimativa das produtividades potencial e real de culturas agrícolas**. Viçosa: UFV, 2000. 96 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- MATIELLO, J.B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Editora Globo, 1991. 319 p. (Coleção do Agricultor - Grãos).
- MORAES et al. Teste e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 393-406, 1998.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- 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**. Piracicaba: USP, 1998. 132 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1998.
- PICINI et al. Desempenho de modelo matemático agrometeorológico de estimativa de produtividade para a cultura do café no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., e REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., Florianópolis: Sociedade Brasileira de **Agrometeorologia, 1999** **Anais...**, Florianópolis, 1999. p. 542-548.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.
- STEWART, J.I.; HAGAN, R.M.; PRUITT, W. **Production functions and predicted irrigation programmes for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency: Final report**. Washington: U.S. Department of Interior, 1976. 80 p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1)
- VOSSEN, P. Comparative statistical validation of two ten-day water-use models and of three yield-reduction hypotheses for yield assessment in Botswana. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 51, p. 177-195, 1990.
- 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: USP, 1990. 182 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1990.
- WILLMOTT, C.J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington D.C., v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.