



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Modelagem agrometeorológica para a previsão de produtividades de cafeeiros na região sul do estado de minas gerais¹



Euler Cipriani Victorino¹; Guilherme Henrique Da Silva²; Pedro Henrique Araújo Belchior³; Wezer Lismar Miranda⁴

¹Eng^oAgrícola, Pós-graduando, UFLA, Lavras – MG, Fone: (35) 9983-9907, eulercipriani@yahoo.com.br

²Estudante de Eng^a Agrícola, UFLA, Lavras – MG, ghs.engagricola@gmail.com

³Estudante de Eng^a Agrícola, UFLA, Lavras, pbelchior@engagricola.ufla.br

⁴ Eng. Agrícola, Me. Engenharia de água e solo, UFLA, Lavras – MG, wmlislar@yahoo.com.br

RESUMO: O conhecimento de técnicas eficazes de previsão de safras é de grande importância para o mercado cafeeiro, possibilitando melhor planejamento e tornando a atividade mais sustentável. Neste trabalho o objetivo foi desenvolver modelos agrometeorológicos de previsão da quebra de produtividade do cafeeiro, baseado na disponibilidade hídrica, para as cidades de Lavras e Varginha, no sul de Minas Gerais. Os modelos foram gerados a partir da regressão linear múltipla da quebra de produtividade (Y_e/Y_p) em função da produtividade do ano anterior (Y_a/Y_p) e do déficit hídrico em diferentes fases fenológicas (ET_r/ET_p). As variáveis ET_r/ET_p foram calculadas como médias trimestrais e bimestrais, gerando 12 sequências fenológicas diferentes (7 bimestrais e 5 trimestrais). Durante as parametrizações, foram obtidos os coeficientes de resposta ao déficit hídrico (K_y) e o coeficiente relativo à produção do ano anterior (K_{y0}) para cada sequência. Os coeficientes não significativos foram então excluídos, através da metodologia de seleção backward, até que os modelos apresentassem apenas coeficientes significativos. Nesse processo, na maioria dos casos, os modelos apresentaram grande sensibilidade ao período mais chuvoso (novembro a abril), e variáveis referentes a períodos importantes, como o de florescimento, não apresentaram significância. Foi concluído que os modelos apresentam bom potencial para a previsão de safras, a produção do ano anterior deve ser considerada e a sequência fenológica que apresentou melhor desempenho foi set./out, nov./dez., jan./fev., mar./abr.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem agrometeorológica, produtividade, cafeeiro, déficit hídrico

AGROMETEOROLOGICAL MODELING FOR COFFEE YIELD FORECASTING IN SOUTHERN MINAS GERAIS STATE

ABSTRACT: Knowledge of effective crop forecasting techniques is of great importance for the coffee market, enabling better planning and making more sustainable this activity. This study aimed to develop agrometeorological predictive models of coffee yield, based on water availability, to the cities of Lavras and Varginha, in southern Minas Gerais. The models were generated from multiple linear regression of productivity loss (Y_e/Y_p) as a function of the previous year productivity (Y_a/Y_p) and water deficit in the different phenological phases, represented by relative evapotranspiration (ET_r/ET_p). The ET_r/ET_p variables were calculated as quarterly and bimonthly averages, generating 12 different phenological sequences (7 bimonthly and 5 quarterly). During the parameterization, the water deficit response coefficients (K_y) and the previous year production coefficient (K_{y0}) were obtained for each sequence. Non-significant coefficients were then excluded by backward selection methodology, until the models presented only significant coefficients. In this process, in general, the models were highly sensitive to the rainy season (November to April), and variables related to important periods such as flowering were not significant. It was concluded that the models have good potential for coffee crop forecasting,



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



previous year's yield should be considered and the phenological sequence with best performance was sep./oct, nov./dec., jan./feb., mar. /apr.

KEYWORDS: agrometeorological modeling, productivity, coffee, water deficit.

INTRODUÇÃO

A falta de métodos científicos, comprovadamente eficazes, para estimativa de produção do cafeeiro propicia o levantamento de especulações que influenciam diretamente o preço do café no mercado. Como consequência, afeta negativamente a cadeia produtiva do agronegócio. Assim, a estimativa antecipada da produção cafeeira das diversas regiões produtoras é essencial para o estabelecimento da política cafeeira do País, servindo tanto a produtores, apoiando o planejamento de suas atividades agrícolas, garantindo assim uma melhor estabilidade, como ao governo na forma de ferramenta estratégica na orientação em ações referentes ao mercado interno e externo.

O principal fator meteorológico a afetar a produtividade do cafeeiro é a disponibilidade hídrica Picini et al. (1999) e uma das formas de realizar a estimativa de safras, consiste em quantificar a quebra de rendimento da cultura a partir de modelos agrometeorológicos, que além de fornecer informações para os sistemas de previsão, permitem identificar o estresse hídrico ao longo do ciclo da cultura e analisar seus impactos na produtividade (Rosa et al., 2010).

Portanto, o presente trabalho, desenvolvido sob a representatividade das condições hidroclimáticas da região Sul do Estado de Minas Gerais, foi realizado com o objetivo de desenvolver e parametrizar um modelo agrometeorológico de estimativa da produtividade do cafeeiro, com enfoque na penalização em função da deficiência hídrica, durante as diferentes fases fenológicas da cultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram obtidos junto às instituições de extensão e pesquisa de Minas Gerais, EMATER-MG e EPAMIG, Cooperativas de cafeicultores, empresas produtoras de café e produtores em geral na região das cidades de Lavras e Varginha. Foi realizado um levantamento da disponibilidade de dados confiáveis de produtividades de lavouras cafeeiras do gênero arábica.

Juntamente aos dados de produtividades cafeeiras foram levantados dados de elementos climáticos, concomitantes às séries anuais de produtividades, de estações meteorológicas instaladas próximas às lavouras. Foram obtidos dados de precipitação pluvial e temperaturas médias diárias necessários para o desenvolvimento dos balanços hídricos climatológicos (BHC).

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi realizado com base na metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), em escala decendial para Lavras e mensal para Varginha (devido a falta de dados brutos). A capacidade de água disponível no solo (CAD) adotada para o cálculo foi de 100 mm, sendo essa considerada como média para a maioria dos solos cultivados com cafeeiros no estado em Minas Gerais e já utilizada em diversos trabalhos (Matiello, 1991; Camargo; Pereira, 1994; Picini, 1998; Carvalho, 2003)

Extraídos os componentes do BHC, foram em seguida calculadas as evapotranspirações relativas (ETR/ETP) para as respectivas fases fenológicas do cafeeiro, adotadas como penalizadores hídricos dos modelos, onde ETR representa a evapotranspiração real da cultura e ETP a evapotranspiração potencial.

O modelo utilizado como base neste trabalho foi o de Stewart; Hagan e Pruitt (1976) adaptado por Picini (1998) que relaciona a quebra de produtividade com uma variável relativa ao déficit hídrico (ETR/ETP) para cada fase fenológica considerada, e outra relativa a produção do ano do ano anterior (Equação 1). Na equação apresentada abaixo, Y_e representa a produtividade estimada, Y_p a

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

produtividade potencial e Y_a a produtividade do ano anterior. O coeficiente de resposta da cultura ao déficit hídrico (K_{y_i}) e o coeficiente relativo à produtividade do ano anterior (K_{y_0}) foram obtidos através de análise de regressão múltipla. As variáveis não significativas foram então eliminadas uma a uma até que se obtivesse modelos apenas com variáveis significativas (seleção backward). Para o cálculo das evapotranspirações relativas, foram consideradas diferentes sequências fenológicas (Figura 1) a fim de detectar a influência do déficit hídrico em cada fase. A produtividade potencial reflete o nível tecnológico aplicado a lavoura, sendo um valor máximo para as condições de cultivo do talhão desde que não ocorram restrições climáticas. A exemplo de Picini (1998) e Carvalho (2003), as produtividades potenciais foram tomadas com base na recomendação de Kanemasu (1983) de se acrescentar 10% ao maior valor da série de produtividade, objetivando eliminar efeitos ambientais que pudessem interferir sobre a produtividade potencial.

$$\frac{Y_e}{Y_p} = k_{y_0} \left(\frac{Y_a}{Y_p} \right) + \sum_{i=1}^n k_{y_i} \left(\frac{ETR}{ETP} \right)_i$$

	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
B1	Ky1	Ky2	Ky3	Ky4	Ky5							
B2		Ky1	Ky2	Ky3	Ky4	Ky5						
B3			Ky1	Ky2	Ky3	Ky4	Ky5					
B4	Ky1	Ky2	Ky3	Ky4								
B5		Ky1	Ky2	Ky3	Ky4							
B6			Ky1	Ky2	Ky3	Ky4						
B7				Ky1	Ky2	Ky3	Ky4					
T1	Ky1	Ky2	Ky3	Ky4								
T2	Ky1	Ky2	Ky3									
T3		Ky1	Ky2	Ky3								
T4			Ky1	Ky2	Ky3							
T5				Ky1	Ky2	Ky3						

Figura 1. Sequências fenológicas bimestrais e trimestrais consideradas nas parametrizações dos modelos agrometeorológicos.

Tabela 1. Coeficientes de desempenho “C” adaptado de Camargo e Sentelhas (1997).

Valor “C”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Regular
0,41 a 0,50	Ruim
< 0,40	Péssimo

Os desempenhos dos modelos foram avaliados com dados de produtividades observados de talhões das lavouras cafeeiras de cada município, diferentes dos utilizados na parametrização (validação cruzada), porém em condições tecnológicas semelhantes àquelas utilizadas para a obtenção dos modelos, conforme indicaram Picini et al. (1999) e Hoogenboom; Jones e Boote (1992). Foram comparadas as

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

produtividades estimadas e observadas, adotando indicadores estatísticos de performance de modelos lineares, como o coeficiente de determinação (R^2), índice “d” de concordância de Willmott et al. (1985) e o índice “C” de Camargo e Sentelhas (1997), que reflete o desempenho do modelo (Tabela 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

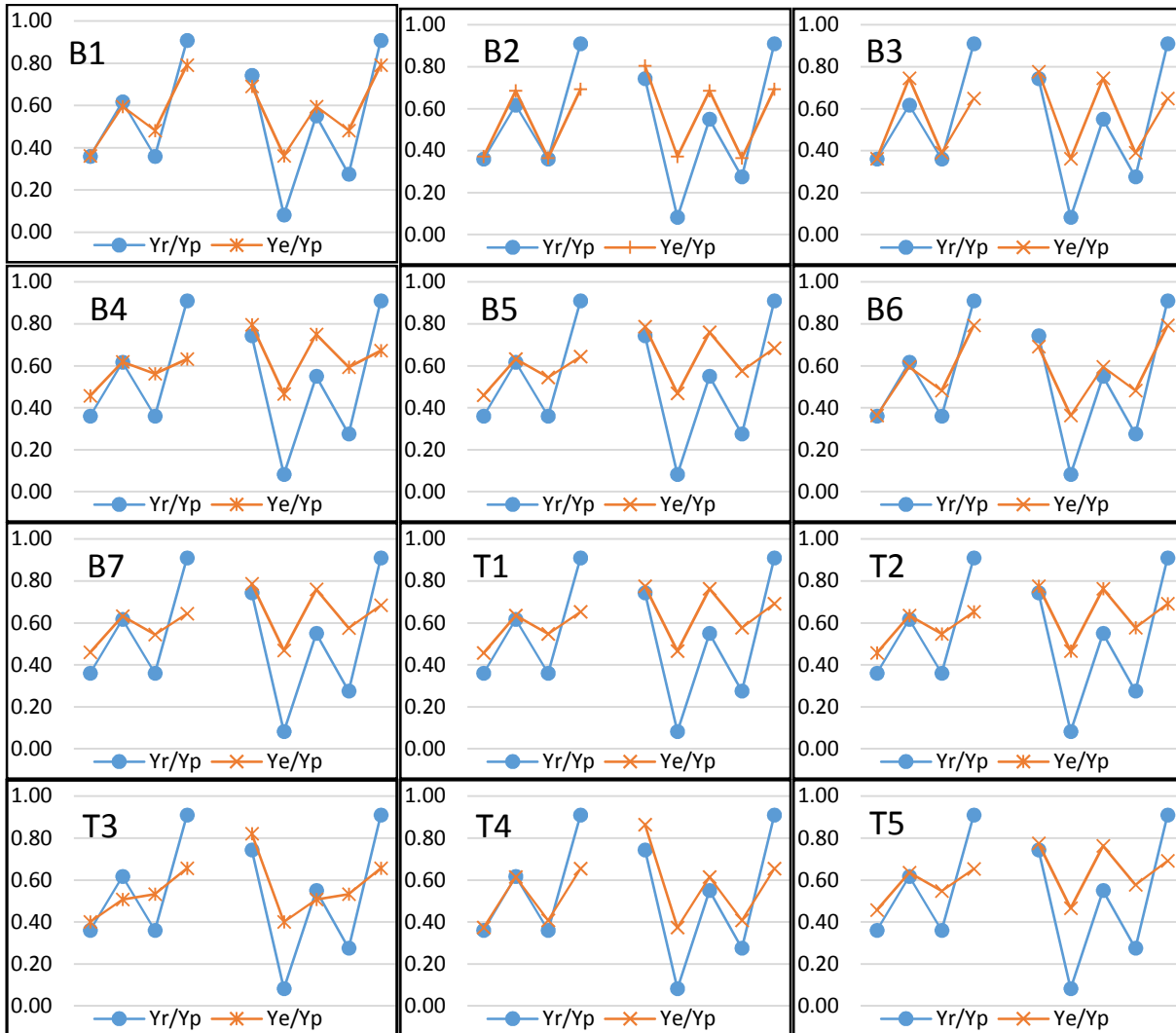


Figura 2.Produtividades relativas observadas e estimadas pelo modelo agrometeorológico, para cada sequência fenológica considerada, para as condições de Lavras, MG.

Tabela 2. Coeficientes de regressão e respectivos parâmetros estatísticos dos modelos de regressão linear múltipla para o município de Lavras, MG

	B1		B2		B3		B4	
R2	0,922		0,945		0,941		0,894	
R2 AJ.	0,839		0,822		0,834		0,809	
ER.PADRÃO	0,189		0,181		0,178		0,220	
	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*
KY0	-	-	-	-	-	-	-0,47	0,06
Ky1	-	-	79,38	0,01	1,68	0,04	-	-
Ky2	-	-	108,74	0,01	-	-	-	-
Ky3	-2,36	0,02	303,62	0,01	-4,38	0,01	-	-
Ky4	-	-	-623,12	0,01	2,84	0,01	0,88	0,00
KY5	3,19	0,01	176,94	0,01	1,37	0,07	-	-
	B5		B6		B7		T1	
R2	0,899		0,922		0,899		0,898	
R2 AJ.	0,814		0,839		0,814		0,813	
ER.PADRÃO	0,215		0,189		0,215		0,216	
	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*
KY0	-0,46	0,06	-	-	-0,46	0,06	-0,46	0,06
Ky1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ky2	-	-	-2,36	0,02	-	-	-	-
Ky3	-	-	-	-	0,89	0,00	0,87	-
Ky4	0,89	0,00	3,19	0,01	-	-	-	0,00
	T2		T3		T4		T5	
R2	0,90		0,91		0,94		0,90	
R2 AJ.	0,81		0,83		0,84		0,81	
ER.PADRÃO	0,22		0,20		0,17		0,22	
	Coef.	Valor p*	Coef.	valor p	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*
KY0	-0,46	0,06	-	-	-	-	-0,46	0,06
Ky1	-	-	-	-	2,12	0,01	-	-
Ky2	-	-	-3,64	0,03	-4,94	0,00	0,87	0,00
Ky3	0,87	0,00	4,59	0,02	4,36	0,00	-	-

Tabela 3. Coeficientes de regressão do modelo de regressão linear múltipla para o município de Lavras, distribuídos de acordo com os períodos que representam.

	Ky0	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
B1						-2,36				3,19			
B2													
B3			1,68					-4,38		2,84		1,37	
B4	-0,47							0,88					
B5	-0,46								0,89				
B6						-2,36				3,19			
B7	-0,46								0,89				
T1	-0,46							0,87					
T2	-0,46							0,87					
T3						-3,64				4,59			
T4				2,12				-4,94			4,36		
T5	-0,46								0,87				

Na Tabela 2e na Tabela 4 são apresentados os resultados estatísticos das regressões lineares múltiplas para Lavras e Varginha respectivamente, após a eliminação, por meio da seleção backward, das variáveis não significativas estatisticamente. Ao analisar os coeficientes R^2 e R^2 ajustado, observa-se que os resultados foram satisfatórios apresentando pouca diferença entre os modelos. Em termos práticos essas diferenças são muito pequenas e não foram significativas para a escolha do modelo mais adequado.

As Figuras 2 e 3 ilustram graficamente o desempenho dos modelos. Analisando as imagens, percebe-se que os modelos acompanharam as oscilações de produtividade características do cafeeiro e apresentaram tendência em superestimar a produtividade para Lavras e subestimar para Varginha. Percebe-se também que o modelo perde qualidade em anos de produtividades extremas, o que pode ser reflexo da influência de variáveis não consideradas pelo mesmo, como temperatura, granizo e incidência de pragas por exemplo.

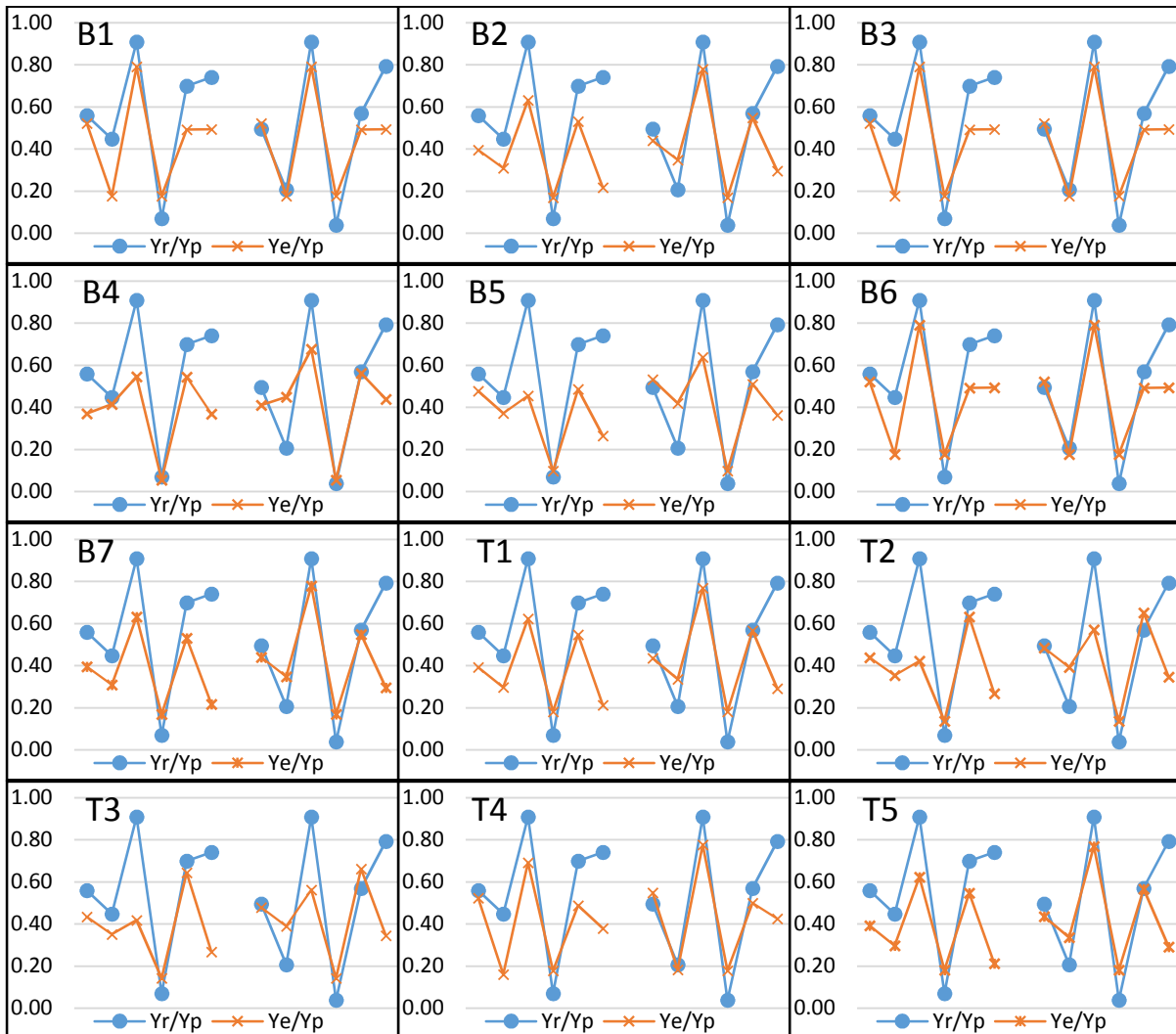


Figura 3.Produtividades relativas observadas e estimadas pelo modelo agrometeorológico, para cada sequência fenológica considerada, para as condições de Lavras, MG.

Tabela 4. Coeficientes de regressão e respectivos parâmetros estatísticos dos modelos de regressão linear múltipla para o município de Varginha, MG

	B1		B2		B3		B4	
R2	0,892		0,859		0,892		0,849	
R2 AJ.	0,834		0,798		0,834		0,787	
ER.PADRÃO	0,183		0,209		0,183		0,216	
	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*
KY0	-	-	-0,61	0,00	-	-	-0,54	0,01
Ky1	-	-	-	-	-0,75	0,00	0,40	0,07
Ky2	-0,75	0,00	-	-	7,97	0,00	-	-
Ky3	7,97	0,00	-	-	-	-	-	-
Ky4	-	-	1,59	0,00	-7,04	0,00	0,44	0,01
KY5	-7,04	0,00	-0,95	0,03	-	-	-	-
	B5		B6		B7		T1	
R2	0,842		0,892		0,859		0,856	
R2 AJ.	0,780		0,834		0,798		0,795	
ER.PADRÃO	0,221		0,183		0,209		0,211	
	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*
KY0	-0,76	0,00	-	-	-0,61	0,00	-0,61	0,00
Ky1	-	-	-0,75	0,00	-	-	-	-
Ky2	-	-	7,97	0,00	-	-	-	-
Ky3	-4,37	0,12	-	-	1,59	0,00	1,47	0,00
Ky4	5,16	0,08	-7,04	0,00	-0,95	0,03	-0,84	0,03
	T2		T3		T4		T5	
R2	0,821		0,816		0,889		0,856	
R2 AJ.	0,767		0,762		0,823		0,795	
ER.PADRÃO	0,230		0,233		0,190		0,211	
	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*	Coef.	Valor p*
KY0	-0,62	0,00	-0,60	0,00	-0,35	0,07	-0,61	0,00
Ky1	-	-	-	-	-1,01	0,03	-	-
Ky2	-	-	0,69	0,00	4,08	0,00	1,47	0,00
Ky3	0,70	0,00	-	-	-2,73	0,00	-0,84	0,03

Tabela 4. Coeficientes de regressão do modelo de regressão linear múltipla para o município de Lavras, distribuídos de acordo com os períodos que representam

	Ky0	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
B1				-0,75		7,97				-7,04			
B2	-0,61								1,59		-0,95		

Seq.	Parâmetros				Parâmetros			
	Lavras				Varginha			
	d	R	C	Desempenho	d	R	C	Desempenho
B1	0,89	0,89	0,79	Muito Bom	0,90	0,92	0,82	Muito Bom
B2	0,75	0,69	0,52	Regular	0,87	0,74	0,65	Mediano
B3	0,89	0,89	0,79	Muito Bom	0,82	0,61	0,50	Ruim
B4	0,80	0,81	0,65	Mediano	0,63	0,45	0,28	Pessimo
B5	0,72	0,68	0,49	Ruim	0,65	0,51	0,33	Pessimo
B6	0,89	0,89	0,79	Muito Bom	0,90	0,92	0,82	Muito Bom
B7	0,75	0,69	0,52	Regular	0,65	0,51	0,33	Pessimo
T1	0,75	0,68	0,50	Ruim	0,66	0,54	0,35	Pessimo
T2	0,69	0,60	0,41	Ruim	0,66	0,54	0,35	Pessimo
T3	0,69	0,58	0,40	Pessimo	0,73	0,57	0,41	Ruim
T4	0,84	0,83	0,69	Bom	0,84	0,68	0,45	Ruim
T5	0,75	0,68	0,50	Ruim	0,66	0,54	0,35	Pessimo

Tabela 6 Coeficientes de correlação (R), índices de concordância (d), índice confiança (C) e classificação do desempenho dos modelos agrometeorológicos testados para Lavras (MG) e Varginha (MG).

Em relação às sequências fenológicas consideradas, as sequências B1, B3 e B6 apresentaram os melhores resultados, porém a inclusão de bimestres de pouca demanda hídrica por parte do cafeeiro (julho/agosto em B1 e maio/junho em B3) parece ter gerado pouca influência sobre o modelo, uma vez que essas variáveis foram removidas após a parametrização, tanto para Lavras como para Varginha. Assim, a divisão do ano agrícola nos bimestres set/out, nov/dez, jan/fev e mar/abr (sequencia B6) foi a mais indicada na parametrização dos modelos agrometeorológicos.

Os coeficientes Ky_0 , relativos à produtividade do ano anterior, apresentaram significância estatística na maioria dos modelos em Varginha e em Lavras, confirmando a importância dessa variável para o desenvolvimento de modelos de previsão de produtividade de cafeeiro.

A remoção de variáveis sabidamente importantes, os altos valores assumidos em alguns casos pelos coeficientes parametrizados, sugerem que uma série histórica mais longa seria necessária, a fim de se obter maior variabilidade dos parâmetros hídricos durante o processo de parametrização.

Em síntese, a parametrização de modelos agrometeorológicos de previsão, baseados na demanda hídrica, apresentam bom potencial para estudos mais aprofundados, porém, como já citado por Carvalho (2003), a modelagem através dessa metodologia deve-se aplicar melhor a dados experimentais, onde as condições de cultivo possam ser controladas, reduzindo a influência de outras fontes de variação, além de um controle mais preciso da incidência de chuvas sobre a lavoura e de um volume de dados de produtividade maior e mais criterioso.

CONCLUSÕES

- Os modelos apresentaram, bom potencial na previsão da produtividade do cafeeiro em nível de talhão nas condições do Sul de Minas Gerais;



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



- A produção do ano anterior deve ser considerada no desenvolvimento dos modelos;
- As sequências compreendendo os bimestres de setembro/outubro, novembro/dezembro, janeiro/fevereiro e março/abril foram as mais adequadas na parametrização do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, p.92. 1994. (CAGM Report, 58)

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, L. G. **Modelos prognósticos de produtividade da cultura do café no Estado de Minas Gerais**. 2003. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.; BOOTE, K. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUYGRO, and BEANGRO: a review. **Transactions of the ASAE (USA)**, v. 35, n. 6, p. 2043 - 2056, 1992.

KANEMASU, E. Yield and Water-Use Relationships: Some Problems of Relating Grain Yield to Transpiration. In: TAYLOR, H. M.; JORDAN, W. R. e SINCLAIR, T. R. (Ed.). **Limitations to Efficient Water Use in Crop Production**. Madison: Madison: American Society of Agronomy, 1983. cap. 9B, p.413-417.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Editora Globo, 1991. 320p.

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**. 1998. 132 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PICINI, A. G. et al. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 157 - 170, 1999.

ROSA, V. G. C. D. et al. Coffee crop yield estimate using an agrometeorological-spectral model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1478-1488, Dec 2010.

STEWART, J. I.; HAGAN, R. M.; PRUITT, W. O. Production functions and predicted irrigation programmes for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency: Final report. **Washington, US Department of Interior**, p. 80, 1976.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.