

COMPARAÇÃO DE TRÊS MODELOS DE PREVISÃO DA SAFRA DE CAFÉ NO ESTADO DE MINAS GERAIS*

William Tse Horng Liu** e

Beverly Wen Yuh Liu

RESUMO

Três tipos de modelo: modelo simples, modelo bienal, que separou os anos pares e ímpares, e modelo composto dos três modelos de microrregião foram desenvolvidos e avaliados para a previsão de safra de café no Estado de Minas Gerais.

Os modelos desenvolvidos foram obtidos pelo processo da regressão múltipla. Os fatores climatológicos que incluem as interações entre si e as interações do sistema solo-planta-atmosfera tais como evapotranspiração potencial, excesso e déficit hídrico foram considerados no processo de construção do modelo. Os dados climatológicos mensais de 1964 a 1986 das estações de Patos de Minas, Lavras e Machado foram utilizados neste estudo. Os dados de 1964 a 1983 foram utilizados para construção dos modelos e de 1984 a 1986 para avaliação dos mesmos.

O modelo simples (\hat{Y}_{cs3}) tem o R^2 de 0,880 e o erro que variou de 0,3% a 30,9% com uma média de 11,4%; o modelo bienal para anos pares (\hat{Y}_{cs5}) tem o R^2 de 0,972 e o erro que variou de 0,4% a 9,5% com uma média de 2,9% e para anos ímpares (\hat{Y}_{cs6}) tem o R^2 de 0,998 com o erro que variou de 0,3% a 7,9% com uma média de 2,2%; e o modelo composto (\hat{Y}_{mI}) tem o erro que variou de 1,5% a 68,2%, com uma média de 15,8%.

Os erros de previsão de safras dos anos 1984 e 1985 foram 3,8% e 8,1% pelo modelo simples; 13,5% e 13% pelo modelo bienal, e 13% e 14,3% pelo modelo composto.

Conclui-se que o modelo simples teve melhor previsão das safras de 1984 e 1985 e o modelo bienal teve melhor comportamento estatístico. O modelo composto pode funcionar bem nos anos recentes e pode ser melhorado pela inclusão de um modelo para a macrorregião de Mata e Rio Doce.

* Contribuição do Projeto Previsão de Safra Agrícola no Estado de Minas Gerais, financiado pela FINEP, convênio com CETEC

** Agrometeorologistas, Ph.D., Caixa Postal 2306, Belo Horizonte MG

INTRODUÇÃO

A produção de café do Brasil ocupa cerca de 20 a 35% da produção mundial dependendo do fenômeno da oscilação bienal de caráter fisiológico do café plantado. A participação do café na exportação total foi em cerca de 10% equivalente 26 bilhões de dólares em 1985. A cultura de café entre outras culturas tais como cacau, cana-de-açúcar e soja, são consideradas as culturas mais importantes no setor de exportação agrícola.

Visando que a produção irregular do café pode afetar a economia brasileira, uma previsão confiável da safra pode oferecer um planejamento adequado pela integração correta entre o mercado e a produção.

A produção de café no Estado de Minas Gerais aumentou, variando de 240 a 400 mil toneladas nos anos de 1964 a 1973, e ao máximo de 1.366 mil toneladas em 1981. Por causa das periódicas geadas que têm devastado os cafezais de São Paulo, Paraná e Mato Grosso, a cafeicultura mineira foi a que respondeu mais significativamente ao plano de Renovação Cafeeira que iniciou em 1969 e caminha para posição de liderança nacional. A produção de café no Estado ocupa uma média de 30% da produção total do Brasil após o ano 1976.

O crescimento da atividade cafeeira no Estado apresenta um reflexo social de grande importância. O setor absorveu, com a ampliação de seus plantios, mais de 70 mil famílias. Acrescenta-se também que o Estado se beneficiou com o acréscimo de tributos fiscais.

Visando à importância econômica da produção de café no Estado, a previsão de safra desta cultura é uma tarefa indispensável no planejamento agrícola. O objetivo deste trabalho é desenvolver modelos adequados para se aplicar na previsão de safra. Embora os vários modelos de previsão de safra agrícola tenham sido desenvolvidos para as culturas anuais tais como arroz, milho, trigo, soja, em vários países com aplicações satisfatórias, a pesquisa de desenvolvimento de um modelo de previsão de safra para a cultura permanente, tal como o café, não foi aplicado. Esta pesquisa tem, por finalidade, desenvolver modelo para previsão de safra de cultura permanente. Diferentes maneiras de formular os modelos foram testados para procurar o método adequado que possa obter o melhor modelo de previsão de safra de café.

METODOLOGIA

Os dados mensais dos fatores meteorológicos, tais como temperatura máxima e mínima, umidade relativa, precipitação e temperatura mínima absoluta do período de 1964 a 1936 nas estações de Patos de Minas, Lavras e Machado foram utilizadas neste estudo. Os dados de área plantada, produtividade e produção da cultura de café nos níveis do Estado e microrregião de um período de 1964 a 1986, também foram usados.

Os dados climáticos e da produtividade da cultura de café de 20 anos (1964 a 1983) foram utilizados para construir os vários modelos de previsão de safra e os anos recentes que incluem 1984, 1985 e 1986 foram utilizados para avaliar os modelos desen

volvidos.

A fim de melhorar os parâmetros climáticos que possam obter a melhor correlação com a produtividade final da cultura, os dados mensais de evapotranspiração potencial, excesso e déficit hídrico foram também empregados para construir os modelos alternativos.

No caso da falta dos dados climatológicos, estes foram completados pelas interpretações dos dados nas estações climatológicas dos municípios vizinhos.

De acordo com os fenômenos físicos mais importantes para a produção de uma cultura, os parâmetros selecionados para regressão simples foram agrupados nos vários modelos a serem desenvolvidos. Dentro destes modelos, os parâmetros que compõem alta correlação de determinação e que têm significância nos coeficientes da correlação, foram selecionados para construir os modelos. Entretanto, o parâmetro de tendência que indica as mudanças de tecnologia foi incluído no processo de regressão múltipla.

O pacote para o programa de computador, chamado sistema de análise estatística ("Statistical analysis system" - SAS), foi utilizado para elaboração do modelo.

Três tipos de modelo foram desenvolvidos. Primeiro, o modelo simples foi construído baseado os valores médios dos dados climatológicos das três estações meteorológicas utilizadas; segundo, o modelo bienal foi construído pela integração dos dois modelos que separaram os anos pares dos ímpares; e o terceiro, o modelo composto foi formulado pela integração dos três modelos de microrregião. Para obter o terceiro tipo de modelo, os modelos das três microrregiões (Mata, Furnas e Alto Rio Grande) foram desenvolvidos.

As avaliações dos modelos no nível de Estado e microrregião foram feitas separadamente. A aplicabilidade dos três tipos de modelo na previsão da safra de café foram discutidos e avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

• Lista da Definição dos Parâmetros

Os parâmetros usados nos modelos apresentados neste trabalho são definidos no seguinte:

TN	= temperatura mínima
TX	= temperatura máxima
UR	= umidade relativa
P	= precipitação
DH	= déficit hídrico
EH	= excesso hídrico
UN	= interação entre UR e TN
UX	= interação entre UR e TX
PN	= interação entre P e TN
PX	= interação entre P e TX
PE	= diferença entre P e evapotranspiração potencial
TNA	= temperatura mínima absoluta
TREND	= ano previsto - 1963

Os números associados nos parâmetros representam os meses

do ano em seqüência de número 1 correspondendo o mês de junho até número 12 correspondendo o mês de maio no ano seguinte.

● Modelo Simples

O primeiro modelo estadual foi formulado no seguinte:

$$\hat{Y}_{cs3} = -2954,24 + 54,048\text{TREND} + 319,487\text{TN2} + 3,272\text{UX2} - 4,101\text{UN2} \\ + 4,417\text{DH4} - 0,941\text{UN5} - 3,422\text{EH6} + 4,685\text{EH9} - 4,344\text{PE9} \\ - 0,659\text{PN10} + 12,03\text{PE10} + 3,668\text{DH11}$$

onde: \hat{Y}_{cs3} = produtividade de café previsto pelo modelo simples (kg/ha)

O modelo \hat{Y}_{cs3} teve o valor R^2 de 0,880 e os níveis de significância dos parâmetros menor que 0,01, exceto DH11 (menor que 0,1). A Tabela 1 mostra que o erro de previsão variou de 0,3% a 30,9%, com uma média de 11,4%.

As produtividades previstas pelo \hat{Y}_{cs3} foram de 1.098kg/ha, para o ano 1984; 1.874kg/ha para 1985 e 1.520kg/ha para 1986. Com parando-se estes dados com as safras de 1.141kg/ha no ano 1984 e 2.040kg/ha no ano 1985, dados fornecidos pelo IBGE e IBC, verificou-se que as previsões com um erro de 3,8% para ano 1984 e de 8,1% para 1985. Estes erros são considerados razoavelmente aceitáveis. Portanto, o modelo \hat{Y}_{cs3} foi considerado o modelo adequado para previsão da produtividade de café para o Estado de Minas Gerais.

● Modelo Bienal

O segundo tipo de modelo inclui um modelo dos anos pares (\hat{Y}_{cs5}) e outro dos anos ímpares (\hat{Y}_{cs6}) que são formulados no seguinte:

$$\hat{Y}_{cs5} = -12184,068 + 68,909\text{TN1} + 62,072\text{TX1} + 2,270\text{UN4} + 2,337\text{DH5} \\ - 3,414\text{UN7} + 53,050\text{UR7} + 100,663\text{TX8} + 213,355\text{TX9} \\ + 0,089\text{PN9} + 38,020\text{DH10} + 0,939\text{PN10} - 0,551\text{PX10}$$

$$\hat{Y}_{cs6} = -2877,171 + 71,957\text{TREND} + 31,052\text{UR1} + 0,345\text{PX1} - 2,317\text{UN1} \\ + 106,858\text{TN2} + 31,550\text{TNA2} - 0,597\text{UN5} + 2,254\text{UX7} \\ + 2,580\text{UN9} - 2,899\text{UX9}$$

onde: \hat{Y}_{cs5} e \hat{Y}_{cs6} = produtividade de café prevista pelo modelo para os anos pares e para os anos ímpares (kg/ha)

O modelo \hat{Y}_{cs5} foi desenvolvido para os anos pares e \hat{Y}_{cs6} para os anos ímpares. Os valores de R^2 são 0,972 e 0,988 para \hat{Y}_{cs5} e \hat{Y}_{cs6} , respectivamente. A Tabela 2 apresenta os parâmetros, os coeficientes de determinação, e os níveis significativos dos modelos \hat{Y}_{cs5} e \hat{Y}_{cs6} . Observando-se o modelo \hat{Y}_{cs5} , o parâmetro DH5 têm um valor ao nível de significância de 0,07, sendo este o único parâmetro que ultrapassou o valor de 0,05. Por causa da dificuldade de encontrar todos os parâmetros que possuem os níveis de significância abaixo de 0,05, o valor que for menor que 0,1 é considerado aceitável. É interessante observar que o modelo \hat{Y}_{cs5} não inclui o parâmetro de tendência tecnológica (TREND) e \hat{Y}_{cs6} inclui a influência deste parâmetro. Por outro lado, o modelo \hat{Y}_{cs5} que não possui a influência tecnológica é o modelo mais complicado, e é o que inclui mais fatores climatológicos (12 parâmetros contra 10 no caso de \hat{Y}_{cs6}).

Tabela 1 - Comparação da produtividade prevista pelo modelo \hat{Y}_{cs3} e indicada pelo IBGE das safras de 1964 a 1983 para a cultura de café no Estado de Minas Gerais.

Ano	IBGE kg/ha	Modelo \hat{Y}_{cs3} kg/ha	Erro de previsão kg/ha	% erro de previsão*
1964	463	559,0	96,0	20,7
1965	632	502,9	-129,1	20,4
1966	609	601,0	-8,0	1,3
1967	724	709,0	-15,0	2,1
1968	825	790,3	-34,7	4,2
1969	605	475,3	-129,7	21,4
1970	677	702,0	25,0	3,7
1971	630	825,0	195,0	30,9
1972	690	879,0	189,0	27,4
1973	759	737,2	-21,8	2,9
1974	2.027	1868,7	-158,3	7,8
1975	768	974,2	206,2	26,8
1976	756	664,0	-92,0	12,2
1977	1.593	1622,8	29,8	1,9
1978	1.338	1375,3	37,3	2,8
1979	1.812	1806,4	-5,6	0,3
1980	875	1019,8	144,8	16,5
1981	2.583	2265,2	-317,8	12,3
1982	999	1103,4	104,4	10,4
1983	1.805	1749,5	-55,5	3,1
Média	1.058,5	1058,5	99,8*	11,45

* os valores absolutos dos erros de previsão foram usados. ✓

Tabela 2 - Equações dos modelos \hat{Y}_{cs5} e \hat{Y}_{cs6} , coeficiente de de terminação (c.d.) e níveis de significância (s.), pa ra a cultura de café das safras de 1964 a 1983 (\hat{Y}_{cs5} com anos pares e \hat{Y}_{cs6} com anos ímpares).

Modelo \hat{Y}_{cs5}			Modelo \hat{Y}_{cs6}		
Parâmetro	c.d.	s.	Parâmetro	c.d.	s.
Intercepção	-12184,068	***	Intercepção	-2877,171	***
TN1	68,909	***	TREND	71,957	***
TX1	62,072	*	UR1	31,052	***
UN4	2,270	***	PX1	0,345	***
DH5	2,337	+	UN1	-2,317	***
UN7	-3,414	***	TN2	106,858	***
UR7	53,050	***	TNA7	31,550	**
TX8	100,663	***	UN5	-0,597	*
TX9	213,355	***	UX7	2,254	***
PN9	0,089	***	UN9	2,580	***
DH10	38,020	***	UX9	-2,899	***
PN10	0,939	***			
PX10	-0,551	***			

*** < 0,001

** < 0,01

* < 0,05

+ < 0,10

Os resultados de produtividade previstas pelos modelos \hat{Y}_{cs5} e \hat{Y}_{cs6} foram satisfatórios. O erro de previsão variou de 0,4% a 9,5% com uma média de 2,9% para \hat{Y}_{cs5} e de 0,3% a 7,9% com uma média de 2,2% para \hat{Y}_{cs6} (Tabela 3).

As previsões das safras de 1984 e 1986 pelo modelo \hat{Y}_{cs5} foram de 1.296kg/ha e 1.114kg/ha. Comparando-se com a safra de 1984 obtida pelo IBGE (1.141kg/ha), o erro de previsão foi de 13,5%. Considerando-se a grande variação das safras de café no período de 1964 a 1984, estes erros de previsão para o período ainda foram considerados aceitáveis. Porém, um ano de avaliação não foi suficiente para se avaliar se o modelo foi adequado ou não, sendo necessário mais dados de safras afim de se efetuar uma avaliação posterior.

Comparando-se as produtividades previstas pelo \hat{Y}_{cs6} para as safras dos anos ímpares com os dados do IBGE a previsão da safra foi de 1.771,5kg/ha contra 2.040kg/ha do IBGE no ano 1985. O erro de previsão deste ano foi de 13% que foi concluído razoavelmente aceitável, mas requer mais dados para obter uma avaliação mais adequada.

● Modelo Composto

O terceiro tipo de modelo foi construído pela integração dos três modelos de microrregiões Mata da Corda, Furnas e Alto Rio Grande). Cada modelo de microrregião representou a produção total das microrregiões vizinhas que têm as condições climáticas semelhantes. Pela primeira aproximação, o modelo microrregião de Mata da Corda representou as macrorregiões de Centro-Oeste e Triângulo Mineiro; os modelos de microrregião de Furnas e de Alto Rio Grande representaram igualmente a macrorregião Sudoeste Mineiro.

Devido à falta dos dados meteorológicos na macrorregião de Mata e Rio Doce, a participação da previsão desta região não foi realizada. Portanto, o modelo microrregional composto foi formulado baseado nos pesos da área colhida dos três modelos de microrregião.

A Tabela 4 mostra as áreas de produção de café e as porcentagens delas nas macrorregiões do Estado de Minas Gerais. A macrorregião Sudoeste Mineiro, que é a principal produtora de café no Estado, representa 58,6% da área colhida do Estado; as macrorregiões de Centro-Oeste e Triângulo Mineiro ocuparam somente 6,8%; a macrorregião de Mata e Rio Doce ocuparam em cerca de 28% e os restantes que incluem Nordeste, Noroeste e Centro-Leste ocuparam 6,6%, baseado nos dados da área colhida de um período de 5 anos (1980 a 1984). De acordo com esta informação, os pesos estimados foram: 0,3; 0,3; 0,1 e 0,3 para modelo microrregião de Furnas, Alto Rio Grande, Mata e os restantes, respectivamente. Portanto, o modelo composto foi formulado no seguinte:

$$\hat{Y}_{mI} = (0,1\hat{Y}_{cm4} + 0,3\hat{Y}_{cm10} + 0,3\hat{Y}_{cm13})/0,7$$

onde: \hat{Y}_{mI} = produtividade prevista pelo modelo composto (kg/ha)

\hat{Y}_{cm4} , \hat{Y}_{cm10} e \hat{Y}_{cm13} = modelos das microrregiões de Mata da Corda, Furnas e Alto Rio Grande, respectivamente.

Antes da aplicação do modelo \hat{Y}_{mI} , cada modelo de microrregião foi apresentado na seguinte forma:

Tabela 3 - Comparação da produtividade prevista pelo modelo fcs5 e fcs6 e indicada pelo IBGE das safras de 1964 a 1983 para a cultura de café.

Ano	IBGE kg/ha	Modelo fcs5 kg/ha	Erro de previsão kg/ha	% erro de previsão*	Ano	IBGE kg/ha	Modelo fcs6 kg/ha	Erro de previsão kg/ha	% erro de previsão*
1964	463	430,0	-33,0	7,0	1965	632	607,4	-24,6	3,9
1966	609	666,8	57,8	9,5	1967	724	721,5	-2,5	0,3
1968	825	816,3	-8,7	1,1	1969	605	619,2	14,2	2,3
1970	677	681,2	4,2	0,6	1971	630	633,7	3,7	0,6
1972	690	673,8	-16,2	2,3	1973	759	740,2	-18,8	2,5
1974	2.027	1970,4	-56,6	2,8	1975	768	828,6	60,6	7,9
1976	756	765,9	9,9	1,3	1977	1.593	1576,4	-16,6	1,0
1978	1.338	1361,0	23,0	1,7	1979	1.812	1838,9	26,9	1,5
1980	875	871,7	-3,3	0,4	1981	2.583	2550,7	-32,3	1,2
1982	999	1021,9	22,9	2,3	1983	1.805	1794,5	-10,5	0,6
Média	925,9	925,9	23,6*	2,9	Média	1.191,1	1191,1	21,1*	2,2

* os valores absolutos dos erros de previsão foram usados.

Tabela 4 - As áreas colhidas de café e as porcentagens delas nas macrorregiões do Estado de Minas Gerais.

Ano	Minas Gerais		Sudoeste Mineiro		Centro-Oeste e Triângulo Mineiro		Mata e Picado Mineiro		Restantes	
	área (ha)	%	área (ha)	%	área (ha)	%	área (ha)	%	área (ha)	%
1980	462245	60,3	278669	6,4	29586	26,9	124544	29446	6,4	
1981	528948	58,9	311294	8,4	44465	26,6	140584	32605	6,1	
1982	480062	57,3	275032	6,5	31119	29,5	141663	32248	6,7	
1983	600606	59,2	355300	6,3	37901	28,1	168996	38409	6,4	
1984	609532	57,2	348387	6,7	41012	28,9	176315	43818	7,2	
Média	536279	58,6	313736	6,8	36817	28,0	150420	35305	6,6	

$$\hat{Y}_{cm4} = -7567,155 - 24,230P1 - 41,438P2 - 33,903DH2 + 11,901PN3 \\ + 159,772DH3 - 1,926UN5 - 2,169UN9 + 1,503PN12$$

onde: \hat{Y}_{cm4} = produtividade prevista pelo modelo da microrregião Mata da Corda (kg/ha)

O modelo \hat{Y}_{cm4} teve o valor de R^2 de 0,986 com os níveis de significância dos parâmetros menor que 0,05. As produtividades previstas pelo \hat{Y}_{cm3} foram comparadas com os dados fornecidos pelo IBGE (Tabela 5). O erro de previsão variou de 0,1% a 28,3% com uma média de 8,8%.

Para fim de avaliação do modelo \hat{Y}_{cm4} , as previsões da produtividade foram feitas para os anos recentes (1984, 1985 e 1986); os resultados foram 1.161kg/ha para 1984; 1.493kg/ha para 1985 e 1.395kg/ha para 1986. Comparando-se com a produtividade de 1.363kg/ha do ano 1984, que foi fornecido pelo IBGE, o erro de previsão foi 14,7%. Embora este erro seja razoavelmente aceitável, a aplicação do modelo requer mais dados para obter a avaliação mais adequada.

$$\hat{Y}_{cm10} = 5969,660 + 57,067TRENDR + 4,965UX2 - 77,594UR3 - 6,564UN5 \\ + 3,165PN5 - 13,215P9 + 16,766EH9 - 156,328DH10 \\ + 40,730DH11$$

onde: \hat{Y}_{cm10} = produtividade prevista pelo modelo da microrregião de Furnas (kg/ha)

O modelo \hat{Y}_{cm10} teve o valor de R^2 de 0,987 com os níveis de significância menor que 0,01 para todos parâmetros. A Tabela 6 mostra as produtividades previstas pelo modelo \hat{Y}_{cm10} . O erro de previsão variou de 0,1% a 21,9% com uma média de 8,1%. Na aplicação do modelo nas previsões nos anos recentes, os resultados foram 1.033kg/ha para o ano de 1984; 1.759kg/ha para 1985 e 2.110kg/ha para 1986. Comparando-se com a produtividade de 1.069kg/ha do ano 1984 fornecido pelo IBGE, o erro de previsão foi de 3,3% considerado satisfatório. Para se recomendar a aplicação deste modelo, é necessário obter dados de safras dos anos mais recentes para a avaliação final.

$$\hat{Y}_{cm13} = -3249,536 + 3,920UX2 - 1,180UX3 - 24,077PE5 + 1,283PN5 \\ - 0,140PX9 - 1,283PX10 + 36,817PE10 + 2,119UN12$$

onde: \hat{Y}_{cm13} = produtividade prevista pelo modelo da microrregião de Alto Rio Grande (kg/ha)

O modelo \hat{Y}_{cm13} teve o valor de R^2 de 0,967 com os níveis de significância menor que 0,01 para todos parâmetros. A Tabela 7 mostra os resultados da previsão com erro variando de 0,2% a 48,4% com uma média de 10,9%. Na aplicação do modelo para previsão das produtividades dos anos recentes, os resultados foram 1.422kg/ha para o ano 1984; 1.852kg/ha para 1985 e 1.542kg/ha para 1986. Comparando-se com a produtividade de 1.262kg/ha do ano de 1984 fornecido pelo IBGE, o erro de previsão foi 12,7% que foi considerado aceitável.

Os três modelos de microrregião \hat{Y}_{cm4} , \hat{Y}_{cm10} e \hat{Y}_{cm13} apresentados acima foram aplicados no modelo \hat{Y}_{mI} .

A Tabela 8 mostra os resultados da produtividade prevista pelo modelo \hat{Y}_{mI} . O erro médio de 15,8% foi obtido nas previsões do período de 1964 a 1983. Os erros acima de 20% foram observados

Tabela 5 - Comparação da produtividade prevista pelo modelo γ_{cm4} e indicado pelo IBGE das safras de 1964 a 1983 para a cultura de café na microrregião de Corda da Mata, MG.

Ano	IBGE kg/ha	Modelo γ_{cm4} kg/ha	Erro de previsão kg/ha	% erro de previsão*
1964	471	561,2	90,2	19,2
1965	1.119	1023,9	-95,1	8,5
1966	776	677,5	-98,5	12,7
1967	899	822,0	-77,0	8,6
1968	653	613,5	-39,5	6,0
1969	370	265,2	-104,8	28,3
1970	585	619,4	34,4	5,9
1971	577	579,1	2,1	0,4
1972	652	628,8	-23,2	3,5
1973	332	332,3	0,3	0,0
1974	2.000	1866,5	-133,5	6,7
1975	1.189	1491,5	302,5	25,4
1976	1.192	1106,4	- 85,6	7,2
1977	1.211	1335,6	124,6	10,3
1978	1.922	1905,4	-16,6	0,9
1979	2.635	2654,6	19,6	7,4
1980	1.765	1782,4	17,4	9,8
1981	4.087	3996,2	-90,8	2,2
1982	1.318	1489,5	171,5	13,0
1983	1.451	1452,8	1,8	0,1
Média	1.260,2	1260,2	76,5*	8,8

* os valores absolutos dos erros de previsão foram usados.

Tabela 6 - Comparação de produtividade prevista pelo modelo \hat{Y}_{cm10} e indicada pelo IBGE das safras de 1964 a 1983 para a cultura de café na microrregião de Furnas, MG.

Ano	IBGE kg/ha	Modelo \hat{Y}_{cm10} kg/ha	Erro de previsão kg/ha	% erro de previsão*
1964	462	518,5	56,5	12,2
1965	690	642,8	-47,2	9,4
1966	701	758,9	57,9	8,2
1967	689	840,1	151,1	21,9
1968	746	643,1	-102,9	13,8
1969	796	681,2	-114,8	14,4
1970	663	712,5	49,5	7,5
1971	678	535,5	57,5	8,5
1972	822	797,7	-24,1	2,9
1973	710	608,6	-101,4	14,3
1974	2.234	2058,4	-175,6	7,9
1975	743	643,5	-108,5	14,6
1976	1.046	1113,9	67,9	6,5
1977	2.091	2236,3	145,3	6,9
1978	1.493	1619,8	126,8	8,5
1979	2.599	2629,7	30,7	1,2
1980	715	716,9	1,9	0,3
1981	3.511	3415,3	-95,7	2,7
1982	907	907,6	0,6	0,1
1983	1.807	1899,4	24,4	1,3
Média	1.208,5	1208,5	77,0*	8,1

* os valores absolutos dos erros de previsão foram usados.

Tabela 7 - Comparação da produtividade prevista pelo modelo Ψ cm13 e indicada pelo IBGE das safras de 1964 a 1983 para a cultura de café na microrregião de Alto Rio Grande, MG.

Ano	IBGE kg/ha	Modelo Ψ cm13 kg/ha	Erro de previsão kg/ha	% erro de previsão*
1964	760	700,9	-59,1	7,8
1965	827	749,3	-86,7	10,5
1966	894	1060,4	166,7	18,6
1967	652	658,8	6,8	1,0
1968	470	361,7	-108,3	23,0
1969	513	761,5	248,5	48,4
1970	507	443,3	-63,7	12,6
1971	483	481,8	-1,2	0,2
1972	499	442,4	-56,6	11,3
1973	747	661,7	-85,3	11,4
1974	1.948	1936,8	-11,2	0,6
1975	891	1108,2	217,2	24,4
1976	1.524	1430,8	-93,2	6,1
1977	1.556	1588,9	32,9	2,1
1978	1.475	1405,2	-69,8	4,7
1979	1.312	1360,8	-48,8	3,7
1980	522	605,4	83,4	16,0
1981	2.738	2711,0	-27,0	1,0
1982	934	959,5	25,5	2,7
1983	1.999	1331,2	-167,8	11,2
Média	1.037,5	1037,5	83,0*	10,9

* os valores absolutos de erro de previsão foram usados.

Tabela 8 - Comparação da produtividade prevista pelo modelo \hat{Y}_{MI} e indicada pelo IBGE das safras de 1964 a 1983 para a cultura de café no Estado de Minas Gerais.

Ano	IBGE kg/ha	Modelo \hat{Y}_{MI} kg/ha	Erro de previsão kg/ha	% erro de previsão*
1964	463	591	128	27,6
1965	632	810	178	28,1
1966	609	794	186	30,4
1967	724	703	-21	2,9
1968	825	614	211	25,5
1969	605	614	9	1,5
1970	677	582	-95	7,6
1971	630	580	-50	7,9
1972	690	659	-31	4,5
1973	759	670	-89	11,7
1974	2.027	2078	51	2,5
1975	768	869	101	13,2
1976	755	1272	516	68,2
1977	1.593	1736	143	8,9
1978	1.338	1546	208	15,6
1979	1.812	2053	241	13,3
1980	875	783	-92	10,6
1981	2.583	3262	679	26,3
1982	999	977	-22	2,2
1983	1.805	1653	-152	8,4
Média	1.058	1111	160*	15,8

* os valores absolutos dos erros de previsão foram usados.

nos anos 1964, 1965, 1966, 1968, 1976 e 1981. Todos estes anos indicaram que o modelo \hat{Y}_mI previu a produtividade mais alta que a fornecida pelo IBGE. A produtividade média de 1964 a 1983 nas microrregiões de Mata de Caratinga e Bacia de Manhuaçu foi de 350kg/ha que é 19,6% abaixo da média do Estado (1.358kg/ha), do mesmo período. A exclusão da participação de um modelo na previsão da macrorregião de Mata e Rio Doce pode contribuir para erros elevados. Especialmente o alto erro de 68% do ano 1976 pode ser causado pelas baixas produtividades de 230kg/ha e 310kg/ha nas microrregiões de Mata de Caratinga e Bacia de Manhuaçu. Por outro lado, a produtividade média dos anos 1964 a 1983 das três microrregiões no modelo \hat{Y}_mI foi 1.169kg/ha que foi de cerca de 10% mais alto que a média do Estado. A alta produtividade prevista pelo modelo \hat{Y}_mI , comparando-se com a do IBGE foi compreensível. Examinando-se com os dados de produtividade nos anos recentes (1980 a 1984), as produtividades médias foram 1.318kg/ha, 1.510kg/ha e 1.481kg/ha para a macrorregião de Mata e Rio Doce, macrorregião Sudoeste e o Estado, respectivamente. Isto indica que as produtividades do Sudoeste Mineiro representaram bem as do Estado nos anos recentes. Portanto, o modelo \hat{Y}_mI pode funcionar melhor nos anos recentes pois a tecnologia aplicada na produção de café já alcança o nível mais uniforme no Estado.

As produtividades previstas das safras de 1984 e 1985 pelo modelo \hat{Y}_mI foram 1.217kg/ha com o erro de 6,7% e 1.748kg/ha com o erro de 14,3%, respectivamente. A produtividade prevista de 1986 foi de 1.764kg/ha.

A Figura 1 mostra as produtividades previstas pelos três modelos desenvolvidos e pelo os dados de IBGE. Os resultados mostraram que embora o modelo bienal que separou as produtividades dos anos pares e ímpares teve altos valores de R^2 , as produtividades previstas nas safras de 1984 e 1985 não demonstraram melhor previsão. O modelo composto (\hat{Y}_mI) também não melhorou a precisão nas previsões das safras de 1984 e 1985. Portanto, o modelo \hat{Y}_{cs} foi a melhor opção na previsão da safra de café no Estado de Minas Gerais.

CONCLUSÃO

O trabalho manifestou as possibilidades de desenvolver 3 tipos de modelo de previsão da safra da cultura de café para o Estado de Minas Gerais. O modelo simples que foi construído no nível estadual (\hat{Y}_{cs3}), resultou na melhor opção baseada na aplicação das previsões das produtividades dos anos 1984 e 1985.

O modelo bienal que incluiu o modelo de anos pares (\hat{Y}_{cs5}) e anos ímpares (\hat{Y}_{cs6}) funcionou razoavelmente nas safras de 1984 e 1985, podendo ser melhorado se tiver os dados históricos das safras com um período mais longo. A tentativa de separar os anos pares e ímpares para se caracterizar a oscilação bienal da produtividade de café foi um avanço significativo na área de desenvolvimento dos modelos de previsão de safra.

O modelo composto (\hat{Y}_mI) que integrou os três modelos de microrregião também funciona razoavelmente nas safras de 1984 e 1985. O modelo pode ser melhorado se incluir o modelo da macrorregião de Mata e Rio Doce.

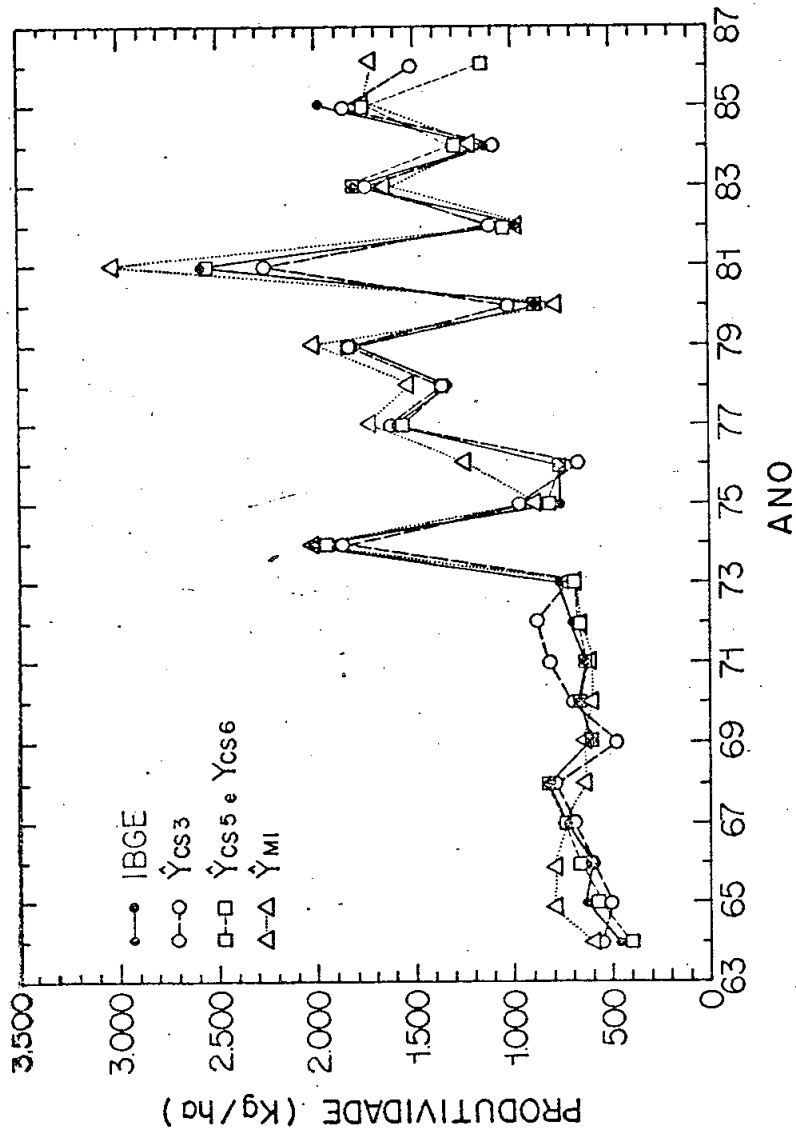


FIG. 1 - Comparação das produtividades de café dos modelos \hat{Y}_{cs3} , \hat{Y}_{cs5} , \hat{Y}_{cs6} e \hat{Y}_{MI} com os dados do IBGE, MG.

A pesquisa foi uma das primeiras que tentaram desenvolver modelos de previsão de safra para uma cultura permanente. Os resultados mostraram que é possível obter vários modelos para alcançar a melhor opção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ACHUTUNI, V.R. Analysis of crop calendar corn yield models for Iowa and Illinois. Oklahoma School of Meteorology, University of Oklahoma, 1978. 160p.
02. CEAS. USSR spring and winter wheat models. Columbia, Center for Environmental Assessment Services, 1978 (Technical Note 4).
03. COOTER, E. Climate/Yield relationships for Kansas winter wheat. Oklahoma School of Meteorology, University of Oklahoma, 1978. 103p.
04. DEWETT, C.B. Dynamics of the world climate/food system: A model for prediction for world food production and allocation. Wisconsin Quantitative Ecosystem Modeling Group, Institute for Environmental Studies University of Wisconsin 1974. 54p.
05. DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979, 193p. (Technical Report 33).
06. DUCEY, S.A. Climate/Yield relationships for soybeans in U.S. Delta and Brazilian Growing Regions. Oklahoma. Oklahoma Climatological Survey. Univ. of Oklahoma, 1981. 105p. (Technical Report)
07. EDDY, A. & RAO ACHUTUNI. Corn and wheat yields as a function of soil moisture evapotranspiration. Oklahoma, Department of Meteorology, University Oklahoma, 1978. 80p.
08. KATZ, R.W. Sensitivity analysis of statistical crop-weather models. Agri. Meteorol 20:291-300, 1979.
09. KUPPER, A. Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: NUTRIÇÃO e adubação do cafeeiro. Piracicaba. Instituto de Potassa e Fosfato, 1981.
10. LeDUC, S.K. et alii. Some problems associated with using climate-crop-yield models in an operational system an overview. Missouri, Climatic Impact Assessment Division 1979. 16p.
11. LIU, W.T.H. & LIU, B.W.Y. Um modelo de previsão de safra de trigo no Rio Grande do Sul. Ciência e Cultura 33(2):257-264, 1981.
12. ————. Modelo de previsão de produtividade de café no Estado de Minas Gerais. IV Congr. Bras. de Meteorologia. Anais 1; 38-47. Brasília, DF, 1986.
13. ————. Modelo de previsão de produtividade de soja no Estado de Minas Gerais. IV Congr. Bras. de Meteorologia, Anais 1; 48-59, Brasília, DF, 1986.
14. SAKAMOTO, C.M. et alii. Climate and global grain yield variability. Missouri. CCEA, 1979. 20p.