

VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO PROGNÓSTICO ANUAL DA PRODUTIVIDADE DE CAFÉ NO ESTADO DE MINAS GERAIS (MG) - BRASIL

A. M. RAMOS^{1,2}, F. C. CONDE^{2,3}, D. B. FERREIRA³, L. A. SANTOS³, G. F. SARMAHO⁴,
E. W. M. LUCAS³, M. SALVADOR³

¹Meteorologista. Consultora de Pesquisa. Instituto de Nacional de Meteorologia - INMET, Brasília – DF-Brasil. Fone: (0xx61) 2102 4776, andrea.ramos@inmet.gov.br

²Integrante do Conselho. Centro de Geofísica de Évora (CGE). Universidade de Évora – Portugal

³Meteorologistas. Instituto de Nacional de Meteorologia - INMET, Brasília – DF-Brasil

⁴Estatístico. Departamento de Estatística - Instituto de Exatas. Universidade de Brasília. Brasília-DF

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

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo verificar a influência do clima no prognóstico anual da produtividade de café em Minas Gerais (MG), considerado como o estado maior produtor de café do Brasil, recorrendo à redes neurais artificiais. A rede foi construída utilizando o algoritmo de aprendizagem *backpropagation* com as seguintes variáveis meteorológicas precipitação acumulada, temperaturas máximas e mínimas, além da área plantada e intensidade dos eventos de El Niño e La Niña para o período de 1960-2004. Os resultados indicam que a rede detecta bem a variabilidade anual do potencial de produtividade do café com valores tendendo a superestimar (subestimar) abaixo (acima) do 50º percentil, demonstrando a capacidade do método em reconhecer o comportamento padrão dos dados, produzindo soluções regulares e consistentes.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem estatística, análise de sensibilidade, rede neural artificial

CLIMATE VARIABILITY IN THE ANNUAL PRODUCTIVITY PROGNOSTIC OF COFFEE FOR MINAS GERAIS (MG) STATE – BRASIL

ABSTRACT: The objective of this work is to verify the annual productivity prognostic of coffee for Minas Gerais State via neural network. The network was built by accumulated precipitation, maximum temperature, minimum temperature, planted area and El Niño and La Niña events intensity using the *backpropagation* learning algorithm. The values generated by network detected the annual variability of coffee productivity; however, the values tended to overestimate (underestimate) below (above) of 50º percentile. Nevertheless, the results were satisfactory, indicating capacity the method to recognize data pattern producing regular and consistent solutions.

KEYWORDS: Statistical modeling, sensitivity analysis, artificial neural networks

INTRODUÇÃO

O café é um dos mais tradicionais produtos da agricultura brasileira e teve grande influência no processo de industrialização da economia, que já chegou a deter 80% da participação no mercado internacional, no início do século XX (Floriani, 2000). Atualmente, segundo o Ministério da Agricultura, o Brasil é o principal produtor e exportador mundial e detém a liderança absoluta em pesquisas cafeeiras, assegurando competitividade no mercado e sustentabilidade do agronegócio. Minas Gerais, com sua extensão geográfica e relativa ausência de geadas, se destaca como o estado maior produtor de café do Brasil, com cerca de 50% da produção nacional, respondendo por 56% da produção mineira e 29% da produção nacional (Brasil, 2000). Entretanto, a maior atenção para a cafeicultura é em relação à produtividade e os aspectos importantes da qualidade se traduziam nos cuidados com a

colheita. Neste trabalho, são apresentadas algumas considerações do efeito do clima em relação à produtividade da bebida de forma a prognosticar o potencial de produtividade, levando em consideração as informações meteorológicas e climáticas. Para tal propósito será utilizada os modelos de Redes Neurais (RN) que proporcionam uma alternativa importante na construção de tecnologias de suporte à decisão. Redes Neurais Artificiais (RNA's) apresentam características específicas, intrínsecas à sua formulação, que possibilitam a aproximação de qualquer função contínua, inclusive funções não lineares complexas, e também podem generalizar os resultados obtidos para dados previamente desconhecidos, ou seja, produzir respostas coerentes e apropriadas para padrões ou exemplos que não foram utilizados em seu treinamento (Fausset, 1994 e Bishop, 1995).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados para o desenvolvimento do trabalho corresponde a dados diários de precipitação acumulada, temperatura máxima e mínima obtidos do National Center of Environment Prediction (NCEP) em ponto de grade numa resolução de 2.5° x 2.5°, além de dados da temperatura média, interpolados numa grade de 0.5 x 0.5 graus disponibilizados pela Universidade de Delaware. Em uma primeira etapa, os dados em pontos de grade foram calculados para obter uma média diária representativa para a área do Estado de Minas Gerais e, posteriormente, foram calculadas as médias anuais para as respectivas variáveis utilizadas no trabalho. Os dados referentes à produtividade do café (kg ha⁻¹) para Minas Gerais, durante o período de 1960 a 2004, foram obtidos da Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais (EMATER-MG).

As informações referentes a eventos do fenômeno El Niño e La Niña (intensidade) foram extraídas a partir do site <http://ggweather.com/enso/oni.htm>, para o período de 1960 a 2004. Os fenômenos El Niño e La Niña são variações normais do sistema climático da Terra, previsíveis das temperaturas da superfície do mar, mas o efeito destes fenômenos proporciona prejuízos e benefícios para a agricultura no Brasil. De acordo com as avaliações das características de tempo, clima e dos eventos de La Niña ocorridos, observa-se que o La Niña mostra maior variabilidade, enquanto que o El Niño apresenta um padrão mais consistente. Durante o inverno, as temperaturas mudam na região sudeste que sob o efeito do El Niño ficam ainda mais altas em relação ao seu valor normal e sob o efeito de episódios do La Niña fica próximo ou abaixo da média climatológica, favorecendo ou não o fenômeno da geada com intensidade suficiente ou não para destruir plantações de café. Além disso, para a cafeicultura a produtividade e os aspectos importantes da qualidade se traduziam nos cuidados com a colheita. Essa qualidade é satisfatória em plantios localizados em altitudes superiores a 1.000 m e em regiões de clima seco e frio no momento da colheita. Por outro lado, o plantio em regiões sujeitas a acúmulo de ar frio e a localização de terreiros em baixadas, próximos de ribeirões ou represas podem favorecer o desenvolvimento de processos fermentativos demonstrando que os fatores climáticos deletérios à qualidade da bebida (Cortez, 1997). Este problema, segundo Assad e Silveira (2008) diminuiu ao longo do último século. O período vivenciou uma forte elevação das temperaturas mínimas e, junto com ela, uma redução gradual das geadas.

Rede Neural Artificial Multicamadas

Variáveis de Entrada e Saída: As variáveis de entradas corresponderam a 4 entradas numéricas que reuniam os dados meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação acumulada e área plantada) e 7 variáveis categóricas que representavam a intensidade dos eventos de El Niño e La Niña, enquanto que a variável de saída (valor alvo) foram os dados de produtividade do café para o Estado de Minas Gerais.

Treinamento das RNA's: Utilizou-se o critério de busca exaustiva, com um range de 1 a 100 neurônios para a camada oculta, para se obter a melhor topologia da rede [11-75-1]. Os dados foram divididos dentro de três séries: série de treinamento, série de validação e série de teste. O principal objetivo para o treinamento de uma RN é a minimização da função de erro, onde o valor da função de erro é usado para determinar a qualidade da RN.

A soma dos quadrados é a função de erro mais utilizada e que apresenta um melhor ajuste para problemas de regressão. A função de erro soma dos quadrados é a soma das diferenças quadráticas entre o valor atual (valor alvo) e o valor de saída produzido pela RN.

Para o treinamento das redes foram utilizadas as variáveis meteorológicas, classificação de eventos de El Niño/La Niña e área plantada na camada de entrada e PROD_CAFE na camada de saída.

Back-Propagation: O Back-Propagation (BP) é o mais usado e um dos melhores algoritmos de treinamento conhecidos para redes neurais, possuindo exigência de memória mais baixa que a maioria dos algoritmos. Pode ser usado na maioria dos tipos de rede, embora seja muito apropriado para treinar perceptrons de multicamadas, principalmente, com redes que apresentam elevado número de pesos.

Para o treinamento usando o algoritmo BP foram utilizadas as seguintes condições: taxa de aprendizagem de 0.1 a 10; taxa de momento de 0.1 a 5; condição de parada do treino até 500 iterações; função de ativação tangente hiperbólica; retenção e restauro da melhor rede; variação do peso de 0.1 a 10; 2 retreinamentos e atualizações dos ajustes dos pesos on-line.

Prognósticos da PROD_CAFE: Após o treinamento, matematicamente, o prognóstico da PROD_CAFE para o estado de MG pode ser descrito como:

$$PROD_CAFE = f \left(\sum_{i=1}^n (PRP_MG + TMAX_MG + TMIN_MG + ENSO + \Delta A) \cdot w_i \right)$$

onde *PRP_MG*, *TMax*, *TMin*, *ENSO* e ΔA são as variáveis de precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, classificação de eventos de El Niño/La Niña e área plantada, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 1 observa-se que os valores prognosticados pela rede detectam bem a variabilidade da produtividade anual do café, apresentando uma boa performance com as variáveis de entrada para a solução do problema proposto. Na Figura 2, de um modo geral, observou-se que as variáveis meteorológicas temperatura máxima (*Tmax_MG*) e precipitação média acumulada anual (*PRP_MG*) apresentaram uma importância de 7% (2% e 5%, respectivamente), enquanto que para a temperatura mínima (*TMIN_MG*) apresentou uma importância de 17%, para a intensidade dos eventos de El Niño e La Niña (*ENSO*) apresentaram 12% e 64% para a área plantada. Estes resultados indicam que a elevação da temperatura mínima, reduz gradualmente o fenômenos de geadas, como verificado por Assad e Silveira (2008). Segundo os autores, o café do tipo Arábia (*Coffea arabica*) requer temperaturas médias anuais entre 18°C e 23°C e o café robusta (*Coffea canephora*) é menos sensível às mudanças de clima, pois se adapta a temperaturas bem mais elevadas, com médias anuais entre 22°C e 26°C. A figura 3 mostra que a temperatura média em Minas Gerais para o período de 1960 a 2004 apresentou valores na ordem de 22°C com máximos em torno de 25°C, favorecendo o aumento na produção. Já ao frio o cafeeiro, de modo geral, é pouco torelante. Na figura 4 verificou-se através da função densidade complementar que a série sintética gerada pela RNA os valores tendem a superestimar (subestimar) abaixo (acima) do 50° percentil, porém, através da estatística

descriptiva denota-se que os valores modelado apresentaram valores bem próximos do observado.

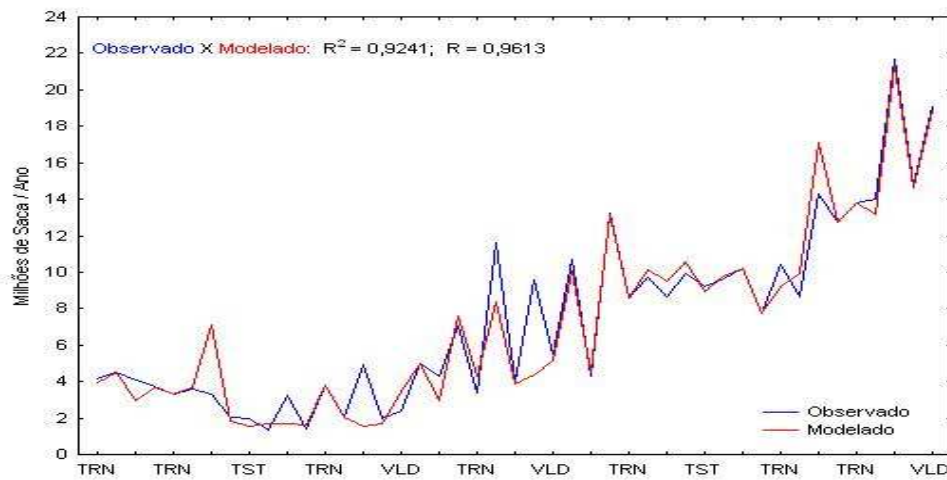


Figura 1 – Série temporal entre a produtividade do café observado e modelado via RNA's para o Estado de MG.

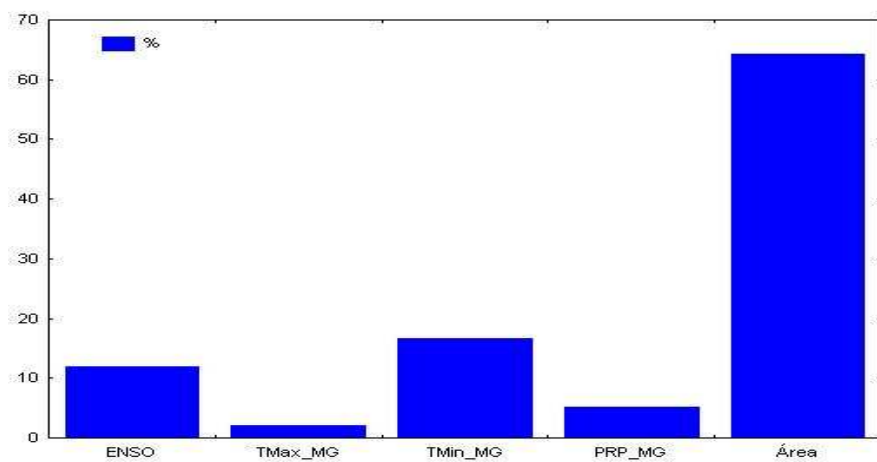


Figura 2 – Análise de sensibilidade das variáveis envolvidas para o período de 1960 a 2004.

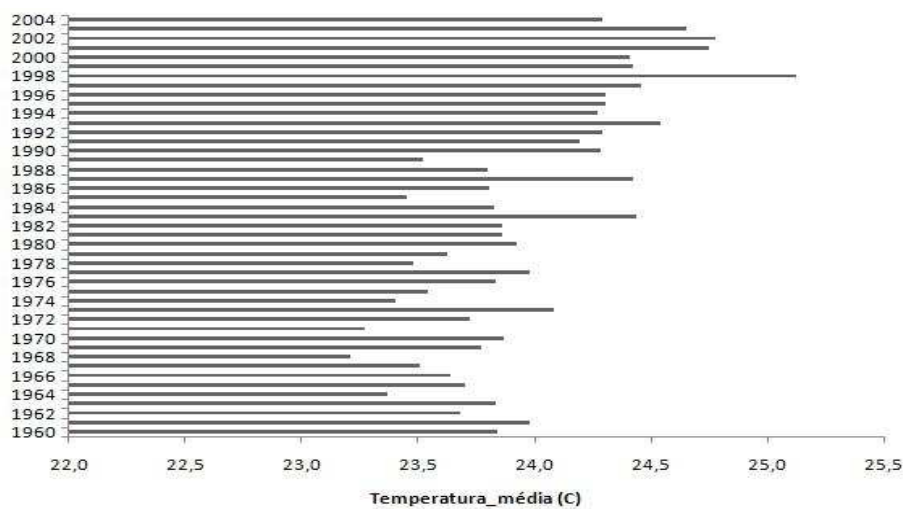


Figura 3 - Valores da Temperatura Média (°C) para o estado de Minas Gerais durante o período de 1960 a 2004.

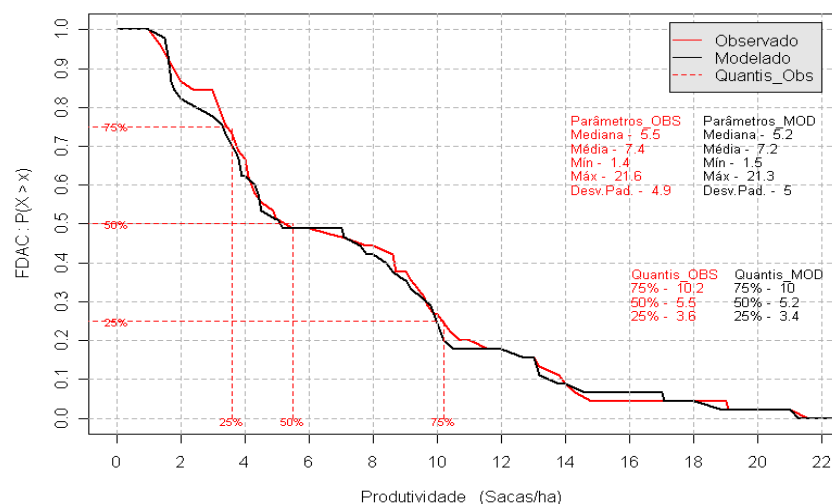


Figura 4 – Função densidade acumulada complementar de produtividade anual do café (observado x modelado) para o Estado de MG.

CONCLUSÕES

Se levarmos em consideração, do ponto de vista meteorológico, que as variáveis de entradas para o treino da rede foram temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação acumulada anual (valores médios calculados para o território de Minas Gerais em ponto de grade) e indicadores climáticos (no caso a intensidade dos eventos de El Niño e El Niña), pode-se concluir que a aplicação da metodologia de RNA's para o prognóstico da PROD_CAFE apresentou resultados satisfatórios, demonstrando a capacidade do método de reconhecer o comportamento padrão dos dados, produzindo soluções regulares e consistentes. A temperatura média em Minas Gerais para o período de 1960 a 2004 apresentou valores acima de 23°C que poderia prejudicar a produção do Coffea arabica a pleno sol, pois o calor intenso na fase de florestamento faz com que os botões florais abortem (chamadas de “estrelinhas”) e a planta não produz fruto sendo a cultura que mais sofrerá uma reconfiguração geográfica com as mudanças climáticas de acordo com informações do relatório do IPCC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BISHOP, C. M., 1995. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford University Press, pp. 482.
- FAUSSET, L., 1994. Fundamentals of Neural Networks: architectures, algorithms, and applications, New York: Prentice Hall. ISBN 0-13-334186-0.
- CARVALHO, L. G. , SEDIYAMA, G. C., CECOM, P. R. ALVES, H. M. R.. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [on-line], **8**, n.2-3, pp. 204-211. ISSN 1415-4366, 2004.
- CORTEZ, J. G.. Aptidão climática para a qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, **18**, n. 187, pp. 27-31, 1997.
- ASSAD, E. SILVEIRA, H.. Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira. Disponível em: www.climaeagricultura.org.br, pp. 84, 2008.