

CARACTERIZAÇÃO DO CRESCIMENTO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO EM CAFEIROS EM RESPOSTA AO CLIMA NA REGIÃO DE VARGINHA – MG

Mayra Alejandra Toro Herrera²; Lissa Vasconcellos Vilas Boas³; João Paulo Rodrigues Delfino Alves Barbosa⁴;
Margarete Marin Lordelo Volpato⁵

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

² Doutoranda em Agronomia/Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras, matoroh@unal.edu.co

³ Pós-Doutoranda do Setor de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavra, lissa-92@hotmail.com

⁴ Doutor em Fisiologia Vegetal, Professor titular do Setor de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras, jp.barbosa@dbi.ufla.br

⁵ Pesquisadora, DCs, EPAMIG Campus UFLA, Lavras-MG, margarete@epamig.br

RESUMO: O cafeeiro está sujeito durante todo ano a adversidades decorrentes da variabilidade climática que podem prejudicar a produtividade da cultura. Assim, regiões de plantio devem atender alguns requisitos climáticos ao longo do ciclo vegetativo e reprodutivo para um adequado crescimento e desenvolvimento das plantas. Neste trabalho, buscou-se caracterizar o crescimento primário e secundário de cafeeiros em resposta ao clima em uma das principais regiões cafeeiras do sul de Minas Gerais. O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da Fundação Procafé na região de Varginha, Minas Gerais, utilizando-se a espécie *Coffea arabica* L., cultivar Arara. Foram coletados de forma destrutiva quatro plantas a cada mês durante 17 meses a partir de dezembro de 2016, coletando dados de crescimento primário (altura, número de folhas, área foliar, comprimento de ramos, etc) e de crescimento secundário (análise da estrutura dos anéis de crescimento do caule ortotrópico). Usando uma análise de correlação estatística de Pearson, foi determinada a correlação entre as taxas de crescimento com as características climáticas da região (precipitação e temperatura) e foi ajustado um modelo de crescimento não linear logístico para descrever a interação entre crescimento primário e secundário. Com os resultados pode-se concluir que no período avaliado, a variação na temperatura foi o fator que teve a maior influência no crescimento primário e secundário dos cafeeiros; assim como, o modelo logístico foi o que apresentou melhor ajuste, permitindo modelar o crescimento usando vínculos estatísticos entre medidas alométricas e dendrocronológicas. Com essa aproximação, é possível caracterizar o crescimento das árvores em resposta à sazonalidade climática da região.

PALAVRAS-CHAVE: Cafeeiro, Variabilidade climática, Temperatura, Modelo logístico.

CHARACTERIZATION OF PRIMARY AND SECONDARY GROWTH IN COFFEE PLANTS IN RESPONSE TO CLIMATE IN THE REGION OF VARGINHA – MG

ABSTRACT: Coffee plant is subject to climatic adversities throughout the year, which can affect the productivity of the crop. Thus, planting regions must meet some climatic requirements throughout the vegetative and reproductive cycle for an adequate growth and development of the plants. In this work, the aim was to characterize the primary and secondary growth of coffee trees in response to climate in one of the main coffee regions of southern Minas Gerais. The work was conducted at the Experimental Farm of the Procafé Foundation in the region of Varginha, Minas Gerais, using the species *Coffea arabica* L., cultivar Arara. Four plants were collected in a destructive way each month for 17 months from December 2016, collecting data of primary growth (height, number of leaves, leaf area, length of branches, etc.) and secondary growth (analysis of the structure of growth rings of the orthotropic stem). Using a Pearson statistical correlation analysis, the correlation between the growth rates and the climatic characteristics of the region (precipitation and temperature) was determined and a logistic nonlinear growth model was fitted to describe the interaction between primary and secondary growth. With the results it can be concluded that in the evaluated period, the variation in temperature was the factor that had the greatest influence on primary and secondary growth of the coffee trees; as well as the logistic model showed the best fit, allowing growth model using statistical links between allometric and dendrocronológicas measures. With this approach, it is possible to characterize the growth of the trees in response to the climatic seasonality of the region.

KEY WORDS: Coffea, Climatic variability, Temperature, Logistic model.

INTRODUÇÃO

A produtividade das principais regiões cafeeiras no Brasil e no mundo está diretamente relacionada com as condições climáticas favoráveis no local de plantio. O cafeeiro está sujeito durante todo ano a adversidades decorrentes da variabilidade climática com potencial de provocar grandes perdas e redução nas áreas consideradas tradicionalmente aptas para a cultura (SCHROTH et al., 2014; OVALLE-RIVERA et al. 2015), redução no rendimento (CRAPARO et

al. 2015; da SILVA et al., 2018) e redução na qualidade da bebida (CAMARGO, 2010; OVALLE-RIVERA et al., 2015). Portanto, regiões de plantio devem atender alguns requisitos climáticos ao longo do ciclo vegetativo e reprodutivo para um bom desenvolvimento e produtividade do cafeeiro, especialmente em relação à temperatura do ar e à demanda de água (DA SILVA et al., 2018).

Estudos sobre respostas fisiológicas de cafeeiros frente a variações no clima são escassos e dificultam a produção de tecnologias e metodologias para monitorar o estado das árvores em diferentes condições de campo. Dada a importância da cafeicultura no Brasil, o desenvolvimento de pesquisas nesta área tem importantes implicações agroecológicas e socioeconômicas, que permitem melhorar a compreensão da fisiologia da planta, bem como implementar estratégias de manejo que visam diminuir perdas de produção sob condições desfavoráveis ao crescimento.

Assim, visto que os padrões de crescimento e desenvolvimento do cafeeiro são altamente influenciados pelo ambiente, objetivou-se neste estudo caracterizar o crescimento primário e secundário de cafeeiros em resposta ao clima em uma das regiões cafeeiras do sul de Minas Gerais (Varginha-MG), estado que concentra a maior produção de café.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Fundação Procafé na cidade de Varginha, sul do estado de Minas Gerais (21° 34' 00" S, 45° 24' 22" W, altitude de 940 m, área útil de 60 ha, temperatura média anual de 19,5°C). Foi utilizado para o experimento a espécie *Coffea arabica* cultivar Arara plantada a partir de mudas no sentido norte-sul em 2012, com espaçamento de 3,5m x 0,5m.

Foram coletados de forma destrutiva quatro plantas a cada mês durante 17 meses selecionados no período entre dezembro de 2016 e outubro de 2018. Cada planta foi dividida em função de um gradiente vertical (terço superior, médio e inferior do ramo ortotrópico) e de um gradiente horizontal (região proximal, intermediária e distal dos ramos plagiotrópicos). Em cada amostragem foram coletados dados de crescimento primário como altura, número de folhas, área foliar, comprimento de ramos, número de rosetas, número de frutos e a respectiva matéria seca de folhas, frutos e caules. Adicionalmente, foi separada a porção basal do caule ortotrópico para obter dados de crescimento secundário, através da análise de anéis de crescimento com técnicas dendrocronológicas padrão, para obter a área acumulada de anéis.

Os dados climáticos foram obtidos da estação agrometeorológica da Fazenda Experimental da Fundação Procafé e do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019). Foram considerados dados de precipitação (Prec), temperatura mínima (Tmin), média (Tmed) e máxima (Tmax); evaporação (Evap), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vento), temperatura máxima do mês mais quente (TMMQ), temperatura mínima do mês mais frio (TMMF) e o balanço hídrico de cada mês calculado com o software ETo Calculator da FAO (ALLEN et al., 1998; FAO, 2019). Com o software estatístico R (V 3.4.3), foram realizadas correlações entre as variáveis de crescimento e os parâmetros climáticos a fim de encontrar as relações que melhor explicam a interação crescimento-clima. Adicionalmente, foi ajustado um modelo de crescimento não linear Logístico para relacionar o incremento em área basal e o crescimento em altura.

Nesse modelo $[y=a/(1 + b*e^{(-cx)})]$, o parâmetro a é o valor máximo esperado para a resposta, ou assíntota; o parâmetro b está relacionado com o intercepto e o parâmetro c está relacionado com a taxa média de crescimento da curva (PRUDENTE, 2009). Os parâmetros foram avaliados estatisticamente pelos critérios de erro padrão, coeficiente de determinação e coeficiente de variação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de estudo (desde que foram plantados os cafeeiros até a época das coletas), a temperatura média anual foi de 21,8 °C com variações de $\pm 1,5$ °C, e a precipitação média anual foi de 1232 mm (Tabela 1).

Tabela 1. Informação climática durante o período de estudo - Informação do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia INMET.

Ano	Tmax	Tmin	Tmed	Prec	Evap	UR	V. Vento	TMMQ	TMMF
	°C	°C	°C	mm	mm	%	mps	°C	°C
2012	27.34	15.74	20.67	1291.4	1158.5	69.56	2.35	35.90	4.00
2013	26.72	15.73	20.32	1380.6	1011.7	72.53	2.22	32.80	5.40
2014	28.01	15.65	21.02	1087.6	1318.3	65.32	2.31	36.40	7.70
2015	27.91	16.61	21.36	1246.0	1051.5	71.10	1.94	36.20	9.20
2016	27.94	16.18	21.12	1240.6	1148.8	70.18	1.57	35.40	3.70
2017	27.56	15.77	20.77	1097.0	1208.4	68.95	2.24	34.10	6.60
2018	27.62	16.25	20.95	1285.4	917.9	70.47	1.44	34.20	4.80

Esses dados se encontram nos intervalos aptos para o crescimento ótimo do cafeeiro arábica reportados por DaMatta et al. (2007), com o intervalo de temperatura anual média ideal de 18 - 21 °C e o intervalo de precipitação ótimo de 1200 a 1800 mm. Em diferentes condições térmicas aptas para o cafeeiro arábica, tem sido reportado que as gemas florais completam a maturação e entram em dormência, estando prontas para a antese principal, quando o somatório da evapotranspiração a partir de abril atinge cerca de 350 mm, apresentando a florada principal entre os meses de setembro e outubro (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Nos dados do balanço hídrico (Figura 1), pode se observar que no período de estudo, o somatório da evapotranspiração entre os meses de abril e setembro/outubro apresenta valores entre 400 e 500 mm, com os quais aconteceram as floradas principais.

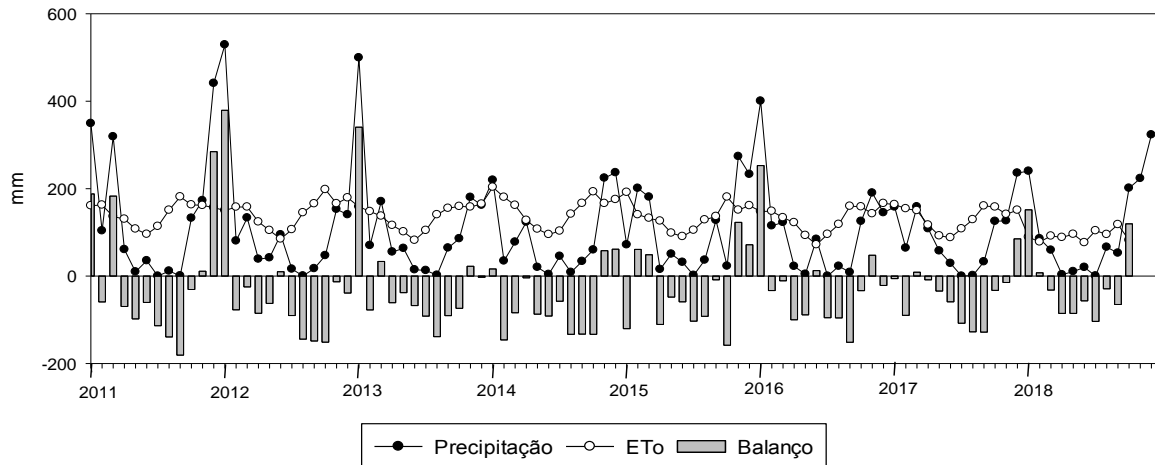


Figura 1. Balanço hídrico do período em estudo – Informação calculada a partir do software ETo Calculator da Divisão de Terra e Água da FAO.

Em relação ao crescimento primário, a altura média atingida pelos cafeeiros foi de 1,68 m com variação de ± 17 cm. O número de folhas, a área foliar e o número de ramos plagiotrópicos, apresentaram um padrão de distribuição no eixo vertical e horizontal com maior concentração de folhas e ramos no terço inferior das árvores e na região distal dos ramos. O número e matéria seca de frutos foi maior na safra 2016-2017 devido à bialidade positiva, e consequentemente menor na safra 2017-2018 devido ao ciclo bial negativo. A bialidade responde à alternância de um ano com grande florada dos cafeeiros seguido por outro ano com florada menos intensa, característica da fisiologia do cafeeiro.

O crescimento secundário, está associado à formação de anéis de crescimento. Os anéis são resultado da atividade cambial da árvore entre os períodos vegetativo e de repouso, portanto, requer a existência de um período de estresse fisiológico que em regiões temperadas está associado à mudança de estações ou períodos específicos de verão/inverno; enquanto que em regiões tropicais e subtropicais estaria associado a mudanças entre períodos chuvosos e secos (ENCINAS; FERNANDES; RODRIGUES, 2005). Assim, espera-se a formação de um novo anel depois da estação seca e com a retomada do crescimento que é precedida com o início das chuvas. Os cafeeiros foram plantados em março de 2012 e as amostras coletadas mensalmente desde dezembro de 2016 até outubro de 2018, de forma que em média, apresentaram 6 anéis de crescimento completos, correspondendo o primeiro deles ao tempo de plântula e em seguida, um anel por cada ano de crescimento das árvores. A área média atingida dos anéis foi de 7,31 cm² com um aumento médio na área basal de 1,19 cm² por ano.

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis de crescimento primário e secundário e os principais parâmetros climáticos. AA: área acumulada de anéis de crescimento; HP: altura da planta (m), NF; número de folhas; AF: área foliar (m²); NP: número de ramos plagiotrópicos; NFT: número total de frutos. *p < 0.05; **p < 0.1.

Parâmetros	Tmax	Tmin	Prec	BH	HR
AA	-0.583 *	-0.547 *	-0.481 **	-0.390	0.041
HP	-0.264	-0.193	0.016	0.095	0.221
NF	-0.214 **	-0.054	-0.056	0.082	0.585
AF	-0.420	-0.329	-0.375	-0.239	0.355
NP	-0.124	-0.176	-0.194	-0.204	-0.204
NFT	0.053	0.140	0.186	0.237	0.338

Entre as variáveis avaliadas, a área acumulada dos anéis de crescimento foi a que apresentou mais correlações significativas com algumas variáveis climáticas, mostrando a interação entre o clima e o crescimento secundário. Além disso, o número de folhas também apresentou uma correlação significativa com a temperatura máxima (Tabela 2). Isso demonstra a influência significativa da temperatura no crescimento primário e secundário, como reportado por vários autores que sustentam que as plantas têm um melhor desenvolvimento quando as variações térmicas e os valores extremos de temperaturas não exercem qualquer efeito negativo sobre suas funções (SILVA et al., 2004; DaMATTA et al., 2007; ALVES; MAZZAFERA, 2008).

Estudos desenvolvidos com cafeeiro arábica em outros países produtores demonstraram que variações significativas na temperatura (especialmente a temperatura mínima) tem uma influência significativa na fisiologia do crescimento e produção dos cafeeiros em cada uma das fases fenológicas, mais do que outras variáveis tipicamente consideradas como estresse por seca ou precipitação. Assim, considera-se que a sensibilidade particular do café Arábica ao aumento da temperatura mínima pode ser crucial para a concepção de práticas inteligentes e estratégias de adaptação (GAY et al., 2006; CRAPARO et al., 2015).

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros do modelo de crescimento não linear logístico para os dados de área acumulada de anéis em função da altura da planta.

Modelo Logístico			
Parâmetros	a	b	c
Valor	234.60	-1.31	3.57
Erro	1.E+02	2.E+00	2.E+00
CV (%)	5.E+01	1.E+02	5.E+01
R ²	0.796		

Modelos de regressão linear e não linear são frequentemente utilizados para avaliar processos biológicos como o crescimento ao longo do tempo. O modelo de crescimento não linear logístico foi o que apresentou o melhor ajuste (Figura 2) e os parâmetros do modelo com os valores do erro padrão, o coeficiente de variação (CV) e o coeficiente de determinação (R²), se apresentam na Tabela 3.

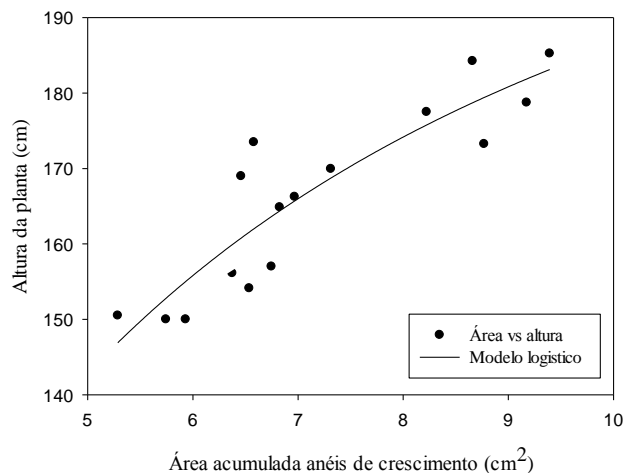


Figura 2. Ajuste do modelo de crescimento não linear logístico aos dados de área acumulada de anéis em função da altura da planta.

O coeficiente de correlação de Pearson entre a área acumulada de anéis e a altura da planta foi de 0.72 e foi estatisticamente significativo ($p\text{-value} = 0.00172$). Esse tipo de ajuste, permite modelar o crescimento usando vínculos estatísticos entre medidas alométricas e dendrocronológicas e o clima. Assim, essa aproximação pode ser usada para identificar os determinantes climáticos do crescimento das árvores e antecipar a vulnerabilidade destas sob cenários de variabilidade climática; com a vantagem de poder ser aplicada com relativamente pouca informação ecológica e fisiológica da espécie, embora dependendo da gama de condições ambientais usadas para sua parametrização, diminua sua capacidade preditiva (LEMPEREUR et al., 2015). Além disso, a interação crescimento-clima, pode ser usada como uma ferramenta para quantificar e monitorar os estoques de carbono nas árvores, avaliando de forma indireta a alocação de biomassa para crescimento primário e secundário e que por sua vez, pode ser utilizada como proxy, relacionando as características e taxas de crescimento anual das árvores e a produção com as características de sazonalidade climática (SEVANTO; DICKMAN, 2015).

CONCLUSÕES

1. No período e região avaliados, a variação na temperatura foi o fator que teve a maior influência em algumas das variáveis avaliadas como o número de folhas e a taxa de incremento radial dos cafeeiros; assim como, o modelo não linear logístico apresentou um bom ajuste, estatisticamente significativo, para descrever a interação entre crescimento primário e secundário.
2. É possível através de medidas alométricas e dendrocronológicas caracterizar o crescimento das árvores em resposta à sazonalidade climática da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO. *Irrigation and drainage paper 56*, 1998, em: <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>. Acesso em: jun 2019.
- CAMARGO, M.B.P. The impact of climatic variability and climate change on Arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, Dec. 2010.
- CRAPARO, A. C. W. et al. Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, Witwatersrand, v. 207, p. 1–10, Mar. 2015.
- Da SILVA, P. et al. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. *Regional Environmental Change*, v. 18, n. 3, p. 873–883. 2018.
- DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.19, p. 485- 510, 2007.
- ENCINAS, J. I., FERNANDES, G., RODRIGUES, J. R. Idade e Crescimento das Árvores. *Comunicações Técnicas Florestais*, Brasília, v.7, n.1. 47 p. 2005.
- FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. ETo Calculator, em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/es/> Acesso em: jun 2019.
- GAY, C. et al. Potential impacts of climate change on agriculture: a case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change*, Mexico DF, v.79, p. 259–288, Dec. 2006.
- PRUDENTE, A. A. Modelos não-lineares de regressão: Alguns aspectos de teoria assintótica. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 109 p. 2009.
- OVALLE-RIVERA, O. et al. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. *Plos One*, Cali, v. 1, p. 1-13. Apr. 2015.
- SCHROTH, G. et al. Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Regional Environmental Change*, Wageningen, v. 15, p. 1473–1482, Nov. 2015.
- SILVA, E. A. et al. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Research*, Viçosa, v.89, p. 349-357, Oct. 2004.