

## Seleção de modelos não lineares e o estudo do crescimento dos frutos de café conilon

Selection of non-linear models and the study of conilon coffee fruit growth

Selección de modelos no lineales y estudio del crecimiento de frutos de café conilón

Recebido: 17/02/2022 | Revisado: 01/03/2022 | Aceito: 09/03/2022 | Publicado: 16/03/2022

### João Felipe de Brites Senra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7915-2821>  
Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil  
E-mail: joaofelipeagronomo@gmail.com

### Josimar Aleixo da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6921-6043>  
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil  
E-mail: josimaraleixo\_@hotmail.com

### Adésio Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7000-1725>  
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil  
E-mail: adesioferreira@gmail.com

### Marlon Dutra Degli Esposti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0033-6105>  
Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural, Brasil  
E-mail: mesposti@incaper.es.gov.br

### Uliana Ribeiro Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1161-5038>  
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil  
E-mail: ulianars@gmail.com

### Idalina Sturião Milheiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9449-2138>  
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil  
E-mail: idalinasturiao@gmail.com

### Alex Justino Zacarias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4434-218X>  
Consórcio de Pesquisas Cafeeiras, Brasil  
E-mail: alexjustino12@gmail.com

### Resumo

Objetivou-se desenvolver curvas de crescimento para massa da matéria seca dos frutos em clones de *Coffea canephora*, selecionar o melhor modelo de regressão não linear, estimar a taxa de ganho de massa, analisar as diferenças no desenvolvimento dos frutos localizados nos terços inferior, médio e superior da copa do cafeeiro e gerar uma equação que descreva o processo. Foram realizadas onze coletas de dados, iniciando na fase chumbinho de nove clones com 30 plantas, sendo coletados 50 frutos em cada posição das copas dos cafeeiros. Para obtenção da massa da matéria seca os frutos foram secos em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C até peso constante. Foram aplicados os modelos matemáticos Brody, Gompertz, Logístico, Mitscherlich e von Bertalanffy. A qualidade das equações foi avaliada por meio de oito parâmetros estatísticos e os intervalos de confiança de  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  das regressões estimadas com base no perfil de verossimilhança. Após a seleção do melhor modelo realizou-se a estimativa das curvas de crescimento dos frutos considerando as três posições na copa do cafeeiro. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R. O modelo Logístico apresenta maior confiabilidade para descrever o acúmulo da massa da matéria seca nos frutos. Não ocorreram diferenças entre as posições na copa do cafeeiro. O parâmetro  $\beta_3$  pode ser utilizado como um indicador de precocidade para o *Coffea canephora* e orientar programas de melhoramento. Os clones 204, 407 e P1 proporcionaram curvas com maior qualidade com relação aos parâmetros avaliados.

**Palavras-chave:** Modelagem; Biometria; *Coffea canephora*; Clones.

### Abstract

The objective was to develop growth curves for fruit dry mass in *Coffea canephora* clones, select the best non-linear regression model, estimate the rate of mass gain, analyze differences in fruit development located in the lower, middle and upper thirds of the coffee canopy and generate an equation that describes the process. Eleven data collections were carried out, starting in the pellet phase of nine clones with 30 plants, with 50 fruits being collected in each position of the coffee tree canopies. To obtain the dry matter mass, the fruits were dried in an oven with forced air circulation at 65 °C until constant weight. The mathematical models Brody, Gompertz, Logístico, Mitscherlich and von Bertalanffy were applied. The quality of the equations was evaluated using eight statistical parameters and the confidence intervals of  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  and  $\beta_3$  of the regressions estimated based on the likelihood profile. After selecting the best model, the fruit

growth curves were estimated considering the three positions in the coffee canopy. All statistical analyzes were performed in the R software. The Logistic model presents greater reliability to describe the accumulation of dry matter mass in fruits. There were no differences between positions in the coffee canopy. The  $\beta_3$  parameter can be used as an early indicator for *Coffea canephora* and guide breeding programs. Clones 204, 407 and P1 provided curves with higher quality in relation to the parameters evaluated.

**Keywords:** Modeling; Biometrics; *Coffea canephora*; Clones.

### Resumen

El objetivo fue desarrollar curvas de crecimiento para masa de materia seca de frutos en clones de *Coffea canephora*, seleccionar el mejor modelo de regresión no lineal, estimar la tasa de ganancia de masa, analizar diferencias en el desarrollo de frutos ubicados en los tercios inferior, medio y superior de la cubierta de café y genere una ecuación que describa el proceso. Se realizaron once colectas de datos, comenzando en la fase de plomo de nueve clones con 30 plantas, colectando 50 frutos en cada posición de las copas de los cafetos. Para obtener la masa de materia seca, los frutos se secaron en estufa con circulación de aire forzado a 65 °C hasta peso constante. Se aplicaron los modelos matemáticos Brody, Gompertz, Logístico, Mitscherlich y von Bertalanffy. La calidad de las ecuaciones se evaluó utilizando ocho parámetros estadísticos y los intervalos de confianza de  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$  de las regresiones estimadas con base en el perfil de verosimilitud. Después de seleccionar el mejor modelo, se estimaron las curvas de crecimiento de frutos considerando las tres posiciones en el dosel de café. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R. El modelo Logístico es más confiable para describir la acumulación de masa de materia seca en los frutos. No hubo diferencias entre las posiciones en el dosel de café. El parámetro  $\beta_3$  se puede utilizar como un indicador temprano de *Coffea canephora* y guiar los programas de reproducción. Los clones 204, 407 y P1 proporcionaron curvas con mayor calidad en relación a los parámetros evaluados.

**Palabras clave:** Modelado; Biometría; *Coffea canephora*; Clones.

## 1. Introdução

O Brasil é uma potência mundial na produção de cafés, com um agronegócio forte e respeitado. No ano de 2021 foram produzidas 16.292,5 mil sacas de café conilon (*Coffea canephora*) no país e neste cenário o estado do Espírito Santo destacou-se como o maior produtor nacional com uma produção de 11.292 mil sacas (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2021). Um dos pontos críticos para o aumento da produção do café conilon é o conhecimento adequado do crescimento dos frutos para determinar o ponto ideal de colheita. O desenvolvimento dos frutos do cafeeiro divide-se nas fases chumbinho, expansão rápida, formação do endosperma, endurecimento do endosperma (granação); e maturação dos frutos (Ronchi & DaMatta, 2019).

As cinco fases geram um padrão de crescimento sigmoidal (Leon & Fournier, 1962; Salazar-Gutiérrez et al., 1994) que varia conforme as condições climáticas e altitude (Laviola et al., 2007). Essas variações também ocorrem em virtude das variáveis em estudo, da regularidade das medições, dos modelos estatísticos e a espécie em avaliação (Wormer, 1964; Salazar-Gutiérrez et al., 1994). Rena et al. (2001) sugerem que o padrão sigmoidal seja comum as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. Partelli et al. (2014) encontraram um padrão sigmoidal simples para o acúmulo da massa da matéria seca de frutos de café conilon de maturação precoce, intermediária e tardia, os clones 12, 10 e 13 da variedade ES8142 respectivamente.

O conhecimento do processo de desenvolvimento do fruto permite estabelecer técnicas para melhoria da qualidade física e sensorial. Contudo, estudos para esse fim só são possíveis mediante o uso de curvas de crescimento apropriadas. O termo curva crescimento é geralmente utilizado para descrever curvas sigmoidais que representam o comportamento de medidas de dimensão ao longo do tempo (Silva et al., 2021). O desenvolvimento destas curvas possibilita identificar as diferentes fases fenológicas do fruto, a época de maior ganho de massa da matéria seca do fruto, o período mais adequado para a adubação e principalmente, auxilia na determinação do ponto ótimo de colheita (Fernandes et al., 2014). Curvas de crescimento de animais, plantas e frutos são comumente estudadas por regressões não lineares, como em Fernandes et al. (2019), Jane et al. (2019) e Silva et al. (2020), respectivamente. As curvas de crescimento não lineares disponibilizam informações com interpretação biológica como taxas de crescimento e acúmulo máximo de biomassa (Prado et al., 2013) que permitem um entendimento diferenciado sobre o fenômeno em estudo.

Face a necessidade de conhecer melhor o desenvolvimento dos frutos de café conilon, este trabalho objetivou desenvolver curvas de crescimento para massa da matéria seca em diferentes clones de *Coffea canephora*, selecionar o modelo de regressão não linear mais adequado ao fenômeno, estimar a taxa de ganho de massa, analisar as diferenças no desenvolvimento dos frutos localizados nos terços inferiores, médio e superior da planta e gerar uma equação que descreva o ganho de massa da matéria seca para cada clone.

## 2. Metodologia

O conjunto de dados utilizados neste trabalho foi obtido na Fazenda Experimental Bananal do Norte (FEBN), pertencente ao Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Sul (CPDI Sul) do Incaper, distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim, ES. A FEBN localiza-se na latitude 20°45 'S e longitude 41°17' W, no sul do estado do Espírito Santo, a 140 metros de altitude. O local apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, clima Cwa com verão chuvoso e inverno seco de acordo com a classificação de Köppen, precipitação média anual de 1.200 mm, temperatura média anual de 23 °C e topografia ondulante.

Foram realizadas onze coletas de dados nos materiais genéticos (clones), iniciando na fase chumbinho, conforme o calendário da Tabela 1. Foram avaliados nove clones (Tabela 2) com 30 plantas por material genético, sendo coletado 50 frutos em três posições diferentes nas copas dos cafeeiros nos terços superior, médio e inferior na posição central dos ramos plagiotrópicos. Posteriormente, para obtenção da massa da matéria seca (MS), os frutos foram seco em estufa com circulação de ar forçada, com temperatura a 65 °C até peso constante, seguido da pesagem em balança analítica.

**Tabela 1.** Calendário de coletas para estimação do acúmulo de matéria seca nos frutos de *Coffea canephora* nos terços superior, médio e inferior dos cafeeiros na Fazenda Experimental Bananal do Norte, Incaper, Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Coleta	Data	Dias acumulados de desenvolvimento do fruto
1	14/11/2019	0
2	28/11/2019	14
3	17/12/2019	33
4	09/01/2020	56
5	06/02/2020	84
6	20/02/2020	98
7	10/03/2020	117
8	15/04/2020	153
9	28/05/2020	196
10	24/06/2020	223
11	15/07/2020	244

Fonte: Autores.

**Tabela 2.** Materiais genéticos utilizados para coleta de frutos de *Coffea canephora* para avaliação da massa matéria seca, na Fazenda Experimental Bananal do Norte, Incaper, Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Material Genético	Variedade
402	Clone 2 da variedade ES8143 “Marilândia”
403	Clone 3 da variedade ES8143 “Marilândia”
405	Clone 5 da variedade ES8143 “Marilândia”
407	Clone 7 da variedade ES8143 “Marilândia”
303	Clone 3 da variedade ES8132 “Centenária”
P1	Clone 10 da variedade ES8143 “Marilândia”
P2	Clone 11 da variedade ES8143 “Marilândia”
109	Clone 9 da variedade ES8112 “Diamante”
204	Clone 4 da variedade ES8122 “Jequitibá”

Fonte: Autores.

Para descrição do acúmulo da MS foram utilizados os modelos matemáticos de Brody, Gompertz, Logístico, Mitscherlich e von Bertalanffy, conforme o apresentado na Tabela 3. Neste estudo foram desenvolvidas as curvas para os nove clones, nas três posições da copa do cafeeiro para os cinco modelos matemáticos, totalizando 135 curvas para descrever o acúmulo de matéria seca nos frutos ao longo do tempo. Desta forma foi possível determinar o melhor modelo matemático para descrição do processo de acúmulo de MS, a velocidade de acúmulo de MS e as diferenças entre as posições na copa do cafeeiro.

**Tabela 3.** Modelos de regressão não linear utilizados para descrever o acúmulo de massa da matéria seca nos frutos dos clones de café conilon.

Modelo	Expressão	Referência
Brody	$y_i = \beta_1(1 - \beta_2 e^{-\beta_3 x_i}) + \varepsilon_i$	(Brody, 1945)
Gompertz	$y_i = \beta_1 e^{(-\beta_2 e^{-\beta_3 x_i})} + \varepsilon_i$	(Gompertz, 1825)
Logístico	$y_i = \frac{\beta_1}{1 + \beta_2 e^{-\beta_3 x_i}} + \varepsilon_i$	(Ratkowski, 1983)
Mitscherlich	$y_i = \beta_1(1 - e^{(\beta_3 \beta_2 - \beta_3 x_i)}) + \varepsilon_i$	(Mitscherlich, 1919)
Von Bertalanffy	$y_i = \beta_1(1 - \beta_2 e^{(-\beta_3 x_i)})^3 + \varepsilon_i$	(Von Bertalanffy, 1957)

em que:  $\beta_1$  é o valor assintótico para a característica MS;  $\beta_2$  é um parâmetro sem interpretação biológica contribuindo apenas para a estabilidade dos modelos;  $\beta_3$  é a velocidade de incremento (taxa de acúmulo) da MS no tempo;  $y_i$  representa a observação na variável dependente MS nas medições “i” (coletas) de dados, com i variando de 1 a 11;  $x_i$  representa a variável independente (ou variável preditora), com “i” variando de 0 a 244 dias;  $\varepsilon_i$  representa o erro aleatório,  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ . Fonte: Autores.

A estimativa dos parâmetros foi realizada por meio do método dos quadrados mínimos e significância dos mesmos avaliada pelo teste t, utilizando o método iterativo de Gauss-Newton para obter a convergência após a determinação do ponto inicial para estimação dos parâmetros. A qualidade das equações foi avaliada por meio dos critérios: Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ); Soma de quadrado e o desvio padrão do resíduo; Critério de informação de Akaike (AIC) (Akaike, 1974); Critério de informação de Bayseano (BIC) (Schwarz, 1978); Medidas de curvatura intrínseca ( $\Theta$ ) e medida de curvatura devido ao efeito dos parâmetros do modelo (I) proposta por Bates e Watts (1980); e o número de interações (NI) necessárias para que o modelo atinja a convergência dos valores estimados.

Posteriormente foram calculados os intervalos de confiança de  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  com base no perfil de verossimilhança para auxiliar na diferenciação destes parâmetros entre os clones e entre as posições da copa dos cafeeiros dentro de um mesmo clone. Após a seleção do melhor modelo realizou-se a estimativa das curvas de desenvolvimento da MS por unidade de fruto de café considerando as três posições da copa do cafeeiro simultaneamente. Com base no parâmetro  $\beta_1$  dessa equação geral e a análise gráfica dos dados estimou-se o ponto de máxima do acúmulo de MS no fruto para avaliar quantos dias foram necessários para atingir esse ponto por clone.

Todas as análises estatísticas propostas neste trabalho foram realizadas no software R com a função “nls” (R Core Team, 2019) e os pacotes “minpack.lm” (Elzhov et. al., 2016), “nlme” (Pinheiro et. al., 2019), “plm” (Croissant & Millo, 2008), “lattice” (Sarkar, 2008), “stats” (R Core Team, 2019), “lmtest” (Zeileis & Hothorn, 2002), “car” (Fox & Weisberg, 2019), “qpcR” (Spiess, 2018) e “MASS” (Venables & Ripley, 2002).

### 3. Resultados e Discussão

A qualidade dos modelos propostos para explicar o acúmulo de MS nos frutos do café conilon é apresentada na Tabela 4. Segundo Sari et al. (2019) os modelos com  $R^2_a$  próximo de 1 e as medidas paramétricas de não linearidade abaixo deste valor

são considerados os mais adequados. O AIC e BIC permitem comparar diferentes modelos aplicados aos mesmos conjuntos de dados possibilitando discernir qual destes é mais congruente para explicação do fenômeno, onde aqueles com os menores valores de AIC e BIC são os mais apropriados (Morais et al., 2020). Os critérios de informação são especialmente indicados quando o número de modelos candidatos é elevado devido a comparação direta dos resultados sendo aconselhado a aplicação de diferentes técnicas para distinguir o modelo mais adequado (Cruz, 2020). Com essas observações constata-se que os modelos Logístico e Gompertz foram os melhores. Os modelos Gompertz e Logístico também foram adequados na descrição da curva de crescimento da massa da matéria fresca do fruto do cafeeiro arábica da cultivar Obatã IAC 1669-20 (Fernandes et al., 2014). Contudo, nesta pesquisa, o modelo Logístico foi ligeiramente superior ao Gompertz e desta forma mais indicado. Deve-se salientar que o modelo Logístico foi aceito como mais adequado para descrever o desenvolvimento em outras culturas como coqueiro anão verde (Prado et al., 2013, 2020; Silva et al., 2021), cajueiro (Muianga et al., 2016) e cana de açúcar (Jane et al., (2020a, 2020b).

Modelos matemáticos da família dos logísticos foram satisfatoriamente aplicados para descrever certos processos fisiológicos para o *Coffea canephora*. Partelli et al. (2014) descreveu o processo de acúmulo de massa da matéria seca e macronutrientes em quatro clones com período de maturação diferenciados. Dubberstein et al. (2016) identificaram um padrão sigmoidal simples na descrição do acúmulo de macronutrientes nas folhas e frutos dos cafeeiros submetidos a diferentes padrões de adubação na região amazônica. O padrão sigmoidal simples repetiu-se na análise do acúmulo de micronutrientes de Dubberstein et al. (2019). Covre et al. (2018) trabalhando com o clone 02 da variedade ES8143, designando pelo autor como genótipo 02 da variedade Emcapa 8111, com e sem irrigação, encontrou o padrão sigmoide para acúmulo de micronutrientes nas folhas e frutos. As estimativas dos parâmetros para os clones nas diferentes posições da copa do cafeeiro são apresentadas na Tabela 5.

Observa-se que em todos os clones e posições da copa os parâmetros da regressão do modelo Logístico foram significativos pelo teste t. Os intervalos de confiança estimados não detectaram diferenças para os parâmetros da regressão entre as três posições da copa do cafeeiro, comparando dentro dos mesmos clones. Entre os clones foi detectado diferença para o  $\beta_1$ , sendo os maiores valores dos clones 405 e P2 seguidos do 204, e P1. Os clones P1, P2 e 405 destacaram os maiores valores de  $\beta_2$  e 109 e 407 os menores. Os clones com as maiores taxas de acúmulo de MS foram 109, 402 e 403. As menores taxas foram estimadas para os clones P1, P2, 204 e 405. Desta forma os clones caracterizados como maturação precoce e tardia apresentaram os maiores e menores valores de  $\beta_3$  respectivamente. Partelli et al. (2014) trabalhando com clones com maturação dos frutos precoce, média e tardia também verificou que clones mais precoces apresentam maior velocidade de acúmulo da massa da matéria seca em comparação com os tardios. Portanto o parâmetro  $\beta_3$  pode ser utilizado como um indicador de precocidade para o *Coffea canephora* e assim orientar programas de melhoramento.

Verificada inexistência de diferenças entre as três posições da copa do cafeeiro procedeu-se o estudo considerando o peso médio de uma unidade de fruto, utilizando as informações dos 150 frutos amostrados na planta e o modelo logístico devido ao melhor ajuste. A qualidade da regressão para cada clone é apresentada na Tabela 6 e os parâmetros das equações na Tabela 7, junto com a estimativa, em dias, para o clone atingir o acúmulo máximo de MS no fruto. A Figura 1 demonstra o comportamento dos clones para o acúmulo de MS de acordo com as equações da Tabela 7. O clone 407 apresenta os menores valores de soma de quadrado e desvio padrão do resíduo. Os valores de AIC e BIC mais próximo de zero foram obtidos pelo clone 204 e o maior valor de  $R^2_a$  foi observado no clone P2. As medidas de curvatura intrínseca e curvatura devido ao efeito dos parâmetros do modelo foram mais próximas de zero para o clone P1. O menor número de interações necessárias para que o modelo atinja a convergência dos valores estimados dos  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  foram sete para os clones 204, 407 e P1.

**Tabela 4.** Parâmetros de qualidade dos modelos Brody, Gompertz, Logístico, Mitscherlich e von Bertalanffy para a variável massa da matéria seca dos frutos de café conilon com base em onze medições para nove clones em três posições diferentes na copa do cafeeiro avaliado na Fazenda Experimental Bananal do Norte pertencente ao Incaper.

Modelo	CQ <sup>1</sup>	402			403			405			407			303		
		Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior
Brody	SQR	19.2636	25.1630	20.0942	14.5031	16.3270	23.5912	38.2061	24.6548	27.6400	7.6448	19.7689	6.6901	31.3011	15.1260	4.1166
	SD	1.5518	1.7735	1.5849	1.3464	1.4286	1.7172	2.1854	1.7555	1.8588	0.9775	1.5720	0.9145	1.9780	1.3750	0.7173
	AIC	45.3802	48.3189	45.8446	42.2578	43.5608	47.6094	52.9127	48.0945	49.3517	35.2140	45.6650	33.7467	50.7200	42.7204	28.4050
	BIC	46.9718	49.9105	47.4361	43.8494	45.1524	49.2010	54.5043	49.6861	50.9433	36.8056	47.2566	35.3383	52.3116	44.3120	29.9966
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9452	0.9150	0.9055	0.9466	0.9274	0.8834	0.9347	0.9661	0.9529	0.9621	0.8822	0.9505	0.8771	0.9450	0.9825
	Θ	8.7344	8.2723	11.4798	17.6720	27.6442	8.7268	47.3266	255.7396	256.5567	8.2300	7.0730	5.9559	3.0718	6.4926	3.3622
	I	0.1565	0.2008	0.2123	0.1518	0.1783	0.2413	0.1682	0.1203	0.1426	0.1285	0.2471	0.1539	0.2893	0.1591	0.0883
	NI	7	8	9	8	9	8	9	18	16	7	6	5	9	11	10
Gompertz	SQR	14.5393	19.8917	16.3509	9.9493	13.4777	20.5867	37.1974	17.7514	22.2545	6.0563	18.1830	6.5756	26.8644	13.4946	3.4378
	SD	1.3481	1.5769	1.4296	1.1152	1.2980	1.6042	2.1563	1.4896	1.6679	0.8701	1.5076	0.9066	1.8325	1.2988	0.6555
	AIC	42.2852	45.7331	43.5769	38.1124	41.4512	46.1109	52.6184	44.4809	46.9678	32.6519	44.7452	33.5568	49.0386	41.4650	26.4231
	BIC	43.8768	47.3247	45.1685	39.7040	43.0428	47.7025	54.2100	46.0725	48.5594	34.2435	46.3367	35.1484	50.6302	43.0566	28.0147
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9586	0.9328	0.9231	0.9633	0.9400	0.8983	0.9364	0.9756	0.9621	0.9700	0.8916	0.9514	0.8945	0.9509	0.9854
	Θ	1.8678	2.1504	2.4314	2.1104	3.7576	2.5562	5.3396	3.8753	4.9430	1.9741	2.6047	1.7962	1.6201	2.0018	1.0454
	I	0.1642	0.2039	0.2124	0.1548	0.1815	0.2560	0.1989	0.1262	0.1671	0.1249	0.2558	0.1659	0.2979	0.1699	0.0908
	NI	7	8	7	8	9	6	8	7	9	6	6	4	13	10	8
Logístico	SQR	11.8404	16.5444	13.7186	7.1764	11.2156	18.9133	36.8457	13.5449	17.8072	5.0211	17.0307	6.6639	24.1068	12.8562	3.4741
	SD	1.2166	1.4381	1.3095	0.9471	1.1840	1.5376	2.1461	1.3012	1.4919	0.7922	1.4591	0.9127	1.7359	1.2677	0.6590
	AIC	40.0265	43.7063	41.6461	34.5186	39.4301	45.1783	52.5139	41.5059	44.5155	30.5900	44.0250	33.7035	47.8472	40.9319	26.5384
	BIC	41.6181	45.2979	43.2377	36.1102	41.0217	46.7699	54.1055	43.0975	46.1070	32.1816	45.6166	35.2951	49.4388	42.5235	28.1300
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9663	0.9441	0.9355	0.9736	0.9501	0.9065	0.9370	0.9814	0.9696	0.9751	0.8985	0.9507	0.9053	0.9533	0.9852
	Θ	1.1441	1.3463	1.4301	1.0844	1.6895	1.7221	2.6503	1.3565	1.8097	1.0166	1.6423	1.1747	1.4509	16.6616	0.6888
	I	0.1844	0.2292	0.2389	0.1664	0.2100	0.3007	0.2537	0.1432	0.1919	0.1395	0.2933	0.1989	0.3232	0.4342	0.1121
	NI	11	11	13	11	11	11	8	7	9	9	9	6	15	7	6
Mitscherlich	SQR	19.2636	25.1630	20.0942	14.5031	16.3270	23.5912	38.2061	24.6548	27.6400	7.6448	19.7689	6.6901	31.3011	15.1260	4.1166
	SD	1.5518	1.7735	1.5849	1.3464	1.4286	1.7172	2.1854	1.7555	1.8588	0.9775	1.5720	0.9145	1.9780	1.3750	0.7173
	AIC	45.3802	48.3189	45.8446	42.2578	43.5608	47.6094	52.9127	48.0945	49.3517	35.2140	45.6650	33.7467	50.7200	42.7204	28.4050
	BIC	46.9718	49.9105	47.4361	43.8494	45.1524	49.2010	54.5043	49.6861	50.9433	36.8056	47.2566	35.3383	52.3116	44.3120	29.9966
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9452	0.9150	0.9055	0.9466	0.9274	0.8834	0.9347	0.9661	0.9529	0.9621	0.8822	0.9505	0.8771	0.9450	0.9825
	Θ	10.2612	10.0909	11.4798	20.1921	32.1180	10.7531	52.1921	267.4095	267.6942	10.2015	9.4229	5.9559	4.0976	7.9349	4.1497
	I	0.1565	0.2008	0.2123	0.1518	0.1783	0.2413	0.1682	0.1203	0.1426	0.1285	0.2471	0.1539	0.2893	0.1591	0.0883
	NI	7	8	9	8	9	8	9	18	16	7	6	4	9	10	9
von Bertalanffy	SQR	19.2636	25.1630	20.0942	14.5031	16.3270	23.5912	38.2061	24.6548	27.6400	7.6448	19.7689	6.6901	31.3011	15.1260	4.1166
	SD	1.5518	1.7735	1.5849	1.3464	1.4286	1.7172	2.1854	1.7555	1.8588	0.9775	1.5720	0.9145	1.9780	1.3750	0.7173
	AIC	45.3802	48.3189	45.8446	42.2578	43.5608	47.6094	52.9127	48.0945	49.3517	35.2140	45.6650	33.7467	50.7200	42.7204	28.4050
	BIC	46.9718	49.9105	47.4361	43.8494	45.1524	49.2010	54.5043	49.6861	50.9433	36.8056	47.2566	35.3383	52.3116	44.3120	29.9966
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9452	0.9150	0.9055	0.9466	0.9274	0.8834	0.9347	0.9661	0.9529	0.9621	0.8822	0.9505	0.8771	0.9450	0.9825

	$\Theta$	8.7346	8.2719	9.2450	17.6711	27.6444	8.7265	47.3298	255.7436	256.5269	8.2301	7.0727	4.5224	3.0718	6.4925	3.3623
	I	0.1565	0.2008	0.2123	0.1518	0.1783	0.2413	0.1682	0.1203	0.1426	0.1285	0.2471	0.1539	0.2893	0.1591	0.0883
	NI	10	10	10	8	10	10	11	17	14	9	8	7	11	8	10
Modelo	CQ <sup>1</sup>	P1			P2			109			204					
		Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior	Superior	Médio	Inferior			
Brody	SQR	23.7612	16.2106	21.6243	9.2501	25.8944	22.2792	53.2478	34.4711	8.3211	56.1161	84.7001	63.6422			
	SD	1.7234	1.4235	1.6441	1.0753	1.7991	1.6688	2.5799	2.0758	1.0199	2.6485	3.2538	2.8205			
	AIC	47.6884	43.4821	46.6518	37.3108	48.6341	46.9800	56.5643	51.7811	36.1466	-24.5707	61.6701	58.5258			
	BIC	49.2800	45.0737	48.2434	38.9023	50.2257	48.5716	58.1559	53.3727	37.7382	57.1414	63.2617	60.1174			
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9554	0.9511	0.9323	0.9829	0.9546	0.9509	0.6698	0.8178	0.9368	0.8930	0.7794	0.8097			
	$\Theta$	6.3744	267.9578	64.5778	111.4956	906.9372	603.5412	6.4951	6.3470	3.2909	142.3247	21.7842	13.7345			
	I	0.1321	0.1341	0.1714	0.0842	0.1264	0.1103	0.3634	0.2795	0.1922	0.1747	0.2965	0.2775			
	NI	2	4	2	4	5	4	2	2	2	4	8	9			
Gompertz	SD	11.9644	13.8857	23.3516	6.4038	20.7937	10.1018	28.3354	22.0649	6.3952	36.7285	66.2033	50.0442			
	SD	1.2229	1.3175	1.7085	0.8947	1.6122	1.1237	1.8820	1.6608	0.8941	2.1427	2.8767	2.5011			
	AIC	40.1411	41.7793	47.4971	33.2657	46.2210	38.2796	49.6250	46.8737	33.2508	52.4789	58.9598	55.8818			
	BIC	41.7327	43.3709	49.0887	34.8573	47.8125	39.8712	51.2166	48.4653	34.8424	54.0705	60.5514	57.4734			
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9775	0.9581	0.9269	0.9882	0.9635	0.9777	0.8243	0.8834	0.9514	0.9300	0.8276	0.8504			
	$\Theta$	6.3744	7.1805	6.9657	2.7015	7.9892	4.9396	2.5017	2.1453	1.1337	8.0649	5.6222	4.0464			
	I	0.1321	0.1552	0.2124	0.0871	0.1464	0.1117	0.3709	0.2808	0.1863	0.2010	0.3299	0.3121			
	NI	6	6	7	7	6	7	14	14	12	6	7	7			
Logístico	SQR	11.3109	14.5020	25.1092	5.2703	21.3178	8.6281	27.2804	19.9820	5.5659	38.1956	66.8356	50.6251			
	SD	1.1891	1.3464	1.7716	0.8117	1.6324	1.0385	1.8466	1.5804	0.8341	2.1851	2.8904	2.5156			
	AIC	39.5232	42.2569	48.2954	31.1227	46.4948	36.5451	49.2076	45.7829	31.7230	52.9097	59.0644	56.0087			
	BIC	41.1148	43.8485	49.8870	32.7143	48.0864	38.1367	50.7992	47.3745	33.3146	54.5013	60.6560	57.6003			
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9788	0.9563	0.9214	0.9903	0.9626	0.9810	0.8308	0.8944	0.9577	0.9272	0.8260	0.8486			
	$\Theta$	2.1958	3.0777	3.5275	1.0290	3.2133	1.6687	1.9055	1.5444	0.8687	3.8760	3.4125	2.6407			
	I	0.1642	0.2054	0.2832	0.1022	0.1926	0.1347	0.4005	0.3088	0.1986	0.2634	0.4121	0.3884			
	NI	9	6	6	6	8	5	13	14	10	9	7	7			
Mitscherlich	SQR	21.2129	26.2034	25.5258	15.0149	34.9931	24.7575	30.1947	46.3506	8.2440	58.1609	86.9273	65.4605			
	SD	1.6284	1.8098	1.7863	1.3700	2.0914	1.7592	1.9428	2.4070	1.0151	2.6963	3.2963	2.8605			
	AIC	46.4405	48.7646	48.4764	42.6393	51.9465	48.1402	50.3241	55.0384	36.0441	57.5351	61.9556	58.8357			
	BIC	48.0321	50.3562	50.0680	44.2309	53.5381	49.7318	51.9157	56.6300	37.6357	59.1267	63.5472	60.4273			
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9602	0.9210	0.9201	0.9723	0.9386	0.9454	0.8127	0.7550	0.9374	0.8891	0.7736	0.8043			
	$\Theta$	6.3744	282.1756	70.5744	117.5186	933.2775	625.3495	6.4951	6.3470	3.2909	153.7044	26.1446	16.6127			
	I	0.1321	0.1341	0.1714	0.0842	0.1264	0.1103	0.3634	0.2795	0.1922	0.1747	0.2965	0.2775			
	NI	2	5	1	2	1	8	2	1	2	4	10	9			
SQR	26.5576	23.0328	23.0519	13.2492	41.6367	17.4803	35.8631	25.4793	12.1267	56.1161	84.7001	63.6422				

von Bertalanffy	SD	1.8220	1.6968	1.6975	1.2869	2.2814	1.4782	2.1173	1.7846	1.2312	2.6485	3.2538	2.8205
	AIC	48.9123	47.3459	47.3550	41.2631	53.8586	44.3116	52.2166	48.4563	40.2893	57.1414	61.6701	58.5258
	BIC	50.5039	48.9375	48.9466	42.8547	55.4502	45.9032	53.8082	50.0479	41.8809	58.7330	63.2617	60.1174
	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	0.9501	0.9305	0.9278	0.9755	0.9269	0.9615	0.7776	0.8653	0.9079	0.8930	0.7794	0.8097
	Θ	6.3744	267.9462	64.5769	111.4987	906.9369	603.5774	4.1948	4.6503	2.3144	142.3215	21.7847	13.7344
	I	0.1321	0.1341	0.1714	0.0842	0.1264	0.1103	0.3634	0.2795	0.1922	0.1747	0.2965	0.2775
	NI	77	3	4	6	3	9	2	2	2	4	9	11

Critério de qualidade: SQR - Soma de quadrado do resíduo; SD - desvio padrão do resíduo; AIC - Critério de informação de Akaike; BIC - Critério de informação de Bayseano; R<sup>2</sup><sub>a</sub> - Coeficiente de determinação ajustado; Θ - Medida de curvatura intrínseca; I - medida de curvatura devido ao efeito dos parâmetros do modelo; NI - número de interações. Fonte: Autores.

**Tabela 5.** Estimativa dos parâmetros da regressão não linear logística e seu intervalo de confiança para a variável massa da matéria seca dos frutos de café conilon com base em onze medições para nove clones em três posições diferentes na copa do cafeeiro avaliados na Fazenda Experimental Bananal do Norte pertencente ao Incaper.

Clone	Posição	Parâmetro	LI <sup>1</sup>	Estimativa	LS <sup>2</sup>	p-valor <sup>3</sup>	Clone	Posição	Parâmetro	LI	Estimativa	LS	p-valor
402	Superior	β <sub>1</sub>	16.84	18.86	20.88	8.10E-08	403	Superior	β <sub>1</sub>	14.89	16.54	18.20	4.84E-08
		β <sub>2</sub>	2.99	5.53	8.07	2.76E-03			β <sub>2</sub>	3.56	6.18	8.79	1.69E-03
		β <sub>3</sub>	0.02	0.02	0.03	2.94E-04			β <sub>3</sub>	0.02	0.02	0.03	1.41E-04
	Médio	β <sub>1</sub>	15.42	17.69	19.96	3.32E-07		Médio	β <sub>1</sub>	13.63	16.21	18.80	1.78E-06
		β <sub>2</sub>	2.12	4.71	7.30	7.29E-03			β <sub>2</sub>	2.52	4.70	6.87	2.87E-03
		β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	1.29E-03			β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	1.42E-03
	Inferior	β <sub>1</sub>	13.30	15.42	17.55	5.85E-07		Inferior	β <sub>1</sub>	12.03	14.40	16.77	2.27E-06
		β <sub>2</sub>	1.90	4.20	6.49	7.10E-03			β <sub>2</sub>	1.29	4.45	7.61	2.46E-02
		β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	1.98E-03			β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	6.16E-03
405	Superior	β <sub>1</sub>	19.41	25.57	31.72	3.85E-05	407	Superior	β <sub>1</sub>	14.57	16.10	17.64	3.29E-08
		β <sub>2</sub>	2.59	5.74	8.90	7.30E-03			β <sub>2</sub>	2.56	3.61	4.66	1.45E-04
		β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	5.01E-03			β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.02	1.05E-04
	Médio	β <sub>1</sub>	24.64	28.19	31.73	2.87E-07		Médio	β <sub>1</sub>	12.10	14.34	16.58	1.52E-06
		β <sub>2</sub>	4.75	7.15	9.56	3.93E-04			β <sub>2</sub>	1.23	3.07	4.91	1.14E-02
		β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.02	8.86E-05			β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	6.95E-03
	Inferior	β <sub>1</sub>	20.63	24.77	28.91	2.57E-06		Inferior	β <sub>1</sub>	11.73	13.20	14.66	1.07E-07
		β <sub>2</sub>	4.35	8.12	11.88	2.91E-03			β <sub>2</sub>	1.81	3.02	4.23	1.23E-03
		β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	5.38E-04			β <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	8.28E-04
303	Superior	β <sub>1</sub>	14.03	16.12	18.20	3.56E-07	P1	Superior	β <sub>1</sub>	19.94	24.69	29.44	7.40E-06
		β <sub>2</sub>	1.09	4.03	6.97	2.77E-02			β <sub>2</sub>	5.73	9.03	12.34	6.79E-04

		$\beta_3$	0.01	0.03	0.04	4.75E-03			$\beta_3$	0.01	0.02	0.02	2.72E-04
	Médio	$\beta_1$	15.30	17.46	19.62	2.51E-07		Médio	$\beta_1$	15.37	20.67	25.98	6.09E-05
		$\beta_2$	2.26	4.21	6.16	2.87E-03			$\beta_2$	3.38	5.67	7.96	1.26E-03
	Inferior	$\beta_3$	0.01	0.02	0.03	8.41E-04		Inferior	$\beta_3$	0.01	0.02	0.02	2.41E-03
		$\beta_1$	15.45	16.55	17.65	1.89E-09			$\beta_1$	13.30	19.19	25.09	2.13E-04
		$\beta_2$	2.98	3.97	4.96	5.03E-05			$\beta_2$	2.32	5.51	8.70	9.54E-03
		$\beta_3$	0.02	0.02	0.03	1.31E-05			$\beta_3$	0.01	0.02	0.03	1.13E-02
	Superior	$\beta_1$	22.29	24.62	26.95	3.10E-08		Superior	$\beta_1$	12.51	15.03	17.55	2.62E-06
		$\beta_2$	5.27	6.88	8.48	3.09E-05			$\beta_2$	0.66	2.11	3.55	2.12E-02
		$\beta_3$	0.01	0.02	0.02	8.96E-06			$\beta_3$	0.01	0.02	0.04	2.49E-02
P2	Médio	$\beta_1$	20.25	27.47	34.68	7.17E-05	109	Médio	$\beta_1$	12.74	14.94	17.14	9.60E-07
		$\beta_2$	3.85	6.16	8.48	8.10E-04			$\beta_2$	1.13	3.17	5.20	1.58E-02
		$\beta_3$	0.01	0.02	0.02	1.71E-03			$\beta_3$	0.01	0.02	0.04	6.86E-03
	Inferior	$\beta_1$	20.37	23.86	27.35	9.18E-07		Inferior	$\beta_1$	12.00	13.06	14.11	8.65E-09
		$\beta_2$	4.23	5.88	7.52	1.12E-04			$\beta_2$	1.76	2.87	3.97	9.71E-04
		$\beta_3$	0.01	0.02	0.02	1.15E-04			$\beta_3$	0.02	0.02	0.03	3.33E-04
	Superior	$\beta_1$	17.50	25.80	34.11	2.93E-04							
		$\beta_2$	2.54	5.19	7.83	4.93E-03							
		$\beta_3$	0.01	0.02	0.02	1.00E-02							
204	Médio	$\beta_1$	13.72	20.06	26.40	2.58E-04							
		$\beta_2$	0.56	3.97	7.38	5.17E-02							
		$\beta_3$	0.00	0.02	0.03	4.71E-02							
	Inferior	$\beta_1$	13.66	18.29	22.92	5.55E-05							
		$\beta_2$	0.58	4.15	7.71	5.21E-02							
		$\beta_3$	0.01	0.02	0.03	2.93E-02							

1- Limite inferior do intervalo de confiança; 2 - Limite superior do intervalo de confiança; 3 Estimativa do p-valor da significância dos parâmetros avaliados pelo teste t. Fonte: Autores.

**Tabela 6.** Parâmetros de qualidade do modelo Logístico para a variável massa da matéria seca dos frutos de café conilon com base em onze medições para nove clones de *Coffea canephora* na Fazenda Experimental Bananal do Norte pertencente ao Incaper.

Clone	Critérios de Qualidade da regressão logística							
	SQR	SD	AIC	BIC	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	Θ	I	NI
402	0.00456	0.02388	-46.4462	-44.8546	0.95940	1.1708	0.1947	10
403	0.00397	0.02228	-47.9690	-46.3775	0.95653	1.3359	0.2020	10
405	0.00610	0.0276	-43.2555	-41.6639	0.97551	1.6143	0.1628	10
407	0.00254	0.01782	-52.8845	-51.2930	0.96113	1.0943	0.1747	7
303	0.00282	0.01878	-51.7363	-50.1447	0.97142	0.8519	0.1610	9
P1	0.00581	0.02695	-43.7854	-42.1938	0.96225	2.8441	0.1997	7
P2	0.00265	0.01821	-52.4077	-50.8161	0.98712	1.4312	0.1131	8
109	0.00549	0.02619	-44.4112	-42.8196	0.91202	1.3235	0.2798	11
204	0.01942	0.04927	-30.5139	-28.9223	0.87991	3.1253	0.3383	7

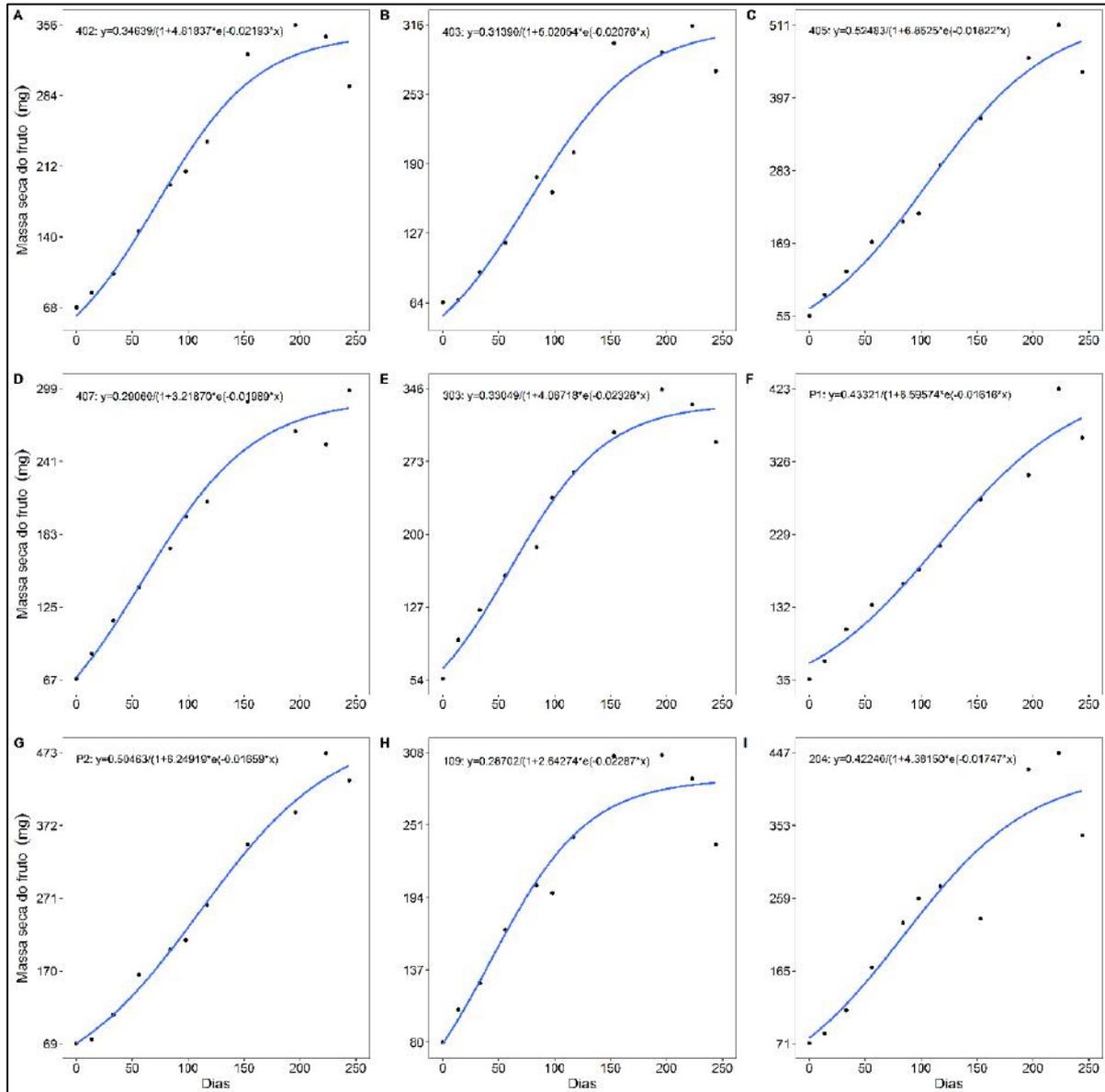
Critério de qualidade: SQR - Soma de quadrado do resíduo; SD - desvio padrão do resíduo; AIC - Critério de informação de Akaike; BIC - Critério de informação de Bayseano; R<sup>2</sup><sub>a</sub> - Coeficiente de determinação ajustado; Θ - Medida de curvatura intrínseca; I - medida de curvatura devido ao efeito dos parâmetros do modelo; NI - número de interações. Fonte: Autores.

**Tabela 7.** Estimativa dos parâmetros da regressão não linear logística, intervalo de confiança para a variável massa da matéria seca dos frutos de café conilon e tempo em número de dias para atingir o valor máximo da matéria seca com base em onze medições para nove clones avaliados na Fazenda Experimental Bananal do Norte pertencente ao Incaper.

Clone	Parâmetro	LI <sup>1</sup>	Estimativa	LS <sup>2</sup>	p-valor <sup>3</sup>	Tempo	Equação
402	$\beta_1$	0.30774	0.34639	0.38504	1.13E-07	253	$MS = \frac{0.34639}{1 + 4.81837e^{(-0.02193 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	2.56628	4.81837	7.07046	0.00302		
	$\beta_3$	0.01434	0.02193	0.02951	0.00047		
403	$\beta_1$	0.27374	0.31390	0.35405	3.27E-07	289	$MS = \frac{0.31390}{1 + 5.02054e^{(-0.02076 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	2.61457	5.02054	7.42652	0.00348		
	$\beta_3$	0.01310	0.02076	0.02842	0.00071		
405	$\beta_1$	0.44672	0.52483	0.60293	1.05E-06	362	$MS = \frac{0.52483}{1 + 6.8625e^{(-0.01822 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	4.29958	6.8625	9.42542	0.00077		
	$\beta_3$	0.01250	0.01822	0.02393	0.00024		
407	$\beta_1$	0.26049	0.29060	0.32069	6.29E-08	370	$MS = \frac{0.29060}{1 + 3.21870e^{(-0.01989 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	2.06270	3.21870	4.37469	0.00060		
	$\beta_3$	0.01321	0.01989	0.02657	0.00038		
303	$\beta_1$	0.30368	0.33049	0.35729	9.17E-09	340	$MS = \frac{0.33049}{1 + 4.06718e^{(-0.02326 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	2.55771	4.06718	5.57665	0.00074		
	$\beta_3$	0.01676	0.02326	0.02975	0.00011		
P1	$\beta_1$	0.32798	0.43321	0.53843	4.11E-05	420	$MS = \frac{0.43321}{1 + 6.59574e^{(-0.01616 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	3.88968	6.59574	9.30180	1.40E-03		
	$\beta_3$	0.00938	0.01616	0.02293	0.00159		
P2	$\beta_1$	0.44141	0.50463	0.56784	2.78E-07	420	$MS = \frac{0.50463}{1 + 6.24919e^{(-0.01659 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	4.76906	6.24919	7.72931	3.42E-05		
	$\beta_3$	0.01270	0.01659	0.02047	3.14E-05		
109	$\beta_1$	0.25173	0.28702	0.32232	2.40E-07	290	$MS = \frac{0.28702}{1 + 2.64274e^{(-0.02287 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	1.23344	2.64274	4.05203	0.00626		
	$\beta_3$	0.01171	0.02287	0.03403	0.00385		
204	$\beta_1$	0.30177	0.42240	0.54303	0.000129	380	$MS = \frac{0.42240}{1 + 4.38150e^{(-0.01747 \cdot \text{Dias})}}$
	$\beta_2$	1.29179	4.38150	7.47122	0.023946		
	$\beta_3$	0.00533	0.01747	0.02961	0.022477		

1- Limite inferior do intervalo de confiança; 2 – Limite superior do intervalo de confiança; 3 Estimativa do p-valor da significância dos parâmetros avaliados pelo teste t. Fonte: Autores.

**Figura 1.** Curvas de regressão não linear logística para a variável massa da matéria seca dos frutos de café conilon em função do tempo com base em onze medições para nove clones avaliados na Fazenda Experimental Bananal do Norte pertencente ao Incaper. A) Clone 402; B) Clone 403; C) Clone 405; D) Clone 407; E) Clone 303; F) Clone P1; G) Clone P2; H) Clone 109; I) Clone 204.



Fonte: Autores.

#### 4. Conclusão

O modelo Logístico apresenta maior confiabilidade para descrever o acúmulo de massa da matéria seca nos frutos do cafeeiro conilon. Não ocorreu diferenças para a massa da matéria seca dos frutos comparando amostras das posições superior, médio e inferior do cafeeiro. O parâmetro  $\beta_3$  pode ser utilizado como um indicador de precocidade para o *Coffea canephora* e assim orientar programas de melhoramento. Os clones 204, 407 e P1 proporcionaram curvas com maior qualidade em relação aos parâmetros avaliados. Os resultados obtidos poder-se-ão orientar pesquisas que visam otimizar o manejo do cafeeiro em função do melhor desenvolvimento dos frutos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao consórcio de pesquisas cafeiras (Concafé) e a Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Espírito Santo (FAPES) pela concessão de bolsas e suporte financeiro.

## Referências

- Akaike, H. A. (1974). New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Bates, D., Watts, D. (1980). Relative curvature measures of nonlinearity. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 42(1), 1-25.
- Brody, S. (1945). Bioenergetics and growth. Reinhold, 1023 p.
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). *Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2021, quarto levantamento*. 8(4), 1-55.
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Bonomo R. & Gontijo, I. (2018). Micronutrients in the fruits and leaves of irrigated and non-irrigated coffee plants. *Journal of Plant Nutrition*. 10.1080/01904167.2018.1431665.
- Croissant, Y. & Millo, G. (2008). Panel Data Econometrics in R: The plm Package. *Journal of Statistical Software*, 27(2), 1-43. 10.18637/jss.v027.i02. URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i02>.
- Cruz, R. M. (2020). *Crítérios de informação e seleção de modelos lineares mistos* [Dissertação de Mestrado, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo].
- Dubberstein, D., Partelli, F. L., Dias, J. R. M., & Espindola, M. C. (2016). Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 10(5), 701-710. 10.21475/ajcs.2016.10.05.p7424.
- Dubberstein, D., Partelli, F. L., Espindola, M. C. & Dias, J. R. M. (2019). Concentration and accumulation of micronutrients in robust coffee. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41. 10.4025/actasciagr.v41i1.42685.
- Elzhov, T.V., Mullen, K. M., Spiess, A. N. & Bolker, B. (2016). *Minpack.lm: R Interface to the Levenberg-Marquardt Nonlinear Least-Squares Algorithm Found in MINPACK, Plus Support for Bounds*. 2(1). <https://CRAN.R-project.org/package=minpack.lm>.
- Fernandes, F. A., Fernandes, T. J., Pereira, A. A., Meirelles, S. L. C. & Costa, A. C. (2019). Growth curves of meat-producing mammals by von Bertalanffy's model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54, 1-8. 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01162.
- Fernandes, T. J., Pereira, A. A., Muniz, J.A. & Savian, T. V. (2014). Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. *Coffee Science*, 9(2), 207-215.
- Fox, J. & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression, Third Edition*. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new model of determining life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 115, 513-585. (10.1098/rstl.1825.0026)
- Jane, S. A., Fernandes, F. A., Silva, E. M., Muniz, J. A. & Fernandes, T. J. (2019). Comparação dos modelos polinomial e não lineares na descrição do crescimento de pimenta. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(4), 1-7. doi:10.5039/agraria.v14i4a7180.
- Jane, S. A., Fernandes, F. A., Muniz, J. A. & Fernandes, T. J. (2020a). Nonlinear models on description of sugarcane height and diameter variety RB92579. *Revista Ciência Agronômica*, 51(4), e.20196660.
- Jane, S. A., Fernandes, F. A., Silva, E. M., Muniz, J. A., Fernandes, T. J., & Pimentel, G. V. (2020b). Adjusting the growth curve of sugarcane varieties using nonlinear models. *Ciência Rural*, 50(3).
- Laviola, B. G., Martinez, H. E. P., Salomão, L. C. C., Cruz, C. D. & Mendonça, S. M. (2007). Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 1451-1462.
- Leon, J. & Fournier, L. (1962). Crecimiento y desarrollo del fruto de Coffea arabica. *Turrialba*, 12, 65-74.
- Mitscherlich, E. A. (1919). Das Gesetz des Pflanzenwachstums. *Landwirtsch Jahrb*, 53, 167-182.
- Morais, E. O., Ribeiro, K. L., Veloso, R. B. & Veloso, M. D. M. (2020). Application of linear and nonlinear regression models for biomass and carbon stock volume estimates. *Braz. J. of Develop.*, 6(7), 45621-45632. 10.34117/bjdv6n7-259.
- Muianga, C. A., Muniz, J. A., Nascimento, M. S., Fernandes, T.J. & Savian, T.V. (2016). Por descrição da curva de crescimento de frutos do cajueiro modelos não lineares. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(1), 22-32.
- Partelli, F. L., Espindola, M. C., Marré, W. B. & Vieira, H. D. (2014). Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 214-222.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S. & Sarkar, D. (2019). *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-139. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Prado, T. K. L. do., Savian, T. V., & Muniz, J. A. (2013). Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. *Ciência Rural*, 43(5), 803-809. doi:10.1590/S0103-84782013005000044.

- Prado, T.K.L., Savian, T.V., Fernandes, T.J. & Muniz, J.A. (2020). Study on the growth curve of the internal cavity of 'Dwarf green' coconut fruits. *Revista Ciência Agronômica*, 51(3).
- Prado, T.K.L., Savian, T.V. & Muniz, J.A. (2013). Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. *Ciência Rural*, 43(5), 803-809.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Ratkowsky, D. A. (1983). *Nonlinear Regression Modeling: a Unified Practical Approach*. Marcel Dekker, New York.
- Rena, A. B., Barros, R. S. & Maestri, M. (2001) Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In L., Zambolim (Ed.). *Tecnologias de produção de café com qualidade*. p. 101-128. Viçosa: UFV.
- Ronchi, C.P. & DaMatta, F.M. (2019). Aspectos Fisiológicos do Café Conilon. In: R. G., Ferrão, A. F. A., Fonseca, M. A. G., Ferrão, L. H., De Muner. (Eds.), *Conilon Coffee english translation Marcelle Gudda Pasolini*, edition updated and expanded, 974.
- Salazar-Gutiérrez, M. R., Chaves, C. B., Riaño, N. M., Arcila, P. J. & Jaramillo, R. A. (1994). Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* L. var Colombia. *Cenicafé*, 45, 1-50.
- Sari, B.G., Lúcio, A.D.C., Samanta, C.S. Olivoto, T., Diel, M. I. & Krysczun, D. K. (2019). Nonlinear growth models: An alternative to ANOVA in tomato trials evaluation. *European Journal of Agronomy*, 104, 21-36.
- Sarkar, D. (2008). *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. Springer. R. Springer Science & Business Media.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6, 461- 464.
- Silva, É. M. da, Tadeu, M. H., Silva, V. P. da, Pio, R., Fernandes, T. J. & Muniz, J. A. (2020). Description of blackberry fruit growth by nonlinear regression models. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(2).
- Silva, E. M., Fruhauf, A. C., Silva, E. M., Muniz, J. A., Fernandes, J. F. & Silva, V. F. (2021). Evaluation of the critical points of the most adequate nonlinear model in adjusting growth data of 'green dwarf' coconut fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 43(1). <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452021726>.
- Silva, W. S., Fernandes, F. A., Muniz, F. R., Muniz, J. A., & Fernandes, T. J. (2021). Eucalyptus grandis x eucalyptus urophylla growth curve in different site classifications, considering residual autocorrelation. *Revista Brasileira de Biometria*, 39(1), 122-138.
- Spiess, A. N. (2018). *qpcR: Modelling and Analysis of Real-Time PCR Data*. R package version 1.4-1. <https://CRAN.R-project.org/package=qpcR>.
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition*.
- Von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws for metabolism and growth. *The quarterly review of biology*, 32(3), 217-231.
- Wormer, T. M. (1964). The growth of the coffee berry. *Annals of Botany*, 28, 47-55.
- Zeileis, A., Hothorn, T. (2002). *Diagnostic Checking in Regression Relationships*. R News, 2(3) 7-10. URL <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.