

MODELAGEM NÃO LINEAR DO CRESCIMENTO EM ALTURA DO CAFEIEIRO IRRIGADO E NÃO IRRIGADO EM DIFERENTES DENSIDADES

ADRIELE APARECIDA PEREIRA¹; TALES JESUS FERNANDES²; MYRIANE STELLA SCALCO³ E AUGUSTO RAMALHO DE MORAIS⁴

¹Licenciada em Matemática, Mestre, DEX/UFLA, Lavras-MG, e-mail: adrieleapvga@yahoo.com.br

²Licenciado em Matemática, Doutor, Prof. DEX/UFLA, Lavras-MG, e-mail: tales.jfernandes@dex.ufla.br

³Engenheira Agrônoma, Doutora, DAG/UFLA, Lavras-MG, e-mail: msscalco@dag.ufla.br

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor, Prof. DEX/UFLA, Lavras-MG, e-mail: armorais@dex.ufla.br

1 RESUMO

Heterogeneidade de variâncias e autocorrelação residual são características inerentes à dados de crescimento ao longo do tempo que se não considerados nas análises podem conduzir a resultados imprecisos. Este estudo teve por objetivo comparar os ajustes dos modelos Logístico e Gompertz, considerando os métodos de mínimos quadrados: ordinários e generalizados. Os dados utilizados referem-se à altura de plantas do cafeeiro, submetidas aos regimes de irrigação Si (testemunha), 60 kPa e 140 kPa, nas densidades de plantio 2500 e 5000 plantas ha⁻¹. Segundo o desvio padrão residual e a análise de resíduos, o ajuste do modelo Gompertz pelo método de mínimos quadrados generalizados, que incorpora a heterogeneidade de variâncias e autocorrelação residual na modelagem, apresentou os melhores resultados para todos os dados analisados, sendo indicado para modelar o crescimento em altura do cafeeiro ao longo do tempo. Os ajustes referentes às plantas irrigadas apresentaram as maiores estimativas para a altura assintótica, confirmando que a irrigação da lavoura proporciona maior crescimento das plantas.

Palavras-Chave: Autocorrelação residual, Gompertz, Heterocedasticidade.

**PEREIRA, A. A.; FERNANDES, T. J.; SCALCO, M. S.; MORAIS, A. R. de
MODELING NONLINEAR GROWTH IN HEIGHT COFFEE WITH AND WITHOUT
IRRIGATION IN DIFFERENT DENSITIES**

2 ABSTRACT

Heterogeneity of variance and residual autocorrelation characteristics are inherent in the growth data over time that is not considered in the analysis may lead to inaccurate results. This study aimed to compare the settings of the Logistic and Gompertz models, considering the methods of least squares: ordinary and generalized. The data used refer to the height of the coffee plants, subjected to irrigation systems Si (non irrigated), 60 kPa and 140 kPa, the planting densities in 2500 and 5000 plants ha⁻¹. According to the residual standard deviation and the residual analysis, the fit of the Gompertz model by generalized least squares method, which incorporates the heterogeneity of residual variance and autocorrelation in modeling, showed the best results for all data analyzed, suitable for modeling the growth in height of the coffee over time. The adjustments related to the irrigated plants had the highest estimates for the asymptotic height, confirming that the crop irrigation provides greater plant growth.

Keywords: Residual autocorrelation, Gompertz, Heteroscedasticity.

3 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das mais relevantes atividades do setor agrícola brasileiro. Liderando o ranking internacional de produção e exportação de café, o Brasil apresenta um parque cafeeiro estimado em torno de 2,3 milhões de hectares, distribuídos em mais de 10 estados, sendo Minas Gerais o que apresenta maior produção (ABIC, 2014; MAPA, 2014).

Diversos fatores podem limitar o desenvolvimento e produção das lavouras, dentre eles destaca-se o déficit hídrico (ARAÚJO et al., 2011). Alternativamente, os produtores têm feito uso da irrigação, a qual contribui para o melhor desenvolvimento vegetativo das plantas, aumento da produtividade, e obtenção de grãos e bebida de melhor qualidade (CARVALHO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010; SILVA et al., 2011; PEREIRA et al., 2014). Vale ressaltar que, em meio à escassez de água vivenciada nos últimos tempos, já foram desenvolvidas soluções tecnológicas que permitem o seu uso na cafeicultura de forma racional (EMBRAPA, 2014).

A altura de plantas é uma variável relevante a ser considerada nas pesquisas cafeeiras, pois além de ser representativa do desenvolvimento vegetativo está correlacionada com a produtividade (CARVALHO et al., 2010; ASSIS et al., 2014). Os modelos de regressão não lineares podem ser utilizados nessas pesquisas para analisar as curvas de crescimento provenientes de diferentes tratamentos. Esses modelos se destacam por sintetizarem as informações presentes no conjunto de dados em apenas alguns parâmetros com interpretações práticas (BATISTA et al., 2013; FERNANDES et al., 2014).

Heterogeneidade de variâncias e autocorrelação residual são características inerentes à dados de crescimento ao longo do tempo que, em grande parte dos trabalhos, não são consideradas nas modelagens, o que pode acarretar estimativas e resultados imprecisos (MAZZINI et al., 2005; MENDES et al., 2008; PRADO; SAVIAN; MUNIZ, 2013).

Com esse enfoque, Mazzini et al. (2005) avaliaram os ajustes de modelos não lineares a dados de peso-idade de novilhos da raça Herford, e verificaram que os ajustes dos modelos Gompertz e von Bertalanffy, considerando heterocedasticidade e autocorrelação residual, apresentaram os melhores resultados segundo os critérios de seleção adotados.

Ao considerar a autocorrelação residual na modelagem do diâmetro externo longitudinal e transversal de frutos do coqueiro anão verde, Prado, Savian e Muniz (2013) obtiveram estimativas mais precisas para os parâmetros dos modelos Logístico e Gompertz.

Ao analisar o desenvolvimento do fruto do cafeeiro cultivar Obatã IAC1669-20 ao longo do tempo, em diferentes alinhamentos de plantio, Fernandes et al. (2014) verificaram que o ajuste do modelo Gompertz, considerando variâncias heterogêneas, foi o que melhor descreveu o crescimento do fruto, segundo o critério de informação de Akaike, coeficiente de determinação ajustado e curvaturas de Bates e Watts.

Pereira et al. (2014) também constataram autocorrelação residual ao realizar o ajuste dos modelos Logístico e Gompertz, na modelagem do crescimento em altura de plantas do cafeeiro cultivar Rubi MG1192, cultivadas nas densidades de plantio 3333 e 10000 plantas ha⁻¹ e submetidas aos regimes de irrigação testemunha, 20 kPa e 60 kPa. Estes autores verificaram que o modelo Gompertz apresentou o melhor ajuste; e que, as plantas mais altas foram observadas nos regimes irrigados e também na maior densidade de plantio analisada.

Inserido nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi comparar o ajuste dos modelos de regressão não lineares Logístico e Gompertz à altura de plantas do cafeeiro, submetidas a diferentes regimes de irrigação e densidades de plantio, considerando os métodos de estimação de mínimos quadrados: i) Ordinários, que considera variâncias homogêneas e independência residual; ii) Generalizados, que incorpora a heterogeneidade de variâncias e a autocorrelação na modelagem.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados são provenientes de experimento realizado com cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, cultivado nas densidades de plantio 2500 plantas ha⁻¹ (4m x 1m) e 5000 plantas ha⁻¹ (2m x 1m) e submetido aos regimes de irrigação Si (testemunha), 60 kPa e 140 kPa, na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras-MG, cujas coordenadas geográficas são 21°14'43"S e 44°59'59"W.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições. O experimento foi conduzido em duas áreas contíguas, uma ao lado da outra, nas quais foram alocadas as densidades de plantio. Cada uma dessas áreas foi repartida em quatro porções, as quais constituíram os blocos. Dentro de cada bloco foram sorteados os regimes de irrigação, e as épocas de avaliação constituíram as subparcelas no tempo.

As irrigações de cada parcela ocorreram quando o tensiômetro, na profundidade de 25 cm, registrou a leitura de tensão correspondente àquele tratamento. Cada parcela foi constituída por uma linha de plantio, com dez plantas. A altura de planta foi representada pela média das oito plantas centrais (úteis) de cada unidade experimental, sendo mensuradas trimestralmente, durante o período entre o pós-plantio até o sexto ano, totalizando 22 medições.

Inicialmente os dados foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, realizou-se o desdobramento da interação tripla (densidades*regimes de irrigação*tempo), que apresentou efeito significativo, estudando o crescimento em altura da planta em função das épocas de avaliação (tempo), em cada combinação entre as densidades de plantio e os regimes de irrigação. Para descrever esse crescimento, foram utilizados os modelos de regressão não lineares Logístico e Gompertz:

$$y_t = \frac{\alpha}{1 + e^{-k \cdot (t - \beta)}} + e_t \text{ (Logístico)}$$

$$y_t = \alpha \cdot e^{[-e^{-k \cdot (t - \beta)}]} + e_t \text{ (Gompertz)}$$

em que, y_t representa a altura média observada na época de avaliação t , $t=90, 180, \dots, 1980$ dias após o plantio; α representa a assíntota, ou seja, a altura máxima a ser atingida pelas plantas; k representa o índice de crescimento - relacionando-se com a taxa de crescimento, de forma que quanto maior for este valor, menos tempo as plantas levam para atingir α ; β está relacionado com o formato sigmoidal da curva e indica o ponto de inflexão, ou seja, em que momento as plantas atingem taxa de crescimento máxima; e, e_t corresponde ao erro aleatório, o qual pressupõe-se que seja distribuído segundo uma normal de forma independente e com variâncias homogêneas, ou seja, $e_t \sim N(0, \sigma^2)$ (FERNANDES et al., 2015).

A maioria dos dados de crescimento não atendem à essas pressuposições, pois como a planta/animal vai se desenvolvendo com a idade, a variação do seu tamanho/peso tende a ser

maior e, como as observações são realizadas sobre a mesma unidade experimental (planta/animal) ao longo do tempo, os ajustes apresentam resíduos autocorrelacionados (FERNANDES, et al. 2014; MENDES et al., 2008; MAZZINI et al., 2005).

Assim, para se obter resultados precisos, é necessário incorporar essas características na modelagem. Em presença de variâncias heterogêneas, uma alternativa é fazer uma ponderação pelo inverso da variância, associando-se “pesos” às observações, de forma que os pontos com maior variabilidade influenciem menos nas estimativas dos parâmetros. Em relação a dependência, deve-se incorporar um parâmetro de autocorrelação de primeira ordem (AR1), dado por:

$$e_t = \phi \cdot e_{t-1} + \varepsilon_t$$

em que, e_t corresponde ao resíduo no tempo t , e_{t-1} é o resíduo gerado no tempo $t-1$; ϕ o parâmetro de autocorrelação de primeira ordem e, ε_t é o erro puro – $E[\varepsilon_t]=0$; $E[\varepsilon_t \cdot \varepsilon_{t-h}]=0$, para $h \neq 0$ e $E[\varepsilon_t^2]=\sigma_\varepsilon^2$ (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Os ajustes dos modelos foram realizados utilizando o método de mínimos quadrados ordinários, que pressupõe variâncias amostrais homogêneas e resíduos independentes (cenário i), e o método de mínimos quadrados generalizados, que considera variâncias amostrais heterogêneas e resíduos autocorrelacionados (cenário ii).

Para avaliar a qualidade e coerência dos ajustes foram utilizados o desvio padrão residual e a análise de resíduos. O desvio padrão residual (DPR) é dado por:

$$DPR = \sqrt{QME}$$

em que QME é o quadrado médio residual. O ajuste que apresentar o menor valor é considerado o mais adequado.

A análise de resíduos é composta por testes que verificam se os resíduos apresentam distribuição normal, variâncias homogêneas e independência. Por ser um dos testes mais poderosos, optou-se em utilizar o teste de Shapiro-Wilk para verificar a hipótese de normalidade; o teste de Breusch-Pagan para testar a homocedasticidade; e o teste de Burbin-Watson para testar a independência residual.

Todas as análises e figuras foram feitas utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentadas as estimativas obtidas para os parâmetros dos modelos, considerando os métodos de estimação de mínimos quadrados ordinários (cenário i) e o de mínimos quadrados generalizados (cenário ii).

Tabela 1. Estimativas para os parâmetros dos modelos Logístico (L) e Gompertz (G), considerando as densidades de plantio 2500 e 5000 plantas ha⁻¹ e os regimes de irrigação (RI) Si, 60 kPa e 140 kPa, nos cenários i e ii.

Densidades	RI	Modelos/ cenários	Parâmetros				
			α	k	β	ϕ	
2500	Si	L / i	1,77	0,0023	710	-	
		L / ii	1,78	0,0028	669	0,5143	
		G / i	1,91	0,0015	513	-	
		G / ii	1,84	0,0016	500	0,2642	
	60 kPa	L / i	1,86	0,0025	582	-	
		L / ii	1,88	0,0034	502	0,7717	
		G / i	1,95	0,0017	388	-	
		G / ii	1,97	0,0019	379	0,5296	
	140 kPa	L / i	1,83	0,0025	554	-	
		L / ii	1,87	0,0045	463	0,9505	
		G / i	1,90	0,0019	361	-	
		G / ii	1,98	0,0022	425	0,9544	
	5000	Si	L / i	1,80	0,0025	667	-
			L / ii	1,75	0,0034	576	0,6898
			G / i	1,99	0,0017	475	-
			G / ii	1,89	0,0020	435	0,3796
60 kPa		L / i	1,92	0,0028	548	-	
		L / ii	1,97	0,0036	593	0,8554	
		G / i	2,03	0,0019	369	-	
		G / ii	2,11	0,0021	467	0,8648	
140 kPa		L / i	1,83	0,0028	559	-	
		L / ii	1,81	0,0035	570	0,5715	
		G / i	1,90	0,0020	383	-	
		G / ii	2,00	0,0022	405	0,0847	

Considerando o cenário ii, observa-se que, em ambas as densidades de plantio e modelos ajustados, as maiores estimativas para a altura assintótica (parâmetro α), em metros, foram observadas para as plantas irrigadas (60 kPa e 140 kPa), confirmando que a irrigação contribui para o crescimento da lavoura (CARVALHO et al., 2006; ARAÚJO et al., 2011; PEREIRA et al., 2014).

Os ajustes referentes às plantas não irrigadas, em ambas as densidades de plantio, apresentaram as menores estimativas para o índice de crescimento (parâmetro k). Este resultado indica que as plantas não irrigadas crescem de forma mais lenta, apresentando, conseqüentemente, menores taxas de crescimento (PEREIRA et al., 2014).

O momento em que as plantas atingem a taxa de crescimento máxima, passando de um período de crescimento acelerado para o período inibitório (ponto de inflexão), é representado pelo parâmetro β . Pode-se observar na Tabela 1, que as plantas não irrigadas, apresentaram

em geral, as maiores estimativas para esse parâmetro em relação às irrigadas, indicando que elas demoram mais para atingirem a taxa máxima de crescimento. Para a densidade de plantio 5000 plantas ha⁻¹ e o modelo Logístico, por exemplo, a maior taxa de crescimento ocorreu aos 667 dias no regime Si, e aos 548 dias no regime 60 kPa.

O modelo Gompertz estimou menores índices de crescimento e menores ponto de inflexão em relação ao modelo Logístico, sugerindo que ele pode ser mais hábil na descrição do crescimento em altura conseguindo caracterizar o crescimento mais precocemente.

Os resultados referentes a análise de resíduos são apresentados na Tabela 2. Esta análise é feita considerando os ajustes realizados pelo método de mínimos quadrados ordinários, ou seja, pressupondo normalidade, independência e homocedasticidade (cenário i).

Tabela 2. Valores-p para os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (SW); independência de Durbin-Watson (DW); e homogeneidade de variâncias de Breusch-Pagan (BP), para análise de resíduos dos modelos Logístico e Gompertz, considerando os regimes de irrigação Si, 60 e 140 kPa, e as densidades de plantio 2500 e 5000 plantas ha⁻¹.

Densidades		2500		5000	
RI	Testes	Logístico	Gompertz	Logístico	Gompertz
Si	SW	0,99940 ^{ns}	0,69380 ^{ns}	0,26120 ^{ns}	0,82080 ^{ns}
	BP	0,00699 *	0,03020 *	0,00091 *	0,00651 *
	DW	0,00000 *	0,01600 *	0,00000 *	0,00400 *
60kpa	SW	0,26740 ^{ns}	0,15510 ^{ns}	0,22010 ^{ns}	0,48210 ^{ns}
	BP	0,00353 *	0,04368 *	0,00478 *	0,05662 ^{ns}
	DW	0,00000 *	0,00000 *	0,00000 *	0,00000 *
140kpa	SW	0,47730 ^{ns}	0,38280 ^{ns}	0,21980 ^{ns}	0,40690 ^{ns}
	BP	0,00163 *	0,02098 *	0,03446 *	0,19740 ^{ns}
	DW	0,00000 *	0,00000 *	0,00000 *	0,00000 *

* Significativo a 5% de probabilidade

^{ns} Não significativo

Analisando a Tabela 2, verifica-se que o teste de Shapiro-Wilk indicou normalidade para todos os dados analisados (valor-p>0,05). Segundo o teste de Durbin-Watson, todos os resíduos apresentaram dependência (valor-p<0,05). Já o teste de Breusch-Pagan, indicou heterogeneidade de variâncias para quase todos os ajustes realizados. Fernandes et al. (2014) e Sousa et al. (2014) também utilizaram esses testes na análise de resíduos.

Com base nestes resultados, observa-se a necessidade de considerar a heterocedasticidade e a autocorrelação na modelagem, indicando que os ajustes feitos pelo método de mínimos quadrados generalizados (cenário ii), que considera tais características, são mais coerentes e adequados.

As estimativas obtidas para o desvio padrão residual são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Estimativas para o desvio padrão residual referentes aos ajustes dos modelos Logístico (L) e Gompertz (G), considerando os regimes de irrigação Si, 60 e 140 kPa, e as densidades de plantio 2500 e 5000 plantas ha⁻¹, nos cenários i e ii.

Modelos/cenários	2500			5000		
	Si	60 kPa	140 kPa	Si	60 kPa	140 kPa
L / i	5,511	6,583	7,141	7,142	7,538	6,735
L / ii	1,361	1,178	5,344	1,834	3,054	1,497
G / i	4,386	5,054	5,764	5,527	5,753	5,035
G / ii	1,108	0,804	3,278	1,323	2,998	1,236

Analisando as estimativas para o desvio padrão residual, em todas as densidades de plantio e regimes de irrigação, verifica-se que os ajustes que consideraram variâncias heterogêneas e resíduos autocorrelacionados (cenário ii) apresentaram os menores valores, concordando com os resultados obtidos na análise de resíduos e por Mazzini et al. (2005) de que esta modelagem é mais adequada.

Desse modo, considerando o cenário ii, verifica-se que o modelo Gompertz apresentou os menores valores em todas as densidades e regimes de irrigação analisados, indicando que este modelo é o que melhor descreve o crescimento em altura das plantas do cafeeiro ao longo do tempo, corroborando com os resultados obtidos por Pereira et al. (2014).

Os ajustes do modelo Gompertz, obtidos pelo método de mínimos quadrados generalizados (cenário ii), são apresentados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1. Ajuste do modelo Gompertz aos dados de altura do cafeeiro em função do tempo, considerando variâncias heterogêneas e dependência residual, na densidade de plantio 2500 plantas ha⁻¹, para os três regimes de irrigação.

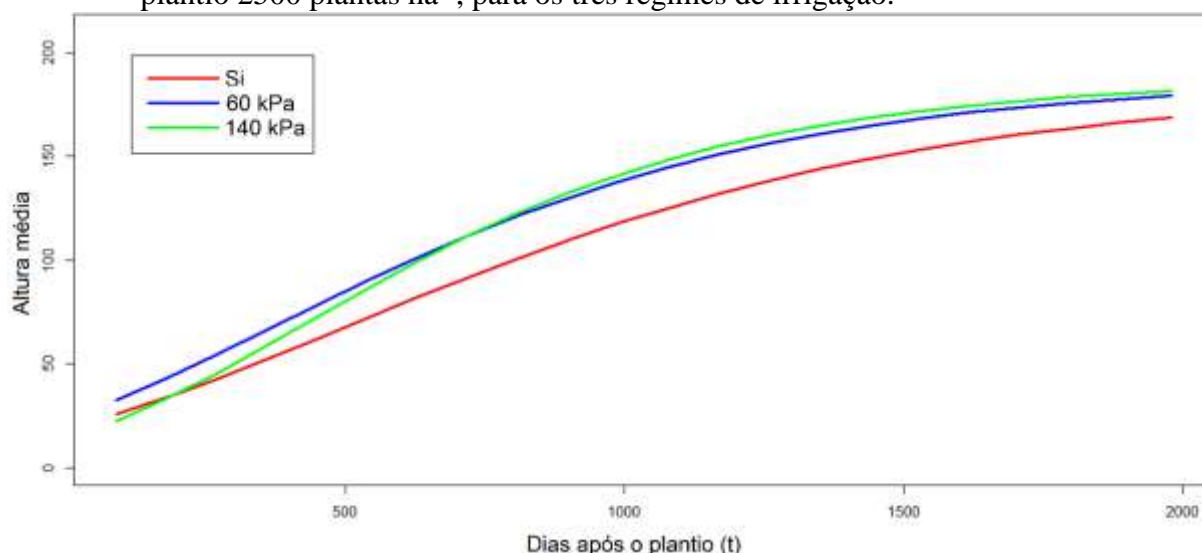
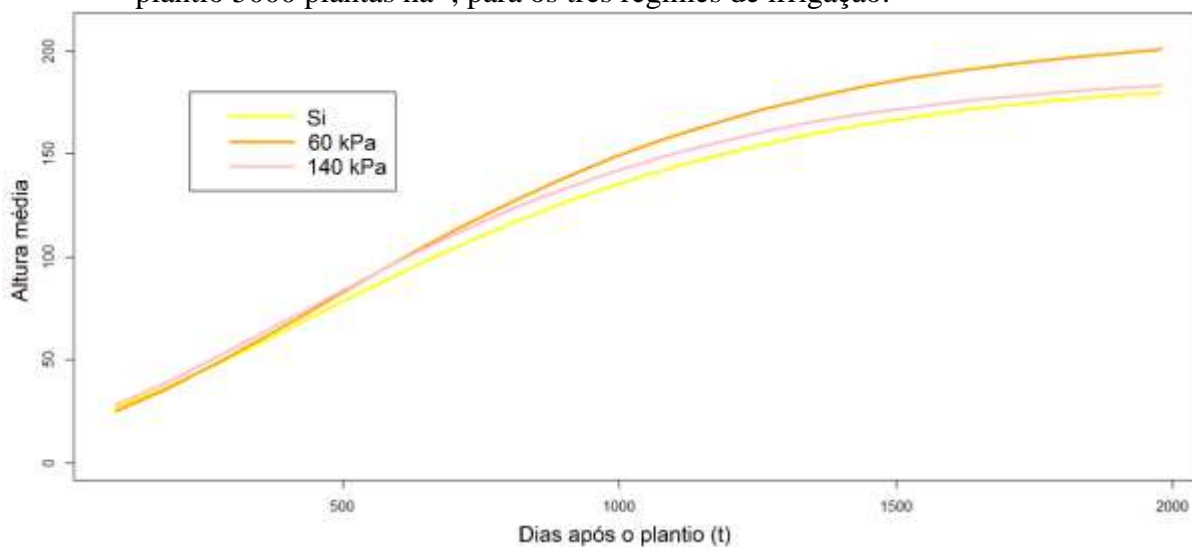


Figura 2. Ajuste do modelo Gompertz aos dados de altura do cafeeiro em função do tempo, considerando variâncias heterogêneas e dependência residual, na densidade de plantio 5000 plantas ha⁻¹, para os três regimes de irrigação.



Nas Figuras 1 e 2, é possível verificar que os ajustes referentes às plantas não irrigadas, em ambas as densidades de plantio, ficaram abaixo dos ajustes referentes às plantas irrigadas, reafirmando que a irrigação influencia positivamente no crescimento das plantas. Tal comportamento também foi observado nos ajustes realizados por Carvalho et al. (2006) e Pereira et al. (2014) ao estudar a altura de plantas do cafeeiro submetido à diferentes regimes hídricos e densidades de plantio.

6 CONCLUSÕES

O ajuste do modelo Gompertz, considerando heterogeneidade de variâncias e autocorrelação residual, apresentou melhores resultados para todos os dados analisados, sendo indicado para modelar o crescimento em altura do cafeeiro ao longo do tempo.

Os ajustes referentes às plantas irrigadas apresentaram as maiores estimativas para a altura assintótica, confirmando que a irrigação da lavoura proporciona maior crescimento das plantas.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café pelo financiamento de projeto e ao CNPq pelas bolsas concedidas.

8 REFERÊNCIAS

ABIC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Produção Agrícola.** Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=48>> Acesso em: 19 set. 2014.

ARAÚJO, G. L.; REIS, E. F. dos; MORAES, W. B.; GARCIA, G. de O.; NAZÁRIO, A. A. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 115-124, 2011.

ASSIS, G. A. de; GUIMARÃES, R. J.; SCALCO, M. S.; COLOMBO, A.; MORAIS, A. R. de; CARVALHO, J. P. S. Correlação entre crescimento e produtividade do cafeeiro em função do regime hídrico e densidade de plantio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 666-676, 2014.

BATISTA, E. L. da S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G. B.; SILVA, T. G. F. da; BOEHRINGER, D. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1080-1087, 2013.

CARVALHO, A. M. de; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; GONÇALVES, F. M. A.; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 269-275, 2010.

CARVALHO, C. H. M. de; COLOMBO, A.; SCALCO, M. S.; MORAIS, A. R. de. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias permitem uso racional da água na cafeicultura**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/busca-de-noticias/-/noticia/1977444/tecnologias-permitem-uso-racional-da-agua-na-cafeicultura>>. Acesso em: 20 agos. 2014.

FERNANDES, T. J.; MUNIZ, J. A.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, F. R.; MUIANGA, C. A. Parameterization effects in nonlinear models to describe growth curves. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 37, n. 4, p. 397-402, 2015.

FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Café**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe>> Acesso em: 18 set. 2014.

MAZZINI, A. R. de A.; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F. e; AQUINO, L. H. de. Curva de crescimento de novinhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autoregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.

MENDES, P. N.; MUNIZ, J. A.; SILVA, F. F. e; MAZZINI, A. R. de A. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, 2008.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo, Blucher, 2006. 538 p.

OLIVEIRA, E. L. de; FARIA, M. A. de; REIS, R. P.; SILVA, M. de L. O. e. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro Acaíá considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 887-896, 2010.

PEREIRA, A. A.; MORAIS, A. R. de; SCALCO, M. S.; FERNANDES, T. J. Descrição do crescimento vegetativo do cafeeiro cultivar Rubi MG 1192, utilizando modelos de regressão. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 266-274, 2014.

PRADO, T. K. L. do; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 803-809, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

SILVA, A. C. da; LIMA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MARTINS, C. de P. Características produtivas do cafeeiro arábica irrigado por pivô central na região de Lavras/MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 128-136, 2011.

SOUSA, I. F.; KUNZLE NETO, J. E.; MUNIZ, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, F. R. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, 2014.