

Utilização de modelos não-lineares sigmoidais na descrição do aumento em diâmetro de frutos de pequi.

Ricardo Wagner Pacopahyba de Mattos¹

Thaís Destéfani Ribeiro¹

Joel Augusto Muniz¹

Augusto Ramalho de Moraes¹

1 Introdução

O pequi é nativo do Cerrado, com uso alimentício apresentando grande potencial de expansão na culinária brasileira. Seu fruto é apreciado por suas agradáveis peculiaridades de cor, aroma e sabor, constitui-se em rico veículo de nutrientes, com destaque para os lipídios proteínas e β -caroteno. Pequi é o fruto do pequizeiro (*Caryocar brasiliense*), árvore de maior valor econômico e uma das mais altas dentre as nativas do cerrado. Pertence à família das cariocaráceas e pode atingir mais de dez metros de altura. A espécie tem ampla distribuição dentro do cerrado brasileiro assumindo importante papel na vida dos habitantes desta região, economicamente, com a venda do fruto in natura, ou mesmo para o seu próprio consumo. É caracterizada por sua ampla utilização, sendo considerada, pelos habitantes locais, como o “ouro do Cerrado”, devido ao seu alto valor alimentício, madeireiro, medicinal, melífero, ornamental e oleaginoso, entre outros.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização dos modelos Gompertz e Logístico na descrição do crescimento dos frutos de pequi em diâmetro ao longo de seu desenvolvimento.

2 Material e métodos

Para os dados de crescimento em diâmetro de frutos de pequi extraídos de RODRIGUES et. al (2009), serão ajustados os modelos de crescimento não-linear Logístico e Gompertz considerando erros independentes e estrutura de erros auto-regressivos de primeira ordem. Estes modelos são descritos pelas seguintes expressões:

a. Modelo Logístico: $Y_t = A_1/[1+B_1*exp(-K_1*t)] + A_2/[1+B_2*exp(-K_2*t)] + \varphi_1e_{t-1}$;

b. Modelo Gompertz: $Y_t = A_1*exp[-B_1*exp(-K_1*t)] + A_2*exp[-B_2*exp(-K_2*t)] + \varphi_1e_{t-1}$;

¹ DEX – UFLA.

Para o ajuste das funções aos dados empregou-se o procedimento PROC MODEL do software Statistical Analysis System (SAS, 1999) utilizando-se o método de Gauss-Newton (NETER et al., 1985). Os critérios de seleção utilizados para a escolha do modelo mais adequado foram: R^2 , coeficiente de determinação, $R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQTot}$, em que SQR refere-se à soma

de quadrados dos resíduos e $SQTot$ refere-se a soma de quadrados totais; DPR , desvio-padrão residual $DPR = \sqrt{\frac{QMR}{n-p}}$, onde QMR é uma estimativa da variância residual, n é o número de

observações utilizadas no ajuste do modelo, p é o número de parâmetros; DW , Teste de Durbin-Watson $DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}$, o qual indica se há autocorrelação dos dados, sendo e_t o resíduo no

tempo t ; e_{t-1} : o resíduo no tempo $t - 1$; AIC , critério de informação de Akaike $AIC = \ln(\hat{\sigma}^2) + \frac{2(p+1)}{n}$, onde $\hat{\sigma}^2$ é a estimativa da variância dos resíduos; IC, intervalo de confiança, utilizado para se obter um intervalo de estimativas prováveis representados por limite inferior (LI) e superior sendo λ a média, $t(\alpha/2)$ o valor na tabela de t de student para $\alpha/2$; (LS), $IC_{(1-\alpha)} = \lambda \pm t_{(\alpha/2)} \sqrt{(\hat{\sigma}^2/n)} + e_t$.

3 Resultados e discussões

Os avaliadores da qualidade de ajuste, apresentados na Tabela 1, indicam o ajuste dos modelos aos dados dos frutos. Segundo os critérios utilizados para a seleção do modelo mais adequado nota-se uma pequena diferença entre os resultados, favorecendo o modelo Gompertz quanto à medida do diâmetro dos frutos.

Tabela 1 – Valores do número de parâmetros (N° param), coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão residual (DPR), critério de informação de Akaike (AIC), teste de Durbin-Watson (DW) e tamanho assintótico do fruto à maturidade (A) em cm, estimados para os modelos Gompertz e Logístico para o diâmetro dos frutos.

Modelo	N° param	R^2 (%)	DPR	AIC	DW	A (cm)
Gompertz	3	99,28	0,2360	-1,8878	2,4232	6,79
Logístico	3	98,74	0,3129	-1,3238	2,1478	6,58

De acordo com os resultados da Tabela 1 em relação ao diâmetro dos frutos o modelo Gompertz foi o que apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2), menor desvio padrão

residual (DPR) e menor valor para o critério AIC, sendo assim considerado o modelo mais adequado na sua descrição. O critério R^2 apresentou valores superiores a 98%, mostrando assim uma boa qualidade de ajuste. Segundo Freitas (2005), em estudos com curvas de crescimento animal os modelos não-lineares entre os quais o de Gompertz produziu ajustes com R^2 acima de 92%, sendo considerados como um bom ajuste.

Segundo Floriano et al., (2006), o uso do critério de Akaike (AIC) mostrou-se adequado como critério de seleção de modelos para representar uma série temporal de dados de altura de árvores. Os autores citam que este critério permite que se determine qual modelo é o mais correto, ou seja, o modelo com menor AIC é o mais próximo de ser o modelo correto.

Não foi observada a presença de autocorrelação residual ao nível de 5% de significância de acordo com o procedimento PROC MODEL do software Statistical Analysis System (SAS, 1999) para ambos os modelos, ou seja, os erros se comportam de forma independente ao longo tempo.

Tabela 2 – Valores estimados para os parâmetros dos modelos Gompertz e Logístico, intervalos de confiança a 95% (IC) e suas significâncias em relação ao diâmetro dos frutos.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	IC	Pr > t
Gompertz	A	6,7902	(6,4017 ; 7,2704)	< 0,0001
	B	4,5374	(3,4405 ; 6,3874)	0,0019
	K	0,0447	(0,0361; 0,0549)	0,0003
Logístico	A	6,5760	(6,1579 ; 7,0672)	< 0,0001
	B	17,8934	(9,8788 ; 38,8456)	0,0418
	K	0,0675	(0,0522 ; 0,0875)	0,0008

A estimativa **A**, quanto ao ajuste dos dados (Tabela 2), corresponde ao comprimento do fruto à maturação. Os valores da estimativa do tamanho assintótico do fruto a maturidade, para o diâmetro, foram de 6,58 cm para o Logístico e 6,79 cm.

Na Tabela 2 pode-se observar que todos os valores foram significativos. Pode-se observar também os valores da taxa de crescimento (K), com valores de 0,0447 para o modelo Gompertz e de 0,0675 para o modelo Logístico.

A sobreposição das curvas (Figura 1) é devido a uma proximidade nos valores dos parâmetros estimados. A curva que apresentou maior proximidade aos dados de diâmetro dos frutos foi a do modelo Gompertz, mostrando assim um melhor ajuste dos dados de frutos de pequi. Terra et al., (2010), estudando o crescimento de frutos de tamareira-anã obtiveram as estimativas dos parâmetros para os modelos Logístico e Gompertz, bastante próximas para ambos os modelos ajustados acarretando uma leve sobreposição das curvas ajustadas.

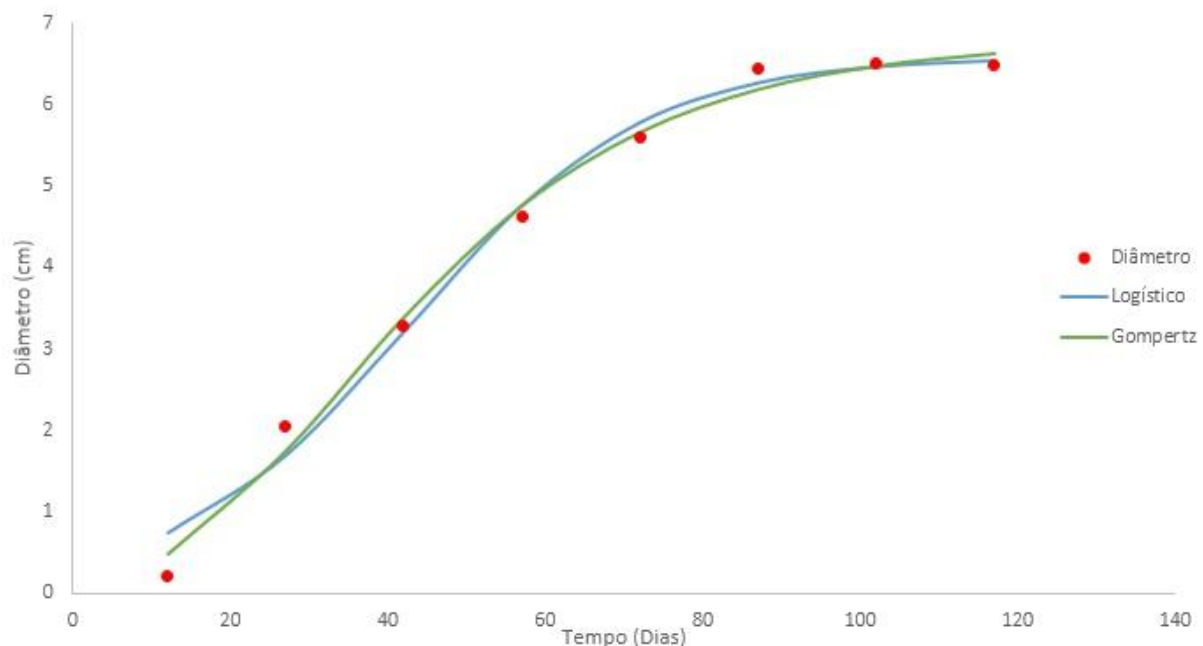


Figura 1 – Ajuste das funções Gompertz e Logística aos dados de crescimento em diâmetro dos frutos de pequi.

Os valores observados na Figura 1, mostram que os frutos apresentaram um aumento acentuado no diâmetro, do início das avaliações, 12 dias, quando estavam com aproximadamente 0,25 cm, até os 57 dias, onde apresentavam aproximadamente 4,5 cm, quando ocorreu uma diminuição no crescimento. Com aproximadamente 102 dias o crescimento cessa e seu diâmetro final é de aproximadamente 6,5 cm.

4 Conclusões

O modelo Gompertz apresentou melhor ajuste aos dados de diâmetro dos frutos de pequi (*Caryocar brasiliense*) segundo os avaliadores de qualidade de ajuste.

O diâmetro final dos frutos de pêssago estimada pelo modelo Gompertz foi de 6,79 cm e pelo modelo Logístico foi de 6,58 cm.

A utilização de modelos não lineares foi adequada, pois estes apresentam parâmetros com interpretação biológica, sendo importantes na descrição e estudo do crescimento de frutos.

5 Bibliografia

- [1] FLORIANO, E. P. et al. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n. 2, p.177-199, 2006.
- [2] FREITAS, A.R. Curvas de Crescimento na Produção Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p. 786-795, 2005
- [3] NETER, J. et al. **Linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental design**. 2.ed. USA: Richard D. Irwin, 1985, 1.125p.
- [4] RODRIGUES, L.J.; VILAS-BOAS, E.V.B.; PAULA, N.R.F.; ALCÂNTARA, E.M. Caracterização do desenvolvimento de pequi (*Caryocar brasiliense*) temporão do Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.3, p.260-265, jul./set. 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/4024/5372>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2014.
- [5] SAS Institute. **SAS Procedures guide for computers**. 6 ed. Cary, NC, v.3, 373p. 1999.
- [6] TERRA, M. F.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Ajuste dos modelos Logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos da tamareira-anã (*Phoenix roebelenii* O'BRIEN). **Magistra**, v. 22, n.1, 2010.