



Archivos de Zootecnia

ISSN: 0004-0592

archivoszootecnia@uco.es

Universidad de Córdoba

España

Nascimento, C.A.M.S.; Ribeiro, M.N.; Rocha, L.L.; Lucena, L.R.R.

Avaliação de curvas de crescimento em suínos

Archivos de Zootecnia, vol. 66, núm. 255, 2017, pp. 317-323

Universidad de Córdoba

Córdoba, España

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49553112001>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Avaliação de curvas de crescimento em suínos

Nascimento, C.A.M.S.<sup>1</sup>; Ribeiro, M.N.<sup>2</sup>; Rocha, L.L.<sup>3@</sup> e Lucena, L.R.R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>BEXT-UAST/UFRPE. Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Zootecnia. UFRPE. Recife. Pernambuco. Brasil.

<sup>3</sup>Unidade Acadêmica de Serra Talhada. UFRPE. Serra Talhada. Pernambuco. Brasil.

### PALAVRAS-CHAVE ADICIONAIS

Modelos de regressão.

Função não linear.

Idade.

Monogástrico.

### ADDITIONAL KEYWORDS

Regression models.

Non linear functions.

Age.

Monogastric.

### INFORMATION

Cronología del artículo.

Recibido/Received: 18.08.2016

Aceptado/Accepted: 07.01.2017

On-line: 15.07.2017

Correspondencia a los autores/Contact e-mail:

[laura\\_rocha77@yahoo.com.br](mailto:laura_rocha77@yahoo.com.br)

### RESUMO

Objetivou-se simular pesos de suínos machos e fêmeas (de 1 a 157 dias de idade) através da distribuição de probabilidade uniforme num intervalo [a,b]. Foram ajustados os modelos de regressão (logístico, potência, tangente hiperbólica, gamma e polinomial cúbico) para explicar a possível relação do peso com o número de dias dos suínos. Verificou-se que os modelos logístico, gamma e polinomial cúbico apresentaram as melhores estimativas para explicar o comportamento do peso dos suínos machos e fêmeas. O modelo logístico apresentou  $R^2=0,975$  e  $AIC=13,34$  para os machos e  $R^2=0,9787$  e  $AIC=10,16$  para as fêmeas. O modelo gamma apresentou grau de explicação de  $R^2=0,991$  e  $AIC=99,33$  para os machos e  $R^2=0,9941$  e  $AIC=90,602$  para as fêmeas, enquanto que o modelo polinomial cúbico apresentou  $R=0,9995$  e  $AIC=64,2$  para os machos e  $R^2=0,9995$  e  $AIC=31,728$  para as fêmeas. Optou-se pelo modelo polinomial cúbico para explicar o comportamento do peso simulado dos suínos, pois o mesmo apresentou  $R^2$  alto e baixo AIC além de menos parâmetros que os outros modelos.

### Cooling holding-pen for dairy cows under grazing pasture without shade access

### SUMMARY

This study aimed to simulate data to the weight of boar and sow pigs (1 to 157 days old) through the uniform probability distribution on an interval [a, b]. Five regression models (logistic, hyperbolic tangent, power, gamma and cubic polynomial) were adjusted to account for the possible weight ratio to the number of days of pigs. The logistic and gamma cubic polynomial models showed the best estimates to account for the behavior of boar and sow pigs. The logistic model showed  $R^2=0.975$  and  $AIC=13.34$  for boars and  $R^2=0.9787$  and  $AIC=10.16$  for sows. The gamma model presented a degree of explanation of  $R^2=0.991$  and  $AIC=99.33$  for boars and  $R^2=0.9941$  and  $AIC=90.602$  for sows, while the cubic polynomial model showed  $R^2=0.9995$  and  $AIC=64.2$  for boars and  $R^2=0.9995$  and  $AIC=31.728$  for sows. the cubic polynomial model was chosen to explain the behavior of the simulated weight of the pigs, whose model showed the best fit with fewer parameters than the other models.

### INTRODUÇÃO

Na suinocultura têm-se desenvolvido estudos sobre curvas de crescimento, sabendo-se que programas de melhoramento genético aliado às pesquisas nutricionais, podem alterar o comportamento biológico do crescimento desses animais, pois modificando-se a estrutura genética de uma população e alterando comportamento alimentar, observam-se mudanças significativas na estrutura de uma raça ou espécie.

Estudar o crescimento ou o desenvolvimento por meio de ajustamento de uma função que descreva todo o período de vida do animal, relacionando peso e idade, tem sido pesquisado por vários autores (Macedo *et al.*, 2014; Moraes *et al.*, 2015; Texeira *et al.*, 2012).

A curva descrevendo uma sequência de medidas de determinada característica de alguma espécie ou indivíduo em função do tempo, geralmente peso, altura ou diâmetro, é chamada de curva de crescimento (Fernan-

des *et al.*, 2012). Em geral, esse tipo de curva apresenta aspecto de crescimento exponencial ou sigmoidal (formato de "S"), que é modelado pela regressão não linear (Fernandes *et al.*, 2012).

As análises de dados de medidas repetidas são de fundamental importância na produção animal, pois incluem as situações em que as unidades experimentais ou indivíduos, de diferentes subpopulações, tratamentos (sexo, raça, entre outros), são analisados ao longo de diversas condições de avaliação tais como tempo, clima e umidade do ar (Freitas, 2005). Vários modelos têm sido propostos para explicar o crescimento biológico dos animais, podendo ser citadas as funções Brody, logística, Gompertz, Von Bertalanffy (Souza *et al.*, 2011; Ó *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2011).

Os estudos sobre curvas de crescimentos em animais vêm sendo explorado por vários autores como relatados em trabalhos de Vargas *et al.* (2006), que estudaram a modelagem da curva de crescimento em frangos, Morais *et al.* (2015) verificaram que o modelo quadrático logarítmico é o melhor para explicar o peso em relação a idade de frango, Silva *et al.* (2011) constataram que os modelos de Brody e Von Bertalanffy foram os mais adequados para explicar o crescimento de bovinos dos grupos genéticos Nelore, 1/2 Angus + 1/2 Nelore, 1/2 Canchim + 1/2 Nelore e 1/2 Simental + 1/2 Nelore. Já Souza *et al.* (2010) verificaram que o modelo logístico apresentou o melhor ajuste para descrever o peso dos bovinos da raça InduBrasil.

Na caprinocultura e ovinocultura destacam-se os trabalhos de Malhado *et al.* (2008) onde verificaram que os modelos de Von Bertalanffy, Gompertz e logístico apresentaram os melhores ajustes para descrever o peso dos caprinos da raça Anglo Nubiana criados na caatinga. Souza *et al.* (2011) constataram que os modelos de Von Bertalanffy, Brody e Richards foram os mais adequados para explicar o peso dos caprinos da raça Morada Nova criados no estado da Bahia. Texeira *et al.* (2012) observaram que o modelo de Richards e Brody foram os que apresentaram melhores estimativas para o crescimento do peso de cordeiros. Ó *et al.* (2012) observaram que os modelos de Gompertz e Von Bertalanffy apresentaram os melhores ajuste para explicar o crescimento dos ovinos da raça Santa Inês. Gbangboche *et al.* (2008) verificaram que o modelo de Brody foi o mais adequado para explicar o comportamento do peso de ovelhas criadas na África.

Na Suinocultura destacam-se os trabalhos de Freitas (2005) onde concluiu que o modelo de Gompertz foi o que melhor explicou o crescimento em suínos, já Oliveira *et al.* (2007) verificou que o modelo de Von Bertalanffy foi o que melhor explicou o crescimento do peso dos suínos em relação a idade, Luo *et al.* (2015), Macedo *et al.* (2014) e Sabbioni *et al.* (2009) verificaram que o modelo mais adequado ao crescimento de suíno foi o logístico. Vincek *et al.* (2012) observaram que o modelo de distribuição logística generalizada foi o que melhor explicou a curva de crescimento de suínos. Silva *et al.* (2013) verificaram que os modelos não lineares de Brody, Gompertz, Von Bertalanffy, Richards e logístico apresentaram estimativas bem próximas para previsão do crescimento de peso em suínos em sistema

semi-intensivo. Kohn *et al.* (2007) avaliaram que os modelos não lineares de Richards, logístico e Gompertz foram os que melhor se ajustaram ao peso dos leitões. Schinckel *et al.* (2003) verificaram que o modelo que melhor explicou a curva de crescimento dos suínos foi a exponencial quadrática.

Não há na literatura um consenso sobre qual modelo melhor explica o comportamento do ganho de peso em suínos relacionados com a idade. Assim, visando ampliar os estudos sobre o assunto, objetivou-se realizar uma análise através de uma série de modelos de regressão para modelar o crescimento do peso de suínos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### DADOS

Os dados foram simulados de acordo com valores de peso para suínos, machos e fêmeas, de acordo com os pesos encontrados na literatura, no período de 0 a 154 dias, num intervalo de sete em sete dias. Para cada período de tempo foram simulados cinco observações de uma variável aleatória com distribuição uniforme contínua e sua média calculada.

Seja  $X$  uma variável com distribuição de probabilidade uniforme num intervalo  $[a, b]$ , então definiu-se a função de densidade de probabilidade de  $X$  por:

$$f(x) = \frac{1}{b-a}; \text{ se } a \leq x \leq b$$

0; caso contrário

Para cada período de tempo foram selecionados de forma aleatória cinco observações da distribuição uniforme definida no intervalo  $[a, b]$  e depois calculado uma média desses valores utilizando a fórmula abaixo:

$$\bar{x} = a + (b-a)R$$

onde,  $a$  e  $b$  são o menor e o maior valor do peso do suíno para uma determinada idade e  $R$  é um valor aleatório entre 0 e 1, assim definimos os valores de pesos simulados. Por exemplo, para o período de tempo de 0 dias e sejam  $a=0,9$  e  $b=1,5$  e os valores aleatórios de  $R$  iguais a 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 e 0,95, respectivamente, então os pesos simulados são:

$$x_1 = 0,9 + (1,5 - 0,9)0,1 = 0,96$$

$$x_2 = 0,9 + (1,5 - 0,9)0,25 = 1,05$$

$$x_3 = 0,9 + (1,5 - 0,9)0,5 = 1,2$$

$$x_4 = 0,9 + (1,5 - 0,9)0,75 = 1,35$$

$$x_5 = 0,9 + (1,5 - 0,9)0,95 = 1,47$$

A média dos valores simulados é dado então por 1.206 e este valor então é o peso simulado para o tempo 0 dias. Os valores de  $a$  e  $b$  que geram os intervalos de

peso (Kg) em relação a idade (dias) e sexo dos suínos estão dispostos na **tabela I**. Na **figura 1** encontram-se os valores dos pesos simulados dos suínos de acordo com o sexo e idade, obtidos através da **tabela I**.

# MODELOS DE REGRESSÃO

Para avaliar a relação entre o ganho de peso dos suínos (machos e fêmeas) e a idade dos mesmos, foram propostos cinco modelos de regressão: logístico, potência, tangente hiperbólica, gamma e polinomial.

## MODELO LOGÍSTICO

Seja X uma variável aleatória com distribuição logística, define-se a função de densidade de probabilidade em (1).

$$f(x) = \omega \exp(\alpha + \beta X) / (\exp(\alpha) + \exp(\beta X))^2 \quad (1)$$

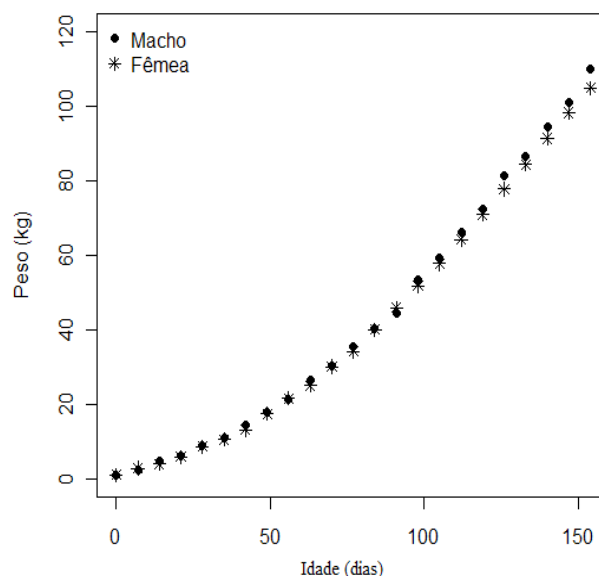
então, determina-se o modelo logístico por:

$$Y_i = \omega / (1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \text{dias}_i + \varepsilon_i)) \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (2)$$

onde,  $Y_i$  é o peso simulado do i-ésimo suíno após o nascimento;  $\text{dias}_i$  é o i-ésimo dia de avaliação e  $\varepsilon_i$  é o i-ésimo erro associado ao peso, em que apresenta dis-

**Tabela I.** Intervalos de pesos (kg) [a;b] dos suínos em relação ao sexo e idade (Weight ranges (kg) [a; b] of pigs in relation to sex and age).

Idade(dias)	Intervalos de pesos (kg) [a;b]	
	Machos	Fêmeas
0	[0,9; 1,6]	[0,9; 1,5]
7	[2,0; 3,0]	[2,5; 3,0]
14	[3,5; 5,0]	[3,8; 5,0]
21	[5,1; 7,3]	[5,1; 7,0]
28	[7,5; 9,5]	[7,5; 9,0]
35	[9,4; 12,0]	[9,6; 11,5]
42	[12,1; 16,0]	[12,5; 15,5]
49	[16,2; 20,0]	[16,8; 18,0]
56	[20,3; 24,0]	[20,9; 22,0]
63	[24,2; 28,5]	[24,0; 25,5]
70	[28,7; 32,0]	[28,5; 30,3]
77	[32,5; 38,0]	[34,0; 35,0]
84	[38,2; 43,0]	[39,0; 40,2]
91	[43,3; 49,0]	[44,2; 46,0]
98	[49,5; 56,0]	[50,0; 52,0]
105	[56,3; 61,0]	[57,0; 59,0]
112	[61,5; 69,0]	[63,8; 64,5]
119	[69,5; 77,0]	[69,5; 71,2]
126	[77,3; 83,0]	[76,4; 77,8]
133	[83,5; 91,0]	[83,0; 84,8]
140	[91,2; 98,0]	[90,0; 91,5]
147	[98,7; 106,0]	[96,9; 98,4]
154	[106,5; 115,0]	[103,8; 105,3]



**Figura 1.** Valores simulados dos pesos dos suínos em relação ao sexo (Simulated values of pig weight in relation to sex).

tribuição normal de média 0 e variância constante  $\sigma^2$ . As incógnitas  $\omega$ , e são os parâmetros associados ao modelo.

## MODELO POTÊNCIA

O modelo de regressão potência é definido em (3).

$$Y_i = \beta_0 \text{dias}_i^{\beta_1} \varepsilon_i \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (3)$$

onde,  $Y_i$  é o peso simulado do i-ésimo suíno após o nascimento;  $\text{dias}_i$  é o i-ésimo dia de avaliação e  $\varepsilon_i$  é o i-ésimo erro associado ao peso, em que apresenta distribuição normal de média 0 e variância constante  $\sigma^2$ . As incógnitas e são os parâmetros associados ao modelo.

## MODELO TANGENTE HIPERBÓLICA

Seja X uma variável aleatória com distribuição tangente hiperbólica, então define-se função de densidade de probabilidade em (4).

$$f(x) = \beta \gamma X^{\gamma-1} (1 - \tanh(\beta X^\gamma))^2 \quad (4)$$

logo, determina-se o modelo tangente hiperbólico por:

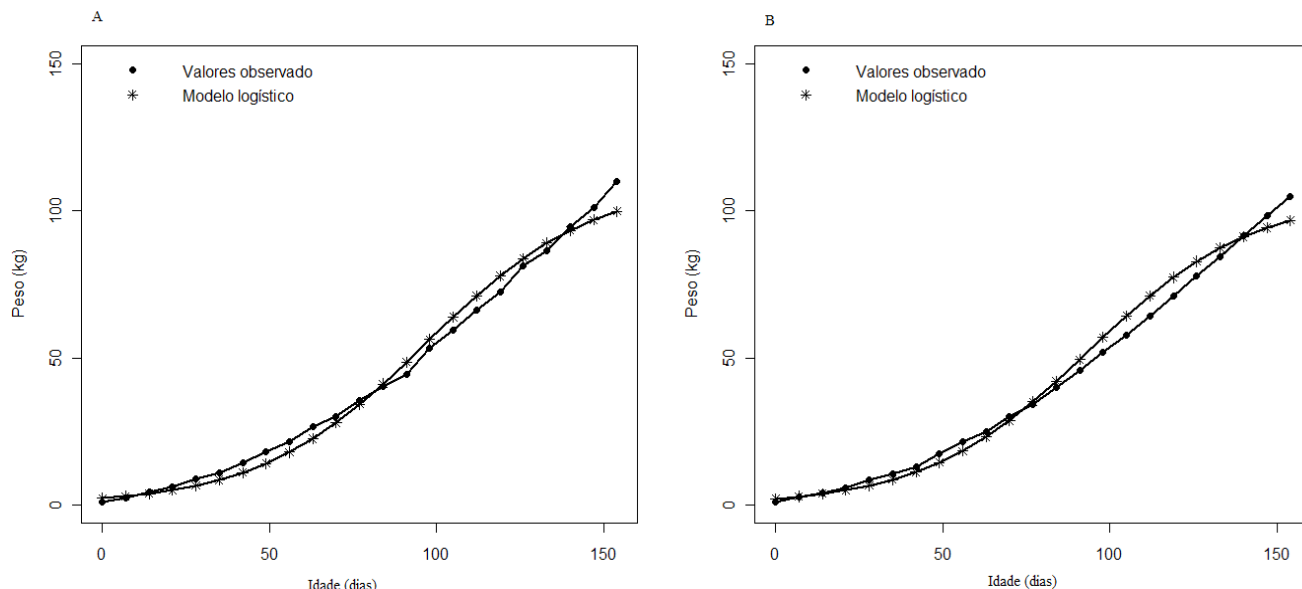
$$Y_i = \omega \tanh(\beta_0 \text{dias}_i^{\beta_1} \varepsilon_i) \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (5)$$

onde,  $Y_i$  é o peso simulado do i-ésimo suíno após o nascimento;  $\text{dias}_i$  é o i-ésimo dia de avaliação e  $\varepsilon_i$  é o i-ésimo erro associado ao peso, em que apresenta distribuição normal de média 0 e variância constante  $\sigma^2$ . As incógnitas  $\omega$ , e são os parâmetros associados ao modelo.

## MODELO GAMMA

Seja X uma variável aleatória com distribuição gamma, define-se a função de densidade de probabilidade em (6).

$$f(x) = 1 / (\Gamma(\alpha) \beta^\alpha) x^{\alpha-1} \exp(-x / \beta) \quad (6)$$



**Figura 2.** Ajuste do modelo de regressão logístico para peso simulados dos suínos machos (A) e fêmeas (B) (Adjustment of logistic regression model for the simulated weight of male (A) and female (B) pigs).

logo, determina-se o modelo gamma com função de ligação raiz quadrada por:

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 dias_i)^2 + \varepsilon_i \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (7)$$

onde,  $Y_i$  é o peso simulado do  $i$ -ésimo suíno após o nascimento;  $dias_i$  é o  $i$ -ésimo dia de avaliação e  $\varepsilon_i$  é o  $i$ -ésimo erro associado ao peso, em que apresenta distribuição gamma de parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$ . As incógnitas  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros associados ao modelo.

#### MODELO POLINOMIAL

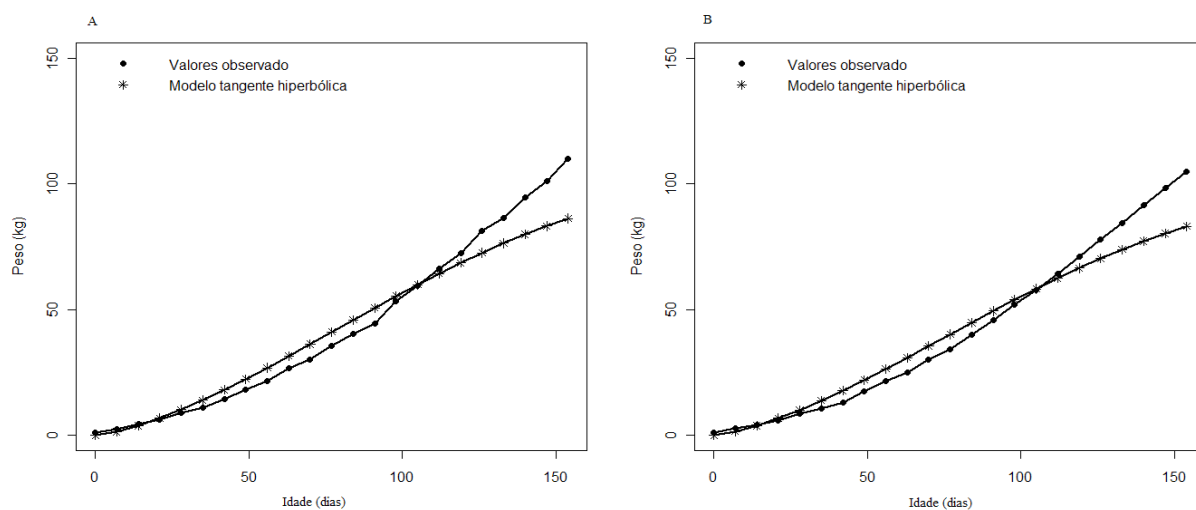
O modelo de regressão polinomial cúbico é definido por (8).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 dia_i + \beta_2 (dias_i)^2 + \beta_3 (dias_i)^3 + \varepsilon_i \quad i=1,2,3,\dots,7 \quad (8)$$

onde,  $Y_i$  é o peso simulado do  $i$ -ésimo suíno após o nascimento;  $dias_i$  é o  $i$ -ésimo dia de avaliação e  $\varepsilon_i$  é o  $i$ -ésimo erro associado ao peso, em que apresenta distribuição normal de média 0 e variância constante  $\sigma^2$ . As incógnitas  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$  são os parâmetros associados ao modelo.

#### CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MODELOS

Os modelos foram avaliados e escolhidos pelos seguintes critérios: maior coeficiente de determinação do



**Figura 3.** Ajuste do modelo tangente hiperbólica para peso dos suínos machos (A) e fêmeas (B) (Adjustment of the hyperbolic tangent model for the weight of male (A) and female (B) pigs).

**Tabela II. Modelos ajustados e critérios de adequação dos modelos para os suínos machos e fêmeas (Adjusted models and model suitability criteria for male and female pigs).**

Modelos	Equação ajustada	Critérios de adequação do modelo		
		R <sup>2</sup>	AIC	SQR
Machos				
Logístico	= 109,93/ 1+exp(3,874-0,041dias <sub>i</sub> )	0,975	13,34	305,73
Potência	=0,123 dias <sub>i</sub> <sup>1,32</sup>	0,9837	19,25	740,09
T. hiperbólica	= 109,93 tanh(0,00079 dias <sub>i</sub> <sup>1,429</sup> )	0,9618	3,38	34,813
Gamma	= (1,056+0,064 dias <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	0,991	99,33	239,667
P. cúbico	= 1,598+0,104 dias <sub>i</sub> +0,00492 dias <sub>i</sub> <sup>2</sup> -0,0000066 dias <sub>i</sub> <sup>3</sup>	0,9995	64,2	14,34
Fêmeas				
Logístico	= 104,96/ 1+exp(3,848-0,041dias <sub>i</sub> )	0,9787	10,16	331,108
Potência	=0,13 dias <sub>i</sub> <sup>1,3</sup>	0,9747	-9,95	775,223
T. hiperbólica	= 104,96 tanh(0,00085 dias <sub>i</sub> <sup>1,418</sup> )	0,9497	9,061	33,278
Gamma	= (1,105+0,062 dias <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	0,9941	90,602	145,232
P. cúbico	= 1,759+0,071 dias <sub>i</sub> +0,0055 dias <sub>i</sub> <sup>2</sup> -0,00001 dias <sub>i</sub> <sup>3</sup>	0,9999	31,728	8,887

modelo (R<sup>2</sup>), menores critérios de informação de Akaike (AIC) e soma de quadrados dos resíduos (SQR).

Seja o i-ésimo valor do peso dos suínos após ajuste do modelo, então defini-se a soma dos quadrados dos resíduos para este estudo pela seguinte expressão:

$$SQR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

O coeficiente de determinação do modelo (R<sup>2</sup>) é expresso pela razão entre a soma de quadrado do modelo (SQM) e a soma de quadrados total (SQT), ou seja,

$$R^2 = \frac{SQM}{SQT} = 1 - SQR/SQT = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

O critério de informação de Akaike (AIC) definido por Akaike (1974) é dado por:

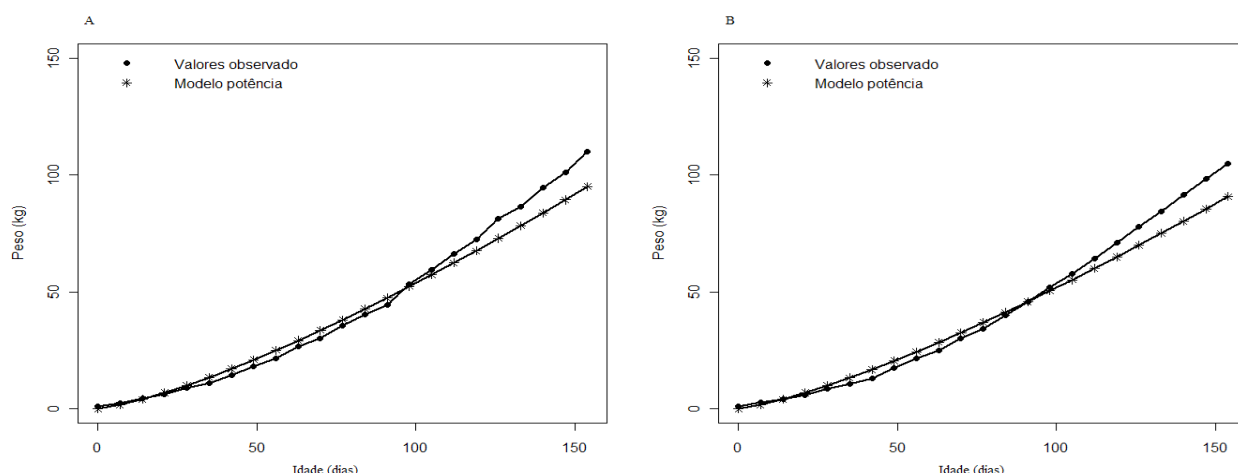
$$AIC = -2 \ln L(x \setminus \hat{\theta}) + 2(p)$$

onde, L(x \setminus \hat{\theta}) é a função de máxima verossimilhança, definida como sendo o produto da função de densidade e p é quantidade de parâmetros do modelo.

## RESULTADOS

Verificou-se que o modelo logístico apresentou estimativas satisfatórias dos pesos simulados dos suínos machos e fêmeas para todo o período de avaliação (**figura 2**). Tanto para os suínos machos como para as fêmeas o modelo logístico apresentou elevado poder de explicação (R<sup>2</sup>= 0,975 e 0,9787) e baixo AIC=13,34 e 10,16, respectivamente. O modelo ainda apresentou SQR= 305,73 (machos) e 331,108 (fêmeas) (**tabela II**). Apresentando comportamento similar aos pesos simulados dos suínos fêmeas até o 98º dia, entre o 98º e 133º dia, demonstrando ajustes superiores aos valores simulados, e após o 133º dia o modelo apresentou estimativas inferiores às observadas.

O modelo tangente hiperbólica apresentou estimativas próximas aos pesos simulados dos suínos machos e fêmeas até o 126º dia (**figura 3A e 3B**). Após o 126º dia o modelo passou a subestimar os valores observados. O modelo apresentou R<sup>2</sup>= 0,9618, AIC= 3,38 e SQR= 34,813 para os machos e R<sup>2</sup>= 0,9497, AIC= 9,061 e SQR= 33,278 para as fêmeas (**tabela II**). Assim, como o modelo tangente hiperbólica, o modelo potência apresentou ajuste



**Figura 4. Ajuste do modelo potência para peso dos suínos machos (A) e fêmeas (B) (Adjustment of the power model for the weight of male (A) and female (B) pigs).**

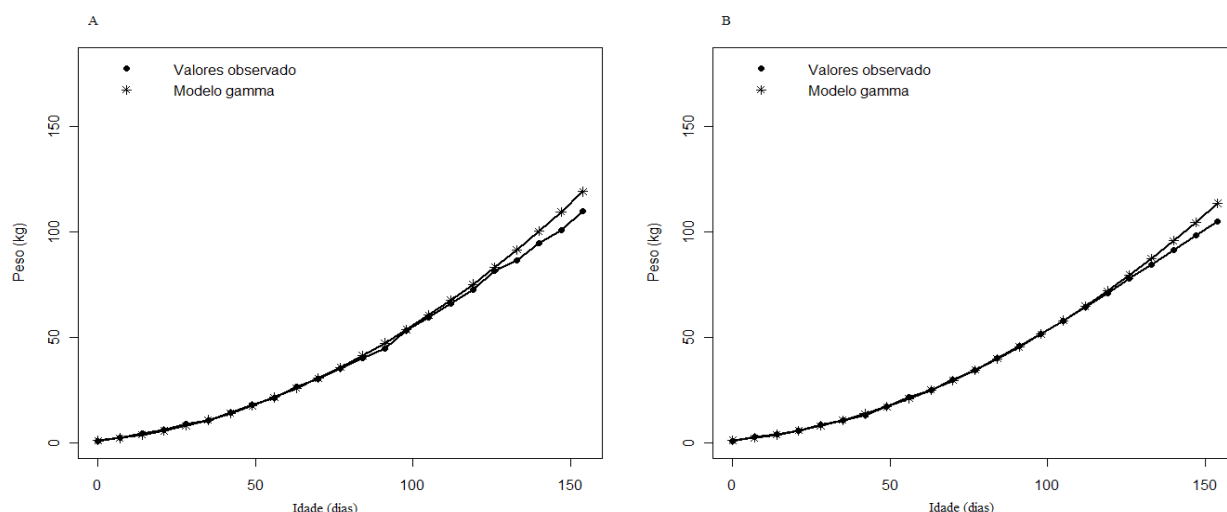
dos pesos dos suínos machos e fêmeas semelhantes aos simulados. Após o 126º dia o modelo passou a subestimar os valores observados (**figura 4A e 4B**), apresentando um  $R^2=0,9837$ ,  $AIC=19,25$  e  $SQR=740,09$  para os suínos machos e  $R^2=0,9747$ ,  $AIC=-9,95$  e  $SQR=775,223$  para os suínos fêmeas (**tabela II**). Os modelos (hiperbólico e potência) explicaram o peso simulado dos suínos machos e fêmeas apresentando bons ajustes até o 126º dia. Notou-se que o modelo gamma apresentou bons ajustes para explicar o peso simulado dos suínos machos e fêmeas em todo o período avaliado até o 133º dia (**figura 5A e 5B**). O modelo apresentou um alto poder de explicação tanto para os suínos machos ( $R^2=0,991$ ) como para as fêmeas ( $R^2=0,9941$ ),  $AIC$  de 99,33 para os machos e de 90,602 para as fêmeas e  $SQR$  de 239.667 para os machos e de 145.232 para fêmeas (**tabela II**).

Observou-se que o modelo polinomial cúbico apresentou bons ajustes tanto para os pesos dos suínos machos quanto para as fêmeas, tais ajustes são similares aos pesos simulados dos suínos machos e fêmeas em todo o período avaliado (**figura 6A e 6B**). Com excelente poder

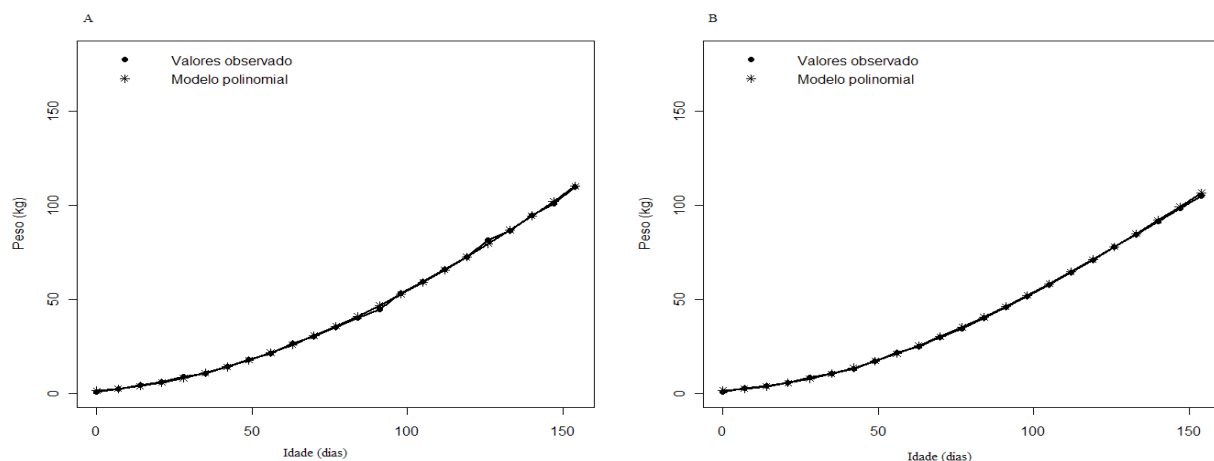
de explicação ( $R^2=0,9995$  para os machos;  $R^2=0,9999$  para as fêmeas),  $AIC=64,2$  para os machos e  $AIC=31,728$  para as fêmeas e  $SQR$  de 14,34 para os machos e 8,887 para fêmeas (**tabela II**).

## DISCUSSÃO

De acordo com os critérios de avaliação dos modelos ( $R^2$ ,  $AIC$  e  $SQR$ ), os que melhor se ajustaram ao comportamento do peso simulado foram o logístico, gamma e polinomial cúbico, tanto para o peso simulado dos suínos machos como para as fêmeas. Com os coeficientes de determinação para os modelos acima de 94%, demonstrando que os dados simulados no trabalho foram estimados adequadamente. Sendo, os modelos gamma e polinomial cúbico superiores a 0,99. Lopes *et al.* (2011) estudando a estimativa da curva de crescimentos em bovinos encontraram coeficientes de determinação semelhantes para o modelo logístico, apresentando taxa de crescimento inferior aos demais modelos a partir dos quatro meses. Já Luo *et al.* (2015) verificaram que os modelos logístico, Von Bertalanffy e



**Figura 5.** Ajuste do modelo de regressão gamma para peso dos suínos machos (A) e fêmea (B) (Adjustment of the gamma regression model for weight of male (A) and female (B)).



**Figura 6.** Ajuste do modelo de regressão polinomial cúbico para peso dos suínos machos (A) e fêmeas (B) (Adjustment of the cubic polynomial regression model for the weight of male (A) and female (B) pigs).

Gompertz apresentaram estimativas superiores a 99%, fornecendo precisões ótimas para o crescimento do peso dos suínos.

As avaliações com os cinco modelos propostos permitiram que se realizasse inferência sobre o estágio de desenvolvimento do suíno. Estudos vêm demonstrando que o uso de modelos aplicados ao desenvolvimento animal permitiu resultados satisfatórios quanto ao desenvolvimento do animal. A utilização do desenvolvimento dos tecidos ósseo, muscular e adiposo em suínos podem ser aplicados com boa acurácia para estudar curvas de crescimentos em suínos (Dutra Jr. *et al.*, 2001; Vincek *et al.*, 2012), havendo a necessidade de avaliar diferentes modelos e métodos estatísticos para que possam descrever com precisão o desenvolvimento do animal.

Vários são os parâmetros para a escolha do melhor modelo que explique o desenvolvimento do animal. Muíanga *et al.* (2013) para a determinação do modelo que explicasse melhor a curva de crescimento em suínos, escolheram os modelos que apresentaram os melhores valores para  $R^2_{ajd}$ , AIC e critério Bayesiano. Veloso *et al.* (2016) em estudos de modelos para descrever a curva de crescimento de frangos de corte, descreveram a qualidade dos ajustes dos modelos pelo critério de qualidade do coeficiente de determinação dos ajustes, critério de AIC e bayesiano, quadrado médio do erro e pelo índice de assintótico. Dentre os modelos estudados, o modelo polinomial cúbico foi definido como o que melhor explicou o comportamento dos pesos simulados dos suínos machos e fêmeas, tendo como critério de escolha o  $R^2$ , AIC e SQR, permitindo prever o peso de acordo com a idade do suíno, podendo ser utilizado em futuras avaliações de crescimento de suínos de corte, onde a curva estimada no modelo polinomial cúbico é igual para os dois sexos, o que não acontece nos demais modelos avaliados.

## CONCLUSÃO

Diversos fatores podem influenciar na qualidade do ajuste do modelo, como peso, idade, sexo, o manejo utilizado, a própria raça, o presente trabalho demonstrou que os critérios de escolha do modelo podem ser utilizados para futuros estudos de curvas de crescimento em suínos, auxiliando em programas de seleção.

## BIBLIOGRAFIA

Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans Automat Contr*, 19: 716-723.

Coutinho, C.C. 2014. Curvas de crescimento de características de carcaça obtidas por ultrassonografia em bovinos nelore selecionados para peso pós desmama. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu. 60 pp.

Dutra Jr., W.M.; Ferreira, S.; Donzele, J.L.; Euclydes, R.F.; Tarouco, J.U. e Cardoso, L.L. 2001. Predição de curvas de crescimento de tecidos de fêmeas suínas por intermédio da função alométrica estendida. *Rev Bras Zootecn*, 30: 1007-1014.

Fernandes, T.L.; Pereira, A.A. e Muniz, J.A. 2012. Comparação de modelos não-lineares no estudo das curvas de crescimento do caranguejo de água doce. *Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto*, 2: 2375-2387.

Freitas, A.R.D.E. 2005. Curvas de crescimento na produção animal. *Rev Bras Zootecn*, 34: 786-795.

Freitas, A.R.D.E. 2007. Estimativas de curva de crescimento na produção animal. Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos 68. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/17106/1/Documentos68.pdf>

Gbangboche, A.B.; Glele-Kakai, R.; Salifou, S.; Albuquerque, L.G. and Leroy, P.L. 2008. Comparison of non-linear growth models to describe the growth curve in West African dwarf sheep. *Animal*, 2: 1003-1012.

Kohn, F.; Sharifi, A.R. and Simianer, H. 2007. Modeling the growth of the goettingen mini pig. *J Anim Sci*, 85: 84-92.

Luo, J.; Lei, H.; Shen, L.; Yang, R.; Pu, Q.; Zhu, K.; Li, M.; Tang, G.; Li, X.; Zhang, S. and Zhu, L. 2015. Estimation of growth curves and suitable Slaughter weight of the Liangshan pig. *Asian Australas J Anim Sci*, 28: 1252-1258.

Macedo, L.R.; Silva, F.F.; Cirillo, M.A.; Nascimento, M.D.M.P.; Paes, S.E.F.G.; Lopes, O.S.; Santos, J.A. e Azevedo, C.F. 2014. Modelagem hierárquica bayesiana na avaliação de curvas de crescimento de suínos genotipados para gene halotano. *Rev Ciênc Rural*, 44: 1853-1859.

Malhado, C.H.M.; Carneiro, P.L.S.; Cruz, J.F.; Oliveira, D.F.; Azevedo, D.M.M.R. e Sarmento, J.L.R. 2008. Curvas de crescimento para caprinos da raça anglo-nubiana criados na caatinga: rebanho de elite e comercial. *Rev Bras Saúde Prod Anim*, 9: 662-671.

Morais, J.; Ferreira, P.B.; Jacone, I.M.T.D.; Mello, R.; Brenda, F.C. e Rorato, P.R.N. 2015. Curva de crescimento de diferentes linhagens de frango de corte caipira. *Rev Ciênc Rural*, 45: 1872-1878.

Muíanga, C.A.; Nascimento, M.D.A.S.; Fernandes, T.J. e Muniz, J.A. 2013. Ajuste dos modelos logístico e Gompertz aos dados de crescimento de suínos. Anais do XII Encontro Mineiro de Estatística. MGEST. Uberlândia.

Ó, A.L.; Neto, A.U.R.; Santos, G.V.; Sarmento, J.L.R.; Biagiotti, D.; Souza, J.E.R. 2012. Curva de crescimento de ovinos Santa Inês no vale do Gurgueial. *Rev Bras Saúde Prod Anim*, 13: 912-922.

Oliveira, L.A.J.V.B. e Bassanezi, R.C. 2007. Modelo de Von Bertalanffy generalizado aplicado ao crescimento de suínos de corte. *Biomatemática*, 17: 101-109.

Sabbioni, A.; Beretti, V.; Manini, R.; Cervi, C. and Superchi, P. 2009. Application of different growth models to "Nero di Parma" pigs. *Italian J Anim Sci*, 8: 537-539.

Schinkel, A.P.; Ferrell, J.; Einsten, M.E.; Pearce, S.A. and Boyd, R.D. 2003. Analysis of pig growth from birth to sixty days of age. Swine Research Report. Purdue University. 10 pp.

Silva, F.L.; Alencar, M.M.; Freitas, A.R.; Packer, I.U. e Mourão, G.B. 2011. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. *Pesq Agropec Bras*, 46: 262-271.

Silva, F.F.; Resende, M.D.V.; Rocha, G.S.; Duarte, D.A.S.; Lopes, P.S.; Brustolini, O.J.B.; Thus, S.; Viana, J.M.S. and Guimarães, S.E.F. 2013. Genomic growth curves of an outbred pig population. *Genet Mol Biol*, 36: 520-527.

Souza, L.A.; Caires, D.N.; Carneiro, P.L.S.; Malhado, C.H.M. e Filho, R.M. 2010. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no estado de Sergipe. *Rev Ciênc Agron*, 41: 671-676.

Souza, L.A.; Carneiro, P.L.S.; Malhado, C.H.; Paiva, S.R.; Caires, D.N. e Barreto, D.L.F. 2011. Curvas de crescimento em ovinos da raça morada nova criados no estado da Bahia. *Rev Bras Zootecn*, 40: 1700-1705.

Teixeira, M.C.; Villarroel, A.B.; Pereira, E.S.; Oliveira, S.M.P.; Albuquerque, I.A. e Mizubuti, I.Y. 2012. Curva de crescimento de cordeiros de três sistemas de produção na região nordeste do Brasil. *Rev Ciênc Agron*, 33: 2011-2018.

Vargas, G.D.; Dionello, N.L.; Brum, P.A.R.; Rutz, F. e Fialho, F.B. 2006. Modelagem de crescimento e do desenvolvimento de frangos de corte: validação. *Ciênc Rural*, 36: 1664-1669.

Veloso, R.C.; Winkelstroter, L.K.; Silva, M.T.P.; Pires, A.V.; Torres Filho, R.A.; Pinheiro, S.R.F.; Costa, L.S. e Amaral, J.M. 2016. Seleção e classificação multivariada de modelos não lineares para frangos de corte. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 68: 191-200.

Vincek, D.; Sabo, K.; Kusec, G.; Kralik, G.; Durkin, I. and Scitovski, R. 2012. Modeling of pig growth by S-function least absolute deviation approach for parameter estimation. *Archiv Tierzucht*, 55: 364-374.