



## **Elaboração e seleção de modelos matemáticos ajustados em função do crescimento de leitões até 49 dias de idade**

**Resumo:** Objetivou-se elaborar modelos de curvas de crescimento para leitões criados na região sudeste do estado do Pará e avaliar por meio de ferramentas matemáticas, quais modelos de curvas de crescimento melhor se ajustam para leitões. O trabalho foi desenvolvido no Setor de Suinocultura do Instituto Federal do Pará – IFPA, Campus Marabá Rural, localizada no município de Marabá. Foram utilizados 42 registros de peso corporal de leitões machos, pesados semanalmente até 35 dias de vida dos animais. Para ajuste das curvas de crescimento foram utilizados os modelos de Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz. Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo algoritmo de Gauss Newton. Os critérios utilizados para escolha do modelo de melhor ajuste da curva de crescimento foram o coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{SQ modelo}/\text{SQ do peso corporal}$ ), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC). Os resultados obtidos demonstram que somente o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos modelos não é ferramenta suficiente para a escolha de qual modelo obteve melhor ajuste aos dados de crescimento dos animais. Por outro lado, os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), apresentam-se como a ferramenta adequada para a escolha de um modelo matemático, principalmente por considerar os parâmetros do modelo na sua análise. Assim o modelo de melhor ajuste, segundo AIC e BIC foi o de Gompertz, seguidos dos modelos Logística; Richards e Bertalanffy, respectivamente. Os resultados observados no estudo evidenciam que para a curva de crescimento de leitões criados na região sudeste do estado do Pará, o modelo de Gompertz mostrou-se eficiente em simular condições corporais (peso vivo) dos animais até 49 dias de idade.

**Palavras-chave:** critério de Akaike, critério de BIC, modelos matemáticos, suínos

### **Introdução**

A produção de suínos apresenta grande relevância econômica no cenário brasileiro, pois é um grande fornecedor de proteína animal. A maioria dos sistemas de produção de suínos são mecanizados e o animal passa toda sua vida em instalações fechadas, isolados dos outros animais e em espaços reduzidos, levando o animal ao estresse (CARVALHO et al., 2013). Desta forma a exploração do máximo potencial genético, produtivo e reprodutivo do animal, torna-se um grande desafio para a atividade suinícola.

De modo geral, é comum o uso de modelos matemáticos, na produção animal para descrever funções biológicas, como o crescimento, o que tem se mostrado bastante útil, principalmente nas pesquisas de melhoramento genético (DRUMOND et al., 2013). Assim, variáveis quantitativas são tomadas para representar fatores que influenciam o fenômeno (RONDON et al., 2002). A propriedade essencial das funções de crescimento é que a informação contida em um número de pontos, dados pelas coordenadas do peso e tempo, podem ser sumarizadas em poucos parâmetros com interpretação biológica, fornecendo estimativas de taxas de crescimento, grau de maturidade e tamanho à maturidade (LAIRD; HOWARD, 1967). Desse modo, vários modelos matemáticos não lineares são utilizados para descrição do crescimento dos animais, dentre eles, destacam-se Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz. No entanto, questiona-se qual é o melhor modelo a ser adotado.

Diante da necessidade de conhecer as condições para a produção de suínos no estado do Pará, o trabalho teve como objetivo elaborar modelos de curvas de crescimento para leitões criados na região sudeste do estado do Pará e avaliar por meio de ferramentas matemáticas, quais modelos de curvas de crescimento se ajustam para leitões criados nesta região.



### Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Setor de Suinocultura do Instituto Federal do Pará – IFPA, Campus Marabá Rural, localizada no município de Marabá. Onde o clima é classificado como equatorial, apresentando temperatura anual média de 26,3 °C, máxima em torno de 31,7°C e mínima de 22,1°C, com duas estações climáticas bem definidas pelo regime sazonal de chuvas e verões extremamente quentes.

Foram utilizados 42 registros de peso corporal de leitões machos, pesados semanalmente até 35 dias de vida dos animais. Os leitões foram alojados em baias convencionais na companhia da mãe durante o período de estudo. Durante todo o período experimental os animais tiveram como principal alimentação o leite materno.

Para ajuste das curvas de crescimento foram utilizados os modelos de Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz. Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo algoritmo de Gauss Newton, descrito por Hartley (1961), por meio do procedimento “nls” do *Software R* (2014).

Os critérios utilizados para escolha do modelo de melhor ajuste da curva de crescimento foram o coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{SQ modelo/SQ do peso corporal}$ ), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC) (BURNHAM; ANDERSON, 2004). Todas as análises estatísticas foram realizadas considerando-se um nível de significância de até 5% de probabilidade utilizando-se o *Software R* (2014).

### Resultados e Discussão

As equações ajustadas e os critérios para a seleção de melhor ajuste dos modelos de crescimento ( $R^2$ , AIC e BIC), encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações ajustadas e critérios para a seleção de modelos

Modelo	$R^2$	AIC	BIC
<b>Gompertz</b> $PV = 20,2744e^{-0,1621e(-7,5101t)}$	0,99	84,02	89,23
<b>Bertalanffy</b> $PV = 56,2895 (1 - 0,774e^{-0,06t})^3$	0,99	86,00	92,95
<b>Logística</b> $PV = 15,0883 (1 - 0,2309e^{-0,2309t})^{-4,3994}$	0,99	84,03	89,24
<b>Richards</b> $PV = 61,4954 (1 - 0,9681e^{-0,0114t})^2$	0,99	85,98	92,93

‘e’ = base do logaritmo neperiano (número de Euler); ‘t’ = tempo em dias; ‘ $R^2$ ’ = coeficiente de determinação; ‘AIC’ = critério de Informação de Akaike e ‘BIC’ = Critério de Informação Bayesiano.

Ao analisarmos os dados de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) quando comparado os quatro modelos estudados, observou-se ajustes semelhantes. Ludwig, Silva e Oliveira (1981), também observaram bons ajustes analisando quatro modelos exponenciais para estudo de crescimento do gado Nelore, apresentando coeficientes de determinação próximos a 0,99. Nos estudos de Freitas e Costa (1983), ao comparar cinco funções não lineares para curvas de crescimento com suínos, os autores observaram que as funções de Von Bertalanffy e Logística apresentaram valores altos para  $R^2$ , possuindo, portanto, bons ajustes.

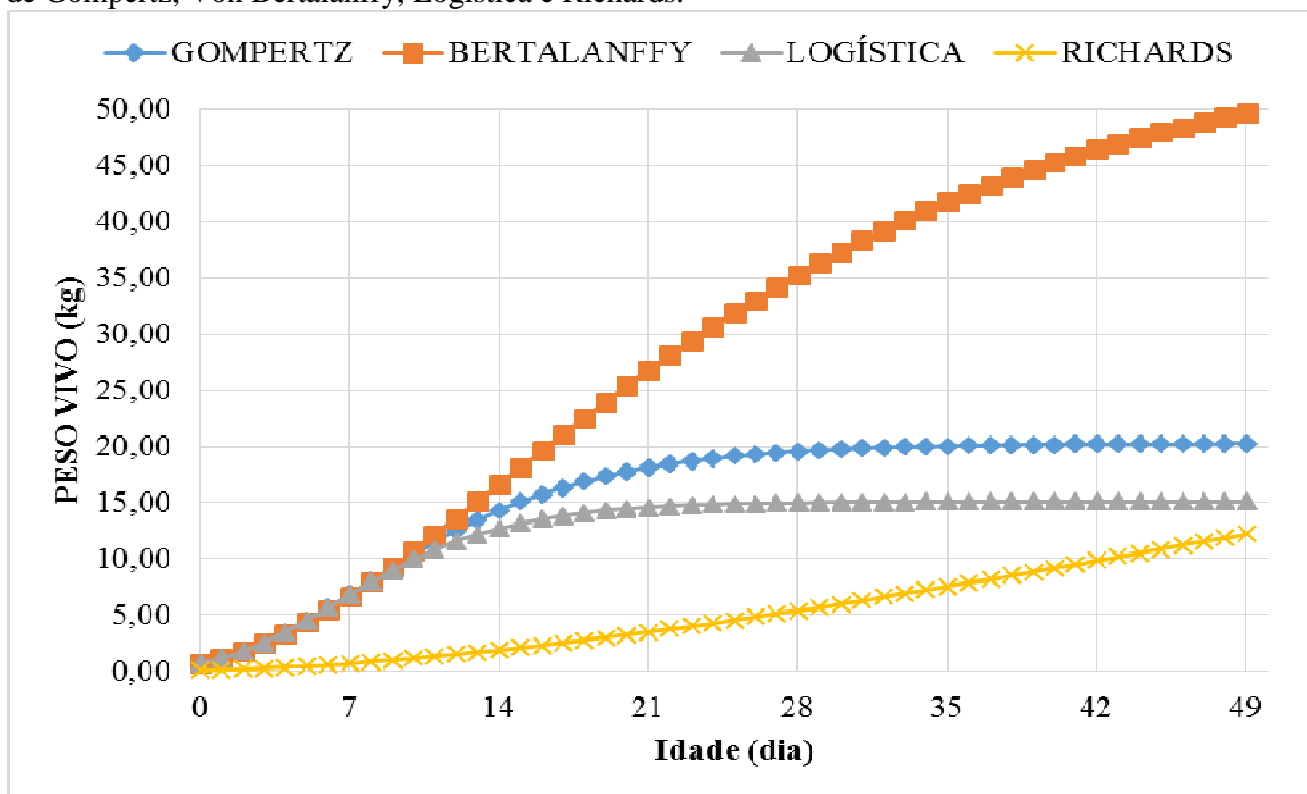
Com relação aos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), ambos apresentaram como o modelo de melhor ajuste o de Gompertz, seguidos dos modelos Logística; Richards e Bertalanffy, respectivamente. A ideia básica na utilização do AIC e do BIC é selecionar um modelo que seja parcimonioso, ou segundo as palavras de Paula (2005), que esteja bem ajustado



e tenha um número reduzido de parâmetros. Assim, como o máximo do logaritmo neperiano da função de verossimilhança cresce com o aumento do número de parâmetros do modelo, uma proposta plausível é encontrar o modelo com menor valor para a função.

Ao analisarmos os parâmetros, os valores de peso corporal apresentaram valores crescentes e superestimados para o modelo de Bertalanffy após a segunda semana (14º dia) de vida dos animais (Figura 1). Para os modelos de Gompertz e Logística os valores de peso vivo mantiveram-se crescentes até a segunda semana (14º dia), no qual a partir desse momento, ambos os modelos apresentaram comportamento semelhante na curva de crescimento dos animais.

Figura 1 – Estimativa do peso vivo de leitões em função da idade obtido pelos modelos não lineares de Gompertz, Von Bertalanffy, Logística e Richards.



Em resumo, o modelo de Gompertz proporcionou valores bem próximos aos do modelo Logístico, apresentando, respectivamente, os melhores ajustes, conforme AIC e BIC. O modelo de Bertalanffy apresentou valores superestimados, pois o valor da medida do peso assintótico e da proporção do crescimento assintótico apresentaram-se altos.

O modelo de Richards apresentou uma leve subestimação do peso vivo dos animais quando os dados foram simulados até 49 dias de vida, entretanto sendo mais condizente com a resposta biológica de leitões nesta fase de crescimento (até 49 dias) do que o modelo de Bertalanffy. Modelos com menor nível de ajustamento repercutem em superestimação ou subestimação na predição de peso (ROCHA-SILVA et al., 2016).

### Conclusão

Os resultados observados no estudo evidenciam que para a curva de crescimento, o modelo que melhor se ajustou foi o de Gompertz, mostrando-se eficiente em simular condições corporais (peso vivo) dos leitões até 49 dias de idade.



### Referências

- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological Methods and Researchers**, v.33, n.2, p.261-304, 2004.
- CARVALHO, C. M. C., et al. Bem-estar na suinocultura. **Revista Eletronica Nutritime**, v.11, n.2, p.2272-2286, 2013.
- DRUMOND, E. S. C., et al. Curvas de crescimento para codornas de corte. **Ciência Rural**, v.43, n.10, p.1872-1877, 2013.
- FREITAS, A.R.; COSTA, C.N. Ajustamento de modelos não-lineares a dados de crescimento de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.10, 147-1154. 1983.
- HARTLEY, H. O. The modified Gauss-Newton method for the fitting of nonlinear regression functions by least squares. **Thechnometrics**, v.3, p.269-280, 1961.
- LAIRD, A.K.; HOWARD, A. Growth curves in inbred mice. **Nature**, v.213, n.5078, p.786-788, 1967.
- LUDWIG, A.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, L. M. Ajustamento de modelos estatísticos exponenciais ao crescimento de gado Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.2, p.297-302, 1981.
- PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística. Universidade de São Paulo. 2005. Disponível em: [http://www.ime.usp.br/~giapaula/texto\\_2010.pdf](http://www.ime.usp.br/~giapaula/texto_2010.pdf). Acesso em 17 de julho de 2016.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. URL <http://www.Rproject.org/>.
- ROCHA-SILVA, M., et al. Curva de crescimento de codornas de corte por meio de modelos de regressão não-lineares. **Archives of Veterinary Science**, v.21, n.4, p.26-34, 2016.
- RONDÓN, E. O., et al. Modelagem Computacional para Produção e Pesquisa em Avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**. v.4, n.1, p.199-207, 2002.