

APLICAÇÃO DE MODELOS NÃO-LINEARES NO AJUSTE DE CURVAS DE CRESCIMENTO EM FÊMEAS OVINAS (*Ovis áries*) DA RAÇA SANTA INÊS CRIADAS NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE/RJ¹

VIVIAN ALVES COSTA AFONSO², CELIA RAQUEL QUIRINO³, RICARDO LOPES DIAS DA COSTA⁴, ROBERTO MACHADO CARNEIRO DA SILVA⁵

¹Recebido para publicação em 02/03/09. Aceito para publicação em 29/10/09.

²Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”(UNESP), Araçatuba, Rua Clóvis Pestana, 793, CEP 16050-680, Araçatuba, SP, Brasil. E-mail: vivianveterinaria@hotmail.com

³Laboratório de Reprodução e Melhoramento Genético Animal (LRMGA), Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Av. Alberto Lamego 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁴Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Extremo Oeste (PRDTA), Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA), Estrada Vicinal Nemezião de Souza Pereira km 6, Caixa postal 67, CEP 16900-000, Andradina, SP, Brasil.

⁵Programa de Pós-Graduação, LRMGA, CCTA, UENF, Av. Alberto Lamego 2000, CEP 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

RESUMO: Foram ajustadas funções não-lineares às curvas de crescimento de fêmeas ovinas da raça Santa Inês criadas na região Norte Fluminense, identificando o modelo que melhor descreve o crescimento dos ovinos e verificando a precocidade de crescimento desses animais. O trabalho foi realizado no município de São João da Barra, Estado do Rio de Janeiro. Foram registrados os pesos e as idades dos animais desde o nascimento até a idade adulta. Posteriormente as idades foram utilizadas para categorizar a faixa etária dos animais: de 0, 5, 15, 20, 30, 45, 55, 70, 95, 150, 180, 270, 365 e 740 dias. Ajustaram-se aos dados diferentes curvas de crescimento e estimaram-se os parâmetros das mesmas por regressão não-linear, pelo procedimento NLIN do SAS (1999). Dentre as funções não-lineares de Brody, Logística, Gompertz, Von Bertalanffy e Richards, a função de Gompertz foi a que melhor descreveu o crescimento das fêmeas da raça Santa Inês. Esse bom ajuste e estimativas próximas com a realidade da região minimizaram as dificuldades computacionais.

Palavras-chave: curvas de crescimento, idade, ovinos, peso, Santa Inês

APPLICATION OF NONLINEAR MODELS IN THE GROWTH ADJUSTMENT CURVES OF SHEEP RAISED IN THE NORTH FLUMINENSE AREA

ABSTRACT: The aim of this work was to adjust growth curves of Santa Inês females raised in the North Fluminense area, to determine the model which best describes the growth of the females sheep, and to evaluate the maturing rate precocity of those animals. The data were collected in São João da Barra city, Rio de Janeiro State. The results of the animal from birth to maturity were weights and ages. The animal ages were divided into groups: of 0, 5, 15, 20, 30, 45, 55, 70, 95, 150, 180, 270, 365 and 740 days. Animal's body weight of each age group was used to adjust growth curves and to estimate the curve parameter by nonlinear regression, using NLIN procedure (SAS, 1999). There were used Brody, Logistic, Gompertz, Von Bertalanffy and Richards functions to adjust the data. The function of Gompertz was the one that best described Santa Inês growth. It showed a good adjustment and closer estimative from the region reality, computational minimizing the difficulties.

Key words: growth curve, age, sheep, weight, Santa Inês

INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da ovinocultura, no Sudeste brasileiro, tem demonstrado grande potencial de crescimento, o que faz com que o cordeiro seja um produto com boa aceitação pelo consumidor final. É importante salientar que, de acordo com McMANUS *et al.*, (2003), existe um crescente interesse no consumo de carne ovina por todo o país. O processo de crescimento dos animais é um fenômeno complexo, sendo de grande importância para a área de zootecnia. O peso dos animais é uma das características usadas para mensurar o processo do crescimento, sendo muito importante nos programas de seleção.

Relações matemáticas entre o tamanho do animal e o tempo, denominadas de curvas de crescimento, têm sido propostas por diversos pesquisadores (FITZHUGH JR., 1976, McMANUS *et al.*, 2003). Geralmente as curvas de crescimento são estudadas por meio do ajuste de funções não-lineares, pois desta maneira é possível sintetizar informações de todo o período da vida dos animais, ou seja, pode-se trabalhar com um conjunto de informações em série de peso por idade, que serão quantificados num conjunto de parâmetros interpretáveis biologicamente, facilitando assim, o entendimento do fenômeno de crescimento (FITZHUGH JR, 1976).

O conhecimento dos parâmetros da curva de crescimento para a raça Santa Inês é essencial para a formação de programas de melhoramento genético da raça e para um melhor entendimento do desenvolvimento destes animais, para que se possam sugerir possíveis mudanças nos sistemas de produção desta raça, referentes às áreas de nutrição e reprodução de ovinos.

A aplicação de modelos não-lineares para o ajuste de curvas de crescimento em ovinos da raça Santa Inês está sendo bastante estudada no Brasil (McMANUS *et al.*, 2003; FREITAS 2005; SARMENTO *et al.*, 2006).

Na região Norte Fluminense, ainda não se tem realizado estudos sobre curvas de crescimento, pois muitas propriedades rurais não realizam pesagens de seus animais e não têm escrituração zootécnica.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de estudar e comparar funções de crescimento para peso e idade de fêmeas ovinas da raça Santa Inês, criadas na região Norte Fluminense e determinar qual

é a função que melhor se ajusta aos dados, além de estimar os parâmetros da mesma.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de registro dos dados e manejo dos animais

O experimento foi realizado numa propriedade localizada no município de São João da Barra, Estado do Rio de Janeiro em uma latitude sul de 21° 38' 25'' e altitude de 5 metros do nível do mar. A propriedade possui infraestrutura de currais de cama de areia, totalizando cerca de 200 animais. Após a parição as fêmeas e suas crias, receberam, em sua alimentação, nos primeiros 15 dias de lactação o capim elefante (*Penisetum purpureum*) picado no cocho e uma pequena quantidade de farelo de trigo até a época de desmame, realizada quando os animais atingem cerca de 15 Kg de peso vivo. Após 16 dias, as mães eram soltas em pasto nativo durante o dia, sendo recolhidas e presas novamente nas baias, durante a noite. Água e sal mineral para ovinos eram fornecidos "ad libitum". As fêmeas permaneciam com os machos durante todo o ano, sendo utilizados três reprodutores para cobertura.

Após desmame, os animais permaneceram em regime de pastejo exclusivo em capim furachão (*Panicum repens*).

Registro dos dados e de animais do experimento

Os pesos e as idades de fêmeas foram registradas desde o nascimento até a idade adulta, durante os anos de 2004, 2005 e início de 2006, totalizando 2432 observações. As idades foram utilizadas para categorizar a faixa etária dos animais: 0, 5, 15, 20, 30, 45, 55, 70, 95, 150, 180, 270, 365 e 740 dias. Foram realizadas pesagens individuais das cordeiras ao nascimento, a cada 15 dias e mensalmente nas ovelhas adultas, com o uso de uma balança mecânica. O peso dos animais para cada idade foi usado para ajustar diferentes curvas de crescimento e estimar os parâmetros das funções por regressão não-linear, utilizando o método de Gauss-Newton modificado pelo procedimento NLIN do SAS (1999). A curva de crescimento média foi obtida a partir das idades e dos pesos dos animais.

Funções não-lineares de crescimento

As funções não-lineares mais utilizadas para des-

crever o crescimento de ovinos de produção são as de Gompertz, Brody, Logística, Von Bertalanffy e Richards (McMANUS *et al.*, 2003; GUEDES *et al.*, 2004; FREITAS, 2005; SARMENTO *et al.*, 2006). As quatro primeiras funções apresentam três parâmetros interpretáveis biologicamente sendo que a função de Richards apresenta um quarto parâmetro. A interpretação dos parâmetros das funções está descrita nas seguintes publicações (McMANUS *et al.*, 2003; GUEDES *et al.*, 2004,2005; SARMENTO *et al.*, 2006):

Gompertz: $P = A \exp(-B \exp - kt)$;

Brody: $P = A (1 - B \exp - kt)$;

Logística: $P = A / (1 + B \exp - kt)$;

Von Bertalanffy: $P = A (1 + B \exp - kt)^3$

Richards: $P = A (1 - B \exp - kt)M$.

- ♦ P: peso corporal aos t dias de idade;
- ♦ Parâmetro A: definido como peso assintótico ou peso adulto, representa a estimativa do peso à maturidade;
- ♦ Parâmetro B: é uma constante de integração, relacionado aos pesos iniciais do animal, indicando a proporção do peso assintótico a ser ganho depois do nascimento, estabelecidos pelos valores iniciais de P (peso) e t (tempo);
- ♦ Parâmetro K : corresponde ao índice de maturidade, determina a eficiência do crescimento do animal, indicador da velocidade com que o animal se aproxima da idade adulta;
- ♦ Parâmetro M: considerado o quarto parâmetro, denominado parâmetro de inflexão e que dá forma à curva, refere-se ao ponto em que o animal passa de uma fase de crescimento inibitório, indicando o ponto a partir do qual passa a crescer com menor eficiência.

O ponto de inflexão M está representado somente na função de Richards. O ponto de inflexão é definido como A/2 na função Logística, como A/e no modelo de Gompertz e como A/3 no modelo de Von Bertalanffy (FITZHUGH JR., 1976). A função de Brody não apresenta ponto de inflexão. Os critérios para se-

leccionar a melhor função de crescimento em ovinos têm sido relatados por SANTOS *et al.*, (2003), GUEDES *et al.*, (2004), FREITAS (2005), SARMENTO *et al.*, (2006), e são os seguintes:

- ♦ o Quadrado Médio dos Resíduos (QMR): calculado dividindo-se a Soma de Quadrados do Resíduo (SQR), obtida pelo SAS, pelo número de observações;
- ♦ o Coeficiente de Determinação (R²): calculado como o quadrado da correlação entre os pesos observados e estimados, que é equivalente a equação: $1 - (SQR/SQTc)$, onde SQR é a Soma de Quadrados do Resíduo e SQTc a Soma de Quadrados Total corrigida pela média;
- ♦ o percentual de convergência;
- ♦ a análise gráfica dos resíduos;
- ♦ o Desvio Médio Absoluto dos Resíduos (DMA): estatística para avaliar a qualidade de ajuste.

Estimativas dos parâmetros de crescimento são obtidas usando o método de Gauss-Newton modificado no procedimento NLIN do SAS (BATHAEI e LEROY, 1998, McMANUS *et al.*, 2003, GUEDES *et al.*, 2004, TOPAL *et al.*, 2004). De acordo com SARMENTO *et al.*, (2006), o modelo Richards não deve ser escolhido para representar curva média, visto que a diferença em qualidade de ajuste não supera a dificuldade em atingir convergência, possivelmente por esse modelo necessitar estimar um parâmetro a mais. Dificuldade de convergência com o modelo Richards foi relatada por BRACCINI NETO *et al.*, (1996), evidenciando que, apesar da maior flexibilidade, por não fixar o ponto de inflexão, esse modelo apresenta maiores dificuldades no processo iterativo em seu ajustamento.

Para a comparação dos modelos das curvas de crescimento foram seguidos os seguintes critérios de acordo com SANTOS *et al.*(2003), FREITAS (2005) e SARMENTO *et al.*, (2006).

1. dificuldade computacional: baseado no número de iterações (nº Iter.) necessárias para alcançar a convergência e pelo tempo de cálculo;
2. qualidade do ajustamento do modelo aos dados através da soma de quadrados dos resíduos (SQR)

e coeficiente de determinação (R^2) e da observação entre os pesos observados e os pesos estimados pelas diferentes funções utilizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as médias e desvios-padrão dos parâmetros A, B e K, as somas de qua-

drados de resíduos (SQR), os coeficientes de determinação (R^2) para as diferentes funções estudadas e o número de iterações necessárias para alcançar a convergência (N° Iter). Pode-se observar que as funções de Von Bertalanffy, Gompertz e Brody, tem ajustado de forma similar, com valores próximos do parâmetro A, SQR e R^2 , entretanto apresentam diferentes taxas de crescimento (K).

Tabela 1. Parâmetros estimados do crescimento de fêmeas ovinas da raça Santa Inês de acordo com diferentes funções estudadas

Função	A	B	K	SQR	R^2	n° Iter.
Logística	41,86±0,18	6,72±0,12	0,018±0,0002	6,11	0,99	7
Gompertz	44,15±0,19	2,41±0,02	0,011±0,0001	4,63	0,99	6
Brody	49,29±0,29	0,99±0,003	0,005±0,0007	4,64	0,99	7
von Bertalanffy	49,29±0,29	-0,99±0,003	0,002±0,0002	4,64	0,99	9

A: peso assintótico; B: constante de integração; K: taxa de crescimento; SQR: soma dos quadrados dos resíduos; R^2 : coeficiente de determinação; N° Iter: número de iterações

A função de Gompertz apresentou menor número de iterações (N° Iter) até alcançar a convergência e menor tempo computacional. As funções Logística e de Gompertz, apresentaram o peso à maturidade (A) próximos aos observados e as funções de Brody e de Von Bertalanffy superestimaram o peso à maturidade (A). A função de Richards apresentou maior tempo para realizar a convergência, ou seja, maiores dificuldades computacionais sendo que finalmente não alcançou a convergência. FITZHUGH JR. (1976), BRACCINI NETO *et al.*, (1996), SARMENTO *et al.*, (2006), alertam sobre a dificuldade de convergência da função de Richards.

Para testar as funções estudadas e determinar qual é a que melhor ajusta, calcularam-se os pesos estimados pelos parâmetros encontrados, nas diferentes funções consideradas e comparados com o peso observado (Figura 1).

As funções Logísticas e Gompertz superestimaram o peso ao nascer, e a função de Von Bertalanffy juntamente com a de Brody subestimaram o mesmo. Com relação aos pesos nas outras faixas etárias pode-se observar que todos os pesos estimados pelas funções Logística, Gompertz, Brody e Von Bertalanffy ajustaram-se com valores próximos. Para o peso a idade adulta (740 dias), as funções Logística e de Gompertz apresentaram valores próximos aos pesos observa-

dos, enquanto que as funções de Brody e de Von Bertalanffy superestimaram o peso aos 740 dias (Figura 2).

É importante salientar que o peso adulto dessas fêmeas é menor do que ao relatado na literatura e isto é devido ao tipo de manejo nutricional ao qual eram submetidos esses animais, com um manejo extensivo permanecendo em piquetes de pastagem nativa e sem suplementação mineral.

Os pesos ajustados pela função de Gompertz se mostraram mais próximos aos pesos observados, apresentando o menor SQR, o menor tempo e o menor número de iterações até atingir a convergência, sendo esta portanto, a função escolhida para representar o crescimento de fêmeas ovinas da Raça Santa Inês (Figura 3).

Segundo McMANUS *et al.*, (2003), a curva recomendada para ajustar dados de crescimento de ovinos da raça Bergamácia foi a Logística. SANTOS *et al.*, (2003), concluíram que a curva de crescimento descrita pelo modelo de Gompertz foi a que melhor ajustou os dados de peso e idade de cordeiros da raça Bergamácia.

Estudos feitos com ovinos de raças oriundas da Turquia, concluíram que as melhores funções não-lineares foram as de Gompertz e de Von Bertalanffy, para as raças, Morkaraman e Awassi respectivamente

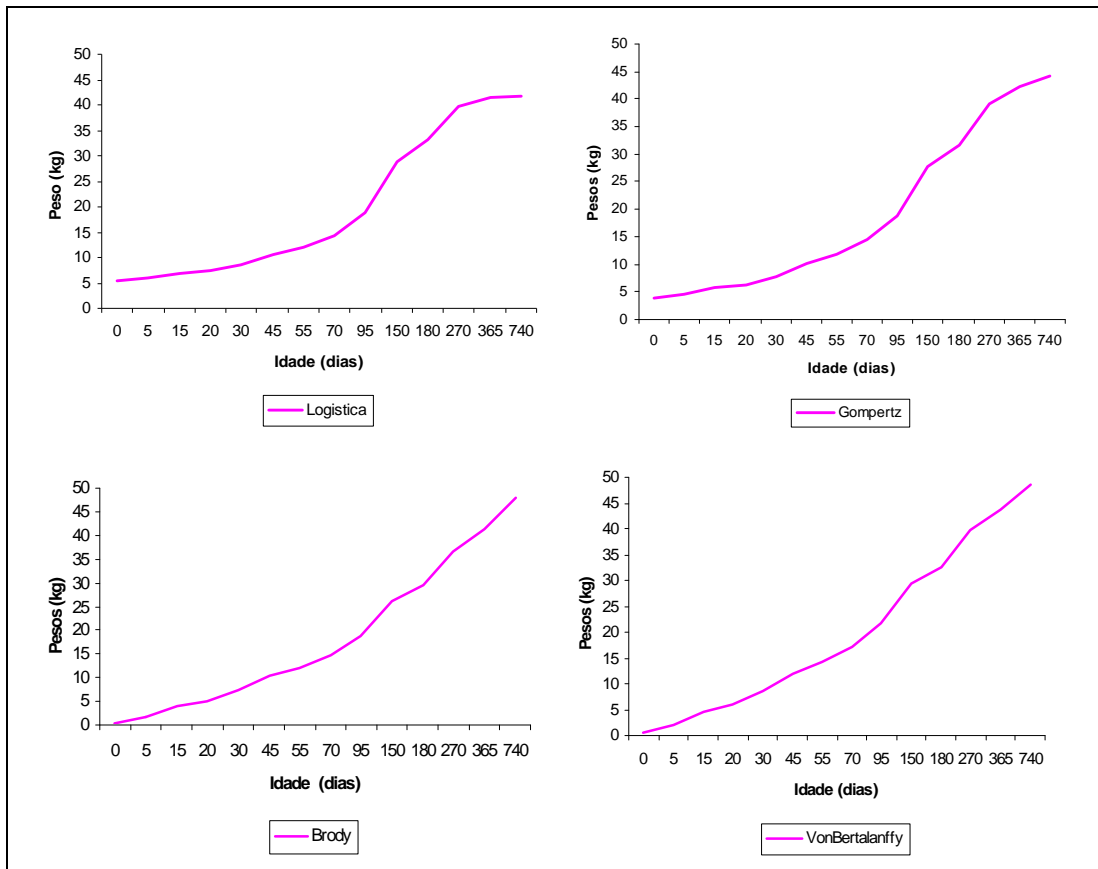


Figura 1. Curva de crescimento de fêmeas ovinas da raça Santa Inês, na região Norte Fluminense/RJ, de acordo com as funções Logística, Gompertz, Brody e Von Bertalanffy

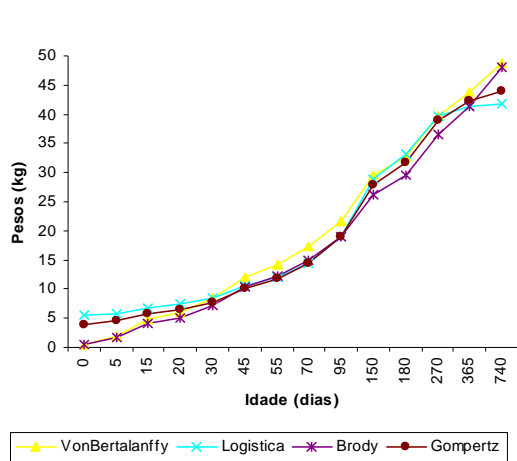


Figura 2. Médias de pesos observados, em kg, em função da idade, em fêmeas ovinas da raça Santa Inês, obtidas dos modelos Logística, Gompertz, Brody e Von Bertalanffy

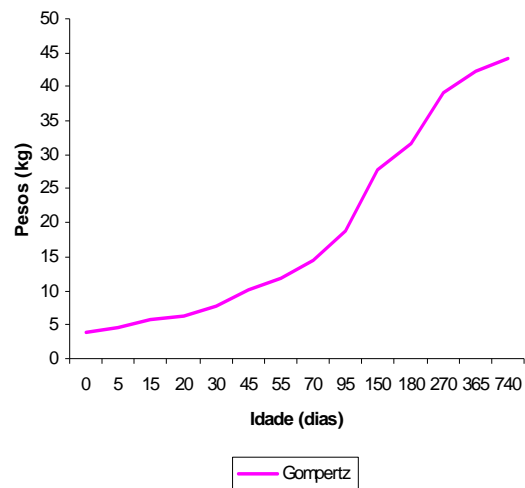


Figura 3. Função Gompertz: Curva de crescimento selecionada para o ajuste de dados de fêmeas ovinas da raça Santa Inês, criadas extensivamente, na região Norte Fluminense

(TOPAL *et al.*, 2004). FREITAS (2005), ajustou dados de peso e idades de ovinos de raças exóticas e mestiças, sendo a função não-linear escolhida para as espécies, a de Von Bertalanffy. SARMENTO *et al.*, (2006), preferiram o modelo de Gompertz aos demais modelos estudados para descrição da curva média de crescimento em ovinos Santa Inês, e segundo LOBO *et al.*, (2006), a curva de Richards foi a que promoveu melhor ajuste nos dois rebanhos estudados de ovinos Santa Inês.

CONCLUSÃO

A função de Gompertz é eleita para o ajuste de dados, uma vez que, melhor representa o crescimento das fêmeas ovinas da raça Santa Inês criadas extensivamente, na região do Norte Fluminense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATHAEI, S. S.; LEROY, P. L. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tiled sheep. **Small Ruminant Research**, v. 29, p. 261-269, 1998.
- BRACCINI NETO, J.; DIONELLO, N. J. L.; SILVEIRA JR., P. *et al.* Análise de curvas de crescimento de aves de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 25, n. 6, p. 1062-1073, 1996.
- FITZHUGH Jr., H. A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of animal Science**, v. 42, n. 4, p. 1036-1051, 1976.
- FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 786-795, 2005.
- GUEDES, M. H. P. *et al.* Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando heterogeneidade de variâncias. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, mar./abr, 2004.
- GUEDES, M. H. P.; MUNIZ, J.; SILVA, F. F.; AQUINO, L. H. Análise Bayesiana da curva de crescimento de cordeiros da raça Santa Inês. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 57, n. 3, p. 415-417, 2005.
- LOBO, R. N. B. *et al.* Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 1012-1018, maio/junho 2006.
- McMANUS, C. *et al.* Curvas de crescimento de Ovinos Bergamácia Criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1207-1212, 2003.
- SANTOS, C. L. *et al.* Aplicação de funções para determinação do crescimento absoluto de cordeiros da raça Bergamácia: Cadeia Produtiva de Ovinocultura. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE OVINOCULTURA, 2003, Lavras. **Anais ...**, Lavras, UFL, 2003. p. 283-290.
- SARMENTO, J. L. R. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 435-442, 2006.
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT software: changes and enhancements through release 8.02. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2001. 1167p.
- TOPAL, M. *et al.*, Determination of the best nonlinear function in order to estimate growth in Morkaramam and Awassi lambs. **Small Ruminant Research**, v. 55, p. 229-232, 2004.