



Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês¹

Raimundo Nonato Braga Lôbo², Luciana Cristine Vasques Villela³, Ana Maria Bezerra Oliveira Lobo⁴, José Renato de Sousa Passos⁴, Amaury Apolonio de Oliveira⁵

¹ Projeto financiado pelo CNPq.

² Embrapa Caprinos. Fazenda Três Lagoas, Estrada Sobral/Groaíras, km 4 – Zona Rural – Caixa Postal D-10, CEP: 62011-970 – Sobral/CE. Tel.: (88) 3677-7000. Bolsista do CNPq.

³ Embrapa Caprinos.

⁴ Estagiários - Embrapa Caprinos. Bolsistas do CNPq.

⁵ Embrapa Tabuleiros Costeiros.

RESUMO - Este trabalho foi realizado com os objetivos de estudar o ajuste das funções de Richards, Brody, Gompertz, Von Bertalanffy e Logística sobre a curva de crescimento de ovinos Santa Inês e estimar parâmetros genéticos para características calculadas a partir da função de melhor ajuste. Foram utilizadas apenas informações de fêmeas controladas entre os anos de 1993 e 2004, na Embrapa Tabuleiros Costeiros, e entre 1981 e 2004, na Embrapa Caprinos. Para o ajuste das curvas, as análises foram realizadas separadamente para cada rebanho, utilizando-se o procedimento NLIN do software Statistical Analysis System (SAS), por meio do método de GAUSS. Para determinar a função que melhor ajustava os dados, foram utilizados os critérios de coeficiente de determinação (R^2), de quadrado médio residual (QMR) e o erro de predição médio (EM). No rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros, todas as funções subestimaram os pesos, à exceção da curva de Richards. Diferentemente, todas as funções superestimaram o peso predito para o rebanho da Embrapa Caprinos. A curva de Richards foi a que promoveu melhor ajuste nos dois rebanhos. Os valores do peso adulto e da taxa de maturação estimados pela função de Richards foram de 54,38 kg e 0,00144/dia, respectivamente, para o rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros, e 42,74 kg e 0,00260/dia, respectivamente, para o da Embrapa Caprinos. A função de Richards foi utilizada para estimar curvas individuais de crescimento dos animais. A partir destas curvas, foram estimadas várias características de interesse econômico. Os parâmetros genéticos e os componentes de (co) variância para estas características foram estimados pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita Livre de Derivadas (DFREML), utilizando-se o software MTDFREML. As estimativas de herdabilidades direta e materna variaram, respectivamente, de 0,01 a 0,99 e de 0,00 a 0,13. É possível alterar o padrão da curva de crescimento destes animais por meio de seleção.

Palavras-chave: função de Richards, funções não-lineares, herdabilidade, modelo animal, peso adulto, taxa de maturação

Genetic parameters for traits estimated from the growth curve of Santa Inês hair sheep

ABSTRACT - The aim of this work was to study the adjustment of Richards, Brody, Gompertz, Von Bertalanffy and Logistic functions on the growth curve of Santa Inês hair sheep and to estimate genetic parameters for the traits obtained from the best fitting function. Information from females of the Embrapa Tabuleiros Costeiros herd recorded between 1993 and 2004 and from the Embrapa Caprinos herd recorded between 1981 and 2004 was used. Functions were fitted for each herd, using NLIN procedure of Statistical Analysis System software (SAS), by GAUSS method. The coefficient of determination (R^2), residual mean square (QMR) and mean prediction error (EM) were the criteria used to determine the best fitting function. For the Embrapa Tabuleiros Costeiros herd, all the functions subestimated the weights, except the Richards function. On the other hand, all the functions superestimated the weights of animals from the Embrapa Caprinos herd. The best fitting in the both herds was obtained using the Richards function. The respective values of mature weight and maturation rate estimated by Richards function were 54.38 kg and 0.00144/day for Embrapa Tabuleiros Costeiros herd and 42.74 kg and 0.00260/day for Embrapa Caprinos herd. The Richards function was used to estimate individual growth curves of animals in order to estimate genetic parameters and the (co)variance components for traits of economic importance using the Derivative Free Restricted Maximum Likelihood method (DFREML). The estimates of direct and maternal heritabilities ranged, respectively, from 0.01 to 0.99 and 0.00 to 0.13 suggesting the possibility of changing the growth curve of Santa Inês sheep by selection.

Key Words: animal model, heritability, mature weight, maturing rate, non linear function, Richards function

Introdução

Estudos relacionados ao crescimento dos animais de corte são importantes em programas de melhoramento genético, por permitir subsídios para a seleção para precocidade, ganho de peso etc. O crescimento desses animais pode ser representado graficamente por uma curva que geralmente apresenta comportamento sigmoidal em todas as espécies. Essa curva relaciona o peso à idade, fornecendo informações sobre o desenvolvimento do animal em todas as fases da vida.

De acordo com Oliveira et al. (2000), funções com componentes logarítmicos, inversos e exponenciais, modelos multifásicos e fatoriais já foram utilizadas para modelar a curva de crescimento dos animais. No entanto, atualmente, as funções não-lineares com parâmetros biologicamente interpretáveis, desenvolvidas empiricamente para relacionar peso e idade, são as mais utilizadas. Essas funções também podem fornecer informações importantes sobre as variações genética e ambiental que ocorrem entre as avaliações consecutivas dos animais (Mansour et al., 1991).

Entre essas funções não-lineares, as mais utilizadas na modelagem da curva de crescimento dos animais são a de Brody (Brody, 1945), a de Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1957), a de Gompertz (Laird, 1965), a Logística (Nelder, 1961) e a de Richards (Richards, 1959). Porém, estudos indicam que a função de Richards, que descreve mudanças no tamanho W (peso) em relação à idade t (Richards, 1959), é a que melhor descreve a curva de crescimento para a maioria das espécies animais (Brown et al., 1976; Perotto et al., 1992).

A escolha da função para melhor ajuste dos dados é fundamental nesses estudos do crescimento. Os principais objetivos da modelagem das curvas são a descrição e a predição do crescimento e da maturidade do animal e as inferências baseadas na interpretação dos parâmetros dessas curvas.

A maioria dos estudos relacionados ao crescimento dos animais não considera a mudança de peso no período total e geralmente avalia pesos corporais em pontos específicos na vida do animal, como os pesos ao nascimento, à desmama e ao primeiro ano de idade. Porém, se uma descrição mais detalhada do crescimento individual do animal for realizada, outras características de grande importância econômica também podem ser avaliadas, como as taxas de crescimento absoluta e relativa, a taxa de maturação e o peso adulto. Estas características são estimadas a partir das funções de crescimento (Fitzhugh, 1976).

No Brasil, estudos envolvendo a curva de crescimento e a estimativa de parâmetros genéticos para características obtidas, em ovinos, são raros na literatura e praticamente

não existem para a raça Santa Inês. Entretanto, a modelagem da curva de crescimento destes animais é muito importante, pois é possibilita de alterar seu formato, de forma a interferir na eficiência do crescimento e da produção de carne desta raça.

Os objetivos neste trabalho foram determinar o padrão da curva de crescimento de ovinos Santa Inês, por meio do ajuste de algumas funções não-lineares, estimar parâmetros genéticos para características de interesse econômico, obtidas a partir das curvas individuais de crescimento de fêmeas ovinas dessa raça, e verificar a possibilidade de alterar o padrão desta curva por meio da seleção, visando maior eficiência na produção de carne.

Material e Métodos

Para determinar a curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês, foram utilizados dados dos rebanhos da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizada em Frei Paulo (SE), e da Embrapa Caprinos, em Sobral (CE). Os animais destes rebanhos foram criados a pasto (caatinga), com suplementação alimentar na estação seca e com estações de monta definidas. Foram utilizadas apenas informações das fêmeas, que eram pesadas mensalmente até a desmama e, posteriormente, nos momentos de cobertura e parto.

Essas informações foram controladas entre os anos de 1993 e 2004 na Embrapa Tabuleiros Costeiros e de 1981 e 2004 na Embrapa Caprinos. Para melhor consistência dos dados, foram estabelecidas algumas restrições: utilização de fêmeas com, no mínimo, cinco pares de peso-idade e pesagem em idade superior a 550 dias. Após essas restrições, restaram no rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros 20.403 pares de peso-idade de 498 fêmeas nascidas entre os anos de 1993 e 2000 e, no rebanho da Embrapa Caprinos, 2.699 pares de peso-idade de 294 fêmeas nascidas entre 1981 e 2000. Assim, a estrutura foi formada por 30 pais e 186 mães para o rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros e 36 pais e 194 mães para o rebanho da Embrapa Caprinos.

As funções de Richards, Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logística foram utilizadas para ajustar os dados de cada rebanho separadamente e apresentam a seguinte descrição geral:

$$W_t = A(1 - \exp^{-kt})^{1/(1-M)}$$

em que: W_t = peso do animal na idade t ; A = valor assintótico, interpretado como peso adulto; b = constante que ajusta a função para situações em que W_0 ou t_0 são diferentes de zero; k = constante que expressa a taxa na qual uma função

logarítmica do peso muda linearmente com o tempo e é interpretada biologicamente como taxa de maturação, ou seja, taxa relativa na qual o peso assintótico (A) é alcançado. Variações nos valores de k representam variações na velocidade relativa com que o animal cresce. Graficamente, k pode ser interpretada como a declividade da curva de crescimento. Quanto maior o valor de k , menor o tempo para o animal atingir seu peso adulto (A), maior a velocidade de crescimento e, conseqüentemente, maior a precocidade; M descreve em que proporção do peso final ocorre o ponto de inflexão da curva. Se o valor de M for restrito a zero e a 2/3 e se tender a 1 e a -2, tem-se, respectivamente, as curvas de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logística. Mas, se o valor de M for livre, assumindo qualquer valor, exceto 1, para o qual a função se torna indefinida, tem-se a curva de Richards.

Para estimar os parâmetros das funções, foi empregado o procedimento NLIN do software Statistical Analysis System (SAS, 1996), por meio do método de GAUSS, adotando-se o critério de convergência 10^{-9} .

Os critérios considerados na escolha da função que melhor descreveu os dados de cada rebanho foram a qualidade do ajuste, a possibilidade de interpretação biológica dos parâmetros e as dificuldades computacionais relacionadas aos problemas de convergência. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio do coeficiente de determinação (R^2), do quadrado médio residual (QMR) e do erro de predição médio (EM) proposto por Goonewardene et al. (1981).

A partir da função que melhor ajustou os dados, foram estimadas e analisadas as seguintes características: peso adulto (A); taxa de maturação (k); pesos preditos (kg) aos 90, 180 e 365 dias de idade; idade aos 65% do peso adulto, estimada como $1 \cdot (-k^{-1}) \cdot \ln[(0,35A) \cdot (A - W_t)^{-1}]$; taxas de crescimento aos 90, 180 e 365 dias de idade, estimadas como $(k \cdot (A - W_{t0}) \cdot e^{-kt})$, em que t é igual a 90, 180 ou 365; graus de maturidade aos 90, 180 e 365 dias de idade, estimados como W_t/A , em que t é igual a 90, 180 ou 365 dias; e taxas de crescimento relativo aos 90, 180 e 365 dias de idade, estimadas como TX_t/W_t , em que t é igual a 90, 180 ou 365 dias.

Como alguns reprodutores foram transferidos do rebanho da Embrapa Caprinos para o da Embrapa Tabuleiros Costeiros, criando laços genéticos entre os dois rebanhos, foi formado um arquivo único para a estimativa dos componentes de (co)variância e dos parâmetros genéticos, utilizando-se o método da Máxima Verossimilhança Restrita Livre de Derivadas (DFREML), por meio do programa Multiple Trait Derivative Free Restricted Maximum Likelihood (MTDFREML; Boldman et al., 1993). A convergência foi considerada alcançada quando a

variância do valor da função de verossimilhança ($-2\log L$) foi menor que 10^{-9} . A matriz de parentesco utilizada foi formada por 1.233 animais.

Essas análises foram realizadas de forma multivariada por grupos de três características: 1. pesos aos 90, 180 e 365 dias; 2. taxas de crescimento aos 90, 180 e 365 dias; 3. graus de maturidade aos 90, 180 e 365 dias; 4. taxas de crescimento relativo aos 90, 180 e 365 dias; e 5. peso adulto, taxa de maturação e idade aos 65% do peso adulto. As características taxa de maturação e idade aos 65% do peso adulto foram analisadas após transformação para permitir o critério de multinormalidade.

O modelo animal utilizado apresentava a seguinte forma geral:

$$y = Xb + Z_a a + Z_m m + Z_c c + e$$

em que: y representa o vetor de observações; b , o vetor de efeitos fixos; a , o vetor aleatório de efeitos genéticos aditivos; m , o vetor aleatório de efeitos genéticos maternos; e c , o vetor aleatório de efeitos de ambiente permanente; X , Z_a , Z_m e Z_c são as matrizes de incidência que relacionam b , a , m e c a y ; e e representa o vetor aleatório do resíduo.

Os efeitos fixos utilizados para todas as características estudadas foram representados pelo grupo contemporâneo, definido como rebanho-ano-estação de nascimento e pelo tipo de nascimento, simples, duplo ou triplo.

Do modelo geral, os componentes maternos ($Z_m m$) e de ambiente permanente ($Z_c c$) não foram incluídos para as características taxa de maturação, peso adulto e idade aos 65% do peso adulto, além do peso predito, da taxa de crescimento, do grau de maturidade e da taxa de crescimento relativo aos 365 dias de idade.

Resultados e Discussão

Os parâmetros de cada uma das funções de crescimento estimados para o rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros são apresentados na Tabela 1.

No rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros, o valor do peso adulto (A) variou de 48,5 a 54,4 kg e o da taxa de maturação (k), de 0,00144 a 0,00905/dia, de acordo com a função estudada.

O padrão de cada uma destas funções de crescimento para este rebanho pode ser visualizado na Figura 1.

De acordo com os critérios R^2 , QMR e EM, cujos valores são apresentados na Tabela 2, Richards foi a função que melhor ajustou os dados e descreveu o crescimento dos animais deste rebanho, sendo superior em todos os critérios, exceto para o EM, quando comparada à equação de Brody.

Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros das funções de crescimento de fêmeas da raça Santa Inês do rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Table 1 - Estimates of growth function parameters for Santa Inês females of the Embrapa Tabuleiros Costeiros herd

Função Function	Equação Equation
Brody	Peso (weight) = 51,6158.(1-0,93.exp(0,00261.idade))
Richards	Peso (weight) = 54,3820.(1-0,993.exp(-0,00144.idade)) ^{0,554}
Von Bertalanffy	Peso (weight) = 49,9829.(1-0,6.exp(-0,00425.idade)) ³
Gompertz	Peso (weight) = 49,7164.(1-0,00025.exp(-0,00496.idade)) ^[1/(1-0,9999)]
Logística	Peso (weight) = 48,5104.(1+12.exp(-0,00905.idade)) ⁻¹

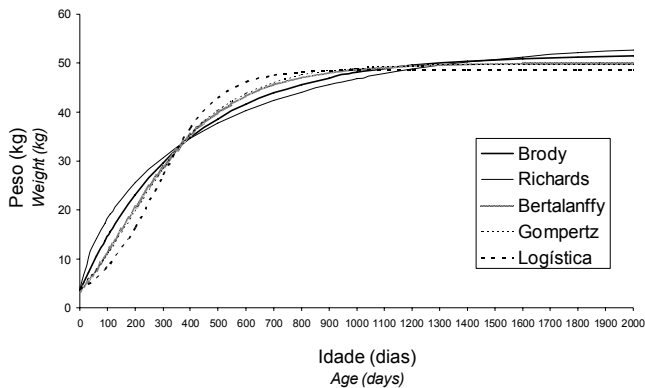


Figura 1 - Padrão das funções de crescimento de fêmeas do rebanho Santa Inês da Embrapa Tabuleiros Costeiros.

Figure 1 - Growth functions of Santa Inês females of the Embrapa Tabuleiros Costeiros herd.

Por meio do valor do EM, é possível afirmar que a função de Richards foi a única que tendeu a superestimar os pesos corporais dos animais, ao contrário das outras funções, que subestimaram a maior parte dos valores preditos.

Diante deste resultado, utilizou-se a equação de Richards para estimar as curvas individuais de cada uma das fêmeas estudadas. A convergência foi alcançada para todas as 498 fêmeas. Os valores médios para os parâmetros destas curvas individuais foram 56,98 kg para A; 0,9923 para b; 0,00146/dia para k; e -0,8009 para M. Estes valores médios foram muito próximos dos estimados para a função que ajustou os dados de todos os animais em conjunto, exceto para A, que foi um pouco maior (56,98 kg vs 54,38 kg).

Os parâmetros estimados no rebanho da Embrapa Caprinos, para cada uma das funções de crescimento, são apresentados na Tabela 3.

No rebanho da Embrapa Caprinos, o valor do peso adulto (A) variou de 41,2 a 42,7 kg e o da taxa de maturação (k), de 0,00260 a 0,00671/dia, de acordo com a função estudada.

O padrão de cada uma destas funções de crescimento para este rebanho pode ser visualizado na Figura 2.

De acordo com os critérios R², QMR e EM, cujos valores são apresentados na Tabela 4, Richards também foi

Tabela 2 - Valores do coeficiente de determinação (R²), do quadrado médio residual (QMR) e do erro de predição médio (EM) encontrado para cada uma das funções estudadas no rebanho de ovinos da raça Santa Inês da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Table 2 - Coefficient of determination (R²), residual mean square (QMR) and mean prediction error (EM) for different functions used to fit growth curve of the Santa Inês animals from the Embrapa Tabuleiros Costeiros herd

Função Function	R ²	QMR	EM
Brody	0,8099	38,3137	0,31
Richards	0,8201	36,2481	-2,11
Von Bertalanffy	0,7764	45,0520	2,89
Gompertz	0,7693	46,4865	2,54
Logística	0,7089	58,6594	4,86

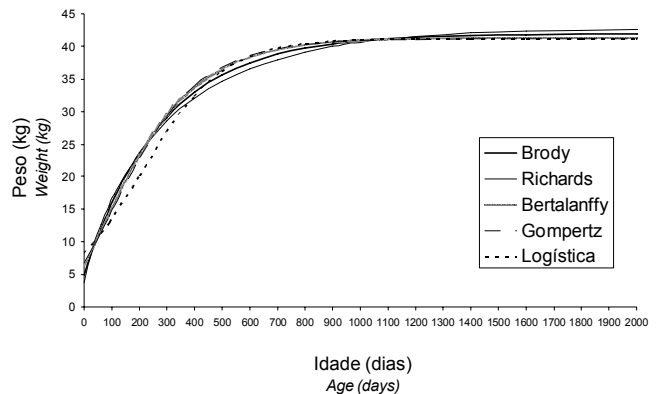


Figura 2 - Padrão das funções de crescimento de fêmeas Santa Inês do rebanho da Embrapa Caprinos.

Figure 2 - Growth functions of Santa Inês females of Embrapa Caprinos herd.

a função que melhor ajustou os dados para o rebanho da Embrapa Caprinos, sendo superior em todos os critérios. A partir da observação do valor do EM, é possível afirmar que todas as funções tenderam a superestimar os pesos corporais dos animais, inclusive a de Richards.

As funções estimadas para o rebanho da Embrapa Caprinos foram mais semelhantes entre si que as do rebanho

Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros das funções de crescimento de fêmeas da raça Santa Inês do rebanho da Embrapa Caprinos
 Table 3 - Estimates of growth function parameters for Santa Inês females of the Embrapa Caprinos herd

Função Function	Equação Equation
Brody	Peso (weight) = $41,9480 \cdot (1 - 0,8832 \cdot \exp^{(0,00332 \cdot \text{idade})})$
Richards	Peso (weight) = $42,7420 \cdot (1 - 0,9702 \cdot \exp^{(-0,00260 \cdot \text{idade})})^{0,690}$
Von Bertalanffy	Peso (weight) = $41,3127 \cdot (1 - 0,4652 \cdot \exp^{(-0,00490 \cdot \text{idade})})^3$
Gompertz	Peso (weight) = $41,1380 \cdot (1 - 0,000179 \cdot \exp^{(-0,00556 \cdot \text{idade})})^{[1/(1-0,9999)]}$
Logística	Peso (weight) = $41,1662 \cdot (1 + 4,0039 \cdot \exp^{(-0,00671 \cdot \text{idade})})^{-1}$

Tabela 4 - Valores do coeficiente de determinação (R²), do quadrado médio residual (QMR) e do erro de predição médio (EM) encontrados para cada uma das funções estudadas no rebanho de ovinos da raça Santa Inês da Embrapa Caprinos

Table 4 - Coefficient of determination (R²), residual mean square (QMR) and mean prediction error (EM) for different functions used to fit growth curve of the Santa Inês animals from of Embrapa Caprinos herd

Função Function	R ²	QMR	EM
Brody	0,9000	25,8661	-8,52
Richards	0,9019	25,3926	-6,12
Von Bertalanffy	0,8941	27,3908	-12,88
Gompertz	0,8910	28,1988	-14,73
Logística	0,8832	30,2296	-19,21

da Embrapa Tabuleiros Costeiros, o que pode ser observado tanto pela proximidade dos valores dos critérios R², QMR e EM (Tabelas 2 e 4) quanto pelo padrão das curvas de crescimento (Figuras 1 e 2), o que demonstra a variabilidade ambiental e genética sobre a curva de crescimento dos animais, constatando-se que estas variabilidades não devem ser desconsideradas nesses estudos.

Diante destes resultados, a equação de Richards foi utilizada para estimar as curvas individuais de cada uma das fêmeas do rebanho da Embrapa Caprinos. Diferentemente do resultado obtido para o rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros, a convergência não foi alcançada para todas as 294 fêmeas, restando, portanto, 292 fêmeas com curvas de crescimento individuais estimadas. Os valores médios para os parâmetros destas curvas foram 52,65 kg para A, 0,9927 para b, 0,00188 /dia para k e -0,7526 para M. Estes valores, diferentemente do verificado para o rebanho da Embrapa Tabuleiros Costeiros, foram bem distintos dos estimados para os dados em conjunto.

No Irã, a função de Brody foi utilizada para modelar a curva de crescimento de ovinos Mehrabian Iranian (Bathaei & Leroy, 1996). Os autores justificaram a escolha desta curva pela facilidade de estimação e interpretação dos parâmetros. Foram verificados valores de $72,15 \pm 2,78$ kg e $0,1194 \pm 0,0045$ /dia para os parâmetros A e k, respectivamente.

Em bovinos, estudos indicam que as estimativas das taxas de crescimento e do peso adulto são economicamente importantes para programas de seleção com múltiplas características (MacNeil & Newman, 1994). Segundo Cartwright (1970), o peso adulto (A) e a taxa de maturação (k) são os parâmetros de maior importância na criação de bovinos de corte, principalmente porque fêmeas mais pesadas geralmente criam bezerros com crescimento mais rápido, o que é desejável. Por outro lado, o acréscimo com gastos para a manutenção das vacas de maior porte pode não compensar a vantagem do crescimento mais rápido dos bezerros.

De forma geral, para ambos os rebanhos, apesar de todas as curvas ajustarem satisfatoriamente aos dados, com pequena vantagem da curva de Richards, foi verificada maior dificuldade de convergência e de interpretação dos parâmetros estimados para as curvas Gompertz e Logística, principalmente quanto à estimativa fora de limites biológicos.

As médias para as características estimadas a partir das curvas individuais de cada fêmea dos dois rebanhos são apresentadas na Tabela 5.

Estas médias podem ser consideradas razoáveis, se considerado o ambiente em que os animais são criados. No entanto, a taxa de crescimento desses animais precisa ser melhorada, destacando-se principalmente a elevada idade média dos animais ao atingirem 65% do peso adulto (685,4 dias). Este aspecto tem grande importância se considerado que as fêmeas devem ser cobertas com 60% de seu peso adulto. Assim, o início da idade reprodutiva da raça seria tardio, o que tem sido observado em dados de campo com elevada idade ao primeiro parto (Lôbo, 2002; Sousa et al, 2003), em razão da baixa taxa de maturação dos animais (0,00142/dia). O peso predito aos 180 dias de idade (23,32 kg) é baixo, se considerado o abate de animais jovens nessa idade.

Na Tabela 6 são apresentadas as estimativas de herdabilidade direta e materna (na diagonal) e as correlações genéticas (abaixo da diagonal) para as características estudadas, por grupo de três características.

Tabela 5 - Médias para as características obtidas a partir da curva de crescimento de fêmeas Santa Inês dos rebanhos da Embrapa Tabuleiros Costeiros e da Embrapa Caprinos

Table 5 - Means for the traits obtained from growth curves of Santa Inês females from the Embrapa Tabuleiros Costeiros and the Embrapa Caprinos herds

Característica <i>Trait</i>	Média ± Desvio-padrão <i>Mean ± Standard deviation</i>
Peso aos 90 dias (kg) <i>Weight at 90 days</i>	16,69 ± 2,21
Peso aos 180 dias (kg) <i>Weight at 180 days</i>	23,32 ± 2,74
Peso aos 365 dias (kg) <i>Weight at 365 days</i>	31,88 ± 3,27
(Taxa de maturação) ^{0,3} (dia ⁻¹) <i>Maturation rate</i>	0,140 ± 0,022
Peso adulto (kg) <i>Mature weight</i>	55,38 ± 11,19
(Idade aos 65% do peso adulto) ^{0,3} (dia) <i>Age at 65% of mature weight</i>	0,141 ± 0,023
Taxa de crescimento aos 90 dias (kg/dia) <i>Growth rate at 90 days (kg/day)</i>	0,063 ± 0,019
Taxa de crescimento aos 180 dias (kg/dia) <i>Growth rate at 180 days (kg/day)</i>	0,054 ± 0,013
Taxa de crescimento aos 365 dias (kg/dia) <i>Growth rate at 365 days (kg/day)</i>	0,039 ± 0,006
Grau de maturidade aos 90 dias <i>Maturity degree at 90 days</i>	0,316 ± 0,072
Grau de maturidade aos 180 dias <i>Maturity degree at 180 days</i>	0,441 ± 0,097
Grau de maturidade aos 365 dias <i>Maturity degree at 365 days</i>	0,601 ± 0,118
Taxa de crescimento relativo aos 90 dias (dia ⁻¹) <i>Relative growth rate at 90 days (day⁻¹)</i>	0,00381 ± 0,00101
Taxa de crescimento relativo aos 180 dias (dia ⁻¹) <i>Relative growth rate at 180 days (day⁻¹)</i>	0,00230 ± 0,00045
Taxa de crescimento relativo aos 365 dias (dia ⁻¹) <i>Relative growth rate at 365 days (day⁻¹)</i>	0,00122 ± 0,00015

Para os pesos corporais, semelhantemente ao observado em dados de pesagens a campo, as estimativas de herdabilidade variaram entre 0,18 e 0,56, valores considerados médios a altos, o que indica eficiência da seleção massal para o melhoramento dos animais. A estimativa de herdabilidade materna decresceu com a idade dos animais (0,13 aos 90 dias e 0,09 aos 180 dias de idade), o que era esperado, pois a influência da mãe sobre a cria tende a diminuir após a desmama. As correlações genéticas foram mais altas em idades mais próximas, reduzindo com o aumento da distância do tempo.

Para as taxas de crescimento, geralmente, as estimativas de herdabilidade foram baixas, variando de 0,01 a 0,29. A seleção massal poderia ser eficiente no melhoramento

genético desta população apenas para a taxa aos 90 dias de idade, cuja herdabilidade foi 0,29. A estimativa da herdabilidade materna também decresceu para esta característica com o aumento da idade do animal. De modo geral, as correlações entre essas características foram baixas, sendo alta apenas entre os efeitos diretos das taxas de crescimento aos 180 e 365 dias de idade. De acordo com as estimativas de herdabilidade e a correlação genética (0,90) entre estas duas características, percebe-se que a maior parte dos genes que influenciam uma também o fazem para a outra.

Quanto aos graus de maturidade, as estimativas de herdabilidade também foram baixas, variando de 0,04 a 0,18. A estimativa de herdabilidade aumentou de 90 para 180 dias, reduzindo novamente de 180 para 365 dias de idade. Considerando esse efeito e as altas correlações genéticas do grau de maturidade aos 180 dias com o grau de maturidade aos 90 e 365 dias (0,67), a seleção para esta característica deve ser feita aos 180 dias de idade.

Para as taxas de crescimento relativo, a estimativa de herdabilidade aumentou com a idade, passando de 0,04 aos 90 dias para 0,59 aos 365 dias de idade. Esses valores podem confirmar o lento crescimento dos animais desta população, de forma que somente em idades mais elevadas é possível captar a variabilidade genética aditiva. As correlações genéticas foram altas, exceto em idades mais distantes, como entre as idades de 90 e 365 dias.

O peso adulto (parâmetro A) apresentou reduzida herdabilidade (0,08 ± 0,03), indicando pequena possibilidade de alteração por meio da seleção massal. Por outro lado, as características taxa de maturação e a idade aos 65% do peso adulto apresentaram elevada herdabilidade (0,99 ± 0,58 e 0,88 ± 0,56, respectivamente), o que as tornam importantes para promover o melhoramento genético da população. As estimativas de correlações genéticas do peso adulto com a taxa de maturação (-0,87 ± 0,53) e com a idade aos 65% do peso adulto (-0,87 ± 0,58) foram altas e negativas. A correlação entre taxa de maturação e idade aos 65% do peso adulto foi igual à unidade. A seleção para maior taxa de maturação pode permitir redução no peso adulto dos animais e aumento na idade aos 65% do peso adulto. Esta tendência é contraditória, face à correlação negativa entre peso adulto e idade aos 65% deste peso. Provavelmente, há um forte viés na estimativa de correlação entre taxa de maturação e idade aos 65% do peso adulto (1,00 ± 0,10). Entretanto, a seleção para taxa de maturação contribuiria para a maior velocidade de crescimento dos animais estudados, além de permitir a redução do peso adulto, importante para a redução nos custos de manutenção dos animais.

Tabela 6 - Estimativas de herdabilidades direta e materna e correlações genéticas para características obtidas a partir da curva de crescimento de fêmeas Santa Inês dos rebanhos da Embrapa Tabuleiros Costeiros e da Embrapa Caprinos

Table 6 - Estimates of direct and maternal heritabilities and genetic correlations for the traits obtained from growth curves of Santa Inês females from the Embrapa Tabuleiros Costeiros and Embrapa Caprinos herds

	P90-d	P180-d	P365-d	P90-m	P180-m
P90-d	0,56 ± 0,18				
P180-d	0,82 ± 0,35	0,22 ± 0,09			
P365-d	0,78 ± 0,37	0,68 ± 0,21	0,18 ± 0,02		
P90-m	0,27 ± 0,15	0,00 ± 0,00	0,30 ± 0,10	0,13 ± 0,02	
P180-m	0,15 ± 0,05	-0,38 ± 0,21	-0,02 ± 0,01	-0,04 ± 0,02	0,09 ± 0,01
	TX90-d	TX180-d	TX365-d	TX90-m	TX180-m
TX90-d	0,29 ± 0,11				
TX180-d	0,25 ± 0,10	0,01 ± 0,01			
TX365-d	-0,01 ± 0,01	0,90 ± 0,35	0,01 ± 0,01		
TX90-m	-0,31 ± 0,18	-0,01 ± 0,01	-0,01 ± 0,01	0,11 ± 0,04	
TX180-m	0,00 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,37 ± 0,11	0,05 ± 0,02	0,00 ± 0,00
	MAT90-d	MAT180-d	MAT365-d	MAT90-m	MAT180-m
MAT90-d	0,10 ± 0,04				
MAT180-d	0,67 ± 0,23	0,18 ± 0,06			
MAT365-d	0,04 ± 0,02	0,67 ± 0,20	0,04 ± 0,02		
MAT90-m	0,48 ± 0,12	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,05 ± 0,02	
MAT180-m	-0,17 ± 0,03	0,18 ± 0,03	0,76 ± 0,16	0,27 ± 0,11	0,01 ± 0,01
	TRE90-d	TRE180-d	TRE365-d	TRE90-m	TRE180-m
TRE90-d	0,04 ± 0,01				
TRE180-d	0,43 ± 0,11	0,22 ± 0,03			
TRE365-d	0,06 ± 0,01	0,92 ± 0,23	0,59 ± 0,15		
TRE90-m	0,17 ± 0,03	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,02	
TRE180-m	0,13 ± 0,03	0,22 ± 0,10	0,21 ± 0,04	0,29 ± 0,08	0,00 ± 0,01

P90, P180 e P365 = pesos aos 90, 180 e 365 dias de idade; TX90, TX180 e TX365 = taxas de crescimento aos 90, 180 e 365 dias de idade; MAT90, MAT180 e MAT365 = graus de maturidade aos 90, 180 e 365 dias de idade; TRE90, TRE180 e TRE365 = taxas de crescimento relativo aos 90, 180 e 365 dias de idade; as letras **d** e **m** referem-se aos efeitos direto e materno, respectivamente.

P90, P180 and P365 = weight at 90, 180 and 365 days of age; TX90, TX180 and TX365 = growth rates at 90, 180 and 365 days of age; MAT90, MAT180 and MAT365 = maturity degree at 90, 180 and 365 days of age; TRE90, TRE180 and TRE365 = relative growth rates at 90, 180 and 365 days of age; the letters **d** and **m** refer to the direct and maternal effects, respectively.

Conclusões

A curva de Richards apresentou melhor ajuste dos dados dos rebanhos Santa Inês da Embrapa Tabuleiros Costeiros e da Embrapa Caprinos, com pequena superestimativa dos pesos preditos.

As curvas de crescimento permitem o estudo de outras características de interesse econômico, como as taxas de crescimento e maturação. As taxas de crescimento absoluta e relativa, o grau de maturidade, a taxa de maturação e o peso adulto são características adicionais que também devem ser consideradas nos programas de melhoramento genético.

As herdabilidades mais elevadas estimadas para as características peso corporal aos 90, 180 e 365 dias, taxa de crescimento aos 90 dias, grau de maturidade aos 180 dias, taxa de crescimento relativo aos 180 e 365 dias, taxa de maturação (k) e idade aos 65% do peso adulto indicam que estas características são passíveis de seleção massal, promovendo o melhoramento genético dessa população. A seleção para taxa de crescimento deve ser realizada aos 90 dias e, para grau de maturidade, aos 180 dias de idade.

Apesar de o número de observações não ser elevado, é possível alterar o padrão da curva de crescimento de ovinos Santa Inês por meio da seleção.

Literatura Citada

- BATHAEI, S.S.; LEROY, P.L. Growth and mature weight of Mehrabian Iranian: fat-tailed sheep. **Small Ruminant Research**, v.22, n.2, p.155-162, 1996.
- BOLDMAN, K.G.; KRIESE, L.A.; Van VLECK, L.D. et al. **A manual for use MTDFREML**. Clay Center: USDA-ARS, 1993. 120p.
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold Publishing, 1945. 1023p.
- BROWN, J.E.; FITZHUGH JR., H.A.; CARTWRIGHT, T.C.A. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, v.42, p.810-818, 1976.
- CARTWRIGHT, T.C. Selection criteria for beef cattle for the future. **Journal of Animal Science**, v.30, p.706-711, 1970.
- 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.
- GOONEWARDENE, L.A.; BERG, R.T.; HARDIN, R.T. A growth study of beef cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.61, p.1041-1048, 1981.
- LAIRD, A.K. Dynamics of relative growth. **Growth**, v.29, p.249-263, 1965.

- LÔBO, R.N.B. Melhoramento genético de caprinos e ovinos: desafios para o Mercado. In: SEMINÁRIO NORDESTINO DE PECUÁRIA, 6., 2002, Fortaleza. **Anais das Palestras Técnicas...** Fortaleza: Ronaldo de Oliveira Sales, 2002. v.7, p.44-60.
- MACNEIL, M.D.; NEWMAN, S. Selection indices for Canadian beef production using specialized sire and dam lines. **Canadian Journal of Animal Science**, v.74, p.419-424, 1994.
- MANSOUR, H.; JENSEN, E.L.; JOHNSON, L.P. Analysis of covariance structure of repeated measurements in Holstein conformation traits. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.8, p.2757-2766, 1991.
- NELDER, J.A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p.89-110, 1961.
- OLIVEIRA, H.N.; LOBO, R.B.; PEREIRA, C.S. Comparison of non-linear models for describing growth of Guzerat beef cattle females. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.9, p.1843-1851, 2000.
- PEROTTO, D.; CUE, R.I.; LEE, A.J. Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.72, p.773-782, 1992.
- RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botanic**, v.10, p.290-300, 1959.
- STATISTICAL ANALYSES SYSTEM - SAS. **SAS/STAT. User's guide**. version 6.11. 4.ed. Cary: 1996. v.2. 842p.
- SOUSA, W.H.; LÔBO, R.N.B.; MORAIS, O.R. Ovinos Santa Inês: estado de arte e perspectivas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE, 2., 2003, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: 2003. p.501-522.
- Von BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v.32, p.217-230, 1957.

Recebido: 10/05/05
Aprovado: 25/11/05