

José E. R. Sousa¹José L. R. Sarmiento¹Wandrick H., Sousa²Maria S. M. Souza¹Angela B. Fridrich³

Estimativas de componentes de covariância e parâmetros genéticos de pesos corporais em caprinos Anglo-Nubiano

RESUMO

Parâmetros genéticos e componentes de covariância foram estimados para pesos corporais do nascimento ao 112º dia de idade de caprinos da raça Anglo-Nubiana pertencentes à Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA-PB). Os componentes de covariância e os parâmetros genéticos foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) utilizando o programa DFREML. Modelos animais foram ajustados por meio da exclusão ou inclusão do efeito genético materno, considerando ou não a covariância genética entre os efeitos direto e materno. Três modelos foram testados e, de acordo com o teste de razão de verossimilhança, o modelo que incluiu os efeitos aditivo direto e materno, assumindo covariância genética igual a zero, foi indicado para todas as características estudadas. Quando o efeito materno é excluído do modelo, as estimativas de herdabilidade direta são substancialmente inflacionadas, logo, os efeitos maternos devem ser incluídos nas análises dos pesos de caprinos Anglo-Nubiano em programas de seleção.

Palavras-chave: caprino, correlação genética, efeito materno, herdabilidade

Estimates of covariance components and genetics parameters for growth traits of in Anglo-Nubian goats

ABSTRACT

Genetic parameters and (co)variance components were estimated for body weight from birth to 112th day of age of Anglo-Nubian goats from experimental herds of Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA-PB). Covariance components and genetic parameters were estimated by REML using DFREML software, including or not the maternal genetic effect and covariance between direct and maternal genetic effect in the models. Three different animal models were fitted for all traits. Likelihood ratio test indicated that the model including additive direct and maternal effects was the most suitable model for all traits. The exclusion of maternal genetic effect in the model resulted in a substantially inflation of direct heritability estimates. The maternal effects must be included in the analysis for body weight trait in Anglo-Nubian goats in selection program.

Key words: genetic correlation, goat, heritability, maternal effects

¹Professor do CPCE/Universidade Federal do Piauí - UFPI. E-mail: ernandes@ufpi.br; sarmiento@edu.ufpi.br; socorro_30@yahoo.com.br

²Pesquisador da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba - EMEPA-PB. E-mail: wandrick@emepa.org.br

³Bolsista DCR- Funcap/Universidade do Vale do Acaraú - UVA. E-mail: angela.fridrich@gmail.com

INTRODUÇÃO

A exploração da caprinocultura no Brasil, nos últimos anos, vem se profissionalizando e modificando toda a cadeia produtiva. Nos criatórios, novas tecnologias são utilizadas para produção de carne e leite para atender à exigência do mercado, o que tornou a caprinocultura uma atividade geradora de renda e emprego em várias regiões do País.

Entretanto, é ainda baixa a produtividade dos rebanhos de caprinos, especialmente no Nordeste, sobretudo em decorrência da inexistência de sistemas de produção mais tecnificados que possibilitem maior lucratividade. A introdução de raças exóticas, reconhecidas como excelentes opções para produção de carne e leite, sob condições dos trópicos, aliada aos recursos genéticos autóctones disponíveis, é uma alternativa viável para o aprimoramento dos sistemas de produção em caprinos no Brasil.

O melhoramento genético de caprinos de corte tem sido realizado em vários países e, mais recentemente, algumas tentativas têm sido conduzidas no Brasil para obter animais mais produtivos e eficientes. Os pesos corporais ao longo da vida do animal são informações importantes para avaliação genética de animais de corte.

Em muitas espécies de mamíferos, as características relacionadas ao crescimento, principalmente até a desmama, não são influenciadas apenas pelos genes de crescimento do indivíduo e pelo ambiente onde foi criado, mas também pela composição genética materna e pelo ambiente materno (Ekiz, 2005). A produção de leite, o ambiente intrauterino e a habilidade materna são os componentes determinantes do efeito materno e podem ser influenciados pelo efeito genético materno e pelo ambiente (Meyer, 1994).

Em programas de seleção, para aumentar o ganho genético de características influenciadas pelos efeitos maternos, é necessário obter informações, não somente dos efeitos genéticos diretos, mas também dos efeitos maternos. A disponibilidade de modernos programas estatísticos e recursos computacionais tem facilitado o particionamento dos componentes de covariância e possibilitado estimativas mais acuradas dos efeitos genéticos e ambientais e melhores respostas à seleção.

As estimativas de herdabilidade para características de importância econômica em caprinos, como crescimento, reprodução e produção de leite variam entre 0,13 e 0,72 (Gonçalves et al., 2001; Sarmiento et al., 2003; Rashidi et al., 2006; Bosso et al., 2007), por isso, a seleção para essas características pode ser eficiente. No Brasil ainda são poucos os estudos nesta área com caprinos, pois, segundo Lôbo (2002), em pesquisa realizada com dados de 1990 a 2001, apenas nove estudos foram realizados no País com caprinos para estimar parâmetros genéticos e em apenas dois desses trabalhos foram utilizadas metodologias mais modernas de análises, como o modelo animal.

Os objetivos neste estudo foram verificar a importância do efeito materno utilizando diferentes modelos e estimar os componentes de covariância para os efeitos genético direto e materno e os parâmetros genéticos para pesos em diferentes idades em caprinos da raça Anglo-Nubiano.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados registros de pesos de caprinos Anglo-Nubianos no período de 1980 a 2005, provenientes da Fazenda Experimental Pendência, pertencente à Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA – PB). A Fazenda situa-se no município de Soledade, na região dos Cariris Velhos Paraibanos, distante 210 km de João Pessoa. A média de temperatura máxima anual é 35°C e a mínima 22°C, com pequenas variações. As médias de umidade relativa do ar e pluviosidade foram de 50% e 390 mm/ano, respectivamente, com variação 105 a 705 mm/ano.

Os animais foram criados em sistema semi-intensivo, alimentados em piquetes de pastagem nativa e nativa melhorada suplementada com silagem de milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), feno de maniçoba (*Manihot glaziovii* Mull.), palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill), além de mistura concentrada e suplementação mineral fornecida durante todo o ano.

O rebanho foi submetido a dois períodos de monta controlada com início nos meses de março e novembro, e com duração de 40 a 60 dias, para que as parições fossem concentradas nos períodos de abril a maio e de agosto a setembro. As cabras em estro eram identificadas por meio de machos vasectomizados e a monta era controlada a intervalos de, aproximadamente, 12 horas, até a não-aceitação do reprodutor pela cabra. Os reprodutores eram utilizados por período máximo de três anos consecutivos e, então, eram removidos do rebanho. As cabras permaneciam no plantel por, no máximo, sete anos e podiam ser descartadas por insucesso na concepção, pouca habilidade materna e/ou enfermidades.

Os animais eram separados da mãe ao nascimento, recebiam colostro três vezes ao dia, dieta sólida a partir do 10º dia de vida e eram desmamados no 70º dia de idade - manejo adotado principalmente como forma preventiva da artrite-encefalite caprina (CAE).

Foram utilizados 3.214 registros de peso, do nascimento ao 112º dia; as pesagens eram realizadas a cada 28 dias. Nas análises foram consideradas informações de reprodutores com no mínimo três filhos; cabras com no mínimo dois filhos e grupos contemporâneos com no mínimo três animais, além de progênes de 40 reprodutores e 232 cabras.

Os efeitos fixos considerados na análise foram sexo da cria, tipo de nascimento e grupo de contemporâneos (formados pela combinação do ano com a estação de nascimento), além da covariável peso da cabra ao parto.

Os componentes de covariância e os parâmetros genéticos foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML), utilizando-se a opção DFUNI do pacote DFREML (Meyer, 1998). Os modelos univariados foram ajustados para todas as características, com inclusão ou exclusão de efeitos genéticos maternos, considerando a covariância genética entre os efeitos direto e materno igual ou diferente de zero, como a seguir:

$$\text{Modelo 1: } y = X\beta + Z_1a + \varepsilon$$

$$v \begin{bmatrix} a \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 \\ 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Modelo 2: $y = X\beta + Z_1a + Z_2m + \varepsilon$

$$v \begin{bmatrix} a \\ m \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & A\sigma_m^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_\varepsilon^2 \end{bmatrix}$$

Modelo 3: $y = X\beta + Z_1a + Z_2m + \varepsilon$

$$v \begin{bmatrix} a \\ m \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & \sigma_{am} & 0 \\ \sigma_{am} & A\sigma_m^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_\varepsilon^2 \end{bmatrix}$$

em que y é o vetor de observações do animal; b , o vetor de efeitos fixos no modelo; a , o vetor dos efeitos genéticos diretos; m , o vetor dos efeitos genéticos maternos; X , Z_1 e Z_2 são as matrizes de incidência; e , o vetor de resíduos aleatórios; A , a matriz de numeradores do coeficiente de parentesco entre os indivíduos; s_a^2 , a variância genética aditiva direta; s_m^2 , a variância genética aditiva materna; s_{am} , a covariância entre os efeitos genéticos aditivos direto e materno; s_e^2 , a variância residual; I_n , a matriz de identidade de ordem n ; n , o número total de observações.

O efeito de ambiente permanente materno não foi considerado neste estudo, pois, em análises preliminares, verificou-se que, ao incluí-lo, a convergência no processo iterativo foi dificultada e valores confusos ou sem explicação biológica foram estimados, provavelmente em razão do volume de dados disponível e do número de filhos por cabra.

Para testar a significância dos efeitos aleatórios e identificar o modelo mais apropriado, foi utilizado o teste da razão de verossimilhança (LRT). A estimativa LRT foi comparada ao valor do qui-quadrado tabelado, com d graus de liberdade e nível de significância de 5%, sendo da diferença entre o número de parâmetros estimados pelos modelos completo e reduzido (Stram & Lee, 1994).

As análises bicaracterísticas foram realizadas usando o modelo indicado pelo teste da razão de verossimilhança, com base nos resultados das análises com os modelos unicaracterística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos maternos para peso ao nascimento foram responsáveis por 27 a 36% da variância fenotípica (Tabela 1) e contribuíram para a redução da herdabilidade direta de 0,37 no modelo 1 e para 0,10 nos modelos 2 e 3. Não houve dife-

Tabela 1. Estimativas de componentes de covariância (kg^2) e teste da razão de verossimilhança (LRT) para pesos do nascimento ao 112º dia de idade

Table 1. Estimates of (co)variance components (kg^2) and likelihood ratio test (LRT), for weights from birth to 112th days of age

Modelo	Parâmetro	PN	P28	P56	P84	P112
1	σ_a^2	0,109	0,227	0,8811	1,428	1,8487
	σ_e^2	0,172	1,112	1,8281	2,876	5,4670
	σ_p^2	0,285	1,340	2,7092	4,304	7,3158
	LogL	79,95	-426,31	-591,80	-666,62	-864,21
2 (MI x MII)	σ_a^2	0,026	0,189	0,8580	1,218	0,9944
	σ_m^2	0,079	0,059	0,1699	0,150	1,0920
	σ_e^2	0,183	1,095	1,8319	2,916	5,2746
	σ_p^2	0,290	1,344	2,7069	4,284	7,3611
3 (MI x MIII)	LogL	94,89	-425,85	-591,79	-666,47	-859,84
	LRT	29,88*	0,917	0,010	0,288	8,748*
	σ_a^2	0,031	0,331	1,028	1,448	1,659
	σ_m^2	0,106	0,075	0,017	0,052	1,239
3 (MI x MIII)	σ_{am}	-0,021	-0,062	-0,034	0,278	-1,542
	σ_e^2	0,181	1,016	1,721	2,278	5,996
	σ_p^2	0,289	1,354	2,720	4,408	7,363
	LogL	95,32	-424,04	-590,08	-663,85	-857,94
	LRT	0,856	3,628	3,426	5,252	3,804

* ($P < 0,05$): s_a^2 = variância genética aditiva; s_m^2 = variância genética materna; s_e^2 = variância residual; s_p^2 = variância fenotípica

rença significativa ($P < 0,05$) entre os modelos 2 e 3, evidenciando que a covariância entre os efeitos direto e materno, a princípio, pode ser negligenciada. Os resultados obtidos neste estudo estão de acordo com os relatados por Sousa et al. (1999), Mandal et al. (2006) e Bosso et al. (2007), que também verificaram forte influência do efeito materno sobre o peso ao nascimento das crias.

As estimativas de herdabilidade direta (Tabela 2) obtidas neste estudo para peso ao nascer estão dentro do intervalo reportado na literatura (Mandal et al., 2006; Bosso et al., 2007) para diferentes raças e métodos. Com base nos resultados obtidos nos modelos 2 e 3 para peso ao nascer, é evidente que a estimativa da herdabilidade direta foi superestimada, visto que o efeito genético materno não foi incluído no modelo.

As estimativas de herdabilidade para o efeito genético materno, com exceção do peso ao nascer, foram de magnitude baixa e variaram de 0,005 a 0,165. A redução na importância do efeito genético materno logo após o peso ao nascimento até o 84º dia de idade pode ser atribuída ao manejo adotado no rebanho, uma vez que as crias eram separadas da mãe ao nascimento e mantidas sob aleitamento artificial até o 70º dia, como forma preventiva da artrite-encefalite caprina (CAE).

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos para pesos do nascimento ao 112º dia de idade

Table 2. Estimate of genetic parameters for weights from birth to 112th day of age

Modelo	Parâmetro	PN	P28	P56	P84	P112
1	h^2_a	0,378 ± 0,10	0,170 ± 0,08	0,320 ± 0,11	0,331 ± 0,12	0,252 ± 0,10
2	h^2_a	0,105 ± 0,02	0,141 ± 0,07	0,310 ± 0,13	0,284 ± 0,10	0,140 ± 0,08
	h^2_m	0,275 ± 0,08	0,050 ± 0,02	0,006 ± 0,04	0,040 ± 0,02	0,150 ± 0,06
3	h^2_a	0,105 ± 0,03	0,244 ± 0,09	0,378 ± 0,13	0,328 ± 0,12	0,225 ± 0,09
	h^2_m	0,328 ± 0,10	0,050 ± 0,02	0,005 ± 0,003	0,010 ± 0,01	0,165 ± 0,06
	r_{am}	-0,329	-0,399	-0,999	1,000	-0,766

h^2_a = herdabilidade direta; h^2_m = herdabilidade materna; r_{am} = correlação genética entre os efeitos direto e materno

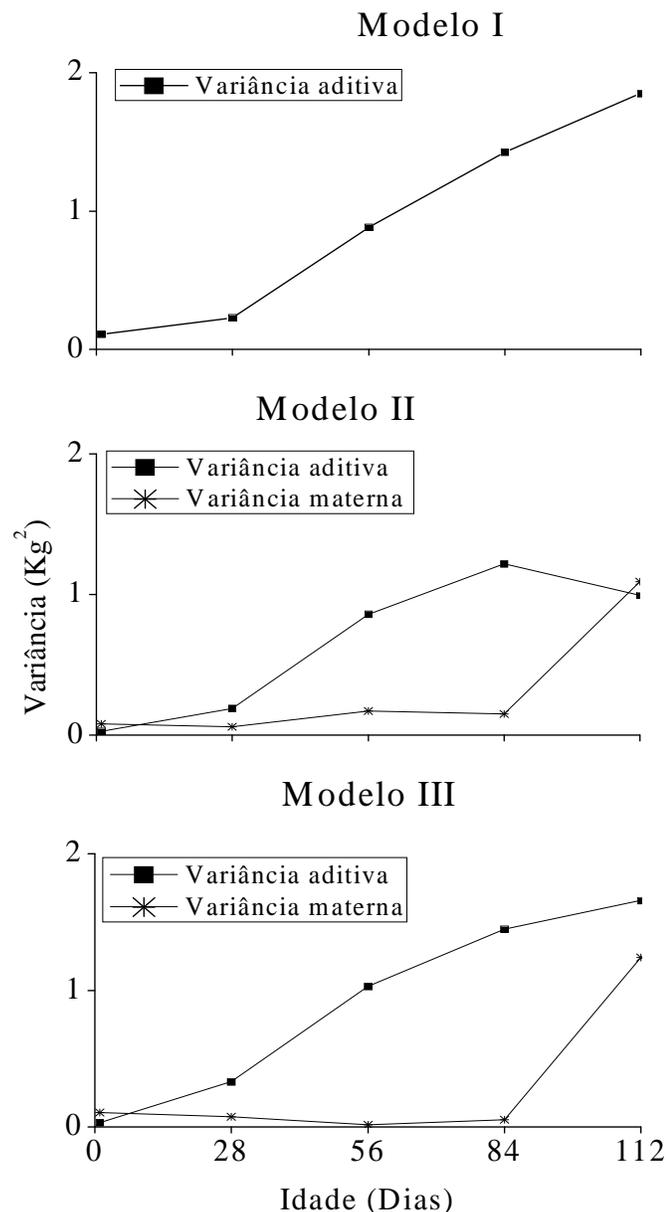


Figura 1. Estimativas de variância genética aditiva direta e genética aditiva materna para pesos do nascimento ao 112º dia de idade

Figure 1. Estimates of direct additive and maternal genetic variance for weights from birth to 112th day of age

O aumento da influência do efeito materno após o 84º dia de idade pode estar associado à falta de ajuste, em decorrência do menor número de observações com o aumento da idade, o que pode dificultar a partição da variância total nas proporções corretas para cada efeito aleatório. Outra hipótese seria a não-inclusão do efeito de ambiente permanente materno nos modelos, o que poderia resultar em variâncias e herdabilidades maternas superestimadas.

Maniatis et al. (2002), ao analisarem efeitos maternos sobre pesos de ovinos da raça Suffolk, verificaram aumento significativo do logaritmo da função de verossimilhança com a adição do efeito genético materno ao efeito genético direto. A variância aditiva direta para peso ao nascimento reduziu consideravelmente e a herdabilidade direta diminuiu de 40 para

8%. A herdabilidade materna representou 37 e 12% da variância total ao nascimento e ao 60º dia de idade, respectivamente.

Bosso et al. (2007) observaram que estimativas de herdabilidade para peso corporal de caprinos variaram de moderadas a altas (0,50 para peso ao nascimento e 0,30 para peso ao 360º dia de idade). Entretanto, Rashidi et al. (2006), em estudo com caprinos, relataram que as estimativas de herdabilidade direta variaram de 0,20 a 0,44 para peso à desmama e peso a um ano de idade, respectivamente, e que as estimativas de herdabilidade materna foram menores que as herdabilidades direta (0,07 para peso ao nascimento e 0,02 para peso à desmama e aos seis meses de idade).

As estimativas de correlação genética entre os efeitos direto e materno (Tabela 2), com exceção do peso ao 84º dia de idade, foram negativas e de alta magnitude; para peso ao nascimento e aos 112 dias de idade, foram, -0,32 e -0,76, respectivamente. Resultados superiores foram reportados por Sousa et al. (1999), que relataram correlações de -0,15 e -0,31 para peso ao nascer e aos 112 dias de idade, respectivamente. Schoeman et al. (1997), em estudo com caprinos da raça Boer, estimaram correlações entre os componentes direto e materno negativas e baixas (-0,30 e -0,14) para peso ao nascimento e ao desmame, respectivamente. Para o peso aos 84 dias de idade, que apresentou correlação igual à unidade, uma possível explicação seria a falta de ajuste do modelo, como consequência do baixo número de animais nesta idade (696 animais) e/ou da consistência das informações, fato que poderia conduzir a obtenção de valores sem qualquer explicação biológica.

As correlações negativas têm sido justificadas pela provável covariância ambiental negativa entre mãe e filho, que não é considerada. De acordo com Robinson (1996), as estimativas negativas são, possivelmente, consequências de uma variação adicional entre reprodutores, ou variação reprodutor × ano. Eler et al. (2000) verificaram que as correlações passaram de negativas para próximas de zero e positivas quando considerado no modelo o efeito da interação reprodutor × rebanho.

As correlações altas e negativas entre efeitos genético direto e materno indicam a dificuldade de melhorar simultaneamente ambas características em programas de seleção. Tosh & Kemp (1994) sugeriram que o antagonismo entre esses efeitos pode ser atribuído à seleção natural para manutenção de desenvolvimento ótimo intermediário. Swalwe (1993) também concluiu que as correlações direta-materna negativas poderiam ser amplificadas pelo sistema de manejo. De acordo com Nasholm & Danell (1996), as correlações são mais negativas em dados de campo que em dados experimentais.

As análises bicaracterísticas foram realizadas utilizando-se o modelo 2, uma vez que os resultados obtidos pelo teste da razão de verossimilhança (LRT) indicaram como mais adequada a inclusão do efeito genético da mãe assumindo covariância nula entre os efeitos genéticos direto e materno para estimação de componentes de variância e parâmetros genéticos para características de desempenho corporal de caprinos da raça Anglo-Nubiana.

As correlações genéticas entre o peso ao nascimento e os demais pesos (Tabela 3) foram de moderada a alta magnitude e variaram de 0,22 entre peso ao nascimento e peso aos 112 dias a 0,85 entre peso ao nascimento e peso aos 56 dias de idade. Esses resultados indicam a possibilidade de aumentar o peso aos 112 dias de idade sem aumento significativo no peso ao nascimento.

Tabela 3. Estimativas de herdabilidade média para os efeitos genéticos aditivos direto (diagonal), correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) para pesos do nascimento ao 112º dia de idade de caprinos da raça Anglo-Nubiano

Table 3. Estimates of mean heritability for direct additive genetic effects (diagonal) genetic (above diagonal) and phenotypic (below diagonal) correlations for weight from birth to 112th day of age of Anglo-Nubian goat

Características	PN	P28	P56	P84	P112
PN	0,10	0,84	0,85	0,47	0,22
P28	0,42	0,18	0,95	0,95	0,63
P56	0,35	0,67	0,30	0,80	0,74
P84	0,32	0,60	0,75	0,25	1,00
P112	0,27	0,51	0,62	0,78	0,14

As correlações fenotípicas obtidas foram positivas e variaram de 0,27 a 0,78; as mais altas foram entre idades adjacentes, porém entre peso ao nascimento e as demais pesagens, houve tendência de redução com o aumento da idade. Nas condições adversas em que os animais são criados, fatores de ambiente têm grande efeito sobre o crescimento das crias.

Embora animais mais pesados ao nascer mantenham essa vantagem em idades posteriores, quando a seleção é praticada, o peso excessivo ao nascer pode comprometer tanto o parto como o desenvolvimento pós-natal, especialmente em caprinos que apresentam partos gemelares mais frequentes.

CONCLUSÕES

O modelo que inclui os efeitos genéticos direto e materno considerando covariância nula (Modelo 2) é o mais apropriado para obtenção da estimativa da herdabilidade para características de crescimento de caprinos Anglo-Nubiano.

Os valores de herdabilidades obtidas para peso nas idades consideradas indicam que o progresso genético esperado por meio de seleção é pequeno.

LITERATURA CITADA

- Bosso, N.A.; Cissé, M.F.; Van der Waaij, E.H.; Fall, A.; Van Arendonk, J.A.M. Genetic and phenotypic parameters of body weight in west African Dwarf goat and Djallonké sheep. *Small Ruminant Research*, v. 67, n.2, p.271-278, 2007.
- Eler, J.P.; Ferraz, J.B.S.; Golden, B.L., Pereira, E. Influência da interação touro x rebanho na estimação da correlação entre efeitos genéticos direto e materno em bovinos da raça Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.6, p.1642-1648, 2000.
- Ekiz, B. Estimates of maternal effects for pre- and post-weaning daily gain in Turkish Merino lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, v.29, n.2, p.399-407, 2005.
- Gonçalves, H.C.; Silva, M.A.; Wechsler, F.S.; Ramos, A.A. Fatores genéticos e de meio na produção de leite de caprinos leiteiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.3, p.719-729, 2001.
- Lôbo, R.N.B. Melhoramento genético de caprinos e ovinos. Desafios para o mercado. In: Seminário Nordeste de Pecuária, 7, 2002, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Federação da Agricultura do Estado do Ceará, 2002. v. 7, p. 44-60.
- Mandal, A.; Naser, F.W.C.; Rout, P.K.; Roy.; Notter, D.R. Estimation of direct and maternal (co)variance components for pre-weaning growth traits in Muzaffarnagari sheep. *Livestock Science*, v.99, n.1, p.79-89, 2006.
- Maniatis, N.; Pollott, G.E. Maternal effects on weight and ultrasonically measured traits of lambs in a small closed Suffolk flock. *Small Ruminant Research*, v.45, n.3, p.235-246, 2002.
- Meyer, K. Estimates of direct and maternal correlations among growth traits in Australian beef cattle. *Livestock Production Science*, v.38, n.2, p.91-105, 1994.
- Meyer, K. DFREML. Programs to estimate variance components by restricted maximum likelihood using a derivative-free algorithm – user notes. Armidale: University of New England-AGBU, 1998. 33p.
- Nasholm, A.; Danell, O. Genetic relationships of lamb weight, maternal ability, and mature ewe weight in Swedish finewool sheep. *Journal Animal Science*, v. 74, n.2, p. 329-339, 1996.
- Rashidi, A; Ramazanian, M; Vaez Torshizi, R. Genetic parameter estimates for growth traits and fleece weight in Markhoz goats. In: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 8, 2006, Belo Horizonte. Proceedings... Belo Horizonte, 2006. (CD-Rom).
- Robinson, D.L. Estimation and interpretation of direct and maternal genetic parameters for weights of Australian Angus cattle. *Livestock Production Science*, v. 45, n.1, p. 1-11, 1996.
- Sarmento, J.L.R; Pimenta Filho, E.C.; Ribeiro, M.N.; Araújo, C.V.; Breda, F.C.; Pires, A.V.; Torres Filho, R.A.; Torres R.A. Fatores genéticos e de ambiente sobre o intervalo de partos de cabras leiteiras no semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.4, p. 875-879, 2003.
- Sarmento, J.L.R; Torres, R.A.; Sousa, W.H.; Pereira, C.S.; Lopes, P.S; Breda, F.C. Estimação de parâmetros genéticos para características de crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos uni e multicausais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.58, n.4, p.581-589, 2006.
- Schoeman, S.J.; Els, J.F.; Van Niekerk, M.M. Variance components of early growth traits in the Boer goat. *Small Ruminant Research*, v. 26, n.1, p.15-20, 1997.

- Sousa, W.H.; Pereira, C.S.P.; Bergmann, J.A.G.; Silva, F.L.R. Estimativas de componentes de (co)variância e herdabilidade direta e materna de pesos corporais em ovinos da raça Santa Inês. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.6, p.1252-1262, 1999.
- Stram, D.O.; Lee, J.W. Variance components testing in the longitudinal mixed effects model. *Biometrics*, v. 50, n.4, p. 1171-1177, 1994.
- Swalwe, H.H. Estimation of direct and maternal (co)variance components for growth traits in Australian Simmental beef cattle. *Journal Animal Breeding Genetic*, v.110, n.2, p.241-252, 1993.
- Tosh, J.J.; Kemp, P.A. Estimation of variance components for lamb weights in three sheep populations. *Journal Animal Science*, v.72, n.5, p.1184-1190, 1994.