



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria
Brasil

Valencia Tapia, Elmer Francisco; Amorim Ramos, Alcides de; Wechsler, Francisco Stefano; Lui, Jeffrey Frederico; Grupioni, Natalia Vinhal; Boccaletti Ramos, Salvador; Prado Munari, Danísio
Heterogeneidade dos componentes de variância na produção de leite e seus efeitos nas estimativas de herdabilidade e repetibilidade

Ciência Rural, vol. 41, núm. 6, junio, 2011, pp. 1070-1075
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33119153012>

- 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

Heterogeneidade dos componentes de variância na produção de leite e seus efeitos nas estimativas de herdabilidade e repetibilidade

Heterogeneity of variance components in milk production and their effects on estimates of heritability and repeatability

Elmer Francisco Valencia Tapia^I Alcides de Amorim Ramos^{II} Francisco Stefano Wechsler^{II}
Jeffrey Frederico Lui^{III} Natalia Vinhal Grupioni^I Salvador Boccaletti Ramos^I Danísio Prado Munari^{I*}

RESUMO

Avaliou-se a heterogeneidade dos componentes de variância e seu efeito nas estimativas de herdabilidade e repetibilidade da produção de leite de bovinos da raça Holandesa. Os rebanhos foram agrupados de acordo com o nível de produção (baixo, médio e alto) e avaliados na escala não transformada, raiz quadrada e logarítmica. Os componentes de variância foram estimados pelo método de máxima verossimilhança restrita. O modelo animal incluiu os efeitos fixos de rebanho-ano-estação e das covariáveis duração da lactação (efeito linear) e idade da vaca ao parto (efeito linear e quadrático) e os efeitos aleatórios genético aditivo direto, de ambiente permanente e residual. Na escala não transformada, todos os componentes de variância foram heterogêneos entre os três níveis de produção. Nesta escala, a variância residual e a fenotípica estavam associadas positivamente com o nível de produção enquanto que na escala logarítmica a associação foi negativa. A heterogeneidade da variância fenotípica e de seus componentes afetou mais as estimativas de herdabilidade que as da repetibilidade. A eficiência do processo de seleção para produção de leite poderá ser afetada pelo nível de produção em que forem estimados os parâmetros genéticos.

Palavras-chave: bovinos leiteiros, heterocedasticidade, parâmetros genéticos.

ABSTRACT

It was evaluated the heterogeneity of components of phenotypic variance and its effects on the heritability and repeatability estimates for milk yield in Holstein cattle. The herds were grouped according to their level of production (low, medium and high) and evaluated in the non-transformed,

square-root and logarithmic scale. Variance components were estimated using a restricted maximum likelihood method based on an animal model that included fixed effects of herd-year-season, and as covariates the linear effect of lactation duration and the linear and quadratic effects of cow's age at calving and the random direct additive genetic, permanent environment and residual effects. In the non-transformed scale all the variance components were heterogeneous. On this scale, residual and phenotypic variance components were associated positively with the level of production while in logarithmic scale that association was negative. Estimates of heritability were more affected than the repeatability for the phenotypic variance heterogeneity and their components. The of selection process efficiency for milk production could be affected by the level of production which was considered for genetic parameters estimation.

Key words: dairy cattle, genetic parameters, heterocedasticity.

INTRODUÇÃO

Na estimação dos parâmetros genéticos para características de importância econômica em gado de leite, pressupõe-se, em geral, homogeneidade dos componentes de variância nos diferentes rebanhos. Todavia, devido à ação dos fatores genéticos e ambientais, assim como a interação entre esses fatores, durante um longo período de tempo, esta suposição pode não ser válida. Várias pesquisas constataram heterogeneidade dos componentes, pois as variâncias

^IDepartamento de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista "Julio de MesquitaFilho"(UNESP), 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail: danisio@fcav.unesp.br. *Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Produção Animal, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

^{III}Departamento de Zootecnia, FCAV, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

fenotípicas e residuais apresentaram relação positiva com o nível de produção dos rebanhos (MARION et al., 2001; WEBER et al., 2005).

A extensão do efeito da heterogeneidade de variâncias nas avaliações genéticas dos animais depende de sua origem. Quando a heterogeneidade é causada por fatores ambientais, a avaliação genética de animais pode estar mais sob influência do ambiente no qual eles são criados do que de seu potencial genético. Se a heterogeneidade de variância resultar de fatores genéticos, não haverá consequências para o processo de seleção dos animais (TORRES et al., 2000).

Como consequência da heterogeneidade dos componentes de variância, as estimativas da herdabilidade e da repetibilidade também podem ser influenciadas. GARRICK & VAN VLECK (1987) e VISSCHER & HILL (1992) sugeriram diferentes situações hipotéticas de heterogeneidade dos componentes de variância aditiva e residual, assim como seus respectivos efeitos nas estimativas da herdabilidade. Dessa forma, (a) se em todos os níveis de produção as estimativas da variância genética aditiva forem homogêneas, assim como as estimativas da variância residual, então as estimativas de herdabilidade serão homogêneas nos diferentes níveis; (b) quando as estimativas da variância genética aditiva são homogêneas nos diferentes níveis de produção, mas a estimativa da variância ambiental é heterogênea nos diferentes níveis, as estimativas de herdabilidade também serão heterogêneas nos diferentes níveis de produção; (c) se a variância genética aditiva for heterogênea nos diferentes níveis de produção, porém a variância residual permanecer constante, então as estimativas da herdabilidade serão heterogêneas nos diferentes níveis de produção; (d) embora se observe heterogeneidade da variância genética aditiva e da variância residual nos diferentes níveis de produção, as herdabilidades permanecem homogêneas, porque estes componentes mudam na mesma proporção nos diferentes níveis de produção; (e) se houver heterogeneidade de variância genética aditiva e da residual, porém, a proporcionalidade nos diferentes níveis de produção não se mantém, então as herdabilidades serão heterogêneas.

Se a associação positiva entre as médias de produção dos rebanhos com as variâncias fenotípicas for ignorada poderão ocorrer: distorção na proporção de animais selecionados (MARION et al., 2001; COSTA et al., 2004), dificuldade na seleção dos animais provenientes de diferentes rebanhos (COSTA et al., 2004; CARNEIRO JUNIOR et al., 2007), erros nas estimativas dos valores genéticos e na classificação

dos animais (TORRES, et al., 2000; COSTA et al., 2004), diminuição da acurácia das avaliações genéticas dos animais candidatos à seleção e dos parâmetros genéticos (MARION et al., 2001; CARNEIRO JUNIOR et al., 2007), diminuição no ganho genético anual e perdas econômicas (COSTA et al., 2004; CARNEIRO JUNIOR et al., 2007).

Neste estudo, o objetivo foi avaliar a heterogeneidade dos componentes de variância e seu efeito nas estimativas de herdabilidade e repetibilidade da produção de leite de bovinos da raça Holandesa, em rebanhos estratificados de acordo com o nível de produção na escala não transformada e nas escalas transformadas pela raiz quadrada e pelo logaritmo.

MATERIAL E MÉTODOS

Analisaram-se 12.416 lactações provenientes de 3.632 vacas Holandesas, filhas de 244 touros, distribuídas em 92 rebanhos nos estados de São Paulo e Paraná, no período de 1976 a 1987, cedidas pela Associação Brasileira de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa. Antes de classificar os rebanhos em três níveis, segundo o nível de produção de leite: baixo ($5.312 \pm 1.405,4\text{kg}$), médio ($6.325 \pm 1.590,3\text{kg}$) ou alto ($7.385 \pm 1.833,5\text{kg}$), sob a escala não transformada, raiz quadrada e logarítmica, os dados da produção de leite foram ajustados para os seguintes fatores ambientais: rebanho-ano-estação, duração da lactação (efeito linear) e para a idade da vaca ao parto (efeito linear e quadrático), de acordo com TAPIA et al. (2008).

Os componentes de variância para os três níveis de produção de leite, sob as três escalas, foram obtidos pelo método da máxima verossimilhança restrita, utilizando MTDFREML (BOLDMAN et al., 1995) para modelo animal uni-característica:

$Y = X\beta + Za + Wp + \epsilon$, em que: Y = vetor da variável dependente, produção de leite; X = matriz de incidência dos efeitos fixos; β = vetor de efeitos fixos de rebanho-ano-estação e, como co-variáveis, o efeito linear e quadrático da idade da vaca ao parto e o efeito linear da duração da lactação; Z = matriz de incidência dos efeitos genéticos aditivos diretos; a = vetor dos efeitos aleatórios genéticos aditivos dos animais; W = matriz de incidência dos efeitos de ambiente permanente; p = vetor dos efeitos aleatórios de ambiente permanente das vacas; ϵ = vetor dos efeitos residuais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos componentes de variância, sob a escala não transformada, raiz quadrada e logarítmica, para os três níveis de produção e para o

total de dados estão apresentadas na tabela 1. Na escala não transformada, a variância fenotípica (σ_p^2) foi heterogênea entre os três níveis de produção, diferindo em até 65,5%. As maiores estimativas foram verificadas nos rebanhos com maiores médias ou nível de produção de leite. Esta associação positiva entre a σ_p^2 e o aumento do nível de produção dos rebanhos é justificada pelo efeito de escala. O efeito de escala é observado em muitas situações em que a variância é proporcional à média de produção. Por isso, rebanhos com maiores médias de produção possuem maiores variâncias (FALCONER & MACKAY, 1996; MARION et al., 2001; WEBER et al., 2005). A σ_p^2 , além de sofrer influência do nível de produção dos rebanhos, também é influenciada pelo uso ou não de equipamentos automáticos utilizados na fazenda, sistema de armazenamento de alimentos e a frequência do fornecimento de concentrados para vacas leiteiras (WEIGEL et al., 1993), raças ou grupos genéticos (COSTA et al., 2004) e região geográfica, estado ou país (CERÓN-MUÑOZ et al., 2004).

Apesar da transformação pela raiz quadrada ser recomendada para atenuar a heterogeneidade da σ_p^2 nos dados, pelo fato de as variâncias estarem associadas linearmente com as médias de produção de leite (TAPIA et al., 2008), a estimativa obtida para a σ_p^2 no nível baixo de produção diferiu daquelas obtidas para os demais níveis em até 18,9%. Este resultado pode ser explicado pela coexistência das heterocedasticidades dos tipos regular e irregular nos dados. Na heterocedasticidade regular, as

transformações podem ser efetivas se for conhecida a distribuição dos dados. Na heterocedasticidade irregular, a transformação dos dados proporciona pouco ou nenhum efeito no seu controle (COCHRAN, 1947).

Embora HILL et al. (1983) tenham conseguido homogeneizar relativamente as σ_p^2 em três níveis de produção, pela transformação logarítmica, isto não ocorreu no presente trabalho. As estimativas decresceram conforme aumentou o nível de produção dos rebanhos, provavelmente em decorrência da diminuição da variância residual (σ_e^2) e da variância de ambiente permanente (σ_{EP}^2). Resultados similares ao deste trabalho foram encontrados por BOLDMAN & FREEMAN (1990).

Na escala não transformada, as estimativas da σ_e^2 foram heterogêneas entre os três níveis de produção, porque estas aumentaram conforme se elevou o nível de produção dos rebanhos (Tabela 1). As estimativas do nível médio e alto diferiram das do nível baixo em 12,9 e 56,4%, respectivamente. A associação positiva entre o crescimento da σ_e^2 e o nível de produção de leite está de acordo com MARION et al. (2001) e WEBER et al. (2005), e é uma das consequências do efeito da escala da característica.

Na escala raiz quadrada, a σ_e^2 foi praticamente homogênea entre os três níveis de produção de leite. A diferença máxima entre as estimativas nos três níveis de produção foi diminuída de 56,4% na escala não transformada, para 12,4% na escala raiz quadrada. Este resultado indicou que o efeito de escala observado nos dados não transformados foi atenuado pela

Tabela 1 - Estimativas das variâncias genética aditiva direta (σ_A^2), de ambiente permanente (σ_{EP}^2), residual (σ_e^2), fenotípica (σ_p^2), herdabilidade (h^2) e repetibilidade (t) para a produção de leite, de acordo com o nível de produção na escala não transformada, raiz quadrada e logarítmica.

Nível de produção	(σ_A^2)	(σ_{EP}^2)	(σ_e^2)	(σ_p^2)	h^2	t
-----Escala não transformada-----						
Baixo	166.487,8	237.304,2	531.721,2	935.513,2	0,18	0,43
Médio	458.841,0	217.414,1	600.394,1	1.276.649,3	0,36	0,53
Alto	379.295,8	337.096,7	831.746,4	1.548.139,0	0,25	0,46
Total	286.807,1	338.724,7	638.230,8	1.263.762,7	0,23	0,49
-----Escala raiz quadrada-----						
Baixo	7,6	10,4	25,3	43,3	0,17	0,42
Médio	16,9	10,2	24,0	51,0	0,33	0,53
Alto	18,0	6,5	27,0	51,5	0,35	0,48
Total	11,6	12,8	25,0	49,4	0,24	0,49
-----Escala logarítmica-----						
Baixo	0,005	0,012	0,024	0,040	0,12	0,41
Médio	0,011	0,006	0,017	0,034	0,33	0,51
Alto	0,010	0,004	0,016	0,029	0,33	0,46
Total	0,008	0,008	0,017	0,034	0,23	0,48

transformação raiz quadrada. Segundo FALCONER & MACKAY (1996), o efeito de escala desaparece quando uma transformação adequada for aplicada. A partir dos resultados, pode-se afirmar também que a maior percentagem da heterogeneidade de σ_p^2 é de origem ambiental, porque, na escala não transformada, a σ_E^2 representou de 47 a 56,8% da σ_p^2 .

Na escala logarítmica, as σ_E^2 foram heterogêneas nos três níveis de produção, porque estas estimativas decresceram com o aumento do nível de produção, conforme BOLDMAN & FREEMAN (1990). Esta tendência decrescente da σ_E^2 pode ter sido uma das causas para obter estimativas semelhantes de herdabilidade (h^2) no nível médio e alto de produção desta escala. Além do efeito de escala, a σ_E^2 pode ser influenciada pelo manejo nutricional do gado leiteiro. Por exemplo, a σ_E^2 decrescerá se todas as vacas receberem a mesma quantidade de alimento e o mesmo tipo de dieta. Porém, o contrário ocorrerá se as vacas receberem diferentes dietas e quantidades (DE VEER & VAN VLECK, 1987). Entre os outros fatores que influem na σ_E^2 , constam a ordem de parto das vacas, as práticas de manejo dos animais, tipo de instalações e o tamanho do rebanho (WEIGEL et al., 1993; ESPINOZA et al., 2007).

Na escala não transformada, a σ_{EP}^2 , ou, mais apropriadamente, co-variância de ambiente permanente (HOHENBOKEN, 1985), resultou heterogênea entre os três níveis de produção (Tabela 1). A maior estimativa foi verificada no nível alto. Estes resultados indicaram que nos rebanhos de alta produção, os fatores ambientais permanentes tais como: o manejo nutricional e os cuidados a que foram submetidas as vacas, tanto na fase de cria ou recria, causaram maior co-variância na produção de leite entre as diferentes lactações de cada vaca. Resultados distintos foram relatados por BOLDMAN & FREEMAN (1990) e MARION et al. (2001), que observaram associação positiva da σ_{EP}^2 com o nível de produção ou com o desvio-padrão fenotípico dos rebanhos.

Na escala raiz quadrada, ainda que as estimativas da σ_{EP}^2 do nível baixo e médio resultaram mais homogêneas, a do nível alto foi a menor, chegando a diferir das demais em até 59,7%. Este resultado indicou que o efeito de escala também afetou este componente de variância. A heterocedasticidade do tipo irregular, verificada nos dados originais (TAPIA et al., 2008), também pode ter influenciado neste resultado. Na escala logarítmica, as estimativas da σ_{EP}^2 decresceram com o aumento do nível de produção de leite, de acordo com BOLDMAN & FREEMAN (1990).

No caso da variância genética aditiva (σ_A^2), também foram verificadas estimativas heterogêneas

nos três níveis de produção da escala não transformada (Tabela 1). A maior estimativa foi observada no nível médio de produção e a menor no nível baixo, sendo a diferença entre estas de até 175,6%. MARION et al. (2001) e WEBER et al. (2005) observaram associação positiva da σ_A^2 com o nível de produção dos rebanhos. Neste trabalho, o resultado pode ser explicado pelo maior efeito da σ_E^2 no nível alto de produção que no nível médio. Esta hipótese pode ser comprovada ao analisar as proporções da σ_E^2 em relação à σ_A^2 nos três níveis de produção da escala não transformada (3,2; 1,3 e 2,2 no nível baixo, médio e alto, respectivamente).

As altas proporções da σ_E^2 em relação à σ_A^2 no nível baixo de produção da escala raiz quadrada (3,3; 1,4 e 1,5 no nível baixo, médio e alto, respectivamente) indicaram que, provavelmente, nas fazendas do nível baixo de produção, a expressão de todo o potencial genético dos animais ficou limitada por estes não terem recebido alimentação, instalações, manejo e sanidade adequados, similar ao relatado por CERÓN-MUÑOZ et al. (2004) e WEBER et al. (2005).

A σ_A^2 , além de não ser constante entre os níveis de produção (MARION et al., 2001; WEBER et al. 2005); classe de desvio-padrão do rebanho ou do rebanho-ano (TORRES et al., 2000; CERÓN-MUÑOZ et al., 2004), também pode ser influenciada pela seleção, composição genética dos rebanhos, número de filhas por touro, tempo de utilização dos reprodutores, tamanho da população e pela percentagem de vacas com uma ou mais lactações (COSTA et al., 2004; ESPINOZA et al., 2007). Ainda que as estimativas da h^2 da produção de leite nos três níveis de produção foram diferentes nas três escalas, as estimativas para o total de dados foram similares (Tabela 1). HILL et al. (1983) e TORRES et al. (1999) observaram maiores estimativas de h^2 sob a escala logarítmica ou raiz quadrada do que na escala original, em razão da maior homogeneização da σ_E^2 por estas transformações.

Na escala não transformada, os coeficientes de h^2 dos três níveis de produção foram heterogêneos (Tabela 1). A maior estimativa foi observada no nível médio e a menor no nível baixo. BOLDMAN & FREEMAN (1990) e WEBER et al. (2005) constataram aumento nas estimativas de h^2 , à medida que o nível de produção dos rebanhos aumentou. Essa associação positiva entre as estimativas da h^2 e o nível de produção de leite pode ser decorrente das melhores condições ambientais (nutrição, manejo, sanidade e instalações), que teriam os animais criados no nível médio e alto de produção (CERÓN-MUÑOZ et al., 2004; WEBER et al., 2005). Segundo SHORT et al. (1990), o manejo nutricional do rebanho leiteiro poderia explicar a variação entre σ_A^2 e σ_E^2 nos rebanhos.

As estimativas heterogêneas de h^2 observadas nesta pesquisa (Tabela 1) entre os três níveis de produção, na escala não transformada, forneceram um exemplo típico da situação “e”, descrita na introdução. Isso ocorreu em razão da σ_A^2 e a σ_E^2 não variarem na mesma proporcionalidade, quando aumentou o nível de produção dos rebanhos. Na escala raiz quadrada, apesar dos coeficientes de h^2 do nível alto e médio terem sido similares (Tabela 1), a estimativa do nível baixo diferiu em 105,8%. A alta proporção da σ_E^2 em relação à σ_A^2 no nível baixo de produção e a heterocedasticidade do tipo irregular nos dados originais podem explicar estes resultados. TORRES et al. (1999) estimaram h^2 similares nos três níveis de desvio-padrão fenotípico da produção de leite ajustada para idade adulta, em razão da maior homogeneização da σ_P^2 ao aplicarem aos dados a transformação pela raiz quadrada.

Na escala logarítmica, embora a estimativa da σ_A^2 do nível médio ser 17% maior que a do nível alto, as estimativas da h^2 destes dois níveis foram iguais (0,33). O decréscimo proporcional da σ_A^2 e da σ_P^2 conforme aumentou o nível de produção de leite explicam a mesma magnitude de h^2 nestes dois níveis de produção, resultado similar a situação “d” descrita anteriormente. BOLDMAN & FREEMAN (1990) verificaram associação positiva da h^2 com o incremento do nível de produção na escala logarítmica. Para esses autores, a proporção relativa da σ_A^2 em relação à σ_P^2 aumentou conforme aumentou o nível de produção, enquanto que as proporções da σ_{EP}^2 e da σ_E^2 diminuíram. No presente trabalho, a mesma tendência para as variâncias não foi observada conforme aumentou o nível de produção.

As menores estimativas da h^2 verificadas nesta pesquisa no nível baixo de produção nas três escalas indicaram que, para obter maior ganho genético e possibilitar maiores benefícios econômicos aos produtores de leite, devem-se realizar estudos para identificar os principais fatores ambientais que limitam a expressão do potencial genético dos animais deste nível de produção. Esta necessidade torna-se ainda mais evidente se for considerado que a maioria dos rebanhos leiteiros do Brasil pertence a este nível de produção, pois a média brasileira estimada de produção de leite por vaca em 2008 é de 1.261 kg (CNPGL, 2010). Assim, estimativas de herdabilidade que considerarem a produção de leite no nível baixo de produção terão menores magnitudes e, conseqüentemente, afetarão a eficiência do processo de seleção dos animais deste nível de produção.

No caso da repetibilidade (r), as estimativas nos três níveis de produção de leite diferiram pouco

nas três escalas (Tabela 1). Estes resultados indicaram que as estimativas da r foram menos afetadas pela heterogeneidade dos componentes de variância e que o efeito de escala exerceu baixa influência na determinação deste parâmetro. O menor efeito da heterogeneidade dos componentes de variância nas estimativas da r foi devido à presença de um componente de variância a mais no numerador, a σ_{EP}^2 . Sendo assim, embora a σ_A^2 representasse 18% da σ_P^2 , no nível baixo de produção de leite da escala não transformada, a estimativa da r deste nível de produção foi igual a 0,43, porque a σ_{EP}^2 acrescentou ao numerador 25% da σ_P^2 . BOLDMAN & FREEMAN (1990) também verificaram estimativas da r similares nos três níveis de produção dos rebanhos na escala não transformada e logarítmica, o que corrobora o menor efeito da heterogeneidade dos componentes de variância na r , verificado no presente trabalho.

Como a maior percentagem da heterogeneidade de σ_P^2 é de origem ambiental, recomenda-se estudar a heterogeneidade da variância e seus efeitos por outras metodologias que possibilitem incluir fontes adicionais de informação. Estas devem permitir um ajuste mais preciso dos efeitos ambientais temporários a fim de minimizar a σ_E^2 e a estimação de parâmetros genéticos mais precisos e acurados como modelos multi-característica (CERÓN-MUÑOZ et al., 2004; COSTA et al., 2004); métodos bayesianos (CARNEIRO JUNIOR et al., 2007) ou modelos de regressão aleatória (EL FARO & ALBUQUERQUE, 2003).

CONCLUSÃO

A transformação dos dados pela raiz quadrada atenuou, mas não removeu toda a heterogeneidade da variância residual e fenotípica da produção de leite, enquanto que a transformação logarítmica não homogeneizou nenhum componente de variância. As estimativas de herdabilidade foram mais influenciadas pela heterogeneidade dos componentes de variância do que a repetibilidade. A eficiência do processo de seleção para produção de leite poderá ser afetada pelo nível de produção em que forem estimados os parâmetros genéticos.

REFERÊNCIAS

BOLDMAN, K.G.; FREEMAN, A.E. Adjustment for heterogeneity of variances by herd production level in dairy cow and sire evaluation. *Journal of Dairy Science*, v.73, p.503-512, 1990. Disponível em: <<http://jds.fass.org/cgi/reprint/73/2/503.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

- BOLDMAN, K.G. et al. **A manual for use of MTDFREML, a set of programs to obtain estimates of variances and covariances**. Lincoln: Department of Agriculture/Agricultural Research Service, 1995. 125p.
- CARNEIRO JUNIOR, J.M. et al. Estimação de componentes de variância utilizando-se inferência Bayesiana e frequentista em dados simulados sob heterogeneidade de variâncias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1539-1548, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36n5s0/a12v3650.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- CERÓN-MUÑOZ, M.F. et al. Variance heterogeneity for Milk yield in Brazilian and Colombian Holstein herds. **Livestock Research for Rural Development**, v.16, n.4, p.1-8, 2004. Disponível em: <<http://www.lrrd.org/lrrd16/4/cero16020.htm>>. Acesso em: 6 jul. 2010.
- CNPGL (Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite). Disponível em: <<http://www.cnppl.embrapa.br/nova/informacoes/estatisticas/producao/tabela0230.php>>. Online. Acesso em: 15 jun. 2010.
- COCHRAN, W.G. Some consequences when the assumptions for the analysis of variance are not satisfied. **Biometrics**, v.3, p.2-38, 1947. Disponível em: <<http://www.jstor.org/pss/3001535>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- COSTA, C.N. et al. Heterogeneidade de (Co) variância para as produções de leite e de gordura entre vacas puras e mestiças da raça Gir. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.3, p.555-563, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n3/21477.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- DE VEER, J.C.; VAN VLECK, L.D. Genetic parameters for first lactation milk yields at three levels of herd production. **Journal of Dairy Science**, v.70, p.1434-1441, 1987. Disponível em: <<http://jds.fass.org/cgi/reprint/70/7/1434>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L.G. Utilização de modelos de regressão aleatória para produção de leite no dia do controle, com diferentes estruturas de variâncias residuais. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1104-1113, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v32n5/17892.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. New York: Longman, 1996. 463p.
- GARRICK, D.J.; VAN VLECK, L.D. Aspects of selection for performance in several environments with heterogeneous variance. **Journal of Animal Science**, v.65, p.409-421, 1987. Disponível em: <<http://jas.fass.org/cgi/reprint/65/2/409>>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- HILL, W.G. et al. Heritability of milk yield and composition at different levels and variability of production. **Animal Production**, v.36, p.59-68, 1983.
- HOHENBOKEN, W.D. Heritability and repeatability. In: CHAPMAN A. (Ed.). **General and quantitative genetics**. Amsterdam: Elsevier, 1985. p.61-120.
- MARION, A.E. et al. Estudo da heterogeneidade das variâncias para as características produtivas de rebanhos da raça Holandesa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1995-2001, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v30n6s0/7410.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- SHORT, T.H. et al. Heterogeneous within-herd variance. 1. Genetic parameters for first and second lactation milk yields of grade holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v.73, p.3312-3320, 1990. Disponível em: <<http://jds.fass.org/cgi/content/abstract/73/11/3312>>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- TAPIA, E.F.V. et al. Detecção e caracterização da heterogeneidade de variância na produção de leite de bovinos da raça Holandesa. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.4, p.381-386, 2008. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=366&path%5B%5D=214>>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- TORRES, R.A. et al. Ajustamento para heterogeneidade de variância para a produção de leite entre rebanhos da raça Holandesa no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.2, p.295-305, 1999.
- TORRES, R.A. et al. Heterogeneidade de variância e avaliação genética de bovinos da raça Holandesa no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p.1050-1059, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v29n4/5618.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- VISSCHER, P.M.; HILL, W.G. Heterogeneity of variance and dairy cattle breeding. **Animal Production**, v.55, p.321-329, 1992. Disponível em: <<http://genepi.qimr.edu.au/contents/p/staff/CVPV003.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- WEBER, T. et al. Coeficientes de herdabilidade e correlações genéticas para as produções de leite e de gordura, em diferentes níveis de produção, para Raça Holandesa no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.2, p. 514-519, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbz/v34n2/25463.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2010.
- WEIGEL, K.A. et al. Identification of factors causing heterogeneous within-herd variance components using a structural model for variance. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.5, p.1466-1478, 1993. Disponível em: <<http://www.dairy-science.org/cgi/reprint/76/5/1466.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2010.