

CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO PARA EFICIÊNCIA ALIMENTAR

[Residual feed intake as a criteria for feed efficiency selection]

Natália Ludmila Lins Lima^{1*}, Idalmo Garcia Pereira¹, Julimar do Sacramento Ribeiro²

¹ Departamento de Zootecnia, Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

² Departamento de Zootecnia, Campus Arapiraca, Universidade Federal de Alagoas.

RESUMO – O consumo alimentar residual é uma medida de eficiência alimentar independente do crescimento e do peso à maturidade. O melhoramento genético, ao utilizar o consumo alimentar residual como critério de seleção, poderia reduzir os custos com alimentação, haja vista as diferenças existentes na ingestão de matéria seca dos animais com o mesmo ganho médio diário em peso. Frente às vantagens da sua utilização em programas de melhoramento genético, o alto custo para sua determinação limita sua adoção, pois é necessária a coleta individual dos dados de ingestão de alimentos dos animais. Além disso, o conhecimento incompleto dos mecanismos biológicos relacionados ao aumento da eficiência alimentar dificulta a identificação e posterior seleção dos animais de genética superior. Esta revisão aborda aspectos gerais do consumo alimentar residual focando as metodologias de predição do consumo de matéria seca e a utilização dos hormônios leptina e IGF-I como indicadores fisiológicos e marcadores moleculares na tentativa de identificar animais eficientes.

Palavras-Chave: CAR, IGF-I, indicadores fisiológicos, leptina, marcador molecular.

ABSTRACT – The residual feed intake is a measure of feed efficiency independent growth and weight at maturity. Genetic improvement by using the residual feed intake as a selection criterion, could to reduce feed costs, due differences in dry matter intake of animals with the same average daily gain in weight. Against the advantages of its use in breeding programs, the high cost for their determination limits its adoption, it is necessary to collect data from individual feed intake of animals. Furthermore, the incomplete knowledge of biological mechanisms related to increase feed efficiency complicates the identification and subsequent selection of animals for genetic studies. This review covers general aspects of residual feed intake focusing on the methodologies for predicting dry matter intake and the use of leptin and IGF-I as indicators of physiological and molecular markers in an attempt to identify efficient animals.

Keywords: RFI, IGF-I, physiological indicators, leptin, molecular marker.

INTRODUÇÃO

Para aumentar a rentabilidade de um sistema de produção animal é preciso diminuir os custos, principalmente aqueles relacionados à alimentação, e, para tanto, além de utilizar alimentos mais baratos na constituição das dietas, é importante a manutenção de rebanhos de animais eficientes. Por isso, a partir da década de 1990, na Austrália, Canadá e Estados Unidos e, mais recentemente, no Brasil (Bonim et al., 2008), vêm sendo desenvolvidas pesquisas em torno de um conceito de eficiência de produção lançado por Koch et al. (1963), chamado de consumo alimentar residual (CAR).

O CAR, considerado medida alternativa de eficiência alimentar, é calculado como a diferença entre o consumo observado e o consumo predito estimado em função do peso vivo médio metabólico e no ganho médio diário em peso (Basarab et al., 2003). Dessa forma, os animais com CAR negativo são classificados como mais eficientes e aqueles com CAR positivo como menos eficientes. A avaliação da eficiência alimentar pelo CAR tem ganhado popularidade por ser independente de características de desempenho, como peso vivo e ganho em peso, e dessa forma, não implicar no aumento da exigência de manutenção do rebanho de cria.

* Autor para correspondência. Email: natludmila@yahoo.com.br

O CAR tem sido utilizado como critério de seleção em função de sua moderada herdabilidade, de 0,28 a 0,39 (Koch et al., 1963; Arthur et al., 2001; Basarab et al., 2003). Porém, devido a sua dificuldade de mensuração, indicadores fisiológicos e marcadores moleculares surgem como critérios de pré-seleção dos animais, sendo considerados alternativas para diminuir custos e tornar o CAR uma característica largamente utilizada em programas de melhoramento.

Objetivou-se abordar o CAR como medida alternativa de eficiência alimentar, esclarecendo pontos relacionados à sua mensuração e à correlação com indicadores fisiológicos e moleculares.

DESENVOLVIMENTO

Seleção para CAR

São necessárias estratégias para melhorar a eficiência alimentar, mas sem prejudicar características de desempenho, reprodução ou comprometer a qualidade da carne. Conversão alimentar (kg de consumo/kg de ganho), uma medida de eficiência alimentar, possui grandes limitações, principalmente por ser correlacionada com ganho em peso e peso à idade adulta (Arthur et al., 2001).

Em longo prazo, utilizar a conversão alimentar como parâmetro de seleção para eficiência alimentar, levaria ao aumento do tamanho adulto das fêmeas mantidas no rebanho, fato indesejável, pois se aumentará a exigência de manutenção desses animais comprometendo a eficiência reprodutiva em condições nutricionais limitantes (Lanna & Almeida, 2004), a menos que o ganho médio diário (GMD) seja fixado. Por outro lado, Basarab et al. (2003) relataram que a correlação entre CAR e GMD foi nula, enquanto que a correlação entre conversão alimentar e GMD foi -0,60.

Com o uso do CAR como critério de seleção, os animais podem ser selecionados por consumirem menos alimentos para o mesmo nível de produção (Figura 1), e com isso, aumentar a rentabilidade do sistema (Moore et al., 2005). Isto porque o impacto econômico de uma unidade de aumento na eficiência alimentar é maior do que semelhante aumento no ganho em peso (Shreck et al., 2008). Diante de tal fato Lanna & Almeida (2004) projetaram uma redução no custo de produção por volta de 394 milhões de reais por ano, considerando o impacto do uso da seleção para eficiência de produção, com base no consumo alimentar residual em todo o rebanho brasileiro.

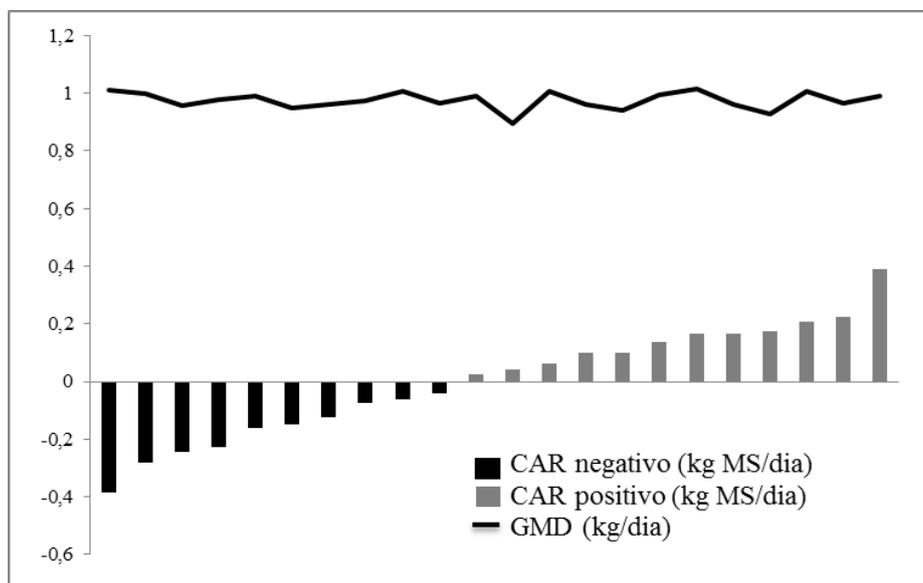


Figura 1. Distribuição do consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de corte ranqueados do mais eficiente ao menos eficiente e os respectivos ganho médio diário em peso (GMD).

Herd et al. (2004a) demonstraram que animais com avaliação genética favorável para CAR, em confinamento, produziram progênie a pasto com melhora de 41% na eficiência alimentar e CAR 26% menor. A correlação genética entre o CAR obtido em novilhas confinadas e depois nas mesmas fêmeas, adultas, em pasto, foi superior a 90%,

indicando tratar-se da mesma característica genética (Arthur et al., 2001a).

Conforme Richardson et al. (2004) e Herd & Arthur (2009) muitos mecanismos fisiológicos contribuem para variações no CAR. Os mesmos autores relataram que a digestão contribui em 10% na

variação observada no CAR, padrão de alimentação em 2%, incremento calórico associado à digestão em 9%, atividade física em 10%, o “turnover” proteico, metabolismo tecidual e estresse contribuem com pelo menos 37% e o transporte de íons juntamente com outros mecanismos até então desconhecidos, contribuiria em 27% da variação no CAR.

Animais CAR negativo (eficientes), geralmente possuem composição corporal diferente de animais CAR positivo (ineficientes). Na avaliação de eficiência produtiva, animais com maior proporção de tecido muscular são considerados mais eficientes em relação a animais com maior deposição de tecido adiposo na carcaça. Nkrumah et al. (2004) e Basarab et al. (2003) relataram correlações positivas entre CAR e deposição de gordura na carcaça variando de 0,14 a 0,30, e correlações negativas entre CAR e deposição de músculo variando de -0,21 a -0,14, ou seja, animais ineficientes possuem maior deposição de gordura na carcaça e animais eficientes maior deposição de músculo na carcaça. Esta tendência à menor deposição de gordura apresentada pelos animais CAR negativo, tem sido alvo de preocupação entre os estudiosos, já que poderá levar a uma depreciação da qualidade da carcaça. No entanto, para corrigir tais problemas, tem sido sugerido que o consumo predito seja calculado também em função da espessura de gordura subcutânea (McDonagh et al., 2001). Há evidências de que animais CAR negativo possuem mudanças no metabolismo proteico e lipídico, como alteração na composição corporal e atividade das proteases, e estas alterações metabólicas podem ter efeito sobre a qualidade da carne (Arthur et al., 2008). Portanto, a seleção por CAR deve ser acompanhada de avaliações das características de carcaça e de qualidade da carne.

Metodologia para mensurar o CAR

O CAR é um dado individual calculado após um período de alimentação de até 90 dias em bovinos (Moore et al., 2009) e até 60 dias em ovinos (Knott et al. 2008), onde os animais são dispostos em baias individuais ou em grupos, devendo ser registrados diariamente as quantidades de alimento fornecido e as sobras, bem como o ganho em peso. Quando os animais são colocados em grupos numa mesma baia, somente é possível verificar o consumo individual mediante o uso de equipamentos especializados (ex. Grow-Safe, que mede, diariamente, o alimento consumido pelos animais).

O ganho de peso de um grupo de animais deve ser medido e modelado por regressão em função de determinado intervalo de tempo para obtenção de uma curva de crescimento de cada animal que

possibilite o cálculo do peso inicial, ganho médio diário (GMD), peso vivo médio (PVM) e peso final (Okine et al., 2004).

Após o período de alimentação, o CAR é calculado como a diferença entre o consumo de matéria seca observado (kg/dia) e o consumo de matéria seca predito através de ajustes para peso vivo médio metabólico (PVMM, $\text{kg}^{0.75}$) e ganho médio diário em peso (GMD, kg/dia), obtendo o seguinte modelo: $Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{GMD} + \beta_2 \text{PVMM} + \varepsilon_i$; em que Y_i = consumo de matéria seca predito para o animal i ; β_0 = intercepto da regressão; β_1 = coeficiente de regressão parcial sobre GMD; β_2 = coeficiente de regressão parcial sobre PVMM; ε_i = erro residual do consumo predito do animal i (Okine et al., 2004). Esta regressão (GMD e PVMM) explica 70 a 80% da variação no consumo predito, conforme dados observados na literatura (Arthur et al., 2001; Basarab et al., 2003; Nkrumah et al., 2007).

O cálculo do consumo predito pode ser feito incluindo no modelo de predição de consumo, dados de composição corporal como área de olho de lombo e gordura de cobertura, conforme recomendações de François et al. (2002), o que reduziria as diferenças inerentes à composição corporal dos animais. Outra maneira de se calcular o consumo predito seria utilizando sistemas como o NRC (2000), descritos por Arthur et al. (2001) e Arthur & Herd (2008) ou realizando padronizações para a energia metabolizável, obtendo o consumo de matéria seca padronizado (Okine et al., 2004), o que reduziria os erros associados às diferenças energéticas das dietas.

Para o cálculo do consumo de matéria seca padronizado, os consumos diários de matéria seca no período de avaliação de um animal devem ser somados, assim como o consumo de energia metabolizável neste mesmo período (multiplicando-se o consumo total de matéria seca pela energia metabolizável da dieta). O consumo de energia pode ser padronizado pela divisão deste por 10, pois assim tem-se o consumo de uma dieta cuja densidade energética seria equivalente a 10 MJ EM/kg. O consumo padronizado é dividido pelo número de dias de avaliação dos animais e assim é obtido o consumo diário padronizado (Okine et al., 2004). Este valor será utilizado na regressão supracitada ao invés do conhecido consumo de matéria seca.

Assim, animais com CAR negativo são aqueles abaixo do valor obtido com a média menos 0,5 vezes o desvio padrão e os animais CAR positivo são aqueles acima do valor obtido pela média mais 0,5 vezes o desvio padrão.

Frente às vantagens em se utilizar o CAR nos programas de melhoramento genético, há implicações negativas que limitam sua adoção, como o alto custo para sua determinação (Herd et al., 2003), haja vista a necessidade da coleta individual dos dados de consumo alimentar dos animais. Uma solução proposta por pesquisadores da ESALQ/USP do Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal e que já vem ocorrendo em outros países como Austrália e Estados Unidos, é consolidar um programa nacional de avaliação com centros especializados e efetuar a seleção em duas fases (Lanna & Almeida, 2004). A realização da seleção em duas fases reduziria o número de animais avaliados para CAR e, conseqüentemente, seu custo. Na primeira fase seriam selecionados os animais mais eficientes com base em indicadores fisiológicos e/ou marcadores moleculares que iriam para a segunda fase, onde ocorreria a prova de desempenho.

Indicadores fisiológicos e marcadores moleculares

Vários indicadores fisiológicos têm sido estudados na tentativa de identificar características que poderiam auxiliar na redução de custos e melhorar a precisão na identificação de animais com genética superior para CAR. Algum destes indicadores fisiológicos são hormônios, metabólitos, características de temperamento e comportamento. O uso de indicadores fisiológicos como critério indireto de seleção para CAR tem sido demonstrado, sendo correlacionado com características de crescimento e de carcaça (Davis & Simmen, 2006).

O fator de crescimento semelhante à insulina (IGF-I) é um hormônio que regula o crescimento e o metabolismo celular e está associado à eficiência alimentar (Bishop et al., 1989), podendo ser utilizado em pré-seleção para avaliar a taxa de crescimento e eficiência alimentar (Johnston et al., 2002). Efetuando essa pré-seleção baseada na concentração sanguínea de IGF-I, os animais seriam definitivamente selecionados para CAR em posterior teste de desempenho. Moore et al. (2005), avaliando bovinos da raça Angus, reportaram que a concentração sanguínea de IGF-I mensurada ao desmame e na terminação teve correlação genética com CAR (0,57), indicando que muitos dos genes responsáveis pelo decréscimo da concentração de IGF-I no sangue associam-se à animais CAR negativos (mais eficientes) e os mesmos autores reportaram moderada herdabilidade (0,40) para este hormônio.

A utilização de IGF-I na seleção para CAR tem sido aplicada na Austrália e nos Estados Unidos, resultando em maior precisão e rentabilidade no

sistema de produção de bovinos Japoneses Negros (Kahi & Hirooka, 2007). No entanto, resultados contraditórios são observados a partir de diferentes estudos, em que alguns demonstraram mínima ou nenhuma correlação (Lancaster et al., 2008) enquanto outros encontraram correlações significativas (Kahi & Hirooka, 2007; Johnston et al., 2002; Moore et al., 2005), sugerindo que mais pesquisas sobre IGF-I devem ser realizadas. Provavelmente devido ao fato dos bovinos se tornarem cada vez mais precoces, a relação entre IGF-I e CAR tem se tornado menos positiva, indicando que os genes responsáveis pela concentração sanguínea de IGF-I diferem entre as fases de desmame e terminação, sugerindo que o IGF-I pode não ser tão informativo como preditor de CAR como se tinha dito (Kelly et al., 2009).

O hormônio leptina, produzido por adipócitos, regula o consumo alimentar, a composição corporal e a reprodução em muitas espécies de animais ruminantes ou não (Zieba et al., 2005) podendo estar relacionado ao CAR. Acredita-se que devido ao baixo consumo de matéria seca e à menor quantidade de gordura de cobertura, animais com baixo CAR tenham baixas concentrações plasmáticas de leptina, haja vista a correlação fenotípica positiva (0,31) existente entre esses dois parâmetros (Richardson et al., 2004). A concentração de leptina, tipicamente associada ao aumento de gordura em bovinos foi positivamente correlacionada com o CAR, devido aos maiores níveis de gordura nos animais ineficientes (Ji et al., 1997; Chilliard et al., 1998; Minton et al., 1998). Resultados contrários foram relatados no estudo de Sanches et al. (2006), que verificaram que o CAR teve correlação negativa com a leptina plasmática, o que significa que animais com baixo CAR tendem a ter níveis mais altos de leptina plasmática. Neste trabalho não houve diferenças na gordura de cobertura, gordura de marmoreio e visceral, o que levou tais autores a concluir que o menor consumo alimentar destes animais poderia ser consequência da inibição do apetite pelos níveis elevados de leptina.

O hormônio leptina também tem sido descrito como marcador molecular, que é definido como qualquer fenótipo oriundo de um gene ou de um segmento específico de DNA (Ferreira & Grattapaglia, 1998), ou características de DNA que diferenciam dois ou mais indivíduos e são herdadas geneticamente (Milach, 1998). Alterações de poucos nucleotídeos nos genes responsáveis pela síntese de hormônios são chamadas de polimorfismos de base única (SNP, do inglês Single Nucleotide Polymorphisms) ou mutações pontuais. Segundo Glazier et al. (2002), alguns fenótipos são produtos da variação de um único nucleotídeo, outros são causados por múltiplos nucleotídeos em um único gene ou, ainda,

por múltiplos nucleotídeos ligados a genes próximos.

Pesquisadores australianos e canadenses tem identificado SNP's associados com CAR e estão em vários estágios de validação para uso comercial (Barendse et al., 2007; Nkrumah et al., 2007). Dada a complexidade dos mecanismos fisiológicos na variação do CAR (Herd et al., 2004; Richardson et al., 2004) espera-se considerável conjunto de marcadores para explicar variações neste.

É relatado que, raramente, um polimorfismo (mutação) em um gene influenciaria diversas características de importância econômica em bovinos; entretanto, o gene da leptina parece ser uma das exceções, pois participa da regulação de vários processos importantes biologicamente, tornando-o um dos genes mais indicados a marcador molecular (Nkrumah et al., 2005). O gene da leptina foi mapeado no cromossomo bovino 4 (Stone et al., 1996) e polimorfismos neste gene têm sido associados com a concentração sanguínea de leptina (Liefers et al., 2003), consumo de ração (Liefers et al., 2002) e gordura corporal (Buchanan et al., 2002; Nkrumah et al., 2004; Nkrumah et al., 2005).

CONCLUSÃO

A seleção de animais com menor CAR resultaria em rebanhos com menor exigência de manutenção e menor consumo, sem afetar o desempenho, o que o torna uma medida útil, pois não implica em aumento do tamanho adulto do rebanho e é moderadamente herdável, podendo ser incluído em programas de melhoramento.

Diversos mecanismos contribuem para a variação do CAR, sendo necessário descobrir as causas da variação não explicada, o que demanda conhecimentos em várias áreas. Além disso, há necessidade de se encontrar um método simples e barato para identificar animais de baixo CAR e padronizar a determinação desta medida.

São necessários mais estudos com indicadores fisiológicos e marcadores moleculares a fim de se alcançar avanços, pois este campo envolve descobertas recentes e divergências dos dados apresentados na literatura, sendo necessária cautela ao decidir pré-selecionar os animais apenas com o uso destas ferramentas.

REFERÊNCIAS

Arthur, P.F., Renand, G. & Krauss, D. 2001. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. *Livest. Prod. Sci.* 68, 131-139.

Arthur, P.F., Archer, J.A. & Johnston, D.J. 2001a. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency and other post weaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 2805-2811.

Arthur, J.P.F. & Herd, R.M. 2008. Residual feed intake in beef cattle. *Rev. Bras. Zootecn.* 37, 269-279.

Barendse, W., Reverter, A., Bunch, R.J., Harrison, B.E., Barris, W. & Thomas, M.B. 2007. A validated whole-genome association study of efficient food conversion in cattle. *Genetics.* 176, 1893-1905.

Basarab, J.A., Price, M.A., Aalhus, J.L., Okine, E.K., Snelling, W.M. & Lyle, K.L. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian J. Anim. Sci.* 83, 189-204.

Bishop, M.D., Simmen, R.C.M., Simmen, F.A. & Davis, M.E. 1989. The relationship of insulin-like growth factor-I with post weaning performance in Angus beef cattle. *J. Anim. Sci.* 67, 2872-2880.

Bonim, M.N., Demarchi, J.J.A., Mizubuti, I.Y., Ribeiro, E.L.A., Manella, M.Q. & Pereira, E.S. 2008. Avaliação do consumo alimentar residual em touros jovens da raça Nelore mocho em prova de desempenho animal. *Acta. Sci.* 30, 4, 425-433.

Buchanan, F.C., Fitzsimmons, C.J., Van Kessel, A.G., Thue, T.D., Winkelma-Sim, D.C. & Schmutz, S.M. 2002. Association of a missense mutation in the bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels. *Genet. Sel. Evol.* 34, 105-116.

Chilliard, Y., Ferlay, A., Delavaud, C. & Bocquier, F. 1998. Plasma leptin in underfed or overfed adult Holstein and Charolais cows, and its relationship with adipose tissue cellularity. *Int. J. Obesity.* 22(suppl.3) 171.

Davis, M.E. & Simmen, R.C.M. 2006. Genetic parameter estimates for serum insulin-like growth factor-I concentrations, and body weight and weight gains in Angus beef cattle divergently selected for serum insulin-like growth factor-I concentration. *J. Anim. Sci.* 84, 2299-2308.

Ferreira, E.M. & Grattapaglia, D. 1998. *Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética*. Brasília: Embrapa/Cenargen. 220p.

François, D., Bibe, D., Brunel, J.B., Weisbecker, J.L. & Ricard, E. 2002. Genetic parameters of feeding traits in meat sheep. *Anais VII World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. Montpellier. CD-ROM.

Glazier, A.M., Nadeau, J.H. & Aitman, T.J. 2002. Finding genes that underlie complex traits. *Science.* 298, 5608, 2345-2349.

Herd, R.M., Archer, J.A. & Arthur, P.F. 2003. Reducing the cost of beef production through genetic improvement of feed intake: Opportunity and Challenges to Application. *J. Anim. Sci.* 81, 9-17.

Herd, R.M., Oddy, V.H. & Richardson, E.C. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 423-430.

Herd, R.M., Dicker, R.W., Lee, G.J., Johnston, D.J., Hammond, A.J. & Oddy, V.H. 2004a. Steer growth and feed efficiency on pasture are favorably associated with genetic variation in sire net feed intake. *Anim. Prod. Aust.* 25, 93-96.

Herd, R.M. & Arthur, P.F. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87, 64-71.

- Ji, S.Q., Willis, G.M., Scott, R.R. & Spurlock, M.E. 1997. Partial cloning of the bovine leptin gene and its expression in adipose depots and in cattle before and after finishing. *J. Anim. Sci.* 75(suppl.1), 167.
- Johnston, D.J., Herd, R.M., Kadel, M.J., Graser, H.U., Arthur, P.F. & Archer, J.A. 2002. Evidence of igf-I as a genetic predictor of feed efficiency traits in beef cattle. Anais VII World congress on genetics applied to livestock production. Montpellier. 4p.
- Kahi, A.K. & Hirooka, H. 2007. Effect of direct and indirect selection criteria for efficiency of gain on profitability of Japanese Black cattle selection strategies. *J. Anim. Sci.* 85, 2401-2412.
- Kelly, A.K., McGee, M., Crews Jr, D.H., Fahey, A.G., Wylie, A.R. & Kenny, D.A. 2009. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *J. Anim. Sci.* 88, 109-123.
- Knott, S.A., Cummins, L.J., Leury, B.J. & Dunshea, F.R. 2008. The use of different models for the estimation of residual feed intake (RFI) as a measure of feed efficiency in meat sheep. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 143, 242-255.
- Koch, R.M., Swiger, L.A., Chambers, D. & Gregory, K.E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 22, 486-494.
- Lancaster, P.A., Carstens, G.E., Ribeiro, F.R.B., Davis, M.E., Lyons, J.G. & Welsh Jr, T.H. 2008. Effects of divergent selection for serum igf-I concentration on performance, feed efficiency and ultrasound measures of carcass composition traits in Angus bulls and heifers. *J. Anim. Sci.* 86, 2862-2871.
- Lanna, D.P. & Almeida, R. 2004. Residual feed intake, um novo critério para seleção? Anais V Simpósio da sociedade brasileira de melhoramento animal, Pirassununga, SP. CD-ROM.
- Liefers, S.C., Te Pas, M.F.W., Veerkamp, R.F. & Van Der Lende, T. 2002. Associations between leptin gene polymorphisms and production, live weight, energy balance, feed intake, and fertility in Holstein heifers. *J. Dairy. Sci.* 85, 6, 1633-1638.
- Liefers, S.C., Te Pas, M.F.W., Veerkamp, R.F., Chilliard, Y., Delavaud, C., Gerritsen, R. & Van Der Lende, T. 2003. Association of leptin gene polymorphisms with serum leptin concentration in dairy cows. *Mamm. Genome.* 14, 657-663.
- Milach, S.C.K. 1998. Marcadores de DNA. *Biotecnologia Cienc. Desenvol.* 5, 14-17.
- Minton, J.E., Bindel, D.J.J., Drouillard, S., Titgemeyer, E.C., Grieger, D.M. & Hill, C.M. 1998. Serum leptin is associated with carcass traits in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 76(suppl.1), 231.
- Moore, K.L., Johnston, D.J., Graser, H.U. & Herd, R. 2005. Genetic and phenotype relationships between insulin-like growth factor-I (igf-I) and the net feed intake, fat and growth traits in Angus beef cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 56, 211-218.
- Moore, S.S., Mujibi, F.D. & Sherman, E.L. 2009. Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 87, 41-47.
- Nkrumah, J.D., Basarab, J.A., Price, M.A., Okine, E.K., Ammoura, A., Guercio, S., Hansen, C., Li, C., Benkel, B., Murdoch, B. & Moore, S.S. 2004. Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. *J. Anim. Sci.* 82, 2451-2459.
- Nkrumah, J.D., LI, C., YU, J., Hansen, C., Keisler, D.H. & Moore, S.S. 2005. Polymorphisms in the bovine leptin promoter associated with serum leptin concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit. *J. Anim. Sci.* 83, 20-28.
- Nkrumah, J.D., Sherman, E.L., Li, C., Marques, E., Crews Jr, D.H., Bartusiak, R., Murdoch, B., Wang, Z., Basarab, J.A. & Moore, S.S. 2007. Primary genome scan to identify putative quantitative trait loci for feedlot growth rate, feed intake, and feed efficiency of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 85, 3170-3181.
- NRC. 2000. National research council. Nutrient requirements of beef cattle. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press. 242p.
- Okine, E.K., Basarab, J.A., Goonewardene, L.A. & MIR, P. 2004. Residual feed intake and feed efficiency: differences and implications. Anais XV Florida Ruminant Nutrition Symposium. Gainesville: University of Florida, p.27-38.
- Richardson, E.C., Herd, R.M., Archer, J.A. & Arthur, P.F. 2004. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.*, v.44, p.443-454.
- Sanches, A.C., Reyes, A., Paulino, V.R., Bulle, F.C.P.C. & Sainz, R.D. 2006. Leptina plasmática e característica de carcaça em novilhos de corte de alto e baixo consumo alimentar residual. Anais XLIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. João Pessoa. CD-ROM.
- Shreck, A.L., Trejo, C.O., Homm, J.W., Berger, L.L. & Faulkner, D.B. 2008. Influence of feed efficiency on profitability of individually fed feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 186-198.
- Stone, R.T., Kappes, S.M. & Beattie, C.W. 1996. The bovine homologue of the obese gene maps to chromosome 4. *Mamm. Genome.* 7, 399-400.
- Zieba, D.A., Amstalden, M. & Willians, G.M. 2005. Regulatory roles of leptin in reproduction and metabolism: A comparative review. *Domest. Anim. Endocrin.* 29, 166-85.