

X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

Perspectivas de inclusão da eficiência alimentar em programas de melhoramento genético de bovinos de corte

Maria Eugênia Zerlotti Mercadante¹, André Luiz Grion²

¹Pesquisador, Centro APTA Bovinos de Corte, Instituto de Zootecnia – Sertãozinho. Bolsista do CNPq. e-mail: mercadante@iz.sp.gov.br

²Mestre em Produção Animal Sustentável - Instituto de Zootecnia. e-mail: algrion@mail.com

Introdução

No Brasil, tendências genéticas médias anuais para características de crescimento, descritas por programas de melhoramento genético de bovinos Nelore, variaram de 0,15 a 0,61% da média ao ano para pesos até a desmama e de 0,15 a 0,77% da média ao ano para pesos pós desmama. Ganhos genéticos superiores foram conseguidos no ganho de peso pós desmama, de 0,11 a 1,02% da média ao ano. Como resposta correlacionada essa seleção tem levado a ganhos genéticos de 0,33% da média ao ano no peso ao nascer e 0,35% da média ao ano no peso adulto das matrizes, além de ganhos genéticos praticamente nulos no efeito genético materno do peso pré desmama. Para os escores visuais de musculosidade aos 18 meses de idade, os ganhos genéticos variaram de 0,43 a 0,85% da média ao ano. Como esperado, as respostas foram baixas para características relacionadas à reprodução, de 0,04 a 0,63% para perímetro escrotal e de -0,04% para idade ao primeiro parto (Albuquerque et al., 2007). Esses números mostram os resultados do intenso trabalho de técnicos, criadores e empresas de comercialização de material genético no melhoramento para aumento da produção de carne da raça de maior representatividade no rebanho bovino brasileiro. Na Figura 1 são mostradas as ênfases relativas consideradas nos índices de seleção sugeridos por cinco programas de avaliação genética de raças de bovinos de corte no Brasil.

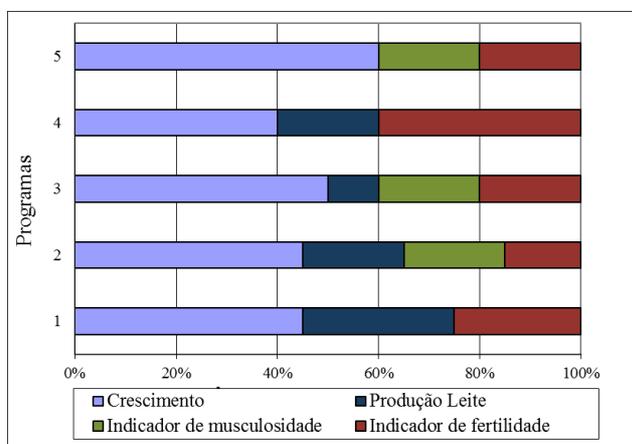
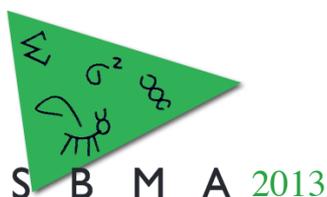


Figura 1. Ênfase relativa de características consideradas nos índices de seleção sugeridos em cinco programas de avaliação genética de raças de bovinos de corte no Brasil.

Entretanto, embora a seleção para maior peso em uma idade específica ou menor tempo para atingir determinado peso, aliada a características de musculosidade e fertilidade, possa ser considerada como seleção para aumento da eficiência de produção, ela desconsidera o principal insumo da produção animal que é a alimentação, e a eficiência de utilização do alimento para produção de carne.

Há várias características descritas na literatura para definir a eficiência alimentar em bovinos de corte (Tabela 1). A dificuldade de mensuração do consumo individual de bovinos fez com que as pesquisas iniciais com eficiência utilizassem métodos indiretos, sem o registro do consumo de matéria seca (CMS) (Kleiber, 1936). Outra proposta de medida indireta de eficiência alimentar foi a taxa de crescimento relativo (Fitzhugh Jr. & Taylor, 1971). Mas a principal característica de eficiência alimentar foi estabelecida relacionando diretamente a quantidade total de alimento ingerido e a quantidade de produto, a eficiência alimentar bruta, razão entre o ganho de peso médio diário (GMD) e o CMS e sua



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal

Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

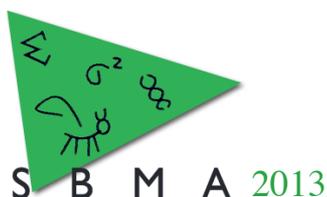
inversa, a conversão alimentar. Essas características foram bastante usadas no processo de melhoramento de espécies menores, como aves (Fairfull & Chambers, 1984) e suínos (De Vries & Kanis, 1992). Pelo menos experimentalmente, a conversão alimentar e a eficiência alimentar também foram as características mais usadas na seleção de bovinos de corte de raças europeias para melhoria da eficiência alimentar (por exemplo, Mrode et al., 1990; Bishop et al., 1991; van der Westhuizen et al., 2004).

Tabela 1. Características de eficiência alimentar

Característica	Fórmula	Definição
Eficiência alimentar (EA), kg de ganho/kg de MS	$\frac{GMD}{CMS}$	Quantidade de ganho em peso para cada kg de alimento consumido. Valores maiores são favoráveis.
Conversão alimentar (CA), kg de MS/kg de ganho	$\frac{CMS}{GMD}$	Quantidade de alimento consumido para cada kg de ganho em peso. Valores menores são favoráveis.
Eficiência Parcial de Crescimento (EPC), kg ganho/kg MS	$\frac{GMD}{(CMS - CMS_m)}$	Ganho em peso para cada kg de alimento disponível para esta finalidade. Subtrai o CMS real total do estimado para a manutenção. Valores maiores são favoráveis.
Taxa de Crescimento Relativo (TCR), kg PV/d	$100 \left[\frac{\log PV_f - \log PV_i}{\text{dias em teste}} \right]$	Potencial de crescimento relativo à maturidade. Valores maiores são favoráveis.
Taxa de Kleiber (TK), g ganho/kg $PV^{0,75}$	$\frac{GMD}{PV^{0,75}}$	Ganho de peso proporcional a cada kg de peso metabólico. Valores maiores são favoráveis.
Consumo Alimentar Residual (CAR), kg MS/d	$CMS - CMS_e$	Diferença entre o CMS observado e o estimado com base na manutenção ($PV^{0,75}$) e produção (GMD). Valores menores são favoráveis.
Ganho de Peso Residual (GPR), kg ganho/d	$GMD - GMD_e$	Diferença entre o GMD observado e o estimado com base no CMS e $PV^{0,75}$. Valores maiores são favoráveis.
Consumo e Ganho Residual (CGR)	$GPR + (-1 \times CAR)$	Índice com ponderação igual para CAR e GPR. Valores maiores são favoráveis.

GMD: ganho de peso médio diário; MS: matéria seca; CMS_m : consumo de matéria seca para manutenção; PV_f : peso vivo final; PV_i : peso vivo inicial; CMS_e : consumo de matéria seca estimado; GMD_e : ganho de peso médio diário estimado.

Com a publicação de dados sobre exigência alimentar de bovinos advindos de grande número de informações, a eficiência parcial de crescimento passou também a ser considerada em estudos de eficiência alimentar (Archer et al., 1999; Arthur et al., 2001a). Entretanto, nas últimas duas décadas, a medida de eficiência alimentar mais estudada em bovinos de corte no mundo foi o consumo alimentar residual (CAR), proposta por Koch et al. (1963). Obtida como o resíduo da equação de regressão do CMS sobre o $PV^{0,75}$ e o GMD, essa característica possibilita a comparação do CMS dos animais independentemente das diferenças de tamanho ou da taxa de crescimento dos mesmos. Recentemente, Crowley et al. (2010) analisaram a característica ganho de peso residual, também proposta por Koch et al. (1963), juntamente com as demais características descritas anteriormente em uma amostra com diversas raças taurinas. O ganho de peso residual (GPR) é obtido como o resíduo da equação de regressão do GMD em função do $PV^{0,75}$ e do CMS. Berry & Crowley (2012) apresentaram a característica denominada consumo e ganho residual (CGR), a combinação do resíduo de equação de ajuste do CMS (CAR) e do resíduo da equação de ajuste do GMD (GPR), com pesos iguais para ambas as características.



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal

Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

A vantagem das características definidas como resíduo sobre as demais definidas como razão é que elas são combinações lineares de duas características e a predição da resposta esperada à seleção em cada característica é mais eficiente quando ela é baseada em um índice linear que a seleção direta para uma razão de duas características. A seleção com base na razão de duas características pode resultar em respostas imprevisíveis ao longo do tempo por proporcionar pressão de seleção desigual na característica de maior variação (Gunset, 1984; MacNeil, 2005).

Para a inclusão da eficiência alimentar em programas de melhoramento genético de bovinos de corte o maior desafio será a obtenção de registros acurados do GMD e CMS de grande número de animais para proceder à avaliação genética. Há uma série de fatores a serem considerados na implementação de testes de desempenho, em nível de rebanho ou em centrais de teste, para a avaliação acurada da eficiência alimentar. Um desafio menor será a escolha de uma ou mais características de eficiência alimentar para ser usada como critério de seleção para aumentar a eficiência alimentar de bovinos de corte no Brasil. Há experiências prévias, como a de Trangie e a do *Beef Cooperative Research Centre (CRC) program* na Austrália (Herd & Arthur, 2012) e a do Instituto de Zootecnia no Brasil (Castilho et al., 2010; Sobrinho et al., 2011; Grion et al., 2013) que podem fornecer informações importantes. Grion et al. (2013) analisaram a variabilidade genética de várias características de eficiência alimentar em bovinos Nelore e as correlações genéticas dessas com as características componentes e de interesse (peso ao desmame, CMS, GMD e $PV^{0,75}$). Esses resultados também serão discutidos a seguir.

Obtenção dos registros de GMD e CMS

A metodologia de obtenção dos registros de GMD e CMS com o objetivo de estimar características de eficiência alimentar após a desmama está descrita em publicações técnicas (Exton, (2001), recomendadas pelo BREEDPLAN-Austrália; Crews et al. (2010), recomendadas pela *Beef Improvement Federation*-Estados Unidos; Gomes & Mendes (2013), recomendadas pela ABCZ-Brasil). Esses procedimentos foram embasados em uma série de publicações científicas, sendo muitas advindas das experiências de Trangie e a do *Beef Cooperative Research Centre (CRC) program* na Austrália (Herd & Arthur, 2012).

Exton (2001) apresentou alguns procedimentos principalmente no que diz respeito à padronização de planilhas a serem submetidas pelas centrais de testes de desempenho de eficiência alimentar ou pelos rebanhos para as associações de raça e/ou programas de avaliação genética. De um modo geral, os procedimentos apresentados por Exton (2001) para a condução dos testes são semelhantes aos publicados pelo *Beef Improvement Federation* (Crews et al., 2010). Algumas normas propostas por Exton (2001) e por Crews et al. (2010), bem como as médias dos testes de desempenho realizados de 2005 a 2012 no Instituto de Zootecnia, são apresentadas na Tabela 2.

Há consenso entre os procedimentos. A dieta deve ser padronizada para todos os animais sendo permitidas alterações somente durante o período de adaptação. O consumo deve ser expresso com base na matéria seca do alimento. O período de teste deve ser grande o suficiente para permitir adequada representação do consumo e do crescimento do animal no período. Para o consumo um período de 45 dias com informações seria suficiente e para avaliação do crescimento são necessários pelo menos 70 dias de teste. Durante o teste, a alimentação e o fornecimento de água devem ser a vontade e qualquer registro de CMS e Peso Vivo obtidos em condições diferentes dessas devem ser descartados. Exemplo de eventos que impossibilitam o consumo a vontade são: doença, manutenção de instalações e equipamentos ou coleta de dados relacionados (por exemplo, avaliação de carcaça por ultrassom) que exijam que os animais sejam retirados da instalação. O GMD é estimado como o coeficiente de regressão linear dos pesos nos dias em teste para cada animal. O coeficiente de determinação (R^2) dessas equações deve ser superior a 0,90, caso contrário os registros de Peso Vivo devem ser investigados e descartados quando houver evidência de problemas ou erro. O CMS é a média dos registros diários.

Tabela 2. Descrição de procedimentos de teste de eficiência alimentar segundo alguns autores e instituições

	Exton (2001)	Crews et al. (2010)	Instituto de Zootecnia ¹ (médias 2005-2012)
Idade inicial	a partir da desmama	a partir da desmama, mas não antes de 240 dias	284 dias
Varição de idade no grupo testado	até 60 dias	até 60 dias	até 90 dias
Idade final	até 2 anos	até 390 dias	367 dias
Período de adaptação	no mínimo 21 dias	no mínimo 21 dias	28 dias
Período de teste	70 dias	no mínimo 70 dias	83 dias
Dieta	2,4 Mcal (cresc.) e 2,9 Mcal (term.) de EM ²	2,4 Mcal (cresc.) e 2,9 Mcal (term.) de EM	2,25 Mcal de EM
Pesagem	quinzenal sem jejum	no mínimo inicial e final	semanal ou quinzenal sem jejum
Instalações	individual ou coletiva	coletiva	individual ou coletiva

¹média dos testes de desempenho realizados de 2005 a 2012; ²energia metabolizável.

Por outro lado, não há consenso em relação à instalação para a obtenção do GMD e CMS. Crews et al. (2010) enfatizaram a necessidade de se utilizar algum dos equipamentos de mensuração de consumo disponíveis no mercado nos quais os animais permanecem em baias coletivas, destacando que os dados provenientes de baias individuais são inadequados para avaliação genética. Os mesmos autores comentam ainda que devido ao custo destes equipamentos, as centrais de testes de desempenho retomam um papel de grande importância para o melhoramento genético de bovinos de corte. A análise dos registros de CMS de machos Nelore nos testes de desempenho do Instituto de Zootecnia-Sertãozinho-SP, mostra que o CMS dos animais em baias coletivas parece ser mais variável que aquele obtido em baias individuais (Figura 2), mas com médias aparentemente semelhantes, de 6,95 kg de MS/dia e 6,61 kg de MS/dia (à esquerda 29 machos, à direita 23 machos).

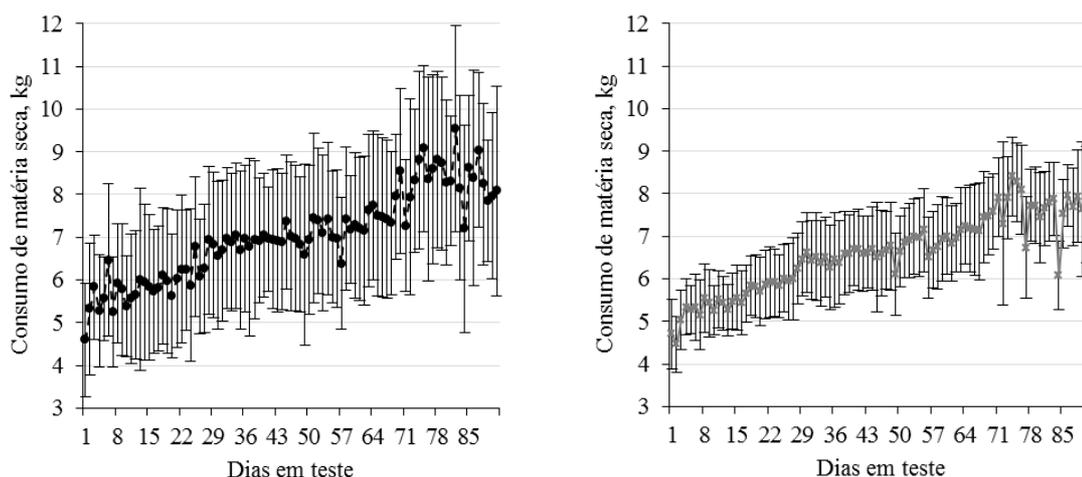


Figura 2. Média \pm desvio padrão de CMS de animais testados em baias coletivas (esquerda) e em baias individuais (direita).

As estimativas de herdabilidade das características componentes (GMD, CMS e $PV^{0,75}$) e das características de eficiência alimentar com e sem os registros obtidos nas baias coletivas foram diferentes. Em análises realizadas utilizando as 627 informações dos animais testados em baias

individuais, sem a inclusão do único grupo de teste avaliado em baias coletivas em 2012 (12% do total de 727 animais), foram obtidas maiores estimativas de herdabilidade do CMS ($0,60 \pm 0,08$) e das características de eficiência mais relacionadas a essa característica (Figura 3), como EPC ($0,21 \pm 0,09$), CAR ($0,30 \pm 0,10$) e CGR ($0,27 \pm 0,10$). Essas diferenças podem ser indicativas de que o CMS dos animais em baias coletivas seja uma característica distinta do CMS obtido em baias individuais, o qual parece não representar o padrão natural de consumo de alimentos exercidos por bovinos em grupos (Grion, 2012; Grion et al., 2013).

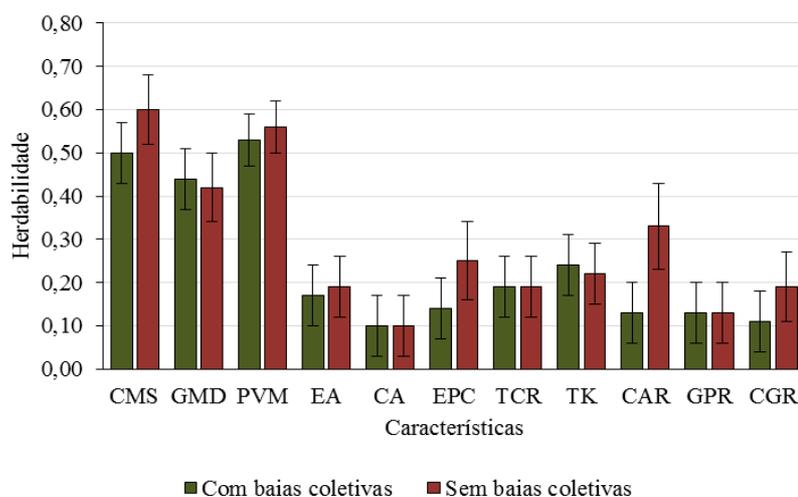


Figura 3. Estimativas de herdabilidade das características de eficiência alimentar incluindo e excluindo os registros de CMS e GMD obtidos em baias coletivas.

Com relação aos grupos de contemporâneos a serem considerados nos testes de eficiência alimentar, Extton (2001) os define como sendo os animais nascidos dentro do intervalo de 60 dias, provenientes do mesmo rebanho, mesmo sexo e mantidos sobre mesma condição de criação desde o nascimento. Cada grupo de contemporâneo deve conter pelo menos quatro animais de pelo menos dois touros diferentes. Se o teste de desempenho for realizado em central de teste no Brasil, a inclusão do rebanho na definição de grupo de contemporâneos pode não ser possível uma vez que, em geral, cada criador participa com menos de quatro animais. Nas provas de ganho em peso realizadas pelo Instituto de Zootecnia desde 1951 (Razook et al., 1997), o grupo contemporâneo é constituído exatamente no grupo testado de cada raça ou grupamento racial e recomenda-se que esse grupo tenha no mínimo 20 animais. Entretanto, se uma das características a ser avaliada for o consumo alimentar residual (CAR) que é obtido da diferença entre o CMS observado e o CMS predito a partir do $PV^{0,75}$ e GMD, esse número de animais pode ser pequeno para estimar com certa precisão a equação de predição de CMS, além do fato de ser muito sensível a *outliers*.

Para ilustrar equações de predição em grupos contemporâneos diferentes, foram usados os registros de CMS de animais Nelore em teste de desempenho pós-desmama (Figura 4). No grupo de contemporâneos em que os animais foram testados em baias coletivas (Figura 4. c) foi observada a maior variação de CAR de todos os anos, uma diferença de quase 4 kg de consumo de matéria seca/dia entre o animal mais e menos eficiente. No mesmo ano, com a mesma dieta, os animais testados em baias individuais apresentaram variação menor (Figura 4. d). O CAR foi estimado como o resíduo da equação $CMS = \beta_0 + \beta_1 \times PV^{0,75} + \beta_2 \times GMD + \varepsilon$. Quando há vários grupos de contemporâneos β_0 corresponde à média de cada grupo, β_1 é o coeficiente de regressão do CMS no $PV^{0,75}$ em cada grupo, β_2 é o coeficiente de regressão do CMS no GMD em cada grupo, e o ε é parte do CMS que não foi explicado pelos efeitos de grupo de contemporâneo, GMD e $PV^{0,75}$. Os seguintes coeficientes de regressão foram obtidos em b, c e d (Figura 4), quando cada grupo de contemporâneo foi analisado separadamente: b) $0,07 \times PV^{0,75} +$

1,69 GMD, c) $0,06 \times PV^{0,75} + 1,96 \times GMD$ e, d) $0,07 \times PV^{0,75} + 1,22 \times GMD$. Como esperado, o GMD captou a maior parte da variação de CMS.

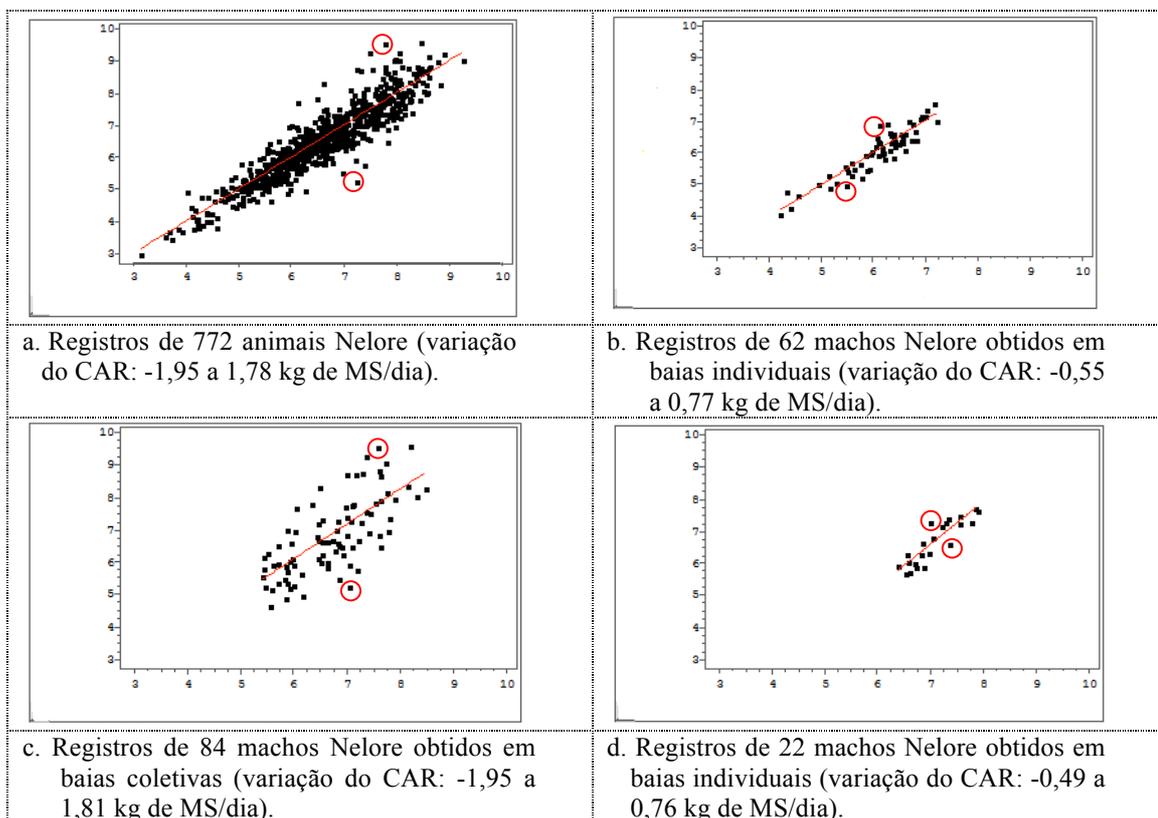
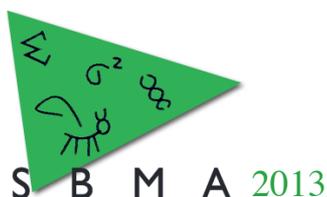


Figura 4. Relação entre o CMS predito a partir do $PV^{0,75}$ e do GMD (eixo x, em kg de MS/dia) e o CMS observado (eixo y, em kg de MS/dia). A distância vertical entre cada ponto e a linha vermelha é o valor do consumo alimentar residual (CAR).

Variabilidade genética nas características de eficiência alimentar obtidas após o desmame

Vários trabalhos com análise de registros de animais *Bos taurus* e *Bos taurus* x *Bos indicus* indicam que as características de eficiência alimentar tem variabilidade genética aditiva de média magnitude. Arthur & Herd (2012) mostram ampla revisão dos valores de herdabilidade estimados nessas raças e grupamentos genéticos para CA e CAR, que variaram de 0,06 a 0,46 para CA e de 0,10 a 0,52 para CAR. Invariavelmente as maiores estimativas foram relatadas quando essas características foram obtidas em grupos multirraciais. Del Claro et al. (2012), em meta-análise de estimativas de herdabilidade para CAR e suas características componentes relataram média das estimativas de herdabilidade igual a 0,26, 0,28, 0,32 e 0,40 respectivamente para CAR, CMC, GMD e $PV^{0,75}$.

As estimativas de herdabilidade apresentadas por Grion (2012) e Grion et al. (2013), analisando características de eficiência alimentar calculadas com os registros de GMD e CMS obtidos nos testes de eficiência alimentar do Instituto de Zootecnia, foram inferiores às relatadas na literatura para populações cruzadas (Figura 3 e Tabela 2), mas mais próximas a estimativas relatadas para raças puras. Como o erro padrão das estimativas de herdabilidade das características de eficiência alimentar é alto, cerca de 50% do valor da estimativa, é possível que elas se alterem com o aumento do banco de dados. As estimativas de herdabilidade das características componentes (CMS, GMD e $PV^{0,75}$) foram bem altas, refletindo alta variabilidade genética aditiva na amostra analisada. Isso pode ser devido ao fato do banco de dados analisado incluir animais do rebanho Controle, geneticamente bem diferentes dos animais dos rebanhos



selecionados para crescimento. Para todas as características analisadas, o grupo de contemporâneos foi definido como ano de nascimento, sexo e instalação, e não incluiu rebanho uma vez que os animais de dois ou três rebanhos foram testados juntos.

Tabela 3. Média, desvio-padrão e estimativa de herdabilidade de características de eficiência alimentar

Característica	Média ± desvio padrão	CV, %	$h^2 \pm ep$
CMS, kg	6,60 ± 1,10	17	0,51 ± 0,07
GMD, kg	0,959 ± 0,236	25	0,46 ± 0,08
PV ^{0,75} , kg	65,7 ± 9,75	15	0,54 ± 0,06
EA, kg/kg	0,145 ± 0,031	21	0,10 ± 0,07
CA, kg/kg	7,17 ± 1,68	23	0,10 ± 0,07
EPC kg/kg	0,298 ± 0,080	27	0,16 ± 0,08
TCR, kg	0,371 ± 0,094	25	0,17 ± 0,07
TK, g/kg	0,015 ± 0,003	20	0,22 ± 0,07
CAR, kg	0,002 ± 0,431	-	0,17 ± 0,08
GPR, kg	0,000 ± 0,097	-	0,12 ± 0,08
CGR	-0,002 ± 0,485	-	0,17 ± 0,08

CMS = consumo de matéria seca; GMD = ganho médio diário; PV^{0,75} = peso vivo metabólico; EA = eficiência alimentar; CA = conversão alimentar; EPC = eficiência parcial de crescimento; TCR = taxa de crescimento relativo; TK = taxa de Kleiber; CAR = consumo alimentar residual; GPR = ganho de peso residual; CGR = consumo e ganho residual.

Correlação genética entre as características de eficiência alimentar e peso ao desmame, consumo alimentar, ganho em peso médio diário e peso vivo metabólico

Grion et al. (2013) consideraram que a escolha das características de eficiência alimentar dentre as apresentadas na Tabela 1 deve ser analisada não só quanto à magnitude da variação genética aditiva, mas também em relação às correlações genéticas entre essas e as características que primeiramente deseja-se mudar na população selecionada, como o peso ao desmame (P210), GMD ou CMS (Tabela 4). Sob o ponto de vista dos autores, é desejável aumentar P210 e GMD e diminuir CMS.

Desconsiderando que algumas correlações mostradas na Tabela 4 podem ser nulas devido ao alto erro padrão das estimativas, as letras (F) para favorável e (D) para desfavorável, considerando o ponto de vista dos autores, foram adicionadas para facilitar a interpretação dos valores. Observa-se que as correlações genéticas entre CAR e GPR com GMD e PV^{0,75} não são nulas, apesar de CAR ser fenotipicamente independente do GMD e peso, assim como GPR do CMS e peso. CAR e CGR são as características de eficiência alimentar com maiores correlações genéticas favoráveis com P210. GPR e CGR são as características que tem maior correlação genética com PV^{0,75}, o que pode ser favorável levando-se em conta que maior peso metabólico é mais produto para comercialização, ou desfavorável, levando-se em conta que maior peso metabólico é maior exigência de manutenção, principalmente do rebanho de matrizes. EPC é a característica mais fortemente correlacionada com CMS no sentido desejável, embora leve também a diminuição indesejável de P210 e GMD.

Aparentemente, as características com as correlações genéticas mais desejáveis, no sentido de aumento de produto e diminuição de insumo, são CGR e o GPR, essa última com baixa correlação genética positiva com CMS. A seleção contra CA é também seleção a favor de GMD, o que é desejável. A seleção a favor de EA diminui CMS, mas está associada à diminuição de P210, o que é desfavorável. As considerações feitas aqui sobre o que é favorável e desfavorável são simplistas com relação a outras características, uma vez que a seleção para diminuição do CMS pode ter, ou não ter, uma série de implicações não levantadas aqui, como seleção para menor apetite, menor gordura, menor adaptabilidade etc, como abordado por vários pesquisadores em Hill (2010).

Tabela 4. Correlações genéticas entre peso a desmama (P210), consumo de matéria seca (CMS), ganho médio diário (GMD) e peso vivo metabólico (PV^{0,75}) com as medidas de eficiência alimentar

Características	P210	CMS	GMD	PV ^{0,75}
EA	-0,26 ± 0,18 (D)	-0,14 ± 0,18 (F)	0,33 ± 0,17 (F)	-0,16 ± 0,17
CA	0,12 ± 0,23 (D)	-0,01 ± 0,23	-0,44 ± 0,18 (F)	0,06 ± 0,21
EPC	-0,23 ± 0,18 (D)	-0,67 ± 0,11 (F)	-0,29 ± 0,21 (D)	-0,37 ± 0,16
TCR	-0,50 ± 0,15 (D)	0,19 ± 0,17 (D)	0,49 ± 0,13 (F)	-0,21 ± 0,16
TK	-0,18 ± 0,17 (D)	0,49 ± 0,15 (D)	0,76 ± 0,07 (F)	0,13 ± 0,16
CAR	-0,36 ± 0,15 (F)	0,33 ± 0,14 (F)	0,06 ± 0,19	-0,20 ± 0,15
GPR	0,21 ± 0,22 (F)	0,10 ± 0,22 (D)	0,53 ± 0,16 (F)	0,26 ± 0,21
CGR	0,37 ± 0,18 (F)	-0,14 ± 0,18 (F)	0,18 ± 0,20 (F)	0,28 ± 0,17

EA = eficiência alimentar; CA = conversão alimentar; EPC = eficiência parcial de crescimento; TCR = taxa de crescimento relativo; TK = taxa de Kleiber; CAR = consumo alimentar residual; GPR = ganho de peso residual; CGR = consumo e ganho residual, (D) = desfavorável, (F) = favorável.

Expectativa de ganho genético

Dois esquemas de seleção com base em P210, GMD e PV^{0,75} e nas características de eficiência alimentar foram simulados para visualizar as mudanças genéticas esperadas em GMD, CMS e PV^{0,75} (Grion et al., 2013). No primeiro esquema foi considerada intensidade de seleção de 1,2, que corresponde à porção selecionada de 10% dos machos e 60% das fêmeas (Figura 5).

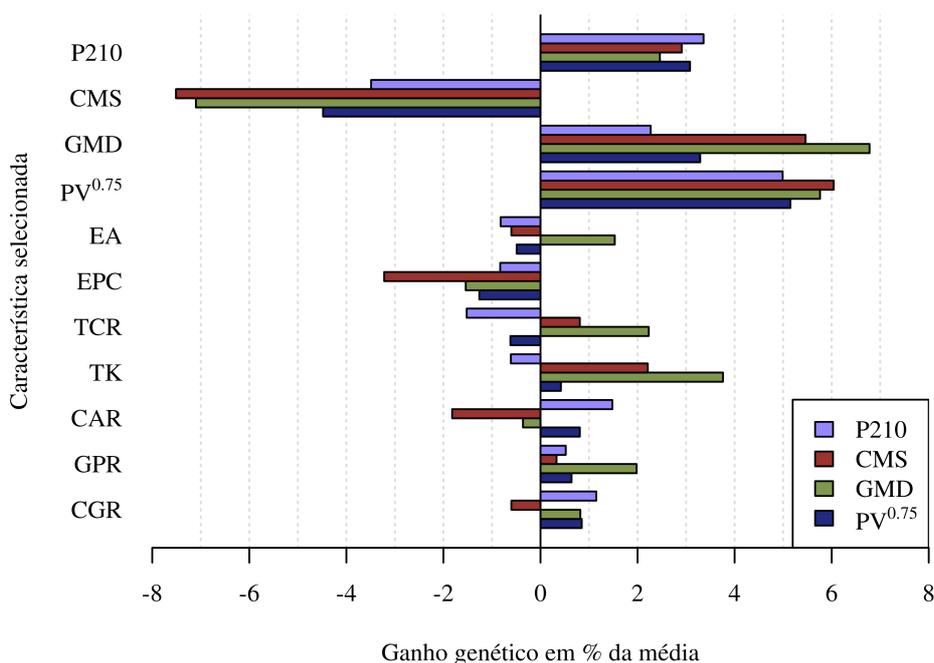


Figura 5. Expectativa de ganho genético/geração em peso ao desmame (P210), consumo de matéria seca (CMS), ganho médio diário (GMD) e peso vivo metabólico (PV^{0,75}), pela seleção direta baseada em cada uma das seguintes características: P210, CMS, GMD e PV^{0,75}, EA, EPC, TCR, TK, CAR, GPR e CGR, selecionando 10% dos machos e 60% das fêmeas. Adaptado de Grion (2012) e Grion et al. (2013). Ver Tabela 1 para a definição das características.

A seleção direta para aumento de uma característica de crescimento (P210, GMD ou PV^{0,75}) traz respostas correlacionadas favoráveis nas outras características de crescimento, entretanto aumenta o consumo de alimentos, o que não é desejável. Resultados de várias pesquisas indicam correlações

genéticas positivas entre crescimento e consumo que variam de 0,15 entre GMD e consumo de volumoso (Shojo et al., 2005) até 0,91 entre peso à desmama e CMS (Bouquet et al., 2010). Para aumento do GMD, as medidas indiretas de eficiência, TCR e TK, juntamente com o GPR, apresentam os melhores resultados, em torno de 2% da média/geração. Entretanto, a seleção com base nessas características promove mudança genética desfavorável, diminuindo P210 ou aumentando CMS.

Dentre as características de eficiência alimentar, somente a seleção para aumento de EPC resulta em diminuição do CMS em torno de 3% da média/geração, mas com redução nas características de crescimento. A seleção com base no CAR apresenta a segunda melhor resposta correlacionada no CMS (diminuição de 1,8% da média/geração), com resposta também favorável em P210 e pequena resposta desfavorável no GMD. O CGR é a característica de eficiência alimentar mais recomendada para ser usada como critério de seleção, uma vez que resulta em redução de 0,6% da média/geração no CMS e em aumento acima de 0,8% da média/geração nas características de crescimento pós-desmama. A característica composta pelo CAR e o GPR, caso do CGR, pode apresentar resultados semelhantes aos de Rolfé et al. (2011) que constataram que o aumento do GMD é mais importante do que redução do CMS, recomendando o índice CGR por apresentar melhores resultados econômicos.

No segundo esquema de seleção, possivelmente mais condizente com a realidade, a seleção ocorre em duas etapas: seleção de 50% dos machos e 80% das fêmeas ao desmame com base no P210 e, posterior seleção de 20% de machos e 75% de fêmeas após a avaliação para eficiência alimentar. Na Figura 6 são mostradas as expectativas de ganhos genéticos acumulados pela seleção para P210 no primeiro estágio e para as outras características no segundo estágio de seleção.

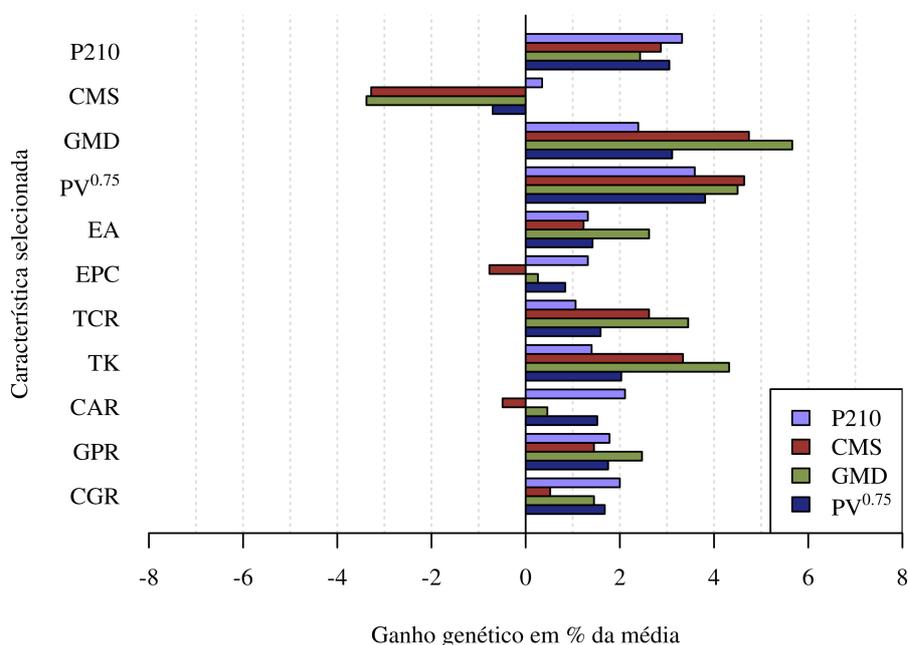
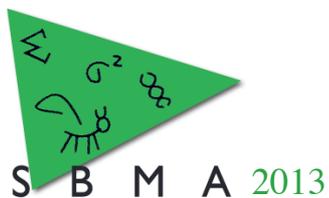


Figura 6. Expectativa de ganho genético/geração em peso ao desmame (P210), consumo de matéria seca (CMS), ganho médio diário (GMD) e peso vivo metabólico (PV^{0.75}), pela seleção direta baseada em cada uma das seguintes características: P210, CMS, GMD e PV^{0.75}, EA, EPC, TCR, TK, CAR, GPR e CGR, selecionando 50% dos machos e 80% das fêmeas ao desmame com base no P210 e posterior seleção de 20% de machos e 75% de fêmeas. Adaptado de Grion (2012) e Grion et al. (2013). Ver Tabela 1 para a definição das características.

São esperados ganhos genéticos positivos no P210, mesmo no caso de seleção para diminuição do CMS no segundo estágio. Entretanto, somente por meio da seleção para EPC ou CAR é possível obter



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal

Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

ganho genético favorável tanto para as características de crescimento, quanto para CMS. A seleção para EPC no segundo estágio reduz o CMS em -0,77% da média/geração e aumenta P210 em 1,32% da média/geração e o GMD em 0,26%/geração. Já a seleção para CAR no segundo estágio reduz o CMS em -0,49% da média/geração, e ainda possibilita ganhos em P210 de 2,11% da média/geração e em GMD de 0,46% da média/geração. Portanto, EPC e CAR passam a ter destaque por possibilitarem as melhores respostas à seleção visando à redução do CMS proporcionalmente aos elevados ganhos genéticos nas características de crescimento obtidos em possíveis esquemas de seleção com pré-seleção na fase de desmama.

O rebanho Nelore selecionado para consumo alimentar residual do Instituto de Zootecnia

O rebanho Nelore Tradicional (NeT) é composto de 170 matrizes e foi selecionado desde 1981 para peso pós-desmama com base no desempenho individual do peso aos 378 dias de idade (P378). O valor genético médio estimado para P378 foi 54,6 kg em 2006 (Razook & Mercadante, 2007). Em 2008 os touros desse rebanho passaram a ser selecionados com base no P378 e no CAR, sendo desejáveis animais com alto P378 e baixo CAR. Pelo fato do CAR ser fenotipicamente independente do peso, foi possível selecionar animais acima da média do P378 e abaixo da média do CAR, sendo mais difícil, entretanto, aplicar máxima intensidade de seleção nas duas características. O critério de seleção considerado foi o desempenho individual do CAR e o valor genético estimado do P378. Posteriormente, com a disponibilidade do valor genético do CAR, esse também foi levado em conta na seleção dos touros. Além da seleção com base nessas duas características, os touros selecionados tem que atender aos padrões raciais exigidos pela ABCZ, pois se trata de rebanho registrado, mais um fator que interfere no processo de seleção.

Sendo m_CAR a média do desempenho individual de CAR dos touros, m_vgCAR a média do valor genético estimado de CAR dos touros e, m_vgP378 a média do valor genético estimado de P378 dos touros, os números a seguir descrevem a seleção do NeT em três anos, ponderados pelas progênie que chegaram à idade de avaliação. Em 2009, 22% da progênie foi de touros com CAR negativo ($m_CAR = -0,177$ kg/dia; $m_vgCAR = -0,108$ kg/dia; $m_vgP378 = 58$ kg). Em 2010, 57% da progênie foi de touros com CAR negativo ($m_CAR = -0,241$ kg/dia; $m_vgCAR = -0,126$ kg/dia; $m_vgP378 = 55$ kg). Em 2011, 80% da progênie foi de touros com CAR negativo ($m_CAR = -0,338$ kg/dia; $m_vgCAR = -0,150$ kg/dia; $m_vgP378 = 61$ kg) e, em 2012, 100% da progênie foi de touros com CAR negativo ($m_CAR = -0,434$ kg/dia; $m_vgCAR = -0,166$ kg/dia; $m_vgP378 = 66$ kg). Alguns touros foram repetidos nos anos.

A média dos valores genéticos estimados, dos animais nascidos em 2011 no rebanho descrito acima (NeT), para $vgCAR$, $vgCMS$ e $vgP378$ foi, respectivamente, -0,130 kg de MS/dia, 0,384 de MS/dia e 60 kg. Os valores correspondentes para o rebanho selecionado só para o desempenho próprio do P378 foram: -0,066 kg de MS/dia, 0,617 kg de MS/dia e 53 kg. Sabendo que a média dos valores genéticos apresenta certa variação anual, esses números refletem ainda muito pouco dos resultados da seleção para consumo alimentar residual, mas sugerem que a seleção para CAR pode ser efetiva em diminuir o CMS sem alterar o P378.

Para caracterizar os animais testados para eficiência alimentar até o momento no Instituto de Zootecnia, na Figura 7 é mostrada a distribuição dos valores de desempenho individual do CAR, assim como a dos valores genéticos estimados dessa característica, incluindo todos os animais avaliados até 2012 (423 machos e 304 fêmeas). Na Figura 8 são mostradas as distribuições dos valores genéticos estimados para P378, CMS e GMD, também incluindo todos os animais avaliados até 2012. É importante ressaltar que a seleção anteriormente descrita está sendo feita somente no rebanho NeT, e na Figura 7 estão incluídos animais dos três rebanhos Nelore do Instituto de Zootecnia.

Nos gráficos da Figura 7, é possível destacar a clara diferença dos valores genéticos de P378, CMS e GMD à esquerda da curva referente aos animais do rebanho Controle e que esse fato não é claro nos gráficos dos valores observados de CAR e dos valores genéticos estimados de CAR, provavelmente refletindo a independência da característica CAR de características de crescimento. Ou seja, a seleção para crescimento não afetou uma das características de eficiência alimentar, que é o consumo alimentar residual, e vice-versa, fato já relatado em vários trabalhos (por exemplo, Sobrinho et al., 2011; Herd & Arthur, 2012). Outra observação interessante é que mesmo com um banco de dados pequeno para

estudos de melhoramento genético, desbalanceado em termos dos rebanhos testados nos anos, é possível observar claramente as diferenças entre os rebanhos quanto às características obtidas nos testes de eficiência alimentar, como CMS e GMD, mostrando a consistência dos dados e a possibilidade de implementação desses testes em outros rebanhos.

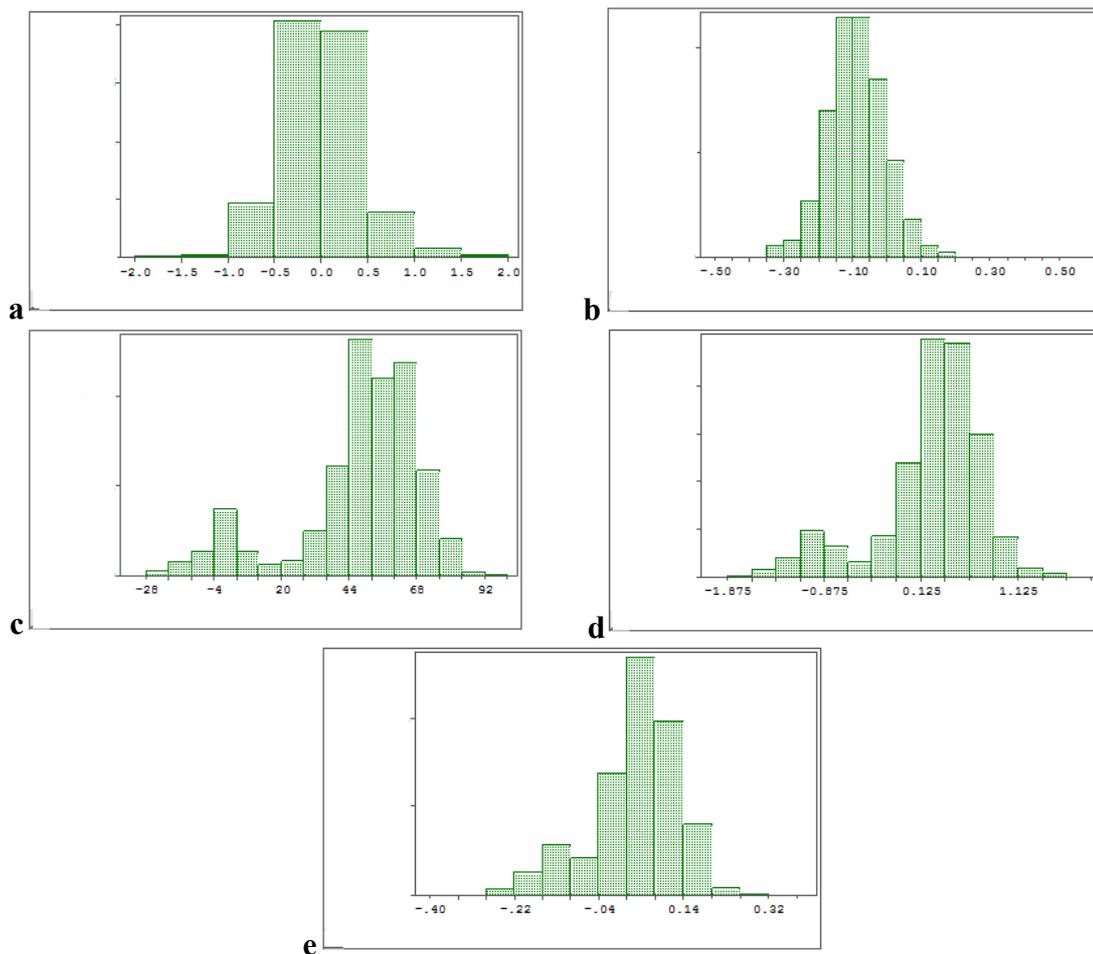
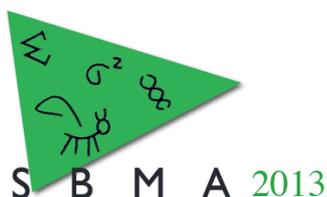


Figura 7. Distribuição dos valores (a) observados de consumo alimentar residual (CAR) em kg de MS/dia; (b) dos valores genéticos estimados de consumo alimentar residual (vgCAR) em kg de MS/dia; (c) dos valores genéticos de peso aos 378 dias de idade (vgP378) em kg; (d) dos valores genéticos estimados de consumo de matéria seca (vgCMS) em kg de MS/dia; (e) dos valores genéticos do ganho em peso médio diário (vgGMD) em kg/dia, de todos os animais avaliados até 2012 (incluindo animais dos rebanhos Seleção e Controle).

Arthur et al. (2001b) relataram o estabelecimento de duas linhas de seleção para eficiência alimentar em Trangie, Austrália. Os testes de desempenho tiveram início em 1993 com a utilização de sistema de alimentação automático. Após o teste, as fêmeas foram alocadas nas linhas AEfi (alta eficiência alimentar) e BEfi (baixa eficiência alimentar), e os três touros mais eficientes e os três menos eficientes foram usados, respectivamente, nas duas linhas. Esses animais e os demais reprodutores e matrizes usados durante o experimento foram selecionados com base no desempenho individual do CAR pós-desmama (Exton, 2001-Tabela 2), em teste de desempenho com 100 machos e 100 fêmeas por ano. Machos e fêmeas entraram na primeira monta com 14 meses de idade. Com poucas exceções, os touros



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal

Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

não foram usados por mais de uma estação de monta. As primeiras progênie dos pais selecionados nasceram em 1995 e as últimas em 1999.

Após cerca de duas gerações de seleção, com intervalo de gerações de 2,5 anos, tamanho efetivo populacional de 43 animais em cada linha e diferencial de seleção médio aplicado por ano igual a -0,318 kg de MS/dia na linha AEfi e de 0,387 kg de MS/dia na linha BEfi, os autores relataram resultados promissores para o uso dessa característica em programas de melhoramento genético de bovinos de corte. As médias de CAR, CMS e CA dos animais nascidos em 1999 na linha AEfi foram -0,540 kg de MS/dia, 9,4 kg de MS/dia e 6,6 kg de MS/kg de GMD, respectivamente. As médias correspondentes para os animais da linha BEfi foram: 0,707 kg de MS/dia, 10,64 kg de MS/dia e 7,8 kg de MS/kg de GMD. As médias de peso ao ano e GMD das duas linhas de seleção foram semelhantes e não diferiram significativamente. A divergência entre as linhas foi de 1,247kg de MS/dia no CAR. Portanto, a seleção para CAR resultou no melhoramento da eficiência alimentar pós-desmama sem efeito no crescimento.

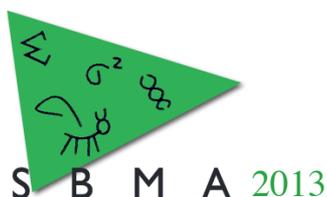
Perspectivas

As perspectivas de inclusão da eficiência alimentar em programas de melhoramento genético de bovinos de corte no Brasil, levando-se em conta somente a variabilidade genética das características de eficiência alimentar, assim como as expectativas de ganho genético, são muito boas. Portanto, o sucesso dependerá da aceitação e adoção dessa tecnologia pelas associações de bovinos e pelos criadores, pois esses terão que arcar com os custos da organização dos grupos de animais que serão testados, assim como da condução dos testes de eficiência alimentar.

O primeiro país a adotar essa tecnologia foi a Austrália, após grande investimento em pesquisa e divulgação. Herd & Arthur (2012) comentam que mais de 170 touros foram testados para eficiência alimentar em 1997 e esse número cresceu até o ano 2000 com mais de 500 touros sendo testados por ano. Entretanto, a adoção pelos criadores tem diminuído desde 2004. Os autores acreditam que parte da razão para esse declínio foi a expectativa do aparecimento de marcadores bioquímicos ou genéticos a baixo custo que pudessem facilitar e baratear a avaliação da eficiência alimentar. Outras razões para a baixa adesão por parte das associações e criadores de bovinos foram: o alto custo e complexidade, especialmente na fazenda, de obtenção dos registros de consumo alimentar individual; as limitações práticas, a preocupação com sanidade animal e os altos custos associados aos testes de eficiência alimentar realizados em centrais; baixa utilização de inseminação artificial na indústria de carne bovina australiana, resultando na falta de oportunidade para recuperar os custos pela venda de grande volume de sêmen.

Possivelmente, as associações e criadores de bovinos de corte no Brasil enfrentarão as mesmas dificuldades descritas acima, o que diminui as perspectivas de inclusão de características de eficiência alimentar em programas de melhoramento genético de bovinos de corte no país. Por outro lado, a existência de vários grupos de criadores bem organizados e com objetivos próprios para promover melhoramento genético em características de importância econômica em raças de bovinos de corte pode facilitar a adoção dessa tecnologia, pelo menos por alguns grupos. Já há pelo menos um desses grupos testando futuros reprodutores para características de eficiência alimentar após um ano de idade.

Atualmente, os dados de eficiência alimentar de animais Nelore do Instituto de Zootecnia, assim como dados de outros rebanhos, estão sendo usados em pesquisas com painéis de SNP de alta densidade. Análises preliminares indicaram que é possível selecionar animais ao nascimento para GMD, CMS, CAR e CA com acurácia de até 0,50 e que maiores valores de acurácia serão obtidos com o aumento do número de animais avaliados para essas características. Além disso, foram encontrados vários SNP significativos para expressão do CAR e CA e foram observados picos nos cromossomos 10, 11 e 14 para CAR e no cromossomo 9 para CA (Medeiros et al., 2013a,b). Esses resultados foram obtidos utilizando cerca de 230.000 SNP do painel de 770.000. Portanto, em curto prazo, há perspectiva de desenvolvimento de painéis menores, de menor custo, para as características de eficiência alimentar para serem usados na pré-seleção dos animais ao nascimento, diminuindo bastante o número de animais para serem avaliados em centrais de teste, com maior acurácia de avaliação genética e menor custo.



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal

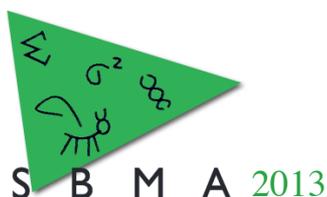
Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

Agradecimentos

À equipe de pesquisadores, pessoal de apoio e alunos de pós-graduação do Centro APTA Bovinos de Corte, Instituto de Zootecnia, pelo estabelecimento e condução dos testes de eficiência alimentar e organização das informações. À FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro, ao CNPq pela concessão das bolsas e à CAPES pela concessão das bolsas de mestrado.

Literatura citada

- ALBUQUERQUE, L.G.; MERCADANTE, M.E.Z.; ELER, J.P. Aspectos da seleção de *Bos indicus* para produção de carne. **Boletim de Indústria Animal**, v.64, p.339-348, 2007.
- ARCHER, J.A.; RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M. et al. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: A review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p.147-161, 1999.
- ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M. et al. Response to selection for net feed intake in beef cattle. In: CONFERENCE OF ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 14., 2001b, Queenstown. **Proceedings...** Queenstown. v.14, p. 135-138, 2001a.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. Genetic Improvement of Feed Efficiency. In: HILL, R.A. (Ed.) **Feed Efficiency in the Beef Industry**. Oxford: Wiley-Blackwell, p.93-103, 2012.
- ARTHUR, P.F.; RENAND, G.; KRAUSS, D. Genetic and phenotypic relationships among among measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. **Livestock Production Science**, v.68, p.131-139, 2001b.
- BERRY, D.P.; CROWLEY, J.J. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal Animal Science**, v.90, p.109-115, 2012.
- BISHOP, M.D.; DAVIS, M.E.; HARVEY, W.R. et al. Divergent selection for postweaning feed conversion in Angus beef cattle: I. Mean comparisons. **Journal of Animal Science**, v.69, p.4348-4359, 1991.
- BOUQUET, A.; FOUILLOUX, M.-N.; RENAND, G. et al. Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young bulls. **Livestock Science**. v.129, p.38-48, 2010.
- CASTILHO, A.M.; BRANCO, R.H.; CORVINO, T.L.S. et al. Feed efficiency of Nellore cattle selected for postweaning weight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.2486-2493, 2010.
- CREWS, D.H.; DIKEMAN, M.; NORTHCUTT, S.L. et al. Animal Evaluation. In: CUNDIFF, L. et al. (Ed.) **Guidelines For Uniform Beef Improvement Programs**. Raleigh: Beef Improvement Federation, p.16-55, 2010.
- CROWLEY, J.J.; MCGEE, M.; KENNY, D.A. et al. Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, v.88, p.885-894, 2010.
- De VRIES, A.G.; KANIS, E. A growth model to estimate economic values for food intake capacity in pigs. **Animal Production**, v.55, p.241-246, 1992.
- DEL CLARO, A.C.; MERCADANTE, M.E.Z.; SILVA, J.A.II.V. Meta-análise de parâmetros genéticos relacionados ao consumo alimentar residual e a suas características componentes em bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.47, p.302-310, 2012.
- EXTON, S. Testing beef cattle for net feed efficiency – standards manual. 2001. Available: <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/livestock/beef/breeding/general/feed-efficiency>. Acesso em 25/06/2012.
- FAIRFULL, R.W.; CHAMBERS, J.R. Breeding for feed efficiency: Poultry. **Canadian Journal of Animal Science**. v.84, p. 513-537, 1984.
- FITZHUGH, H.A., JR.; TAYLOR, C.S. Genetic analysis of degree of maturity. **Journal of Animal Science**, v.33, p.717-725, 1971.
- GOMES, R.C.; MENDES, E.D.M. **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte**. Uberaba: Associação Brasileira dos Criadores de Zebu, 2013. (no prelo).



X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal

Uberaba, MG – 18 a 23 de agosto de 2013

- GRION, A.L. **Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte**. 2012. 89f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Animal Sustentável, Instituto de Zootecnia, Nova Odessa – SP, 2012.
- GRION, A.L.; MERCADANTE, M.E.Z.; CYRILLO, J.N.S.G. et al. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nelore cattle. **Journal of Animal Science**. (submetido em 2013).
- GUNSETT, F.C. Linear index selection to improve traits defined as ratio. **Journal of Animal Science**, v.59, p.1185-1193, 1984.
- HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. Lessons from the Australian Experience. In: HILL, R.A. (Ed.) **Feed Efficiency in the Beef Industry**. Oxford: Wiley-Blackwell, p.61-73, 2012.
- HILL, R.A. **Feed Efficiency in the Beef Industry**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. 311p.
- KLEIBER, M. Problems involved in breeding for efficiency of food production. In: Proceedings of the American Society of Animal Production, 29, 1936, Madison, WI. **Proceedings...** Madison, WI: p. 247-258, 1936.
- KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.22, p.486-494, 1963.
- MACNEIL, M.D. Genetic evaluation of the ratio of calf weaning weight to cow weight. **Journal of Animal Science**, v.83, p.794-802, 2005.
- MRODE, R.A.; SMITH, C.; THOMPSON, R. Selection for rate and efficiency of lean gain in Hereford cattle. 1. Selection pressure applied and direct responses. **Animal Production**, v.51, p.23-34, 1990.
- RAZOOK, A.G.; FIGUEIREDO, L.A.; CYRILLO, J.N.S.G. et al. **Prova de Ganho de Peso: Normas adotadas pela estação experimental de Zootecnia de Sertãozinho**. Boletim Técnico, n. 40. 33p. 1997.
- RAZOOK, A.G.; MERCADANTE, M.E.Z. Ganhos de produtividade com o uso de touros provados. In: SANTOS, F.A.P.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. **Requisitos de qualidade na bovinocultura de corte**. Piracicaba: FEALQ. 2007 p.93-114.
- ROLFE, K.M.; SNELLING, W.M.; NIELSEN, M.K. et al. Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and others traits in growing beef cattle, and opportunities for selection. **Journal of Animal Science**. v.89, p.3452-3459, 2011.
- SHOJO, M.; YOUNG, J.; ANADA, K. et al. Estimation of genetic parameters for growth and feed utilization traits in Japanese Black cattle. **Animal Science Journal**, v.76, p.115-119, 2005.
- SILVA, R.M.O.; TAKADA, L.; BRANCO, R.H. et al. Habilidade de predição genômica para características de consumo e eficiência alimentar em bovinos Nelore. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 10., 2013a, Uberaba. **Anais...** Uberaba (submetido).
- SILVA, R.M.O.; VENTURINI, G.C.; BALDI, F. et al. Estudo de associação genômica entre polimorfismo de base única e eficiência alimentar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 10., 2013b, Uberaba. **Anais....** Uberaba (submetido).
- SOBRINHO, T.; BRANCO, R.H.; BONILHA, S.F.M. et al. Residual feed intake and relationships with performance of Nelore cattle selected for post weaning weight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.929-937, 2011.
- Van der WESTHUIZEN, R.R.; Van der WESTHUIZEN, J.; SCHOEMAN, S.J. Genetic variance components for residual feed intake and conversion ratio and their correlations with other production traits in beef bulls. **South African Journal of Animal Science**, v. 34, p.257-264, 2004.