

Heterose: conceito e seus efeitos na pecuária bovina leiteira

Pedro Franklin Barbosa¹

Resumo - Heterose é a superioridade, para uma característica, dos animais cruzados em relação à média das raças paternas. A explicação mais frequente para sua ocorrência é que existe dominância em muitos *locus*. A heterose é o resultado da dispersão de genes complementares e é maior quanto mais distantes geneticamente forem as raças cruzadas. Cruzamentos entre raças de espécies diferentes proporcionam níveis mais elevados de heterose do que aqueles entre raças da mesma espécie. Quanto menor a herdabilidade, maior é o grau de heterose. Bases genéticas, modelos e resultados sobre avaliação de estratégias de utilização de recursos genéticos foram revisados, concluindo-se que: a) os modelos de dominância e sobredominância são inadequados para predição do desempenho das gerações secundárias de cruzamento; b) os resultados obtidos com acasalamentos de mestiços entre si não foram satisfatórios; c) as diferenças genéticas foram mais importantes que a heterose quando o nível foi melhor; d) para lucro por dia de vida útil, a melhor alternativa foi a utilização de fêmeas F1 Holandês x Guzerá; e) a implementação de esquemas de reposição contínua de fêmeas F1 *Bos taurus* x *Bos indicus* é uma boa estratégia para o melhoramento da eficiência produtiva da pecuária leiteira.

Palavras-chave: Pecuária leiteira; Cruzamentos; Gado de leite; Eficiência produtiva; Lucro.

INTRODUÇÃO

Os aumentos em vigor e produtividade observados nas progênes resultantes de cruzamentos entre variedades, raças, espécies e gêneros passaram a receber a atenção dos geneticistas a partir dos três últimos decênios do século 19 (SPRAGUE, 1983).

A superioridade dos híbridos sobre as variedades paternas de milho foi observada em vários experimentos, mas a produção comercial de híbridos varietais não teve aceitação generalizada. Os resultados obtidos no final do século 19, impulsionaram a difusão da prática de cruzamentos entre variedades de milho, para produção comercial, apesar da pequena contribuição dada ao entendimento do fenômeno do vigor híbrido.

O termo heterose foi criado em 1912 por Shull (1948), para evitar a implicação de que o vigor híbrido era apenas de origem mendeliana.

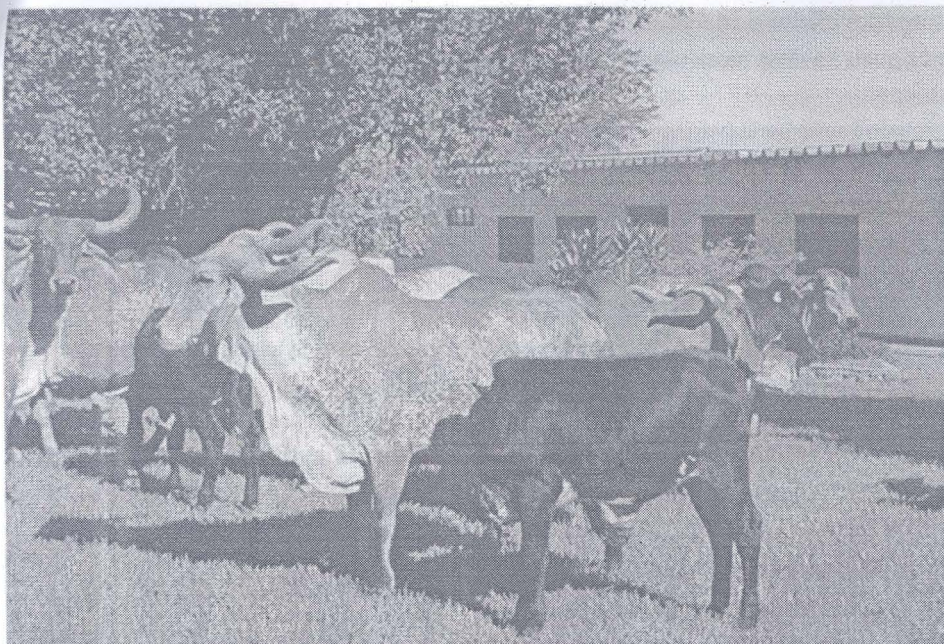
Em animais domésticos, o reconhecimento da superioridade das progênes resultantes de cruzamento entre raças diferentes foi feito, pela primeira vez, em 1907 por Quintus I. Simpson, um melhorista animal, ao apresentar o estudo *Rejuvenescimento pela hibridação* na reunião da Associação Americana de Criadores, em Columbus, Ohio (SHULL, 1952).

Heterose ou vigor híbrido é definida como a superioridade, para uma determinada característica, dos animais cruzados (em geral, aqueles da primeira geração de cruzamento ou F1) em relação à média das raças paternas (PIRCHNER, 1969, TURNER;

YOUNG, 1969). O termo superioridade significa que o desempenho é melhor para a característica em questão e não implica, necessariamente, que tal nível de desempenho seja superior em termos da eficiência do sistema de produção como um todo.

Desde as primeiras tentativas para explicar, em termos mendelianos, os efeitos favoráveis do vigor híbrido e os efeitos desfavoráveis da endogamia (acasalamento entre animais com coeficiente de parentesco acima da média da população), várias teorias foram propostas para relacionar a heterose com os tipos de ação e interação gênicas (dominância, sobredominância e epistasia), embora o termo heterose tenha sido criado originalmente como sendo livre de implicações genéticas

¹Engº Agrº, D.Sc., Pesq. Embrapa Pecuária Sudeste, Caixa Postal 339, CEP 13560-970 São Carlos-SP. Correio eletrônico: pedro@cpps.eembrapa.br



Animal F1 resultante do cruzamento de touro Holandês com vacas Gir: alternativa mais atualizada

(SPRAGUE, 1983). Outras teorias, que não se baseiam em processos de natureza genética para explicar a heterose, também foram propostas, destacando-se entre elas a heterozigose propriamente dita.

POR QUE DO CRUZAMENTO ENTRE DUAS ESPÉCIES

Na pecuária leiteira brasileira são utilizadas vacas de raças puras das espécies *Bos taurus* (Holandês, Jersey, Pardo-Suíço etc.) e *Bos indicus* (Gir, Guzera, Nelore etc.) e, principalmente, vacas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus*, sendo as mais frequentes aquelas resultantes de cruzamentos entre as raças Holandesa e Gir (Girolando) e Holandesa e Guzera (Guzolando).

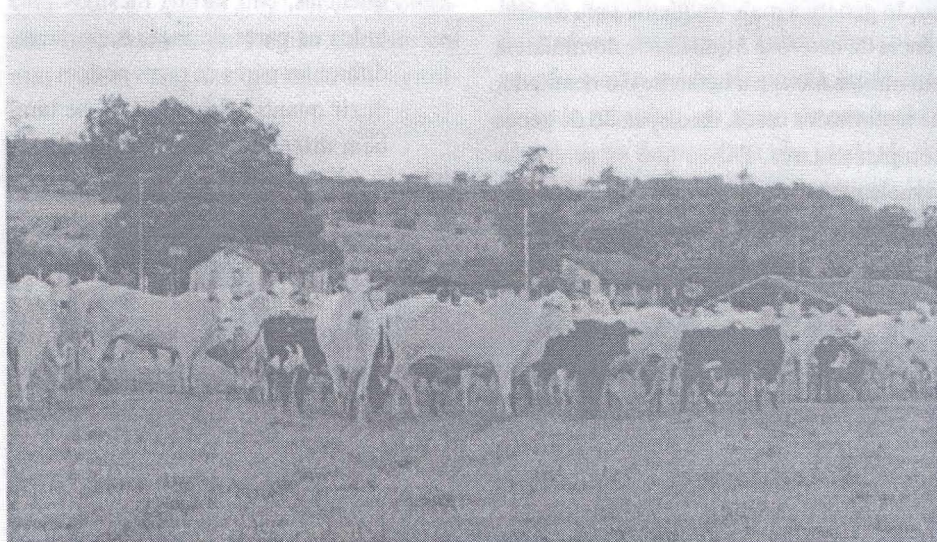
As bases genéticas e evolutivas para a divergência entre as espécies de bovinos (*Bos taurus* e *Bos indicus*) foram revisadas e discutidas por Barbosa (1988). Com base nas evidências experimentais encontradas na literatura, as principais conclusões foram:

- a) as diferenças morfológicas e fisiológicas entre as duas espécies podem não ter sido de valor seletivo para a espécie *Bos indicus*;
- b) a soma das substituições gênicas

dos polimorfismos de proteínas foi de 36 entre as duas espécies;

- c) a soma das substituições gênicas para os mesmos polimorfismos variou de 14 a 23 entre raças dentro da espécie *Bos taurus*;
- d) os resultados obtidos sugerem que as espécies são distintas quanto à origem, embora não haja isolamento reprodutivo entre elas.

Embora o assunto ainda seja contro-



Crias F1 resultantes do cruzamento de touro Holandês com vacas Nelore: uma alternativa ainda em estudo

verso (BARBOSA, 1988, 1995), acredita-se que as diferenças entre as raças puras de ambas as espécies quanto às características morfológicas (aparência geral), fisiológicas (adaptação às altas temperaturas do ambiente) e zootécnicas (produção de leite) podem ser atribuídas às diferentes direções e pressões de seleção às quais elas foram submetidas durante o processo evolutivo (BARBOSA, 1995). Dessa forma, cada raça é dotada de composição genética diferente, principalmente para as características relativas ao tipo racial (cor da pelagem, presença ou ausência de chifres, conformação do perfil da frente, tamanho da orelha etc.) e, provavelmente, para os atributos relacionados com as capacidades de adaptação ao ambiente (adaptabilidade), produção (produções de leite, gordura e proteína, duração da lactação etc.) e reprodução (idade à puberdade, idade ao primeiro parto, intervalo de partos etc.).

A utilização de cruzamentos entre raças de espécies diferentes deve-se, em primeiro lugar, ao fato de que a complementaridade (CARTWRIGHT, 1970) é um fenômeno de natureza genética importante para o aumento da eficiência dos sistemas de produção animal. A complementaridade, no caso de bovinos de leite, se dá pela reunião, nas vacas cruzadas, das características de

boa adaptação ao ambiente, bem evidenciadas nas raças de *Bos indicus*, e das características de elevada produção de leite, típicas das raças de *Bos taurus*.

A segunda razão para a utilização de cruzamentos é o aproveitamento das diferenças genéticas aditivas entre as raças utilizadas no cruzamento. Para características quantitativas, se os efeitos dos genes são independentes e as raças utilizadas no cruzamento diferem entre si quanto aos seus valores genéticos para aquelas características, então o valor genético da progênie resultante será simplesmente a soma dos efeitos independentes dos genes herdados do pai (50%) e da mãe (50%). Em outras palavras, o valor genético da progênie cruzada, para uma característica quantitativa qualquer, será a média dos valores genéticos dos pais para aquela característica. Para produção de leite, por exemplo, o cruzamento de touros da raça Holandesa com média de valores genéticos de 7 mil kg/lactação com vacas Gir com média de valores genéticos de 3 mil kg/lactação deve resultar em vacas F1 Holandês x Gir com média de 5 mil kg de leite por lactação.

A terceira razão para a utilização de cruzamentos é a exploração do fenômeno do vigor híbrido ou heterose. Várias hipóteses foram propostas para explicar as bases genéticas da heterose. Evidências experimentais para todas elas podem ser encontradas em Barbosa (1995). A explicação genética mais freqüente para a ocorrência da heterose é que existe dominância em muitos *locus* e a heterose é o resultado, na maioria dos casos, da dispersão de genes complementares. Diz-se que os genes são complementares quando dois genes, de *locus* diferentes, agindo em conjunto produzem algo diferente do efeito de cada um atuando sozinho (HUTT; RASMUSEN, 1982).

Em termos genético-quantitativos, a heterose foi modelada por Falconer (1960) para um *locus* com dois genes, utilizando o mesmo raciocínio (modelo aditivo-dominante) para obtenção de estimativas da depressão pela endogamia ou consanguinidade. A equação para quantificar a heterose na geração F1 (HF1) é dada pela

soma dos efeitos de dominância dos *locus* nos quais as duas raças usadas como pais diferem, ou seja, $HF1 = dy^2$, em que d é o grau de dominância (variando de 0 a 1) e y^2 é o quadrado da diferença nas freqüências gênicas entre as duas raças (variando de 0 a 1). Para n *locus* gênicos, a equação pode ser representada por $HF1 = Sdy^2$.

Como pode ser observado nas equações, tanto a heterose como a depressão endogâmica dependem da dominância para sua ocorrência. Os *locus* onde não há dominância (isto é, $d = 0$) não causam nenhum dos fenômenos. A partir da equação $HF1 = Sdy^2$ (FALCONER, 1960), podem ser feitas as seguintes considerações:

- a) a ocorrência da heterose depende da dominância direcional: se alguns genes de uma das raças utilizadas no cruzamento são dominantes em uma direção e os outros genes de outra raça são dominantes na direção oposta, os seus efeitos tendem a se cancelar e nenhuma heterose seria observada; no entanto, a ausência de heterose não é suficiente para concluir-se que não há dominância em cada um dos *locus*;
- b) a quantidade de heterose é específica para um determinado tipo de cruzamento: os genes para os quais as duas raças puras utilizadas no cruzamento diferem quanto às freqüências, não são os mesmos para todos os pares de raças e, portanto, diferentes pares de raças podem produzir quantidades de heterose também diferentes quando cruzadas;
- c) a quantidade de heterose é proporcional ao quadrado das diferenças nas freqüências gênicas entre as duas raças: se não houver diferença ($y = 0$), a heterose será nula; a heterose será máxima quando um alelo está fixo numa raça e o outro fixo na outra raça (isto é, $y = 1$), como é o caso de linhagens endogâmicas homozigotas para alelos diferentes; mesmo assim a heterose ainda depende da dominância direcional.

Maiores detalhes sobre as bases genéticas do cruzamento em bovinos e sobre as equações dos efeitos de dominância e heterose, heterose residual, modelo aditivo-dominante, desvios do modelo aditivo-dominante e perdas por recombinação podem ser encontrados em Barbosa (1993).

Os aspectos mais importantes das teorias da heterose e dos modelos propostos para explicar a heterose na geração F1 e a heterose residual em gerações secundárias de cruzamentos entre raças de bovinos de leite, na região intertropical do mundo, foram revisados e discutidos por Barbosa (1995).

A principal conclusão de Barbosa (1995) foi que, na maioria dos experimentos (70%) de cruzamento entre raças de bovinos de leite, os modelos convencionais de dominância e sobredominância não foram adequados para a predição do desempenho de outros grupos genéticos, com base apenas nas informações da geração F1 e das raças paternas. Esta conclusão se aplica principalmente à produção de leite (por lactação e por dia de intervalo de partos) e às características relacionadas com os componentes do leite.

Finalmente, deve ser ressaltado que a heterose será maior quanto mais distantes geneticamente forem as raças utilizadas no cruzamento. Portanto, os cruzamentos entre raças de espécies diferentes tendem a proporcionar níveis mais elevados de heterose do que os cruzamentos entre raças da mesma espécie. Outro aspecto relevante é a importância relativa da ação gênica não-aditiva (dominância, epistasia, sobredominância) na variação fenotípica. Em geral, características de baixa herdabilidade (menor que 0,20) tendem a apresentar níveis mais altos de heterose do que aquelas de herdabilidades média (0,20 a 0,40), alta (0,40 a 0,60) e muito alta (maior que 0,60).

HETEROSE ENTRE ANIMAIS MISTIÇOS E ENTRE ANIMAIS DA MESMA ESPÉCIE

Vários trabalhos foram conduzidos no Brasil com o objetivo de avaliar os recursos genéticos utilizados nos diferentes

sistemas de produção de leite. No entanto, a maioria não incluiu diferentes grupos genéticos sob as mesmas condições de ambiente e manejo, o que dificulta a interpretação e, às vezes, impossibilita a comparação dos resultados obtidos. Raros são os projetos de pesquisa conduzidos com o objetivo de avaliar estratégias de utilização de recursos genéticos bovinos para a produção de leite (BARBOSA, 1995).

Freitas e Queiroz (1986) revisaram os trabalhos realizados no Brasil com as raças especializadas para produção de leite (Holandês, Jersey, Pardo-Suíço) e seus mestiços, concluindo ser possível a obtenção de bons resultados com as raças especializadas para produção de leite em condições favoráveis de ambiente e manejo, em algumas regiões do país.

Os resultados publicados sobre comparações entre grupos genéticos, em rebanhos leiteiros com níveis altos de manejo (médias de produção de leite acima de 3 mil kg por lactação), têm sido contraditórios. Na Região Sudeste, por exemplo, Alves Neto et al. (1967), Queiroz et al. (1987), Reis e Silva (1987), analisando dados obtidos em rebanhos com médias variando de 4.200 a 4.700 kg de leite por lactação, encontraram diferenças significativas entre grupos genéticos e favoráveis às vacas puras de origem (PO) e puras por cruza (PC) em relação às vacas cruzadas (até 15/16 Holandês). Entretanto, Neiva et al. (1979), Madalena et al. (1983), Conceição Junior et al. (1993), Barbosa et al. (1997), analisando dados

obtidos em rebanhos com médias de produção de leite variando de 3 mil a 4 mil kg por lactação, não encontraram diferenças significativas entre os grupos genéticos estudados.

A competitividade das raças puras especializadas para produção de leite aumenta de acordo com o nível de produção do rebanho, sendo igual à das vacas cruzadas em rebanhos com média de 10 kg de leite por dia de intervalo de partos (MADALENA, 1997). Há relativamente pouca informação sobre a partir de qual nível de produção as raças puras de *Bos taurus* são mais eficientes do que as cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* (MADALENA, 2000).

Para níveis de produção de leite por intervalo de partos de até 10 kg/dia, alguns autores não encontraram diferenças significativas entre grupos genéticos com fração de genes de raças especializadas *Bos taurus* variando de 50% a 100% (MADALENA et al., 1983, MACKINNON et al., 1996, FERREIRA; MADALENA, 1997).

Barbosa et al. (1999), analisando dados obtidos no período de 1984 a 1993 no sistema intensivo de produção de leite da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, também não encontraram diferenças significativas entre grupos genéticos (Quadro 1), mesmo quando as médias de produção de leite (4.957 kg/lactação) e de produção de leite por intervalo de partos (12,7 kg/dia) foram mais altas do que as amplitudes encontradas em rebanhos da Região Sudeste em que o efeito de grupo genético foi signifi-

cativo. Esse resultado sugere que é possível utilizar vacas cruzadas em sistemas de produção de leite com médias acima da amplitude de variação encontrada na Região Sudeste.

F1 HOLANDÊS X ZEBU: EFEITOS DA HETEROSE NOS PARÂMETROS PRODUTIVOS E REPRODUTIVOS

Um projeto de pesquisa sobre avaliação de estratégias de utilização de recursos genéticos para produção de leite na Região Sudeste, coordenado pela Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, foi iniciado em 1976 (MADALENA, 1989) e conduzido até 1992. As estratégias de utilização dos recursos genéticos avaliadas foram:

- absorção do gado mestiço para Holandês puro por cruza;
- formação de uma nova raça com 5/8 Holandês + 3/8 Zebu;
- utilização de cruzamento rotacionado Holandês x Zebu;
- utilização de cruzamento rotacionado Holandês x Zebu com repetição do Holandês;
- reposição contínua de fêmeas F1 Holandês x Zebu.

O projeto foi conduzido em 65 fazendas particulares e duas estações experimentais da Região Sudeste, classificadas em dois níveis de manejo (alto e baixo) de acordo com a média de produção de leite de cada rebanho, por meio da produção e distribuição de novilhas em idade de reprodução de seis grupos genéticos Holandês x Guzerá: 1/4, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8 e $\geq 15/16$ Holandês. O manejo das novilhas após a distribuição aos produtores foi feito de acordo com as práticas adotadas em cada fazenda. A coleta de dados de produção de leite, reprodução e peso das vacas foi realizada por técnicos da Embrapa e de empresas estaduais de pesquisa e desenvolvimento da Região Sudeste.

Os resultados do projeto foram publicados em diversos trabalhos, destacando-se

QUADRO 1 - Número de observações (N) e médias da produção de leite por lactação (PL), de acordo com o grupo genético

Grupo genético	N	PL (kg)
Cruzadas (de 5/8 até 15/16 Holandês)	133	4.586 ± 114
PC (>15/16 até 31/32 Holandês)	217	4.606 ± 117
PC de 1ª geração controlada (GC1)	144	4.749 ± 110
PC de 2ª geração (\geq GC2) + PO	190	4.769 ± 86

FONTE: Barbosa et al. (1999).

NOTA: PC - Puras por cruza; PO - Puras de origem.

entre eles os de Madalena (1989), Madalena et al. (1990ab), Lemos et al. (1996). As médias de produção de leite por dia de vida útil da vaca (diferença entre a idade ao descarte e a idade ao primeiro parto), dos diferentes grupos genéticos de acordo com o nível de manejo são apresentadas no Quadro 2. Em ambos os níveis de manejo, observa-se que os grupos genéticos 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês x Guzerá apresentaram as maiores médias de produção de leite por dia de vida útil. Com exceção das vacas 5/8 Holandês x Guzerá, observa-se ainda que as diferenças relativas em produção de leite por dia de vida útil entre os níveis de manejo aumentam de acordo com o aumento da proporção de genes de Holandês (de 21,1% nas vacas 1/4 Holandês x Guzerá para 46,5% nas vacas PC).

Os resultados sobre duração da vida útil, número de lactações e razões para descarte das vacas foram relatados por Lemos et al. (1996). Em ambos os níveis de manejo, o desempenho das vacas F1 Holandês x Guzerá foi superior ao dos outros grupos genéticos quanto à duração da vida útil (Quadro 3) e particularmente quanto ao número de lactações completadas durante o mesmo período em que os seis grupos genéticos foram avaliados (Quadro 4).

Quanto à duração da vida útil (Quadro 3), as vacas F1 Holandês x Guzerá foram, em média, 44% e 46% mais longevas do que as dos outros grupos genéticos nos dois níveis de manejo (8,4 vs. 5,8 anos no nível alto e 7,1 vs. 4,9 anos no nível baixo).

Quanto ao número de lactações completadas (Quadro 4), as vacas F1 Holandês x Guzerá foram, respectivamente, 40% e 48% mais eficientes do que as dos outros grupos genéticos, em média, em ambos os níveis de manejo (8,5 vs. 5,9 lactações no nível alto e 6,0 vs. 4,1 lactações no nível baixo).

Considerando a produção de leite por dia de vida útil (Quadro 2), a duração da vida útil (Quadro 3) e o número de lactações completadas (Quadro 4), foi calculado um índice de produtividade (kg de leite/lactação completada no mesmo intervalo

QUADRO 2 - Médias de produção de leite (kg/vaca/dia de vida útil), de acordo com o nível de manejo e o grupo genético

Grupo genético	Nível de manejo	
	Alto	Baixo
1/4 Holandês + 3/4 Guzerá	4,26	3,36
1/2 Holandês + 1/2 Guzerá	8,31	6,39
5/8 Holandês + 3/8 Guzerá	5,31	4,39
3/4 Holandês + 1/4 Guzerá	8,16	5,70
7/8 Holandês + 1/8 Guzerá	8,23	5,02
Holandês PC	7,94	4,25
Médias	7,04	4,85

FONTE: Dados básicos: Madalena et al. (1990b).

NOTA: PC - Puro por cruza.

QUADRO 3 - Duração da vida útil (em anos) de acordo com o grupo genético e o nível de manejo

Grupo genético	Nível de manejo ⁽¹⁾	
	Alto	Baixo
1/4 Holandês + 3/4 Guzerá	3,8 c	4,0 c
1/2 Holandês + 1/2 Guzerá	8,4 a	7,1 a
5/8 Holandês + 3/8 Guzerá	3,8 c	4,3 bc
3/4 Holandês + 1/4 Guzerá	7,2 ab	5,6 b
7/8 Holandês + 1/8 Guzerá	5,9 b	4,3 bc
Holandês PC	6,9 ab	3,6 c

FONTE: Dados básicos: Lemos et al. (1996).

NOTA: PC - Puro por cruza.

(1) Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si ($P > 0,05$).

QUADRO 4 - Número de lactações completadas de acordo com o grupo genético e o nível de manejo

Grupo genético	Nível de manejo ⁽¹⁾	
	Alto	Baixo
1/4 Holandês + 3/4 Guzerá	4,0 d	3,8 bc
1/2 Holandês + 1/2 Guzerá	8,5 a	6,0 a
5/8 Holandês + 3/8 Guzerá	4,1 cd	3,6 bc
3/4 Holandês + 1/4 Guzerá	6,7 ab	4,5 b
7/8 Holandês + 1/8 Guzerá	5,6 bc	3,7 bc
Holandês PC	6,4 abc	3,2 c

FONTE: Dados básicos: Lemos et al. (1996).

NOTA: PC - Puro por cruza.

(1) Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si ($P > 0,05$).

de tempo), para os seis grupos genéticos e ambos os níveis de manejo, verificando-se que as vacas F₁ Holandês x Guzerá produziram 76% e 126% mais leite do que a média dos demais grupos genéticos nos níveis alto e baixo de manejo, respectivamente.

Sob o ponto de vista econômico, uma das maneiras de se avaliar estratégias de utilização de recursos genéticos é por meio do uso de uma função relacionando receitas e custos, ou seja, o lucro que é dado pela expressão (receita-custos)/vida útil. O lucro por dia de vida útil, em equivalente-leite (preço de um quilograma de leite), é mostrado no Quadro 5. Observa-se que o lucro máximo foi obtido com a utilização de vacas F₁ Holandês x Guzerá, particularmente nas fazendas com nível baixo de manejo, sugerindo que a organização e a utilização de esquemas de produção e de reposição contínua desse tipo de fêmeas pelos produtores, tal como praticado na suinocultura comercial, podem ser importantes para a viabilização dessa estratégia de utilização de recursos genéticos para produção de leite no Brasil (MADALENA, 1992, 1993).

Os efeitos genéticos aditivos e heteróticos podem variar de acordo com o nível de ambiente, incluindo as práticas de manejo, como indicado por Cunningham e Syrstad (1987). A interação heterose-ambiente parece ser a regra para a maioria das características de importância econômica em bovinos, sendo maior em ambientes menos favoráveis.

Tanto a importância relativa dos efeitos genéticos aditivos e heteróticos, quanto as suas interações com o ambiente e o manejo, têm implicações importantes na predição das conseqüências de diferentes estratégias de utilização de recursos genéticos. As estimativas de diferenças genéticas entre Holandês e Guzerá e de heterose individual para produção de leite/dia de vida útil e lucro/dia obtidas por Madalena et al. (1990b) são mostradas no Quadro 6.

No Quadro 6, observa-se que as estimativas foram significativas, exceto a diferença genética aditiva para lucro/dia no nível baixo de manejo. No nível alto de

QUADRO 5 - Lucro (em equivalente-leite, kg/dia de vida útil), de acordo com o grupo genético e o nível de manejo

Grupo genético	Nível de manejo	
	Alto	Baixo
1/4 Holandês + 3/4 Guzerá	-1,18	1,67
1/2 Holandês + 1/2 Guzerá	1,79	4,43
5/8 Holandês + 3/8 Guzerá	-0,32	1,38
3/4 Holandês + 1/4 Guzerá	1,67	2,37
7/8 Holandês + 1/8 Guzerá	1,51	0,49
Holandês PC	1,31	-1,31
Médias	0,80	1,50

FONTE: Dados básicos: Madalena et al. (1990b).

NOTA: PC - Puro por cruza.

QUADRO 6 - Estimativas de diferenças genéticas aditivas e de heterose individual, de acordo com o nível de manejo

Características/Estimativas	Nível de manejo	
	Alto	Baixo
Produção de leite (kg/dia)		
Diferença genética aditiva	⁽¹⁾ 7,86 ± 0,81	⁽¹⁾ 4,22 ± 0,56
Heterose individual	⁽¹⁾ 4,21 ± 0,69	⁽¹⁾ 4,15 ± 0,44
Lucro por dia (equivalente-leite, kg/dia)		
Diferença genética aditiva	⁽¹⁾ 5,54 ± 0,39	⁽²⁾ 0,36 ± 0,84
Heterose individual	⁽¹⁾ 3,22 ± 0,33	⁽¹⁾ 5,77 ± 0,66

FONTE: Dados básicos: Madalena et al. (1990b).

(1) P < 0,01. (2) Não significativo.

manejo, as diferenças genéticas aditivas foram mais importantes do que a heterose, isto é, as condições mais favoráveis de ambiente e de manejo permitiram que o potencial genético da raça Holandesa se manifestasse em maior proporção do que no nível baixo de manejo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: EXPECTATIVAS DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA DE VACAS DO CRUZAMENTO HOLANDÊS X ZEBU

Em termos de expectativas, um aspecto importante é a possibilidade de predição do desempenho de estratégias de utilização

dos recursos genéticos em diferentes níveis de manejo. Considerando as estimativas de diferenças genéticas aditivas e de heterose individual, Madalena et al. (1990b) calcularam o desempenho de cinco estratégias para produção de leite por dia de vida útil (Quadro 7) e para lucro por dia de vida útil (Quadro 8).

Os resultados obtidos por Madalena et al. (1990ab) indicam que, nas condições existentes na maioria das fazendas da Região Sudeste, a utilização de fêmeas F₁ Holandês x Guzerá foi a melhor alternativa em termos de lucro por dia de vida útil das vacas (Quadro 8). Nas fazendas de alto nível de manejo, as melhores alternativas,

QUADRO 7 - Desempenho esperado de cinco estratégias de utilização de recursos genéticos para produção de leite (kg/vaca/dia de vida útil), de acordo com o nível de manejo

Estratégias	Nível de manejo ⁽¹⁾	
	Alto	Baixo
Produção de F1 Holandês x Zebu	8,33 a	6,49 a
Cruzamento rotacionado com repetição de Holandês	7,83 b	5,41 b
Cruzamento rotacionado Holandês x Zebu	6,92 c	5,10 b
Cruzamento absorvente com Holandês	8,05 ab	4,45 c
Formação de nova raça (5/8 Holandês + 3/8 Zebu)	5,30 d	4,39 c

FONTE: Dados básicos: Madalena et al. (1990b).

(1) Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si.

QUADRO 8 - Desempenho esperado de diferentes estratégias de utilização de recursos genéticos para lucro por dia de vida útil (equivalente-leite, kg/dia), de acordo com o nível de manejo

Estratégias	Nível de manejo ⁽¹⁾	
	Alto	Baixo
Produção de F1 Holandês x Zebu	1,82 a	4,64 a
Cruzamento rotacionado com repetição de Holandês	1,36 b	2,23 b
Cruzamento rotacionado Holandês x Zebu	0,75 c	2,72 b
Cruzamento absorvente com Holandês	1,36 b	-0,95 d
Formação de nova raça (5/8 Holandês + 3/8 Zebu)	-0,33 d	1,37 c

FONTE: Dados básicos: Madalena et al. (1990b).

(1) Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si.

depois da utilização de fêmeas F1 Holandês x Guzerá, foram a utilização de cruzamentos com touros da raça Holandesa por duas gerações e touros Zebu por uma geração e a absorção por Holandês que, por facilidades de manejo, seria mais fácil de ser implementada. Do mesmo modo, nas fazendas de nível baixo de manejo, a segunda melhor alternativa foi o cruzamento rotacionado Holandês x Zebu.

Os resultados obtidos com acasalamentos de mestiços 5/8 Holandês x Zebu entre si (bimestiagem) não foram satisfatórios, sugerindo que a formação de novas raças ou compostos não é uma estratégia adequada, a não ser que altas intensidades de seleção sejam praticadas nas populações produtoras de reprodutores para contrabalançar as perdas de heterose nas gerações secundárias.

REFERÊNCIAS

- ALVES NETO, F.; FANG, I.; TELLES, J.D.M. et al. Comportamento médio das vacas e rebanhos controlados pelo Serviço de Controle Leiteiro da Associação Paulista de Criadores de Bovinos, 1945-1966. *Revista dos Criadores*, São Paulo, v.38, p.18-108, 1967.
- BARBOSA, P.F. Bases genéticas do cruzamento em bovinos. In: FERRAZ, J.B.S. (Ed.). *Cruzamentos industriais na pecuária de corte*. Pirassununga: USP - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 1993. p.3-21.
- _____. Bases genéticas e evolutivas para a divergência das espécies de bovinos. *Ecossistema*, Espírito Santo do Pinhal, v.13, p.1-14, out. 1988.
- _____. *Estratégias de utilização de recursos genéticos para a produção de leite*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1999. 25p.

(Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 19).

_____. *Heterose, heterose residual e efeitos da recombinação em sistemas de cruzamento de bovinos*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1995. p.135-243. (Série Monografias, 2).

_____. ; CRUZ, G. M. da; COSTA, J. L. da; RODRIGUES, A. de A. Causas de variação da produção de leite em um rebanho da raça Holandesa em São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v.28, n.5, p.974-981, set./out. 1999.

_____. ; VILLELA, C. L.; LEITE NETO, M. de C. Produção de leite e duração da lactação em um rebanho da raça Holandesa na região da Mantiqueira Paulista. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. *Anais...* Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1997. v.3, p.97-99.

CARTWRIGHT, T. C. Selection criteria for beef cattle for the future. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.30, n.2, p.706-711, 1970.

CONCEIÇÃO JUNIOR, V.; SILVA, H.M.; PEREIRA, C.S. Fatores ambiente e genéticos que afetam a produção de leite e de gordura em vacas da raça Holandesa. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v.45, n.1, p.81-98, fev. 1993.

CUNNINGHAM, E.P.; SYRSTAD, O. *Crossbreeding Bos indicus and Bos taurus for milk production in the tropics*. Rome: FAO, 1987. 90p.

FALCONER, D.S. *Introduction to quantitative genetics*. London: Longman, 1960. 365p.

FERREIRA, J.J.; MADALENA, F.E. Efeito do tipo de cruzamento sobre o desempenho produtivo e reprodutivo de vacas leiteiras. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v.49, n.6, p.741-752, dez. 1997.

FREITAS, M.A.R.; QUEIROZ, S.A. Alguns aspectos da exploração das raças leiteiras especializadas no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 2., 1986, Nova Odessa. *Anais...* Campinas: Fundação Cargill, p.53-65, 1986.

- HUTT, F.B.; RASMUSEN, B.A. **Animal genetics**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 582p.
- LEMOS, A.M.; TEODORO, R.L.; MADALENA, F.E. Comparative performance of six Holstein-Friesian x Guzera grades in Brazil - 9: stayability, herd life and reasons for disposal. **Revista Brasileira de Genética**, v.19, n.2, p.259-264, 1996.
- MACKINNON, M.J.; THORPE, W.; BAKER, R. L. Sources of genetic variation for milk production in a crossbred herd in the tropics. **Animal Science**, Haddington, v.62, part.1, p.5-16, Feb. 1996.
- MADALENA, F. E. A simple scheme to utilize heterosis in tropical dairy cattle. **World Animal Review**, v.74/75, n.1/2, p.17-25, 1993.
- _____. Cattle breed resource utilization for dairy production in Brazil. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, n.3, p.183-220, 1989. Suplemento.
- _____. Produção de leite por animais puros e mestiços. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE GADO DE LEITE, I., 2000, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBNA, 2000. p.39-52.
- _____. Reposição com novilhas F_1 : um esquema simples de cruzamento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.177, p.23-25, 1992.
- _____. Sistema de reposição contínua do rebanho leiteiro com fêmeas F_1 de *Bos taurus* x *Bos indicus* no Brasil. **Archivos Latino-americanos de Producción Animal**, Mayagüez, v.5, n.2, p.97-126, dic. 1997.
- _____; LEMOS, A.M.; TEODORO, R.L. et al. Dairy production and reproduction in Holstein Friesian and Guzera crosses. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.73, n.7, p.1872-1886, 1990a.
- _____; TEODORO, R. L.; LEMOS, A. M. et al. Evaluation of strategies for crossbreeding of dairy cattle in Brazil. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.73, n.7, p.1887-1901, 1990b.
- _____; VALENTE, J.; TEODORO, R. L.; MONTEIRO, J.B.N. Produção de leite e intervalo entre partos de vacas HPB e mestiças HPB: Gir num alto nível de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.2, p.195-200, fev. 1983.
- NEIVA, R.S.; SILVA, H.M.; SAMPAIO, L.B.M. Alguns fatores de meio influenciando a produção de leite, em um rebanho Holandês, no sul do estado de Minas Gerais. **Arquivos da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v.31, n.2, p.263-273, ago. 1979.
- PIRCHNER, F. **Population genetics in animal breeding**. San Francisco: W.H. Freeman, 1969. 274p.
- QUEIROZ, S.A.; GIANNONI, M.A.; RAMOS, A.A. et al. Environmental effects on the variation of productive traits in Holstein-Friesian x Zebu crossbred cattle in the region of São Carlos, State of São Paulo - I: milk yield. **Revista Brasileira de Genética**, v.10, n.1, p.63-73, 1987.
- REIS, R.B.; SILVA, H.M. Influência de alguns fatores de meio sobre as principais características produtivas em rebanhos holandeses - I: produção de leite, produção de gordura, percentagem de gordura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.39, n.2, p.273-290, abr. 1987.
- SHULL, G.H. Beginnings of the heterosis concept. In: GOWEN, J.W. (Ed.). **Heterosis: a record of researches directed toward explaining and utilizing the vigor of hybrids**. Ames: Iowa State College Press, 1952. p.15-48.
- _____. What is "heterosis"? **Genetics**, v.33, p.439-446, 1948.
- SPRAGUE, G.F. Heterosis in maize: theory and practice. In: FRANKEL, R. (Ed.). **Heterosis: reappraisal of theory and practice**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1983. p.47-70.
- TURNER, H.N.; YOUNG, S.S.Y. **Quantitative genetics in sheep breeding**. Ithaca: Cornell University Press, 1969.