

AS CARACTERÍSTICAS DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DAS PROVAS GENÔMICAS

Texto: Daniel J. de Abreu, Marcos Vinícius Gualberto, Adam H. Utsunomiya, Diego C. de Almeida, Marco A. Machado, Marta F. Martins, Wagner A. Arbex

Introdução

A genética pode ser aplicada na pecuária de várias formas, como, por exemplo em estudos funcionais em modelos biológicos animais; em estudos populacionais e de genética da conservação; e em pesquisas e diagnósticos de doenças hereditárias. Mas, a principal aplicação da genética nesta área está na sua contribuição para o melhoramento dos animais para as características de interesse econômico. Por possuir caráter científico e determinar uma resposta econômica imediata, a seleção para estas características envolve interesses de criadores e cientistas em um mesmo propósito. Com a comprovação da existência da herança genética para as características observáveis no final do século XIX, a atenção de muitos cientistas voltou-se para o desenvolvimento de métodos de seleção para características mensuráveis de implicação econômica, e ainda continua até os dias atuais, incorporando novas tecnologias nas metodologias.

Recentemente, as inovações tecnológicas na área da biologia molecular têm auxiliado no estudo e compreensão de processos genéticos que envolvem o DNA. Dentre estas tecnologias estão o sequenciamento do genoma e utilização de marcadores moleculares para polimorfismo de nucleotídeo único (SNP). A customização dessas tecno-

logias, principalmente dos marcadores moleculares do tipo SNPs, permite sua utilização em larga escala, não apenas em pesquisas científicas, mas também na prática, no processo de seleção dos animais. Tal processo, por sua vez, depende da natureza genética das características alvo, para melhor aplicação das tecnologias moleculares, bem como de qualquer outro tipo de metodologia de avaliação genética. Vale aqui um esclarecimento: o fenótipo é tudo aquilo que pode ser observado ou medido em um animal e é determinado por um componente genético (genótipo), um outro ambiental, e da interação desses componentes. Quanto à natureza, as características podem ser classificadas em qualitativas e quantitativas, sendo que essas últimas são geralmente consideradas de interesse econômico.

Tipos de características envolvidas em um processo de seleção

a) Características Qualitativas

São características que fenotipicamente tendem a se apresentar em categorias discretas (bem definidas). Geneticamente, essas características são determinadas por um ou poucos pares de genes. O ambiente também tem pouca ou nenhuma influência sobre elas, de modo que o fenótipo do animal

reflete seu genótipo. Em gado de leite, podem ser listados alguns exemplos de características qualitativas:

- Presença ou ausência dos chifres
- Cor do pêlo
- Tipo sanguíneo
- Doença do Complexo de Má Formação Vertebral (CVM)

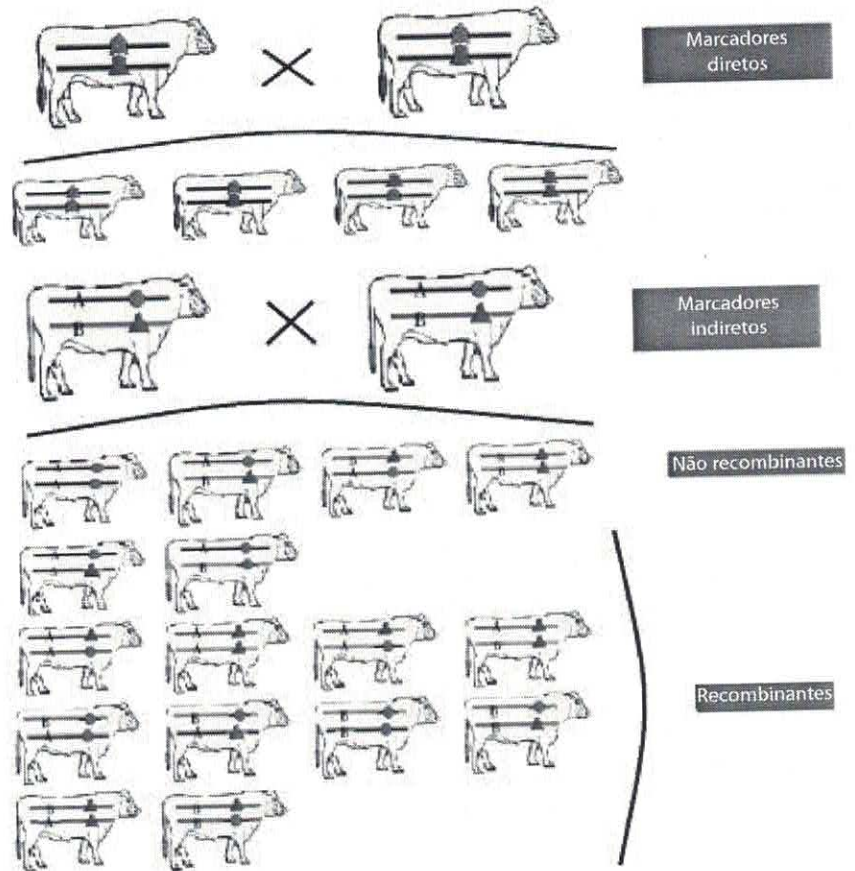
Apesar do reduzido efeito do ambiente, a identificação precisa do genótipo por meio do fenótipo nem sempre é conseguida. Isto porque, na maioria das vezes, formas diferentes de um determinado gene (alelos) apresentam relação de dominância completa sobre a outra forma complementar (presente no cromossomo homólogo). Neste caso, a identificação precisa do genótipo só se dá por meio de marcadores moleculares ou de análises de herodogramas (árvores genealógicas), sendo que este último pode ser inconclusivo em caso de informações incompletas. A identificação dos genótipos dos animais torna-se importante quando se deseja selecionar a favor ou contra determinado gene relacionado a uma característica. A seleção contra o gene é realizada principalmente em casos de doenças genéticas que, apesar de não serem consideradas como "características de importância econômica", causam prejuízos significativos para o pecuarista. Dentre essas doenças podem ser citadas a Deficiência da Adesão Leu-



cocitária Bovina (BLAD), Deficiência de Uridina Monofosfato Sintase (DUMPS), Citrulinemia e Deficiência de Fator XI. Já a seleção a favor de um gene é aplicada geralmente às características que possuem implicações econômicas diretas. Embora sejam poucas as características qualitativas que sejam consideradas de importância econômica, vale destacar os alelos A e B da Kappa-caseína, cujo alelo B está relacionado ao maior rendimento da produção de queijo e mio-satina (musculatura dupla), em bovinos da raça Piedmontese.

Todas essas características atualmente são selecionadas nos programas de melhoramento com auxílio de marcadores moleculares que indicam as variantes de determinada região do DNA responsável pela expressão da característica. Os marcadores podem estar dentro (diretos) ou próximo (indiretos) às regiões do DNA denominadas de loco. Quando estão próximos, o loco do marcador pode sofrer um processo chamado de recombinação com o loco responsável pela expressão. A recombinação é um fenômeno que ocorre durante a formação dos gametas dos animais (espermatozóide e óvulo) e envolve a troca aleatória de material genético entre os cromossomos homólogos. A ocorrência de recombinação entre dois locos é proporcional à distância entre eles em um mesmo cromossomo. A Figura 1 ilustra as situações para os diferentes tipos de marcadores e sua relação com os locos gênicos nos progenitores e nas suas progênes. Este processo de recombinação é importante para a compreensão da técnica de seleção genômica que será abordada

Figura 1. Tipos de marcadores e suas possíveis disposições em relação aos locos gênicos após a recombinação (observado na progênie).



mais adiante.

b) Características Quantitativas

São características que possuem variação contínua, ou seja, entre seus possíveis valores extremos aparecem inúmeros fenótipos intermediários. Geneticamente, são influenciadas por vários pares de genes e o ambiente influencia fortemente sua expressão fenotípica. Nesta classe se encontram a maioria das características de interesse econômico, as quais os geneticistas e melhoristas de plantas e animais normalmente trabalham. Como exemplo, podem ser citadas a produção de leite, as características de crescimento e as características reprodutivas. Para essas

características, os procedimentos de estudo e seleção normalmente utilizados para a genética qualitativa não podem ser empregados. Geralmente, são utilizadas abordagens envolvendo ferramentas estatísticas, dado que os fenótipos observados são provenientes de mensurações, não sendo possível identificar classes fenotípicas distintas. Desta forma, as análises destas características são realizadas a partir de médias, variâncias, correlações etc. Pela análise dos componentes de variância (fenotípica, genética e ambiental) é possível obter a estimativa de herdabilidade, que é um parâmetro genético importante para a obtenção dos valores genéticos e do ganho ge-

nético. Esta estimativa representa a proporção da variação fenotípica que é de natureza genética (herdável). Ela pode variar de 0 (0%) a 1 (100%), sendo que quanto mais alto o valor deste parâmetro, menor o efeito ambiental e maior o efeito genético. Apesar do conceito de herdabilidade poder ser aplicável também às características qualitativas, ele não é muito utilizado por sofrer pouco efeito ambiental e, conseqüentemente, possuírem herdabilidades iguais à 1 ou próximo disso. Na tabela 1 são apresentadas as herdabilidades das principais características de interesse econômico em bovinos leiteiros. Além de ferramentas estatísticas, estão sendo utilizadas informações resultantes da aplicação de tecnologia molecular para o estudo e a avaliação de características quantitativas, ponto que será mais detalhado no tópico seguinte.

Abordagens para avaliação de características quantitativas de interesse econômico

Já foi esclarecido que, para características tidas como quantitativas, existe uma dificuldade de categorização e a necessidade de se lançar mão da estatística como meio de análise, já que os dados fenotípicos são contínuos. Somados a isso, os efeitos ambientais agem sobre elas com diferentes magnitudes, de modo que diferentes características quantitativas exibem herdabilidades diferentes. Como fator complicante, existem ainda algumas características que se manifestam em apenas um sexo, embora o outro gênero sexual também possua genes para ela. Essas são cha-

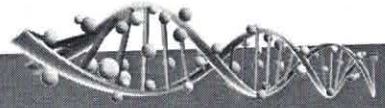
Tabela 1. Valores das estimativas de herdabilidade para diferentes características quantitativas de interesse econômico em bovinos de leite.

Características produtivas	Herdabilidades
Produção de leite	0,25-0,35
Produção de gordura	0,25-0,36
% de gordura	0,50-0,70
Produção de proteína	0,25-0,35
% de proteína	0,40-0,69
Produção de sólidos totais	0,30-0,34
Persistência de lactação	0,31-0,40
Reprodutivas	
Intervalo de partos	0,00-0,12
Idade ao primeiro parto	0,00-0,10
Período de serviço	0,00-0,10
Serviços por concepção	0,03-0,07
Adaptativas	
Resistência à mastite	0,15-0,25
Temperamento	0,00-0,16
Resistência a doenças	0,10-0,12
Tipo-conformação	
Tipo leiteiro	0,20-0,25
Ligamento posterior do úbere	0,10-0,30
Ligamento anterior do úbere	0,10-0,30
Tamanho dos tetos	0,10-0,15

Fonte: Pereira 2012

madas de características limitadas pelo sexo, como é o caso da produção de leite e das características reprodutivas. Evidentemente, a avaliação deste tipo de característica envolve certa complexidade. Inicialmente, as avaliações eram baseadas no fenótipo, ou seja, os animais que tinham melhores desempenhos (produções) ou, no caso da produção de leite, os filhos de vacas mais produtivas ou de touros com filhas de maior média de produção eram escolhidos como reprodutores (informações da progênie). Em meados do século passado, passou-se a utilizar a metodologia dos índices de seleção, que considerava as relações entre as medidas fenotípicas, bem como as relações de parentesco entre os animais com fenó-

tipos e os animais avaliados, de forma que o índice era um indicativo do valor genético dos animais. Posteriormente, com o advento dos modelos mistos, as avaliações passaram a fornecer estimativas mais acuradas do valor genético. O uso desta metodologia, por meio do modelo touro, considerava relações moderadas de parentesco entre os animais avaliados (no caso os touros) e, em seguida, por meio do modelo animal, que incluiu a matriz de parentesco na análise, relações completas entre todos os animais passaram a ser consideradas. Com isso, o valor genético estimado passou a ser utilizado como ferramenta de seleção nos programas de melhoramento genético, sempre divulgados em sumários na forma de PTA ou DEP (me-



tade do valor genético).

Nestas últimas décadas, as informações moleculares passaram a ser utilizadas para avaliação de características quantitativas. Primeiramente, foi usada a seleção assistida por marcadores (MAS). A MAS utiliza, simultaneamente, dados fenotípicos e dados de marcadores moleculares em ligação gênica próxima a alguns locos controladores de características quantitativas (QTL) (Figura 1). Entretanto, para implementação da MAS, algumas problemáticas foram observadas. Pelo fato das características quantitativas envolverem grande quantidade de genes para sua expressão, somente uma proporção pequena da variância genética total era capturada pelos marcadores moleculares, limitando o progresso ou ganho genético. Além disso, apresentou dificuldades na incorporação das informações dos demais genes que não possuem marcadores (mas que também estão envolvidos na expressão) para a predição dos valores genéticos por meio dos modelos estatísticos empregados para avaliação dessas características de importância econômica.

Posteriormente, surgiram as análises genômicas (associação e avaliação), que também estão baseadas em marcadores moleculares, porém com algumas diferenças do método anterior. Nesta análise, a ideia central não é utilizar marcadores específicos para os QTLs, mas sim utilizar uma quantidade expressiva deles, espalhados por todo o genoma, de forma a promover uma cobertura ampla de todas as regiões do DNA. Para isto, presume-se que

Como vantagem em relação às avaliações tradicionais, a técnica de seleção genômica possibilita maior ganho genético por proporcionar predições dos valores genéticos com maior acurácia.

existe sempre marcadores próximos e em desequilíbrio de ligação com um possível QTL. O desequilíbrio de ligação reflete quanto dois locos permanecem ligados, ou seja, quanto que estes locos sofrem com o processo de recombinação, também denominado de permutação (Figura 1). Na prática, não se sabe exatamente o posicionamento do possível QTL, mas o desequilíbrio entre os locos dos próprios marcadores indica a cobertura de determinado segmento cromossômico. Por meio desta propriedade é possível envolver todo o genoma para a análise de uma determinada característica, o que implica em boa explicação dos efeitos genéticos totais, permitindo também a utilização destas informações em modelos estatísticos para estimação de valores genéticos, aqui denominados de valores genéticos genômicos. A seleção de indivíduos considerados superiores a partir dos valores genéticos genômicos é chamado de seleção genômica.

Provas Genômicas e suas aplicações às diferentes características

Em esquema didático, as provas genômicas possuem um fluxo que envolve uma população de referência e uma outra população a ser selecionada. Na

verdade, geneticamente, as duas populações são semelhantes, mas se distinguem pela necessidade de presença de informações fenotípicas, seja do próprio desempenho de um animal ou de suas filhas, como é o caso de touros de raças leiteiras. Desta forma, a população de referência é constituída por animais que, necessariamente, possuem este tipo de informação. Ela servirá de base genética para estimação dos efeitos dos marcadores oriundos da genotipagem com um determinado chip (onde estão presentes os marcadores). Uma vez estimados os efeitos destes marcadores, uma outra genotipagem é realizada para os animais que se deseja avaliar, e os valores genéticos genômicos são estimados sem a utilização de informações fenotípicas desse animal ou de suas filhas.

Como vantagem em relação às avaliações tradicionais, a técnica de seleção genômica possibilita maior ganho genético por proporcionar predições dos valores genéticos com maior acurácia, principalmente para as características limitadas ao sexo e/ou que possuam baixa herdabilidade; e também por reduzir o intervalo de gerações pela antecipação do processo de seleção de características mensuradas tardiamente na vida do animal. Além disso, viabiliza

a avaliação de características de difícil mensuração ou de alto custo, e determina um menor incremento na endogamia, quando comparada à seleção baseada na avaliação com o modelo animal quantitativo (BLUP). Quando se utiliza a avaliação genômica como critério de pré-seleção dos animais que irão para teste progênie, é possível também reduzir os gastos para provar animais que teriam baixo desempenho no teste.

A princípio, todas as características quantitativas podem ser selecionadas genomicamente. Entretanto, para as provas genômicas, são utilizadas apenas aquelas de interesse econômico. Em gado de leite são elas:

1) Características produtivas

Em um rebanho leiteiro, as características produtivas normalmente selecionadas são as produções de leite, de gordura e de proteína, e a porcentagem de gordura e de proteína no leite. A produção de leite é a principal delas, sendo geralmente a primeira a ser considerada nos objetivos de um programa de seleção. Por ser uma característica limitada pelo sexo e por apresentar

herdabilidade considerada moderada, as avaliações genéticas são indicadas como ferramenta importante para sua seleção. Diferentes critérios podem ser considerados para sua avaliação desde a produção acumulada em 305 dias até as produções de leite no dia do controle. A finalidade do uso desses critérios é promover o aumento da produção de leite nos primeiros 305 dias de lactação e permitir um período de descanso das glândulas mamárias para próxima lactação de, aproximadamente, dois meses (período seco). Alguns programas de melhoramento também consideram a persistência da produção de leite, isto é, a capacidade dos animais manterem o nível de produção observado no pico de lactação, como objetivo de seleção em conjunto com a produção de leite. Porém, vale esclarecer que o aspecto econômico da persistência está relacionado principalmente ao melhor desempenho reprodutivo do próximo serviço e à redução dos gastos com alimentação e saúde das vacas no período de lactação.

A produção dos constituintes do leite, tais como a proteína e a gordura,

também apresentam herdabilidades consideradas moderadas, além de correlação genética positiva com a produção de leite, ou seja, quando se seleciona para aumento da produção de leite, as produções de seus constituintes também são elevadas. Entretanto, quando se avaliam os percentuais de gordura e de proteína, (relação entre a produção do constituinte e produção de leite) a correlação é negativa, de forma que a seleção para aumento de uma característica implica na diminuição da outra. Isto tem grande importância quando se pensa nos percentuais de gordura e de proteína que atualmente estão sendo remunerados na maior parte dos laticínios do país. Sua inclusão torna-se necessária nos objetivos de um programa de melhoramento que visa ao retorno econômico do rebanho. Essa inclusão, porém, deve possuir ponderadores econômicos (proporção de seleção para cada característica) avaliados adequadamente de acordo com o nível de produção de leite do rebanho e preço pago pelo litro de leite e pelos teores de cada constituinte considerado.

Para essas características produti-

Tabela 2. Comparação da confiabilidade (%) média das estimativas dos valores genéticos estimados pela avaliação genômica e pela avaliação tradicional de touros da raça Holandesa.

Característica	Touros ativos (n=585)			Touros provados (n=21513)			Touros jovens avaliados (n=1033)			Touros jovens (n=58835)		
	Genômica média	Tradicional média	Diferença	Genômica média	Tradicional média	Diferença	Genômica média	Tradicional média	Diferença	Genômica média	Tradicional média	Diferença
Produção de leite	93	91	+3	91	87	+4	75	39	36	74	34	+40
Produção de gordura	93	91	+3	91	87	+4	75	39	36	74	34	+40
Produção de proteína	93	91	+3	91	87	+4	75	39	36	74	34	+40

Fonte: USDA-AIPL – Abril de 2013

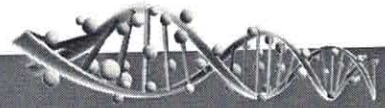


Tabela 3. Comparação da confiabilidade (%) média das estimativas dos valores genéticos estimados pela avaliação genômica e pela avaliação tradicional de fêmeas da raça holandesa.

Característica	Vacas (n=59449)			Novilhas (n=174003)		
	Genômica média	Tradicional média	Diferença	Genômica média	Tradicional média	Diferença
Produção de leite	78	55	+23	71	28	+42
Produção de gordura	78	55	+23	71	28	+42
Produção de proteína	78	54	+24	71	28	+42

Fonte: USDA-AIPL – Abril de 2013

vas, as avaliações genômicas já estão sendo realizadas e os seus resultados divulgados em sumários como no programa de melhoramento genético da raça Holandesa, Jersey e Pardo Suíço, entre outras, em países como EUA, Canadá e muitos países europeus. Nas Tabelas 2 e 3 podem ser observados os valores médios de confiabilidade (acurácia) dos valores genéticos (PTAs) de animais da raça Holandesa, avaliados pelo método tradicional e pela avaliação genômica pela AIPL (Animal Improvement Programs Laboratory). Nestas tabelas, pode ser observada maior média de confiabilidade dos PTAs quando se utilizou avaliação genômica, tanto para machos quanto para fêmeas. Esse incremento de acurácia foi menor para animais já provados, e maior para os animais mais jovens ou que possuíam menos informações próprias (novilhas) ou de parentes colaterais (tourinhos e novilhas).

2) Características reprodutivas

As características reprodutivas, como idade ao primeiro parto e intervalo entre partos, estão diretamente relacionadas à atividade leiteira, uma vez que as vacas só iniciam suas lactações após o parto. A importância da

eficiência reprodutiva em um rebanho leiteiro está na determinação da continuidade da exploração do leite, com vacas parindo em intervalos adequados e idade apropriada, bem como por meio da produção de um número suficiente de crias destinadas à reposição. Além disso, as crias podem também ser destinadas à venda, o que possibilita retorno econômico imediato. Apesar de importantes, o ganho genético para as características reprodutivas é baixo. Isto porque essas características apresentam herdabilidades baixas (geralmente menor 0,20), de modo que a seleção com base nos valores genéticos, seja pelo método tradicional ou pela avaliação genômica, é o ideal. Entretanto, as avaliações genômicas têm mostrado maiores ganhos em confiabilidade das PTA em relação à avaliação tradicional, principalmente em características de baixa herdabilidade.

A idade ao primeiro parto está relacionada à primeira cobrição que, por sua vez, indica a idade à puberdade desse animal. No Brasil, o gado zebuino apresenta média superior a 40 meses, enquanto o gado taurino, mais precisamente o Holandês, apresenta média de 25 a 27 meses. Isso mostra a

necessidade de melhoramento desta característica nos rebanhos zebuínos. Geneticamente, a idade elevada ao primeiro parto contribui para o maior intervalo de gerações e, conseqüentemente, baixos ganhos genéticos anuais para qualquer característica leiteira sob seleção. Já do ponto de vista econômico, quanto mais jovem for a novilha ao seu primeiro parto, mais rápido será o retorno do investimento feito pelo pecuarista na criação e menor será o custo de manutenção desse animal até a idade reprodutiva.

O intervalo de partos é o tempo decorrido entre dois partos subsequentes de uma mesma vaca. É a característica mais usada para avaliar o desempenho reprodutivo animal e base para qualquer programa de melhoria da eficiência reprodutiva. Está intimamente relacionada à variação do período de tempo decorrente entre o parto até a nova fecundação, enquanto o período de gestação é praticamente constante para cada raça. O ideal seria um intervalo de 12 meses ou o mais próximo possível disso, o que seria equivalente a um bezerro por ano/vaca. Considerando condições de reprodução naturais (sem auxílio de FIV e TE), o menor intervalo de partos possibilita maior número de descendentes por fêmea no rebanho e aumento da intensidade de seleção das fêmeas, contribuindo assim para maior ganho genético para todas as características leiteiras sob seleção.

Uma outra característica que merece destaque é a habilidade de permanência no rebanho, também conhecida como probabilidade de permanência,

"stayability", longevidade produtiva, vida útil no rebanho, dentre outras denominações. Esta característica é baseada na probabilidade das fêmeas se encontrarem em fase reprodutiva à uma determinada idade, considerando que tiveram a oportunidade de alcançar tal idade no rebanho. Em termos práticos, os touros com maiores probabilidade de que as filhas permaneçam por um período mais longo no rebanho são considerados superiores para essa característica. Sua vantagem econômica está na possibilidade de redução de custos com produção ou reposição de fêmeas no rebanho. A consequência genética de sua seleção é o incremento do ganho genético pelo aumento da intensidade de seleção de fêmeas. O ganho em confiabilidade dos valores genéticos provenientes das avaliações genômicas desta característica, bem como de outras características reprodutivas, tem se mostrado vantajoso frente às avaliações genéticas tradicionais, como constatado nas avaliações da AIPL.

3) Características de tipo conformacionais

As características conformacionais desempenham papel importante na funcionalidade de certas estruturas e órgãos. Entretanto, a classificação dessas características é passível de subjetividade, além de apresentar variações e peculiaridades de cada raça, o que dificultaria a seleção para um determinado tipo produtivo. Uma tentativa de padronização é o Sistema de Classificação Linear de Tipo, no qual são atribuí-

dos escores de acordo com biometrias ou caracterização leiteira do animal. Esta classificação nem sempre está relacionada à produtividade leiteira, mas à longevidade produtiva. De um modo geral, estas características têm influência no manejo e na rentabilidade do rebanho. Com esta ferramenta é possível selecionar, em um rebanho leiteiro, animais com úberes balanceados e desenvolvidos, forte ligamento central e veias mamárias, costelas bem arqueadas, linha dorso lombar plana e forte, pernas descarnadas e bem colocadas, peito e narinas abertos, garupa larga e nivelada, e profundidade do corpo. Essas características são avaliadas, seguindo o critério de classificação linear de cada raça estabelecido pelas suas próprias associações.

As avaliações para estas características são feitas de acordo com os objetivos de um programa de melhoramento e a forma de pontuação adotados por ele. As avaliações genômicas divulgadas até agora contam somente com um escore geral, mas que foi obtido pela avaliação de vários pontos importantes. Tome-se como exemplo, o sistema mamário, que é um dos principais pontos a serem avaliados. Nele, são incluídas características como a profundidade do úbere e o ligamento mediano central, as quais apresentam herdabilidade em torno de 0,16 e 0,25, e estão normalmente relacionadas à longevidade produtiva e à capacidade dos animais em suportar altas produções. Já características lineares relativas às pernas e pés apresentam também herdabilidades moderadas e estão relacionadas à

sustentação corporal, facilidade ao caminhar, longevidade dos animais e durabilidade dos aprumos. Algumas dessas características estão relacionadas à ocorrência de doenças como a mastite e à problemas de locomoção do animal. Uma outra importante característica funcional avaliada é a profundidade corporal. Esta característica apresenta herdabilidade em torno de 0,32, e está diretamente relacionada com a capacidade digestiva e produtiva do animal, sendo também um indicativo do espaço interno para os órgãos, possibilitando boa acomodação para prenhez.

4) Características adaptativas

Todas as características que adequam o indivíduo ao meio ambiente são tidas como adaptativas. No caso de um rebanho leiteiro, as características adaptativas são aquelas que permitem que os animais tenham certa harmonia com o ambiente de produção, seja em relação ao clima, topografia ou sistema de produção utilizado. Deste modo, a seleção para indivíduos adaptados diminuem as despesas com enfermidades e predispõe a ganhos com a produção e reprodução. Dentre as principais enfermidades que acometem rebanhos leiteiros, a mastite é a de maior destaque, sendo uma das principais causas de perdas econômicas na atividade leiteira. Geneticamente, a incidência de mastite está positivamente correlacionada com o volume de leite produzido. Porém, essa correlação não é tão alta, de modo que a resistência à mastite possa ser selecionada conjuntamente com a produção de leite. A herdabilidade para



resistência à mastite é em torno de 0,20, o que torna possível sua seleção. O critério de seleção normalmente usado é a contagem de células somáticas no leite (CCS), cujas informações são provenientes do desempenho individual, ou de familiares, e atualmente de qualquer animal da raça, contanto que tenham informações genômicas em comum.

Outras enfermidades, como as de cunho parasitário, também acometem os rebanhos, levando a grandes prejuízos econômicos, principalmente quando estes são formados por animais de raças taurinas. Estas raças diferentes das zebuínas, não estão adaptadas ao clima tropical e, conseqüentemente, aos parasitas que se desenvolvem nestes ambientes. Assim, como se deseja o aumento da produtividade em zebuínos, que são animais rústicos, também é possível selecionar artificialmente os taurinos (que são produtivos) para rusticidade, já que ambas as características são quantitativas. Neste sentido, vale destacar o trabalho realizado pela Embrapa Pecuária Sul para seleção para resistência a carrapatos de animais de raças taurinas destinadas ao corte, Hereford e Braford. A característica pela qual se seleciona a resistência ao carrapato apresenta uma herdabilidade próxima a 0,20, sendo passível de seleção. Porém, para o processo de seleção existe uma certa complicação em virtude desta ser uma característica de difícil mensuração, pois o fenótipo é a própria contagem dos carrapatos dos animais. Pela aplicação das avaliações genômicas, a contagem é feita apenas em uma parte dos animais, e os valores genéti-

cos são preditos para todos, inclusive da parte não aferida, mas que tiveram algum nível de parentesco e, principalmente, genotipagem com os mesmos marcadores empregados nos animais aferidos. Desta forma, a avaliação genômica tornou praticável a seleção da resistência aos carrapatos, com nível satisfatório de confiabilidade.

5) Considerações Finais

Em suma, a técnica de seleção genômica pode trazer muitas vantagens ao sistema pecuário, principalmente por possibilitar maior ganho genético na seleção para características de importância econômica. Esse aspecto é de grande relevância para raças zebuínas, pois possuem maior necessidade de progresso genético para as características produtivas e reprodutivas que as taurinas. Entretanto, no Brasil, a tecnologia ainda se encontra em fase de pesquisas para a maioria dos programas de melhoramento, mesmo porque a técnica exige uma estrutura adequada dos dados fenotípicos para a população de referência, com animais geneticamente provados com certa acurácia, além de uma quantidade suficiente de animais genotipados. Além disso, apesar do sucesso de aplicação da tecnologia para animais taurinos, existem diferenças entre o genoma taurino e o zebuino que implicam em uma avaliação do chip comercial quanto ao desempenho de genotipagem e cobertura genômica para animais zebuínos. A incorporação de novos marcadores SNPs para o DNA zebuino, presentes nos novos chips, os chamados chips de alta densidade,

possivelmente alcance um desempenho satisfatório, porém possuem alto custo comercial. Talvez a customização de novos chips comerciais efetivos para genomas zebuínos possibilite, em um futuro próximo, a completa extensão com aplicação corriqueira da seleção genômica no Brasil. ■

Daniel Jordan de Abreu dos Santos
Pós Graduando
FCAV/UNESP/Jaboticabal

Marcos Vinicius Gualberto Barbosa da Silva
Pesquisador A
Embrapa Gado de Leite

Adam Taiti Harth Utsunomiya
Pós graduando FCAV/UNESP/Jaboticabal

Diego Charles de Almeida Santos
Graduando
Medicina Veterinária

Marco Antônio Machado
Pesquisador A
Embrapa Gado de Leite

Marta Fonseca Martins
Pesquisador A
Embrapa Gado de Leite

Wagner A. Arbex
Analista A
Embrapa Gado de Leite