

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E ESTUDO
DE ASSOCIAÇÃO GENÔMICA AMPLA PARA
COMPORTAMENTO DE PROTEÇÃO MATERNA EM
BOVINOS DA RAÇA NELORE**

Luane da Silva Fernandes
Zootecnista

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E ESTUDO
DE ASSOCIAÇÃO GENÔMICA AMPLA PARA
COMPORTAMENTO DE PROTEÇÃO MATERNA EM
BOVINOS DA RAÇA NELORE**

Luane da Silva Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Mateus José Rodrigues Paranhos da Costa

Coorientador: Dr. Tiago da Silva Valente

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências
para a obtenção do título de Doutor em
Genética e Melhoramento Animal**

2022

F363e Fernandes, Luane da Silva
Estimativas de parâmetros genéticos e estudo de associação genômica
ampla para comportamento de proteção materna em bovinos da raça Nelore /
Luane da Silva Fernandes. -- Jaboticabal, 2022
67 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Mateus José Rodrigues Paranhos da Costa
Coorientador: Tiago da Silva Valente

1. Agressividade. 2. Bovino de corte. 3. GWAS. 4. Habilidade materna. 5.
Peso ao desmame. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA TESE: ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS E ESTUDO DE ASSOCIAÇÃO GENÔMICA AMPLA PARA COMPORTAMENTO DE PROTEÇÃO MATERNA EM BOVINOS DA RAÇA NELORE

AUTORA: LUANE DA SILVA FERNANDES

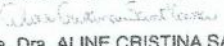
ORIENTADOR: MATEUS JOSÉ RODRIGUES PARANHOS DA COSTA

COORIENTADOR: TIAGO DA SILVA VALENTE

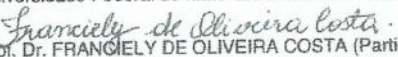
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em GENÉTICA E MELHORAMENTO ANIMAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MATEUS JOSÉ RODRIGUES PARANHOS DA COSTA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal


Prof. Dr. FERNANDO SEBASTIAN BALDI REY (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. ALINE CRISTINA SANT' ANNA (Participação Virtual)
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF Juiz de Fora/MG


Profa. Dra. FERNANDA MACITELLI BENEZ (Participação Virtual)
Universidade Federal do Mato Grosso/UFMT / Sinop/MT


Prof. Dr. FRANCIELY DE OLIVEIRA COSTA (Participação Virtual)
Centro Universitário Dr. Leão Sampaio (UNILEAO) - Juazeiro do Norte, CE

Jaboticabal, 02 de junho de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUANE DA SILVA FERNANDES – Nascida em 30 de dezembro de 1993, na cidade de Cuiabá – Mato Grosso, filha de Erlindo de Souza Fernandes e Domingas Sebastiana da Silva Fernandes. Iniciou em março de 2011 o curso de graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, campos de Cuiabá, obtendo o título de Zootecnista em janeiro de 2016. A partir de março de 2016 iniciou o mestrado em Ciência Animal pela mesma universidade, que foi concluído em fevereiro de 2018. Neste mesmo ano iniciou o curso de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal - SP, sob orientação do Prof. Dr. Mateus José Rodrigues Paranhos da Costa e coorientação do Dr. Tiago da Silva Valente. Prestou serviços em 2021 por seis meses como Assistente Técnica e Gerencial na área de bovinocultura leiteira para o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR, em Conquista D’Oeste - MT. Tem experiência na área de Ciência Animal, com ênfase em genética e melhoramento animal, assim como em bem-estar e comportamento animal.

*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos”*

(Marcel Proust)

Dedico este trabalho a minha querida mãe, que tanto me incentivou e que sempre amarei, sua falta será sempre sentida...

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todas pessoas e instituições, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e na minha formação tanto pessoal quanto profissional, em especial agradeço:

À Deus, por sempre se mostrar presente em minha vida, principalmente nos pequenos detalhes.

À minha mãe Domingas (*in memoriam*), que tanto me ajudou e torceu para que meus sonhos fossem realizados e que partiu deixando tanta saudade. Seu exemplo de vida será minha motivação para seguir.

Ao meu pai Erlindo e aos meus irmãos, Renan e Ruan, que sempre me apoiaram nas minhas escolhas e por sempre compartilharem tanto amor.

Ao meu esposo Vitor, que incrivelmente tem sido meu apoio, entendendo todos meus anseios e que faz minha vida ser mais alegre.

Ao Prof. Dr. Mateus J. R. Paranhos da Costa por todo ensinamento e oportunidade de crescimento. Que em muitos momentos foi um segundo pai quando estava longe de casa e que tanto contribuiu na minha vida.

Ao Dr. Tiago da Silva Valente pela imensa contribuição neste trabalho, por ser um amigo até nos momentos mais difíceis. Por ter sido um mentor excepcional nesta trajetória, seus ensinamentos estão marcados na minha vida.

Aos meus colegas do grupo ETCO, que me acolheram e me fizeram sentir parte desta família, em especial, agradeço ao João Toledo, Mayara, Monique, Lucas Ruiz, Suellen Scheibel, Suelen Caroline e Júlia Cocco.

À Ana, melhor amiga em Jaboticabal, como uma irmã, se preocupou e esteve comigo sempre. Levarei você para a vida.

À Fazenda São Marcelo por conceder informações para este trabalho e por sempre abrir as portas para a equipe do grupo ETCO realizar suas pesquisas, assim como para sua equipe que sempre nos acolheu bem. À Gensys e ao programa Cia do melhoramento por conceder os dados.

À FCAV/UNESP – Jaboticabal pela oportunidade de ser discente desta incrível instituição de ensino.

À Capes pela bolsa concedida para realização do meu doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais	1
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura	2
2.1 Comportamento materno.....	2
2.1.1 Fatores maternos associados à sobrevivência e desempenho de bezerros do nascimento à desmama	4
2.2 Comportamento de proteção materna.....	5
2.2.1 Comportamento de proteção materna como critério de seleção	8
2.2.2 Aspectos moleculares do comportamento de proteção materna	12
3. Referências	14
CAPÍTULO 2 - Comportamento de proteção materna de vacas Nelore: parâmetros genéticos, repetibilidade e correlações genéticas com características de desempenho dos bezerros	21
1. Introdução	22
2. Material e Métodos.....	23
2.1 Animais e manejo	23
2.2 Avaliação de características das vacas.....	25
2.2.1. Escore de condição corporal.....	25
2.2.2. Comportamento de proteção materna.....	25
2.3 Avaliações de características dos bezerros	26

2.4 Análise estatística	27
3. Resultados e Discussão	32
3.1 Herdabilidade e repetibilidade para CPMat	34
3.2 Parâmetros genéticos para as variáveis pré-desmama dos bezerros	36
3.3 Correlações genéticas entre CPMat e o desempenho pré-desmama	39
4. Conclusões.....	42
5. Referências	43
CAPÍTULO 3 - Aspectos genômicos para o comportamento de proteção materna de vacas Nelore primíparas.....	47
1. Introdução	47
2. Material e Métodos	49
2.1 Animais e manejo	49
2.2 Dados genômicos e controle de qualidade.....	51
2.3 Análises estatísticas	52
3. Resultados e Discussão	54
4. Conclusões.....	62
5. Referências	62



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



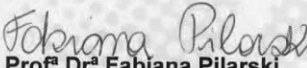
CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "**Estimativa de parâmetros genéticos e estudo de associação genômica ampla para comportamento de proteção materna em bovinos da raça Nelore**" protocolo nº 4865/20, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Mateus José Rodrigues Paranhos da Costa, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 12 de novembro de 2020.

Vigência do Projeto	01/01/2014 a 31/12/2020
Espécie / Linhagem	Bovinos da raça Nelore (<i>Bos indicus</i>)
Nº de animais	~ 40.000
Peso / Idade	400-450 Kg (2 a 15 anos) / ~25-350 Kg (0 a 8 meses)
Sexo	Fêmeas (vacas e bezerras) e machos (bezerros)
Origem	Fazendas São Marcelo

Jaboticabal, 12 de novembro de 2020.


Profª Drª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E ESTUDO DE ASSOCIAÇÃO GENÔMICA AMPLA PARA COMPORTAMENTO DE PROTEÇÃO MATERNA EM BOVINOS DA RAÇA NELORE

RESUMO – Os estudos que compõem essa tese foram realizados com os objetivos de (1) estimar parâmetros genéticos para o comportamento de proteção materna (CPMat) de vacas multíparas da raça Nelore e a correlação com características de desempenho e escores visuais de seus bezerros; (2) estimar parâmetros genéticos para o CPMat de vacas primíparas da raça Nelore por meio de avaliação genômica; (3) identificar regiões genômicas associadas ao CPMat; e (4) identificar genes e as respectivas funções biológicas que influenciam o CPMat. O CPMat de vacas multíparas foi avaliado entre 2014 e 2019, durante o manejo pós-parto, atribuindo-se escores através de notas de 1 (vaca indiferente ao vaqueiro e ao bezerro) a 5 (vaca ataca o vaqueiro). O peso ao nascer (PN), ganho médio diário (GMD) e o peso ajustado para 210 dias (P210), conformação (C), precocidade de acabamento (P) e musculatura (M) foram utilizados como medidas dos bezerros referentes ao desempenho e escores visuais até a desmama. As estimativas dos componentes de (co)variâncias e dos parâmetros genéticos foram realizadas utilizando fenótipos corrigidos para os efeitos fixos e covariáveis, com a aplicação do método de máxima verossimilhança restrita por informação média, usando o software AIRELMF90. As estimativas de herdabilidade e repetibilidade para CPMat com a análise uni-característica foram $0,08 \pm 0,02$ e $0,19 \pm 0,01$, respectivamente. As correlações genéticas do CPMat com as características de desempenho e escores visuais do bezerro variaram de $-0,08 \pm 0,13$ a $0,18 \pm 0,16$. No estudo de associação genômica ampla (GWAS), foram utilizados registros de fenótipo de 1.417 vacas primíparas da raça Nelore e registros de 2.792 animais genotipados com chips do tipo SNP (polimorfismo de nucleotídeo único) de alta densidade. A estimativa de herdabilidade genômica para CPMat foi de $0,20 \pm 0,14$. Foram obtidas 41 janelas de SNPs em 22 cromossomos diferentes e 96 genes candidatos, em que 4 genes se mostraram promissores (*AHI1*, *FBXL20*, *NEUROD2* e *THRA*) modulando a expressão do CPMat por estarem envolvidos em mecanismos biológicos referentes ao desenvolvimento e transmissão neural, receptores do hormônio tireoidiano, estresse, ansiedade e medo. Nossos resultados indicaram que o CPMat possui variabilidade genética suficiente para ser incluída em programas de melhoramento genético e a correlação genética com características de desempenho e escores visuais de seus bezerros muito baixa, indicando que sua seleção não prejudicará a performance de suas progênes até a desmama. Tudo isso, contribuirá para a melhoria de aspectos relacionados ao bem-estar dos animais e pessoas envolvidas no manejo pós-parto.

Palavras-chave: agressividade, bovino de corte, GWAS, habilidade materna, peso ao desmame

GENETIC PARAMETERS ESTIMATION AND GENOME-WIDE ASSOCIATION STUDY FOR MATERNAL PROTECTIVE BEHAVIOR IN NELLORE CATTLE

ABSTRACT – The studies that make up this thesis were carried out with the objectives of (1) estimating genetic parameters for maternal protective behavior (MPB) of multiparous Nellore cows and the correlation with performance traits and visual scores of their calves; (2) to estimate genetic parameters for the MPB of primiparous Nellore cows through genomic evaluation; (3) identify genomic regions associated with MPB; and (4) identify genes and their biological functions that influence MPB. The MPB of multiparous cows was evaluated between 2014 and 2019, during postpartum management, assigning scores using scores from 1 (cow indifferent to cowboy and calf) to 5 (cow attacks cowboy). Birth weight (BW), average daily gain (ADG) and weight adjusted for 210 days (WA210), conformation (C), precocity of finishing (P) and musculature (M) were used as measurements of calves regarding performance. and visual scores until weaning. The estimates of the components of (co)variances and genetic parameters were performed using phenotypes corrected for fixed and covariate effects, with the application of the maximum likelihood method restricted by mean information, using the software AIRELMF90. The heritability and repeatability estimates for MPB with the uni-trait analysis were 0.08 ± 0.02 and 0.19 ± 0.01 , respectively. The genetic correlations of MPB with performance traits and calf visual scores ranged from -0.08 ± 0.13 to 0.18 ± 0.16 . In the genome-wide association study (GWAS), phenotype records of 1,417 primiparous Nellore cows and records of 2,792 animals genotyped with high-density SNP (single nucleotide polymorphism) chips were used. The genomic heritability estimate for MPB was 0.20 ± 0.14 . 41 SNP windows were obtained in 22 different chromosomes and 96 candidate genes, in which 4 genes showed promise (*AHI1*, *FBXL20*, *NEUROD2* and *THRA*) modulating the expression of MPB because they are involved in biological mechanisms related to neural development and transmission, receptors of thyroid hormone, stress, anxiety and fear. Our results indicated that MPB has enough genetic variability to be included in breeding programs and the genetic correlation with performance traits and visual scores of its calves is very low, indicating that its selection will not harm the performance of its progenies until weaning. All this will contribute to the improvement of aspects related to the welfare of animals and people involved in postpartum management.

Key words: aggressiveness, beef cattle, GWAS, maternal ability, weaning weight

CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais

1. Introdução

O Brasil possui um contingente de mais de 213,5 milhões de bovinos (IBGE, 2018), sendo que cerca de 80% do rebanho é destinada à produção de carne, e em sua maioria composta por animais da raça Nelore puros e animais oriundos do cruzamento com Nelore (Rosa e Menezes, 2016). A bovinocultura de corte tem como objetivo criar, engordar, vender gado e criar novilhas de reposição (Mõtus et al., 2018), em que a produção de bezerros se torna a base desta cadeia de produção (Garcia et al., 2017).

Com isso, a busca por alternativas que promovam a eficiência na fase de cria se torna tão importante. Notavelmente, maior ênfase tem sido dada às características mais diretamente associadas à lucratividade e mais facilmente mensuráveis (Haskell et al., 2014). No entanto, recentemente características relacionadas ao desempenho materno, saúde, comportamento e bem-estar animal se tornaram anseios da indústria global de carne bovina, principalmente devido aos efeitos na lucratividade do sistema, ética na produção sustentável e influência na decisão de compra dos consumidores (Mormède, 2005; Haskell et al., 2014; Michenet et al., 2016a; Ring et al., 2018).

Existem vários comportamentos dos bovinos importantes para a produção dos mesmos, entretanto, o comportamento de proteção que a vaca fornece aos seus bezerros pode ser destacado, pois está intimamente ligado à capacidade de sobrevivência e crescimento de sua prole. Entretanto, respostas extremas podem ser prejudiciais para o bem-estar dos animais e segurança dos manejadores (Cafe et al., 2011), já que uma mãe extremamente protetora pode vir a causar ferimentos em seu próprio bezerro e nas pessoas envolvidas com o manejo do recém-nascido (Buddenberg et al., 1986; Turner et al., 2013).

Alguns estudos genéticos encontraram estimativas de herdabilidade para o comportamento de proteção materna com valores variando de baixa a moderada

magnitude, em que os autores utilizaram uma escala variando de 5 a 11 notas pontuadas dentro de 24 horas após o parto para bovinos da raça Hereford, Aberdeen Angus, Charolais e Red Poll (Buddenberg et al., 1986), Aberdeen Angus, Hereford e cruzamentos (Morris et al., 1994), Aberdeen Angus e Simental (Hoppe et al., 2008) e Charolais (Vallée et al., 2015).

Além de métodos tradicionais de estimativa de parâmetros genéticos, os avanços atuais em biologia molecular e metodologias estatísticas forneceram novas ferramentas para desvendar o papel dos genes na expressão de várias características (Michenet et al., 2016a), o que possibilita acelerar o progresso genético. Entretanto, poucos estudos foram desenvolvidos até o momento com a finalidade de identificar regiões genômicas associadas ao comportamento materno (Michenet et al., 2016a; b; Vallée et al., 2016), menos ainda, associadas ao comportamento de proteção materna (Vallée et al., 2016), se limitando apenas à bovinos de corte de raças taurinas.

Diante disso, surge a necessidade de elucidar a base genética desta característica e sua relação com outras associadas ao desempenho e sobrevivência de bezerros em raças zebuínas, principalmente na raça Nelore, devida a sua representatividade no contexto da produção nacional. Com isso, será possível elaborar estratégias de seleção do comportamento de proteção materna, com a finalidade de promover o bem-estar animal e humano, e maior retorno financeiro ao produtor.

2. Revisão de literatura

2.1 Comportamento materno

Comportamentos ou respostas exibidas pelas fêmeas, voltados particularmente ao desenvolvimento e crescimento de suas proles, compõem um conjunto de respostas nomeadas de comportamento materno (Bridges, 2015). Por trás disto, existem mudanças nos níveis de progesterona, estrogênio, testosterona, prolactina e ocitocina durante a gestação e nos períodos pré e pós-parto que regulam aspectos

específicos, relacionados a alterações no comportamento materno (Paranhos da Costa e Cromberg, 1998; von Keyserlingk e Weary, 2007).

No entanto, a frequência e intensidade de respostas maternas são mais pronunciadas a partir do nascimento do bezerro, quando a mãe demonstra um intenso interesse nas membranas fetais, no líquido amniótico e na prole, além de uma maior motivação para responder positivamente ao recém-nascido (Bridges, 2015). Sendo que, falhas na formação do vínculo materno-filial podem levar à rejeição da prole (von Keyserlingk e Weary, 2007).

A amamentação, o estabelecimento de um forte vínculo materno com o bezerro, a atenção e a proteção contra possíveis predadores são elementos fundamentais do comportamento materno (Grandinson, 2005). Este comportamento se mostra mais intenso nas raças bovinas de corte em comparação às leiteiras (Selman et al., 1970), provavelmente pela seleção menos intensa ao longo do tempo no gado leiteiro, devido à pouca necessidade do cuidado materno (Rørvang et al., 2018), já que normalmente os bezerros são separados da mãe logo após o parto.

A maior parte da produção de gado de corte aproveita esta capacidade das vacas de nutrir e proteger sua prole dos predadores, permitindo a produção de um bezerro saudável e com bom desenvolvimento (von Keyserlingk e Weary, 2007). Entretanto, para que se possa fazer adequado proveito dos cuidados maternos, elucidar quais fatores estão envolvidos nas diferentes respostas maternas é de grande importância. Em estudo sobre o cuidado materno em bovinos de corte, Stěhulová et al. (2013) identificaram que vacas em melhor condição corporal forneceram melhores cuidados de proteção conforme passavam mais tempo em contato direto com seus bezerros, também, bezerros machos e bezerros mais leves receberam mais proteção de suas mães. Além destes, o número de lactações e a raça da vaca (Hoppe et al., 2008) também podem influenciar respostas do comportamento materno.

Embora se tenha conhecimento da importância de comportamentos materno e o impacto sobre a sobrevivência e desempenho da prole, ainda existe falta de registro de desempenho destas características em bovinos de corte, gerando deficiência de ferramentas de seleção eficientes para melhorar essas características (Grandinson, 2005; Michenet et al., 2016b).

2.1.1 Fatores maternos associados à sobrevivência e desempenho de bezerros do nascimento à desmama

O retorno financeiro da produção de bovinos é altamente dependente de sua eficiência produtiva. Na fase de cria tal eficiência pode ser avaliada de várias maneiras, sendo a mais comum esperar que uma vaca desmame pelo menos um bezerro ao ano (Santos et al., 2019). A morte de bezerros desperta especial atenção aos produtores, uma vez que afeta a lucratividade das fazendas (Mötus et al., 2018), a disponibilidade de animais para reposição, venda e/ou engorda, como também para seleção, com consequência negativa sobre o progresso genético dos rebanhos (Fuerst-Waltl e Fuerst, 2010). Adicionalmente, a taxa de mortalidade é um indicador prático na avaliação do bem-estar animal (Uetake, 2013).

Mesmo com a evidenciada importância da fase de cria para a produção dos bovinos, é nela que ocorrem as maiores taxas de mortalidade, que chegam a 15% nos bezerros. Sendo assim, deve ser feito o possível para evitá-las. Ainda, os envolvidos não devem se contentar em apenas evitar a mortalidade, mas também garantir a produção de um bezerro saudável, com bom peso a desmama (Oliveira et al., 2006) e boa capacidade de ganhar peso após a mesma, uma vez que, o desempenho do bezerro pré-desmama é outro fator impactante na lucratividade de uma fazenda (MacGregor e Casey, 2000).

Em sua grande parte, a razão da mortalidade de bezerros é multifatorial, geralmente devido a uma combinação de fatores maternos, agentes infecciosos, fatores ambientais e manejos inadequados (Gulliksen et al., 2009) e à predação em sistemas extensivos (Sommers et al., 2010). Assim, não há lucro nas vacas que perdem o bezerro, mas os custos de manutenção permanecem os mesmos (alimentação, vacinação e consultas com veterinários). Se menos bezerros forem desmamados, menos gado estará disponível para o abate (Flörcke et al., 2012).

Diversos fatores têm efeito sobre o desempenho e sobrevivência de bezerros do nascimento até a desmama. Dentre eles, destacamos os associados à vaca, que incluem: parto distócito ou com assistência (Goonewardene et al., 2003; Riley et al.,

2004; Mõtus et al., 2018), tipo de parto (singular ou gemelar) (Bunter et al., 2014), idade ou número de partos da vaca (Riley et al., 2004; Hoppe et al., 2008; Smith et al., 2017; Mõtus et al., 2018), condição corporal ou peso da vaca no parto (Paputungan e Makarechian, 2000; Bahashwan e Alfadli, 2016), características dos tetos e/ou do úbere (Frisch, 1982; Paputungan e Makarechian, 2000; Goonewardene et al., 2003; Bunter et al., 2014; Smith et al., 2017), variação no rendimento do colostro na primeira ordenha e na concentração de imunoglobulina (Mcgee e Earley, 2019), vínculo materno-filial (Rørvang et al., 2018) e o comportamento de proteção materna (Sandelin et al., 2005).

Estratégias adequadas de melhoramento e manejo da saúde do rebanho podem ser utilizadas (Santos et al., 2019). Também, é possível que melhorias na sobrevivência dos bezerros possam ser obtidas se informações mais detalhadas sobre as causas das mortes forem identificadas para orientar as decisões de manejo e seleção (Bunter et al., 2014).

2.2 Comportamento de proteção materna

A existência de diferenças nas respostas comportamentais dos animais em situações desafiadoras e alarmantes é de conhecimento pelos envolvidos com a produção animal (Haskell et al., 2014). A base genética do comportamento materno se tornou bastante variável, devido ao fato das forças da seleção natural serem anuladas pela produção animal. Logo, as vacas apresentam variáveis respostas maternas ao nascimento, desde rejeição até proteção excessiva da prole (Sandelin et al., 2005).

O comportamento materno é composto por diversos componentes, sendo a proteção agressiva da vaca por seu bezerro um componente de destaque (Buddenberg et al., 1986). A proteção agressiva é caracterizada pela reação da vaca frente à potenciais predadores e ajuda a garantir que os filhotes sobrevivam ao que seria o período mais vulnerável de suas vidas (Le Neindre et al., 2002; Lubin et al., 2003). Isso é ainda mais evidente em sistemas extensivos de produção de bovinos de

corde, onde é essencial que as vacas sejam capazes de criar com sucesso suas proles sem grande intervenção humana (Grandinson, 2005).

Com a redução no tempo de cuidado individual dos animais de produção, principalmente pelo aumento no tamanho dos rebanhos e diminuição de mão-de-obra no campo, houve a diminuição da interação humano-animal. Assim, aumentam-se as chances de respostas aversivas dos bovinos aos manejos e aos humanos (Brouček et al., 2008). Entretanto, de certa forma, para que a produção animal seja realizada de forma adequada, todos os animais de criação precisam lidar em determinados momentos com humanos, mesmo em sistemas extensivos. Em se tratando de fêmeas parturientes, inclui a coleta de dados, a identificação e os cuidados pré- e pós-parto, demandando que os manejadores interfiram de várias maneiras nas relações materno-filiais. Às vezes, essas interações com os funcionários são de natureza positiva, mas também podem ser negativas (Grandinson, 2005).

Nestes sistemas em que a presença e contato com humanos são reduzidos, a habituação dos animais é menor aos seres humanos. Naturalmente, a maioria dos animais domésticos mostra medo à presença humana e este pouco contato com humanos obviamente pode aumentar o medo dos animais (Forkman et al., 2007; Boivin et al., 2009). Além disso, práticas ou manejos inadequados podem ser um problema ao lidar com vacas paridas recentemente, que podem ser altamente protetoras dos bezerros (Endres e Schwartzkopf-Genswein, 2018), ou seja, o comportamento de um funcionário durante o manejo também pode influenciar no medo dos animais aos seres humanos (Lensink et al., 2018).

É durante o manejo pós-parto que as vacas podem expressar diferentes respostas em relação à intervenção humana, possivelmente por exagerarem os humanos como uma ameaça ao seu bezerro, sendo que a vaca extremamente protetora pode chegar a ferir o manejador e/ou o bezerro (Turner e Lawrence, 2007; Hoppe et al., 2008). Dessa forma, problemas com vacas agressivas dificultam o trabalho de identificação, manutenção de registros e cuidados sanitários dos bezerros (Buddenberg et al., 1986), elevando os custos com mão-de-obra, e aumentando o risco de acidentes de trabalho para os funcionários e ferimentos aos animais ou até mesmo acidentes fatais (Brouček et al., 2008), o que afeta diretamente o bem-estar

animal e o humano. Além disso, há o risco de identificação incorreta da vaca e de seu respectivo bezerro, uma vez que o tumulto gerado por uma vaca extremamente agressiva pode levar a este erro, conseqüentemente prejudicando os programas de melhoramento genético, gerando avaliações genéticas errôneas dos animais.

O comportamento de proteção materna recebe diversas nomenclaturas na literatura, como: agressividade no parto (Vallée et al., 2015), comportamento de defesa materna (Turner et al., 2013), comportamento de proteção materna (Hoppe et al., 2008; Flörcke et al., 2012; Pérez-Torres et al., 2014), temperamento no parto (Morris et al., 1994) ou simplesmente de comportamento materno (Michenet et al., 2016b). A avaliação do comportamento de proteção materna é realizada preferencialmente em até 24 horas após o parto, no momento do manejo de cuidado pós-parto dos bezerros, podendo ser realizada através de abordagem do animal por um veículo (Flörcke et al., 2012) ou por humanos em direção aos seus bezerros (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994). Esta avaliação se baseia em escores visuais, que variam de 5 a 11 notas (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994; Michenet et al., 2016b), e suas variações (Sandelin et al., 2005; Hoppe et al., 2008; Pérez-Torres et al., 2014).

Sandelin et al. (2005) em estudo sobre o comportamento protetor materno em seis grupos de raças taurinas, mostraram que, este comportamento teve influência significativa na sobrevivência de seu bezerro até a desmama. Os escores 1 (muito agressiva), 2 (muito atenta), 3 (indiferente) e 4 (apática), tiveram porcentagens de sobrevivência dos bezerros de 93, 86, 77 e 60%, respectivamente, indicando que vacas mais atentas ao nascimento proporcionam maior capacidade de sobrevivência de sua prole, causado por proteção da predação ou outros fatores que puderam estar envolvidos.

Muitos são os fatores que podem influenciar o comportamento de proteção materna, dentre eles, o ano da avaliação (Buddenberg et al., 1986; Sandelin et al., 2005), o número de partos da vaca (Buddenberg et al., 1986; Hoppe et al., 2008), idade da vaca (Sandelin et al., 2005), mês do parto (Hoppe et al., 2008), raça da vaca (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994; Sandelin et al., 2005; Hoppe et al., 2008), sexo do bezerro (Stěhulová et al., 2013; Pérez-Torres et al., 2014), peso ou escore de

condição corporal do bezerro (Sandelin et al., 2005; Stěhulová et al., 2013) e escore de condição corporal da vaca (Stěhulová et al., 2013).

Flörcke et al. (2012) em estudo sobre as diferenças individuais nos padrões de defesa de bezerros em vacas da raça Red Angus, identificaram que a idade da vaca influenciou significativamente o comportamento protetor em relação aos bezerros e afetou a distância mais próxima possível entre a vaca e o bezerro. Por ser algo intimamente relacionado à idade, o número de lactações também mostrou ser efeito influenciador significativo no estudo conduzido por Hoppe et al. (2008). Estes dois fatores indicam que vacas mais jovens e talvez menos experientes poderiam ser abordadas mais de perto do que as vacas mais velhas, mostrando uma menor resposta comportamental aversiva ao manejo por humanos.

É recomendado que os produtores prestem atenção ao comportamento negativo de suas vacas durante os manejos, pois, isso pode gerar estresse e impactar negativamente os manejos das próximas gerações de bezerros (Boivin et al., 2009). Ainda, o conhecimento sobre as diferenças no comportamento materno, seja afetado pela individualidade da mãe, número de partos, temperamento ou sexo dos bezerros, pode ser de uso prático como fonte de informação para decisões como as vacas devem ser mantidas ou quais animais poderiam ser mais perigosos de lidar (Pérez-Torres et al., 2014).

Portanto, a variação individual no comportamento de proteção materna tem uma implicação prática para o sistema produtivo, ressaltando a necessidade de aprofundar nosso conhecimento em relação à variabilidade fenotípica e genética desta característica nos rebanhos, assim como tem sido desenvolvido para o temperamento dos bovinos, possibilitando um manejo mais calmo, fácil, seguro e rápido (Brouček et al., 2008; Haskell et al., 2014).

2.2.1 Comportamento de proteção materna como critério de seleção

A maneira mais direta de promover o ganho genético para a sobrevivência e o crescimento pré-desmame seria, evidentemente, selecionar diretamente essas

características. No entanto, mesmo que sejam características fáceis de registrar, não são fáceis de lidar em programas de melhoramento (Grandinson, 2005). A sobrevivência é uma característica categórica, com baixa herdabilidade (Goyache et al., 2003; Hansen et al., 2003; Bunter e Johnston, 2014), dificultando a classificação precisa dos animais com base no mérito genético.

À medida que os registros e avaliações se tornam melhores, os critérios de seleção podem incluir características que abrangem a eficiência na produção, saúde e bem-estar animal (Miller, 2018). Devido a isso, características comportamentais estão se tornando cada vez mais importantes na seleção de animais de produção, pois, estão relacionados com vários parâmetros importantes, incluindo produção, segurança dos trabalhadores, bem-estar dos animais, menor tempo de manejo do gado mais calmo e redução de riscos de acidentes (Le Neindre et al., 2002; Müller e von Keyserlingk, 2006; Flörcke et al., 2012).

É fundamental que se tenha conhecimento da variação genética que exerce influência sobre as características em seleção, devido sua contribuição significativa para diferenças fenotípicas entre indivíduos (McHugh et al., 2014). Assim como para várias outras, é geralmente aceito que as características comportamentais dos bovinos são herdadas como características quantitativas influenciadas por efeitos genéticos aditivos, uma vez que são muito menos frequentemente associados ao efeito de um único gene (Newman, 1994). Entretanto, estimação de parâmetros genéticos para características comportamentais ainda é pouco realizada, em comparação às características produtivas. Isso se deve provavelmente pela menor disponibilidade dos dados devido a maior dificuldade de coleta.

Estudos estimando a herdabilidade para o comportamento de proteção materna reportam valores que variam de baixa a moderada ($0,06 \pm 0,01$ e $0,42 \pm 0,05$) magnitude em raças taurinas (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994; Hoppe et al., 2008; Vallée et al., 2015; Michenet et al., 2016b), indicando que esta característica comportamental apresenta variabilidade genética suficiente para ser incluída como critério de seleção em programas de melhoramento e que, a longo prazo, poderá promover ganho genético favorável nos rebanhos, diminuindo a agressividade das vacas em relação ao manejo aplicado com o bezerro recém-nascido. As diferenças

nos resultados de herdabilidade encontrados na literatura se devem muito provavelmente às diferentes raças taurinas avaliadas e as diferenças de cada metodologia utilizada para avaliação do comportamento materno protetor.

Vale lembrar, como reportado por Vallée et al. (2015), que é provável que existem diferenças genéticas entre vacas primíparas e múltiparas, uma vez que as vacas mais agressivas, com comportamentos indesejáveis e que oferecem algum risco aos trabalhadores, estão mais propensas a serem descartadas dos rebanhos logo após o primeiro parto, reduzindo-se assim tanto a variabilidade fenotípica quanto genética no grupo de fêmeas múltiparas. Em um estudo baseado nos registros de testes de progênie para a raça francesa Limousin, Phocas et al. (2006) estimaram herdabilidade de $0,36 \pm 0,06$ para proteção materna, mostrando que, em primíparas esta característica apresenta herdabilidade moderada e que é passível de resposta à seleção.

Também, a repetibilidade desta característica foi avaliada estimando valores que variam entre 0,09 a 0,42 (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994; Hoppe et al., 2008). A baixa repetibilidade encontrada no primeiro estudo mostra que há pouca semelhança entre os escores maternos em consecutivas lactações do mesmo animal, sugerindo a importância dos efeitos ambientais temporários na sua expressão (Buddenberg et al., 1986).

Vale lembrar que a seleção para comportamento de proteção materna menos intenso pode impactar mais na sobrevivência dos bezerros de corte do que nas raças leiteiras (Pérez-Torres et al., 2014). Este é um ponto importante a considerar, pois, além do maior risco com predação, o cuidado materno pode ser prejudicado. Vallée et al. (2015) encontraram uma forte correlação genética (-0,87) entre o cuidado materno e a agressividade no parto, confirmando que, é difícil aumentar simultaneamente o cuidado materno e reduzir a agressividade através da seleção.

Desta forma, Flörcke et al. (2012) sugeriram que, em sistemas de produção de bovinos de corte, onde ocorre predação, deve-se ter cautela ao selecionar vacas mais calmas, sendo mais recomendado selecionar animais que protegem seus bezerros e desmamam um bezerro vivo e saudável todos os anos e por segurança, vacas agressivas devem ser descartadas. Então, o objetivo da seleção não deve ser

simplesmente a remoção dos indivíduos mais agressivos da população reprodutora, uma vez que eles normalmente seriam descartados como uma ação de rotina, mas levar toda a população a expressar um nível intermediário de defesa materna (Turner e Lawrence, 2007). A seleção de animais que respondem mais positivamente ao manejo humano pode, portanto, ser interessante em algumas populações, reduzindo o estresse e melhorando o bem-estar animal (Grandinson, 2005), além de promoção da segurança dos trabalhadores.

Entre as características comportamentais dos bovinos, o temperamento é o que recebe mais atenção pelos produtores (Adamczyk et al., 2013). Entretanto, vale ressaltar que, realizar seleção precoce para temperamento pré-parto a fim de obter vacas menos agressivas no pós-parto pode não ser eficaz. Le Neindre et al. (2002) relataram que a seleção para docilidade pré-parto não afetou características do cuidado materno referente ao tempo de lambida. Já Turner et al. (2013) não encontraram relação entre o temperamento pré-parto e agressividade materna e Pérez-Torres et al. (2014) não encontraram associação entre comportamento de proteção materna e medidas de temperamento individual em vacas Zebu. Isso enfatiza a importância de não assumir relações entre o comportamento pré e pós-parto no manejo de vacas e a importância de realizar as avaliações pontuais de proteção materna para tomada de decisões.

Seja pela seleção direta ou por um método alternativo, a seleção para defesa materna tem capacidade de proporcionar grande benefício aos produtores. Além dos potenciais benefícios aos animais, incluindo a melhoria do bem-estar animal, a inclusão de uma característica que melhora a segurança do manejador pode ser bem aceita pelos produtores (Turner e Lawrence, 2007). Entretanto, não devemos aproveitar essa adaptação dos animais geneticamente apenas para permitir que possamos mantê-los em um ambiente inferior e mais estressante (Grandinson, 2005).

Apesar dos estudos acerca das bases genéticas do comportamento de proteção materna e seu potencial para se realizar seleção, necessita-se de estudos voltados às raças zebuínas, em especial na raça Nelore. De forma a entender melhor os impactos na sobrevivência e desempenho pré-desmame dos bezerros e no bem-estar dos animais e dos manejadores.

2.2.2 Aspectos moleculares do comportamento de proteção materna

A genômica fornece um mecanismo eficiente para permitir que os investimentos em mensurações sejam estendidos a toda a população genotipada, criando uma ferramenta de seleção economicamente viável (Miller, 2018). Isso é possível, pois, em estudos de associação genômica ampla (GWAS), através da utilização de polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs), pode-se realizar a identificação de loci de características quantitativas (QTL) para numerosos fenótipos (Pausch et al., 2016), que podem estar associados a genes exercendo influência sobre tais.

Essas abordagens moleculares se abrem para melhorar nossa capacidade de selecionar diretamente esses genes, em vez de depender de fenótipos comportamentais, particularmente para características em que o fenótipo é difícil ou caro de medir (Brouček et al., 2008; Haskell et al., 2014).

Através de metodologias de associação genômica ampla, diversos trabalhos foram desenvolvidos para elucidar a base genética de características quantitativas referente a qualidade de carne e de carcaça (Chang et al., 2008; Lu et al., 2013; Xia et al., 2016), eficiência alimentar (Mujibi et al., 2011; Oliveira et al., 2014; Santana et al., 2014; Seabury et al., 2017), desempenho reprodutivo (Hawken et al., 2012; Fortes et al., 2014; Akanno et al., 2015; Melo et al., 2017), produção e qualidade do leite (Iso-Touru et al., 2016; Nayeri et al., 2016; Zhou et al., 2019), entre outras (Engle et al., 2018; Igoshin et al., 2019; Freebern et al., 2020).

Estudos de associação genômica para características comportamentais em bovinos de corte em grande parte foram realizados avaliando o temperamento (Glenske et al., 2011; Hulsman Hanna et al., 2014; dos Santos et al., 2017). Valente et al. (2016) em estudo de GWAS para um teste de temperamento (velocidade de saída) em bovinos Nelore, usou um procedimento de etapa única (ssGBLUP), combinando 16.600 fenótipos de animais com ou sem genotipagem. Neste estudo, os autores identificaram nove regiões candidatas localizadas em oito cromossomos. Dentre os genes candidatos identificados, o *PARK2*, *GUCY1A2*, *CPE* e *DOCK1* foram

relacionados ao sistema dopaminérgico, formação de memória, biossíntese do hormônio peptídico e neurotransmissor e o desenvolvimento cerebral, respectivamente.

Devido ao custo e à dificuldade em registrar fenótipos de características maternas em larga escala, a literatura contém poucos estudos que utilizam abordagens moleculares através da associação genômica. Hazard et al. (2018) realizaram estudo de associação genômica em ovinos para comportamentos maternos, os quais eram avaliados através de escores para reação da ovelha em relação à aproximação do manejador da díade e reação quanto a contenção do cordeiro pelo manejador, entretanto, os autores não levaram em consideração comportamentos agressivos contra o manejador. Estes autores detectaram quatro principais regiões de QTL identificadas nos cromossomos 4, 9 e 23, associadas significativamente com os escores de comportamento materno. No cromossomo 4, dois genes candidatos, *KCND2* e *FOXP2*, foram localizados próximos a dois QTL's. O gene *KCND2* foi associado ao ritmo locomotor e na percepção sensorial da dor em humanos e o gene *FOXP2* ao aprendizado vocal em mamíferos. Já o QTL mapeado no cromossomo 23 associado ao escore de comportamento materno se sobrepôs a dois outros genes candidatos, *MC4R* (receptor da melanocortina 4) e *GAD1* (glutamato descarboxilase 1). O gene *MC4R* está associado ao comportamento alimentar em humanos e supostamente ao tratamento social e o *GAD1* podem estar envolvidos no comportamento social.

Ainda mais, são escassos os trabalhos com a finalidade de encontrar regiões genômicas associadas a genes que influenciam especificamente ao comportamento de proteção materna. A possibilidade de se estudar mais a fundo como a participação do efeito genético e dos genes que podem influenciar na expressão deste fenótipo comportamental, traz esperança em selecionar animais precocemente, aumentando o progresso genético desta característica e das relacionadas. Assim, os estudos realizados para composição dessa tese foram realizados com o objetivo de identificar a variabilidade genética do comportamento de proteção materna, sua relação genética com características de desempenho e escores visuais de seus bezerros na desmama, regiões e genes associados ao comportamento de proteção materna.

3. Referências

- Adamczyk K, Pokorska J, Makulska J, Earley B, Mazurek M (2013) Genetic analysis and evaluation of behavioural traits in cattle. **Livestock Science** 154:1–12.
- Akanno EC, Plastow G, Fitzsimmons C, Miller SP, Baron V, Ominski K, and Basarab JA (2015) Genome-wide association for heifer reproduction and calf performance traits in beef cattle. **Genome** 58:549–557.
- Bahashwan S, Alfadli S (2016) Dam weight, udder score and body condition score effect on calf birth weight and preweaning daily gain in Dhofari cattle breed. **Livestock Research for Rural Development** 28:114–120.
- Boivin X, Gilard F, Egal D (2009) The effect of early human contact and the separation method from the dam on responses of beef calves to humans. **Applied Animal Behaviour Science** 120:132–139.
- Bridges RS (2015) Neuroendocrine regulation of maternal behavior. **Frontiers in Neuroendocrinology** 36:178–196.
- Brouček J, Uhrinčat' M, Šoch M, Kišac P (2008) Genetics of behaviour in cattle. **Slovak Journal of Animal Science** 41:166–172.
- Buddenberg BJ, Brown CJ, Johnson ZB, Honea RS (1986) Maternal behavior of beef cows at parturition. **Journal of Animal Science** 62:42–46.
- Bunter KL, Johnston DJ (2014) Genetic parameters for calf mortality and correlated cow and calf traits in tropically adapted beef breeds managed in extensive Australian production systems. **Animal Production Science** 54:50-59.
- Bunter KL, Johnston DJ, Wolcott ML, Fordyce G (2014) Factors associated with calf mortality in tropically adapted beef breeds managed in extensive Australian production systems. **Animal Production Science** 54:25–36.
- Cafe LM, Robinson DL, Ferguson DM, McIntyre BL, Geesink GH, Greenwood PL (2011) Cattle temperament: persistence of assessments and associations with productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. **Journal of Animal Science** 89:1452–1465.
- Chang T, Xia J, Xu L, Wang X, Zhu B, Zhang L, Gao X, Chen Y, Li J, Gao H (2008) A genome-wide association study suggests several novel candidate genes for carcass traits in Chinese Simmental beef cattle. **Animal Genetics** 49:312–316.
- dos Santos FC, Peixoto MGCD, de Souza Fonseca PA, Pires MFÁ, Ventura RV, Rosse IDC, Tomita Bruneli FA, Machado MA, Carvalho MRS (2017) Identification of

candidate genes for reactivity in guzerat (*Bos indicus*) cattle: A genome-wide association study. **PLoS One** 12: e0169163.

Endres MI, Schwartzkopf-Genswein K (2018) Advances in cattle welfare. In.: Tucker C (Ed) **Advances in cattle welfare**. Kidlington: Woodhead Publishing, p. 1-26.

Engle BN, Herring AD, Sawyer JE, Riley DG, Sanders JO, Gill CA (2018) Genome-wide association study for stayability measures in Nellore–Angus crossbred cows. **Journal of Animal Science** 96:1205–1214.

Flörcke C, Engle TE, Grandin T, Deesing MJ (2012) Individual differences in calf defence patterns in Red Angus beef cows. **Applied Animal Behaviour Science** 139:203–208.

Forkman B, Boissy A, Meunier-Salaün M-C, Canali E, Jones RB (2007) A critical review of fear tests used on cattle, pigs, sheep, poultry and horses. **Physiology & Behavior** 92:340–374.

Fortes MRS, Suhaimi AHMS, Porto-Neto LR, Mcwilliam SM, Flatscher-Bader T, Moore SS, D'Occhio MJ, Meira CT, Thomas MG, Snelling WM, Reverter A, Lehnert SA (2014) Post-partum anoestrus in tropical beef cattle: a systems approach combining gene expression and genome-wide association results. **Livestock Science** 166:158–166.

Freebern E, Santos DJA, Fang L, Jiang J, Parker Gaddis KL, Liu GE, VanRaden PM, Maltecca C, Cole JB, Ma L (2020) GWAS and fine-mapping of livability and six disease traits in Holstein cattle. **BMC Genomics** 21:41.

Frisch JE (1982) The use of teat-size measurements or calf weaning weight as an aid to selection against teat defects in cattle. **Animal Production** 35:127–133.

Fuerst-Waltl B, Fuerst C (2010) Mortality in Austrian dual purpose Fleckvieh calves and heifers. **Livestock Science** 132:80–86.

Garcia FZ, Carvalho CAB, Peres AAC, Malafaia P, Souza PM (2017) Análise da viabilidade econômico-financeira de sistemas de cria em gado de corte: estudo de múltiplos casos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 69:1030–1038.

Glenske K, Prinzenberg EM, Brandt H, Gaulty M, Erhardt G (2011) A chromosome-wide QTL study on BTA29 affecting temperament traits in German Angus beef cattle and mapping of DRD4. **Animal** 5:195–197.

Goonewardene LA, Wang Z, Price MA, Yang R-C, Berg RT, Makarechian M (2003) Effect of udder type and calving assistance on weaning traits of beef and dairy x beef calves. **Livestock Production Science** 81:47–56.

Goyache F, Gutiérrez JP, Alvarez I, Fernández I, Royo LJ, Gómez E (2003) Genetic analysis of calf survival at different preweaning ages in beef cattle. **Livestock Production Science** 83:13–20.

Grandinson K. (2005) Genetic background of maternal behaviour and its relation to offspring survival. **Livestock Production Science** 93:43–50.

Gulliksen SM, Lie KI, Løken T, Østerås O (2009) Calf mortality in Norwegian dairy herds. **Journal of Dairy Science** 92:2782–2795.

Hansen M, Madsen P, Jensen J, Pedersen J, Christensen LG (2003) Genetic parameters of postnatal mortality in Danish Holstein calves. **Journal of Dairy Science** 86:1807–1817.

Haskell MJ, Simm G, Turner SP (2014) Genetic selection for temperament traits in dairy and beef cattle. **Frontiers in Genetics** 5:368.

Hawken RJ, Zhang YD, Fortes MRS, Collis E, Barris WC, Corbet NJ, Williams PJ, Fordyce G, Holroyd RG, Walkley JRW, Barendse W, Johnston DJ, Prayaga KC, Tier B, Reverter A, Lehnert AS (2012) Genome-wide association studies of female reproduction in tropically adapted beef cattle. **Journal of Animal Science** 90:1398–1410.

Hazard D, Mace T, Foulquie D, Delval E, Douls S, Carriere F, Pradel J, Moreno C, Boissy A (2018) Genome wide association studies of maternal behaviours in sheep. In: 11th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. **Anais...** Auckland: WCGALP. p. 1130.

Hoppe S, Brandt HR, Erhardt G, Gauly M (2008) Maternal protective behaviour of German Angus and Simmental beef cattle after parturition and its relation to production traits. **Applied Animal Behaviour Science** 114:297–306.

Hulsman Hanna LL, Garrick DJ, Gill CA, Herring AD, Riggs PK, Miller RK, Sanders JO, Riley DG (2014) Genome-wide association study of temperament and tenderness using different Bayesian approaches in a Nellore–Angus crossbred population. **Livestock Science** 161:17–27.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) **Produção da Pecuária Municipal 2018**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2018>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

Igoshin AV, Yurchenko AA, Belonogova NM, Petrovsky DV, Aitnazarov RB, Soloshenko VA, Yudin NS, Larkin DM (2019) Genome-wide association study and scan for signatures of selection point to candidate genes for body temperature maintenance under the cold stress in Siberian cattle populations. **BMC Genetics** 20:26.

Illmann G, Špinka M (1993) Maternal behaviour of dairy heifers and suckling of their newborn calves in group housing. **Applied Animal Behaviour Science** 36:91–98.

- Iso-Touru T, Sahana G, Gulbrandsen B, Lund MS, Vilkki J (2016) Genome-wide association analysis of milk yield traits in Nordic Red Cattle using imputed whole genome sequence variants. **BMC Genetics** 17:55.
- Le Neindre P, Grignard L, Trillat G, Boissy A, Ménéssier F, Sapa F, Boivin X (2002) Docile Limousine cows are not poor mothers. In: 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. **Anais...** Montpellier: WCGALP, p. 19-23.
- Lensink BJ, Fernandez X, Cozzi G, Florand L, Veissier I (2001) The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. **Journal of Animal Science** 79:642–652.
- Lu D, Sargolzaei M, Kelly M, Voort GV, Wang Z, Mandell I, Moore S, Plastow G, Miller SP (2013) Genome-wide association analyses for carcass quality in crossbred beef cattle. **BMC Genetics** 14:80.
- Lubin DA, Elliott JC, Black MC, Johns JM (2003) An oxytocin antagonist infused into the central nucleus of the amygdala increases maternal aggressive behavior. **Behavioral Neuroscience** 117:195–201.
- MacGregor RG, Casey NH (2000) The effects of maternal calving date and calving interval on growth performance of beef calves. **South African Journal of Animal Science** 30:70–76.
- McGee M, Earley B (2019) Review: passive immunity in beef-suckler calves. **Animal** 13:810–825.
- McHugh N, Cromie AR, Evans RD, Berry DP (2014) Validation of national genetic evaluations for maternal beef cattle traits using Irish field data. **Journal of Animal Science** 92:1423–1432. 10.2527/jas2013-6658.
- Melo TP, Camargo GMF, Albuquerque LG, Carneiro R (2017) Genome-wide association study provides strong evidence of genes affecting the reproductive performance of Nelore beef cows. **Plos One** 12: e0178551. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178551>.
- Michenet A, Barbat M, Saintilan R, Venot E, Phocas F (2016a) Detection of quantitative trait loci for maternal traits using high-density genotypes of Blonde d'Aquitaine beef cattle. **BMC Genetics** 17:88. 10.1186/s12863-016-0397-y.
- Michenet A, Saintilan R, Venot E, Phocas F (2016b) Insights into the genetic variation of maternal behavior and suckling performance of continental beef cows. **Genetics Selection Evolution** 48:45. 10.1186/s12711-016-0223-z.
- Miller S (2018) New breeding goals in beef cattle. **Journal of Animal Science** 96:119. 10.1093/jas/sky404.262.
- Mormède P (2005) Molecular genetics of behaviour: research strategies and perspectives for animal production. **Livestock Production Science** 93:15–21. 10.1016/j.livprodsci.2004.11.002.

- Morris CA, Cullen NG, Kilgour R, Bremner KJ (1994) Some genetic factors affecting temperament in *Bos taurus* cattle. **New Zealand Journal of Agricultural Research** 37:167–175. 10.1080/00288233.1994.9513054.
- Mötus K, Viltrop A, Emanuelson U (2018) Reasons and risk factors for beef calf and youngstock on-farm mortality in extensive cow-calf herds. **Animal** 12:1958–1966. 10.1017/S1751731117003548.
- Mujibi FDN, Nkrumah JD, Durunna ON, Grant JR, Mah J, Wang Z, Basarab J, Plastow G, Crews Jr DH, Moore SS (2011) Associations of marker panel scores with feed intake and efficiency traits in beef cattle using preselected single nucleotide polymorphisms. **Journal of Animal Science** 89:3362–3371. 10.2527/jas.2010-3362.
- Müller R, von Keyserlingk MAG (2006) Consistency of flight speed and its correlation to productivity and to personality in *Bos taurus* beef cattle. **Applied Animal Behaviour Science** 99:193–204. 10.1016/j.applanim.2005.05.012.
- Nayeri S, Sargolzaei M, Abo-ismail MK, May N, Miller SP, Schenkel F, Moore SS, Stothard P (2016) Genome-wide association for milk production and female fertility traits in Canadian dairy Holstein cattle. **BMC Genetics** 17:75.
- Oliveira RL, Barbosa MAAF, Ladeira MM, Silva MMP, Ziviani AC, Bagaldo AR (2006) Nutrição e manejo de bovinos de corte na fase de cria. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** 7:57–86.
- Oliveira PSN, Cesar ASM, Nascimento ML, Chaves AS, Tizioto PC, Tullio RR, Lanna DPD, Rosa AN, Sonstegard TS, Mourao GB, Reecy JM, Garrick DJ, Mudadu MA, Coutinho LL, Regitano LCA (2014) Identification of genomic regions associated with feed efficiency in Nelore cattle. **BMC Genetics** 15:100.
- Paputungan U, Makarechian M (2000) The influence of dam weight, body condition and udder scores on calf birth weight and preweaning growth rates in beef cattle. **Asian-Australasian Journal of Animal Science** 13:435–439.
- Paranhos da Costa MJR, Cromberg VU (1998) Relações materno-filiais em bovinos de corte nas primeiras horas após o parto. In.: Paranhos da Costa, M.J.R., Cromberg, V.U. (Eds.) **Comportamento Materno em Mamíferos: bases teóricas e aplicações aos ruminantes domésticos**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Etologia, p. 215–235.
- Pausch H, Emmerling R, Schwarzenbacher H, Fries R (2016) A multi-trait meta-analysis with imputed sequence variants reveals twelve QTL for mammary gland morphology in Fleckvieh cattle. **Genetics Selection Evolution** 48:14.
- Pérez-Torres L, Orihuela A, Corro M, Rubio I, Cohen A, Galina CS (2014) Maternal protective behavior of zebu type cattle (*Bos indicus*) and its association with temperament. **Journal of Animal Science** 92:4694–4700.

- Phocas F, Boivin X, Sapa J, Trillat G, Boissy A, Le Neindre P (2006) Genetic correlations between temperament and breeding traits in Limousin heifers. **Animal Science** 82:805–811.
- Riley DG, Chase CC, Olson TA, Coleman SW, Hammond AC (2004) Genetic and nongenetic influences on vigor at birth and preweaning mortality of purebred and high percentage Brahman calves. **Journal of Animal Science** 82:1581–1588.
- Ring SC, McCarthy J, Kelleher MM, Doherty ML, Berry DP (2018) Risk factors associated with animal mortality in pasture-based, seasonal-calving dairy and beef herds. **Journal of Animal Science** 96:35–55.
- Rørvang MV, Nielsen BL, Herskin MS, Jensen MB (2018) Prepartum maternal behavior of domesticated cattle: a comparison with managed, feral, and wild ungulates. **Frontiers in Veterinary Science** 5:45.
- Rosa ANF, Menezes GRO (2016) **Papel do zebu na pecuária de corte brasileira**. Embrapa Notícias. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/9523901/artigo-papel-do-zebu-na-pecuaria-de-corte-brasileira>>. Acesso: 14 ago. 2018.
- Sandelin BA, Brown AH, Johnson ZB, Hornsby JA, Baublits RT, Kutz BR (2005) Case study: postpartum maternal behavior score in six breed groups of beef cattle over twenty-five years. **The Professional Animal Scientist** 21:13–16.
- Santana MHA, Utsunomiya YT, Neves HHR, Gomes RC, Garcia JF, Fukumasu H, Silva SL, Oliveira Junior GA, Alexandre PA, Leme PR, Brassaloti RA, Coutinho LL, Lopes TG, Meirelles FV, Eler JP, Ferraz JBS (2014) Genome-wide association analysis of feed intake and residual feed intake in Nelore cattle. **BMC Genetics** 15:21.
- Santos R, Cachapa A, Carvalho GP, Silva CB, Hernández L, Costa L, Pereira LS, Minas M, Vala H (2019) Mortality and Morbidity of Beef Calves in Free-Range Farms in Alentejo, Portugal — A Preliminary Study. **Veterinary Medicine International** 2019:8.
- Seabury CM, Oldeschulte DL, Saatchi M, Beever JE, Decker JE, Halley YA, Bhattarai EK, Molaei M, Freetly HC, Hansen SL, Yampara-Iquise H, Johnson KA, Kerley MS, Kim J, Loy DD, Marques E, Neibergs HL, Schnabel RD, Shike DW, Spangler ML, Weaber RL, Garrick DJ, Taylor JF (2017) Genome-wide association study for feed efficiency and growth traits in U.S. beef cattle. **BMC Genomics** 18:386.
- Selman IE, McEwan AD, Fisher EW (1970) Studies on natural suckling in cattle during the first eight hours post-partum I. Behavioural studies (dams). **Animal Behaviour** 18:276–283.
- Smith T, Glenn CD, White RC, White WE (2017) Evaluation of Udder and Teat Scores in Beef Cattle and the Relationship to Calf Performance. **Journal of Animal Science** 95:2. 10.2527/ssasas2017.003.

Sommers AP, Price CC, Urbigit CD, Peterson EM (2010) Quantifying economic impacts of large-carnivore depredation on bovine calves. **The Journal of Wildlife Management** 74:1425-1434.

Stěhulová I, Špinka M, Šárová R, Máchová L, Kněz R, Firla P (2013) Maternal behaviour in beef cows is individually consistent and sensitive to cow body condition, calf sex and weight. **Applied Animal Behaviour Science** 144:89–97.

Turner SP, Jack MC, Lawrence AB (2013) Precalving temperament and maternal defensiveness are independent traits but precalving fear may impact calf growth. **Journal of Animal Science** 91:4417–4425.

Turner SP, Lawrence AB (2007) Relationship between maternal defensive aggression, fear of handling and other maternal care traits in beef cows. **Livestock Science** 106:182–188.

Valente TS, Baldi F, Satnt'Anna AC, Albuquerque LG, Paranhos da Costa MJR (2016) Genome-Wide Association Study between Single Nucleotide Polymorphisms and Flight Speed in Nellore Cattle. **Plos One** 11: e0156956.

Vallée A, Breider I, van Arendonk JAM, Bovenhuis H (2015) Genetic parameters for large-scale behavior traits and type traits in Charolais beef cows. **Journal of Animal Science** 93:4277–4284.

Vallée A, Daure J, van Arendonk JAM, Bovenhuis H (2016) Genome-wide association study for behavior, type traits, and muscular development in Charolais beef cattle. **Journal of Animal Science** 94:2307–2316.

von Keyserlingk MAG, Weary DM (2007) Maternal behavior in cattle. **Hormones and Behavior** 52:106–113.

Xia J, Qi X, Wu Y, Zhu B, Xu L, Zhang L, Gao X, Chen Y, Li J, Gao H (2016) Genome-wide association study identifies loci and candidate genes for meat quality traits in Simmental beef cattle. **Mammalian Genome** 27:246–255.

Zhou C, Li C, Cai W, Liu S, Yin H, Shi S, Zhang Q, Zhang S (2019) Genome-wide association study for milk protein composition traits in a Chinese Holstein population using a single-step approach. **Frontiers in Genetics** 10:72.

CAPÍTULO 2 - Comportamento de proteção materna de vacas Nelore: parâmetros genéticos, repetibilidade e correlações genéticas com características de desempenho dos bezerros

RESUMO – Os objetivos com este estudo foram estimar os parâmetros genéticos do comportamento de proteção materna (CPMat) de vacas Nelore e suas correlações genéticas com características de desempenho e escores visuais de seus bezerros do nascimento até o desmame. Os dados utilizados neste estudo foram obtidos no banco de dados da fazenda São Marcelo (Juruena, MT, Brasil), obtendo-se 11.655 registros de CPMat de 3.326 vacas com 3 a 6 partos na análise uni-característica, o primeiro registro de 8.785 vacas foi utilizado na análise bi-característica e 16.762 registros de peso ao nascer (PN), 15.716 registros de ganho médio diário (GMD), 15.743 registros de peso ao desmame ajustado aos 210 dias (P210) e 16.073 registros de escores visuais de conformação (C), precocidade de acabamento (P) e musculatura (M) atribuídos aos bezerros na desmama. Após a consistência dos dados, foram realizadas correções, por meio de análise de regressão linear, para os efeitos não genéticos significativos, correspondente a cada característica avaliada e transformados em fenótipos corrigidos. As estimativas dos componentes de (co)variâncias e dos parâmetros genéticos foram obtidas com a aplicação do método de máxima verossimilhança restrita por informação média, usando o software AIRELMF90. As estimativas de herdabilidade e repetibilidade para CPMat com a análise uni-característica foram $0,08 \pm 0,02$ e $0,19 \pm 0,01$, respectivamente. As estimativas de herdabilidade direta para PN, GMD, P210, C, P e M, foram de $0,58 \pm 0,05$, $0,36 \pm 0,03$, $0,36 \pm 0,03$, $0,16 \pm 0,03$, $0,24 \pm 0,03$ e $0,16 \pm 0,03$, respectivamente. Já as estimativas de herdabilidade materna e de proporção do ambiente permanente materno foram, respectivamente, $0,09 \pm 0,02$ e $0,03 \pm 0,01$ para PN, $0,28 \pm 0,02$ e $0,13 \pm 0,02$ para GMD, $0,27 \pm 0,02$ e $0,14 \pm 0,02$ para P210, $0,12 \pm 0,03$ e $0,19 \pm 0,02$ para C, $0,09 \pm 0,02$ e $0,15 \pm 0,02$ para P e $0,13 \pm 0,03$ e $0,18 \pm 0,02$ para M. As correlações genéticas do CPMat com as características de desempenho do bezerro variaram de $-0,08 \pm 0,13$ a $0,18 \pm 0,16$. Conclui-se que é possível melhorar o bem-estar animal e humano, selecionando vacas mais calmas, sem prejudicar o desempenho de sua prole, entretanto, a seleção direta para CPMat irá promover ganhos genéticos de forma muito lenta. É esperado também que o descarte de vacas mais agressivas, poderá resultar, a longo prazo, na diminuição do peso ao nascer dos bezerros.

Palavras-chave: herdabilidade, peso ao desmame, temperamento materno, zebu

1. Introdução

O comportamento materno é caracterizado pela combinação de uma série de componentes, dentre eles destacam-se aqueles que possibilitam a formação do vínculo entre a mãe e o seu filho, a amamentação, a capacidade de responder e dar atenção ao filhote e a proteção do filhote contra potenciais ameaças (Grandinson, 2005). No meio destes, o comportamento de proteção materna (CPMat) desempenha papel fundamental na probabilidade de sobrevivência dos filhotes (Nowak et al., 2000), em particular nos casos de bovinos de corte mantidos em sistemas extensivos de produção (von Keyserlingk e Weary, 2007). No entanto, tem sido observada expressiva variação individual na expressão do CPMat em rebanhos de bovinos de corte (Flörcke et al., 2012), desde vacas que não demonstram nenhum interesse no bezerro até vacas extremamente protetoras e, por conta disto, muito reativas e potencialmente agressivas (Sandelin et al., 2005). Essas reações extremas têm despertado o interesse de pesquisadores, particularmente com relação as vacas muito agressivas, pois colocam em risco a segurança dos vaqueiros responsáveis pela realização do manejo dos bezerros recém-nascidos (Buddenberg et al., 1986; Cafe et al., 2011; Turner et al., 2013; Costa et al., 2021).

Com o objetivo avaliar a possibilidade de incluir o CPMat como um dos critérios de seleção em rebanhos de bovinos de corte, vários pesquisadores têm dedicado atenção para a estimação de parâmetros genéticos, obtendo valores de herdabilidade entre $0,06 \pm 0,01$ e $0,42 \pm 0,05$ (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994; Hoppe et al., 2008; Vallée et al., 2015). De maneira semelhante, as estimativas de repetibilidade também são muito variáveis, com valores de $0,09 \pm 0,02$ a $0,42 \pm 0,05$ (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994; Hoppe et al., 2008), o que sugere haver mudanças nas respostas individuais ao longo do tempo ou em função das circunstâncias ambientais as quais os animais estão submetidos. Vale ressaltar que todos os trabalhos citados acima foram conduzidos com animais de raças taurinas e que, até o presente momento não foram encontradas estimativas de herdabilidade e repetibilidade para CPMat em bovinos de raças zebuínas, em particular a raça Nelore.

Outro ponto importante a considerar é a possível relação do CPMat com o desempenho dos bezerros do nascimento até a desmama. Há poucos estudos abordando essas relações (Hoppe et al., 2008; Turner et al., 2013) e, pelo nosso conhecimento, em apenas um deles foi obtida a correlação genética, sendo ela, entre o CPMat e o peso ao nascer dos bezerros (Buddenberg et al., 1986). Ainda, os estudos citados foram realizados apenas com animais *Bos taurus*. Portanto, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de (1) estimar os componentes de (co)variâncias e parâmetros genéticos e repetibilidade do CPMat de vacas Nelore e (2) suas associações genéticas com características de desempenho mensuradas nos bezerros.

2. Material e Métodos

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – Brasil (Certificado nº 4865/20).

2.1 Animais e manejo

As avaliações foram realizadas na Fazenda São Marcelo, localizada no município de Juruena, MT, Brasil, onde é desenvolvida a atividade de cria de forma extensiva, com a manutenção dos bovinos em pastagens tropicais. A fazenda dispõe de cinco retiros, sendo que o nascimento dos bezerros ocorre em quatro deles e o quinto é usado para a recria das bezerras fêmeas destinadas à reposição. A estação de nascimento ocorre em dois períodos do ano, a primeira (com um número menor de bezerros) entre janeiro a março de cada ano e a segunda, entre junho a outubro. Cada retiro tem sua própria equipe de vaqueiros.

Todas as manhãs, durante as estações de nascimentos, os vaqueiros conduziam as vacas paridas no dia anterior e seus respectivos bezerros para os centros de manejo dos pastos maternidades. De maneira geral, os centros de manejo

se caracterizavam por terem uma área entre 1.500 a 2.500 m², cercada com arame liso, com divisórias internas, definindo duas ou quatro subdivisões e uma área de trabalho (coberta e cercada por tábuas), conforme ilustrado na Figura 1.

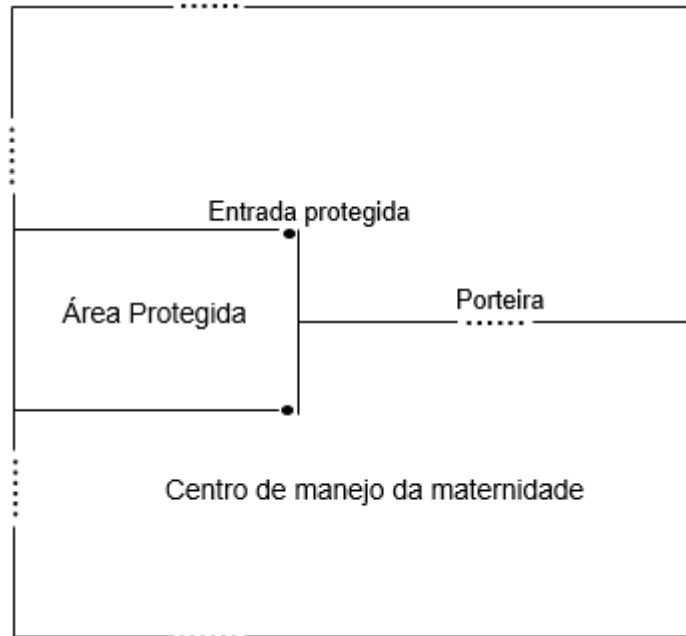


Figura 1. Diagrama ilustrativo do centro de manejo dos pastos maternidade.

As díades (vacas e bezerros) eram então acomodadas em uma das subdivisões dos centros de manejo e os bezerros eram conduzidos (um a um) até a área de trabalho, onde eram realizados os procedimentos de pesagem, desinfecção do umbigo, aplicação de antiparasitário e identificação de cada bezerro por meio de tatuagem. Após a realização desses procedimentos de manejo, vacas e bezerros eram alocados em grupos de manejo de acordo com o sexo do bezerro e categoria da vaca e transferidos para outro pasto.

2.2 Avaliação de características das vacas

2.2.1. Escore de condição corporal

Durante o primeiro manejo dos bezerros, um dos vaqueiros (devidamente treinado) atribuía o escore de condição corporal para cada uma das vacas, considerando uma escala que variava de 1 (animal caquético) a 5 (animal obeso). O escore de condição corporal das vacas no parto é uma medida subjetiva baseada na classificação do animal de acordo com a quantidade de reservas teciduais, especialmente de gordura e de músculos, em determinadas regiões do corpo, frequentemente associadas a marcos anatômicos específicos, tais como determinadas protuberâncias ósseas: 1) costelas, 2) processos espinhosos da coluna vertebral, 3) processos transversos da coluna vertebral, 4) vazio, 5) ponta do íleo, 6) base da cauda, 7) sacro e 8) vértebras lombares (Machado et al., 2008).

2.2.2. Comportamento de proteção materna

As avaliações do CPMat foram realizadas entre 2014 a 2019 por um dos vaqueiros que estava dentro da área de trabalho, que observava o comportamento de cada vaca durante a condução de seus bezerros até a área de trabalho, e atribuía a nota para o escore de acordo com o apresentado na Tabela 1.

Os vaqueiros que atribuíram as notas do CPMat foram previamente treinados pelo pesquisador chamado de “golden”, e avaliaram o CPMat das vacas simultaneamente (mas de modo independente) ao pesquisador responsável pela realização do treinamento, o que permitiu estimar o coeficiente de confiabilidade inter-observador (0,95).

Tabela 1. Descrição das notas atribuídas na avaliação visual do comportamento de proteção materna (CPMat)

Notas do CPMat	Descrição
1	A vaca fica indiferente ao manejo com o bezerro, podendo permanecer parada sem atenção ou distanciar-se do bezerro quando o vaqueiro se aproxima.
2	A vaca permanece distante, porém atenta ao manejo com o bezerro, podendo ficar parada ou, ocasionalmente, dar alguns passos em direção ao bezerro.
3	A vaca permanece calma, atenta e próxima ao bezerro. Não ameaça o vaqueiro durante a condução do bezerro até o local do manejo.
4	A vaca oferece alguma resistência, como deslocamento contínuo, movimentação da cabeça e da cauda, vocaliza e/ou bufa algumas vezes na tentativa de se manter próxima ao bezerro. Ameaça o vaqueiro, mas não o ataca.
5	A vaca fica muito agitada, podendo correr de um lado para o outro do centro de manejo, apresenta movimentação vigorosa da cabeça e da cauda, vocaliza e/ou bufa. Ataca o vaqueiro.

(Costa, 2017)

2.3 Avaliações de características dos bezerros

Os bezerros foram pesados ao nascimento (PN) e no dia do desmame (PD), sendo este peso posteriormente ajustado para 210 dias de idade (P210). O ganho médio diário (GMD) de cada bezerro foi calculado considerando a diferença entre o peso na desmama e PN, dividido pela idade (em dias) de cada bezerro na desmama. O P210 foi calculado multiplicando o GMD por 210 dias e somado ao peso do nascimento.

A atribuição dos escores visuais de C, P e M foi feita no dia do desmame por um dos técnicos da Cia de Melhoramento, seguindo o protocolo de avaliação definido pela empresa, que leva em conta, para cada um dos grupos de contemporâneos, o perfil médio para cada característica avaliada, servindo como parâmetro de comparação para atribuir os escores para todos os animais daquele grupo. Os escores de C, P e M variam de 1 a 5, sendo 5 a maior expressão e 1 a menor expressão da característica avaliada. Segundo Jorge Júnior et al. (2001) e Silveira et al. (2021) as avaliações visuais têm os seguintes objetivos: 1. C, classificar em termos de

capacidade de produção de carne, se fosse abatido naquele momento, e considera a combinação da quantidade de carne na carcaça e a presença de massas musculares, considerando o comprimento corporal, a profundidade e o desenvolvimento muscular do animal. 2. P, avaliar os animais conforme a expectativa de se chegar a um acabamento mínimo de carcaça com baixo peso corporal, sendo que, animais com boa precocidade de terminação são aqueles que apresentam boa abertura torácica, boa profundidade de costelas, boas massas musculares e virilha pesada, aliada a um bom desenvolvimento corporal e, 3. M, avaliar a presença e proeminência de massas musculares nos quartos traseiros, lombo, paleta e antebraço.

2.4 Análise estatística

O procedimento General Linear Model (GLM) do software SAS (SAS 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA) foi usado para definir os efeitos fixos significativos ($P < 0,01$) a serem incluídos nos grupos de contemporâneos (GC). O ano, mês e retiro de parto foram utilizados na formação do GC para o CPMat. Para o PN, o ano e estação de nascimento (janeiro a abril, maio a setembro ou outubro a dezembro), lote de manejo ao nascimento e o sexo do bezerro, formaram os GC. Já para GMD, P210, C, P e M, o GC foi formado pelos mesmos efeitos do PN, acrescido do grupo de manejo na desmama. Os efeitos fixos e covariáveis, significativos em cada modelo, são apresentados na Tabela 2.

O arquivo de dados do CPMat utilizado na análise uni-característica foi gerado seguindo critérios de consistência diferentes do arquivo utilizado na análise bi-característica. Para o arquivo de dados do CPMat, utilizado na análise uni-característica, o número de partos por vaca deveria ser igual ou superior a três (com o objetivo de estimar com maior precisão o efeito de ambiente permanente de animal), sendo excluídos registros cujo GC tivessem menos de cinco animais ou que não apresentavam variabilidade para a característica.

Tabela 2. Efeitos fixos e covariáveis incluídos nos modelos utilizados na correção do fenótipo das variáveis dependentes analisadas: comportamento de proteção materna uni-característico (CPMat Unic) e bi-característico (CPMat Bic), peso ao nascer (PN), ganho médio diário (GMD), peso ao desmame ajustado aos 210 dias (P210), conformação (C), precocidade de acabamento (P) e musculatura (M) na desmama

Efeito	CPMat Unic	CPMat Bic	PN	GMD	PDajust	C	P	M
GC	X	X	X	X	X	X	X	X
SEX		X						
ECCV	X	X	X					
ID						X	X	X
IVP	X		X	X	X	X	X	X
IVP ²	X		X	X	X	X	X	X

GC= grupo de contemporâneos, SEX= sexo da progênie, ECCV= escore de condição corporal da vaca no parto, ID= idade à desmama do bezerro em dias (linear), IVP= idade da vaca ao parto em dias (linear), IVP²= idade da vaca ao parto em dias (quadrático).

Na Figura 2a são apresentadas as distribuições das vacas de acordo com o número de partos e na Figura 2b a distribuição das vacas para as pontuações para o CPMat dos dados utilizado na análise uni-característica.

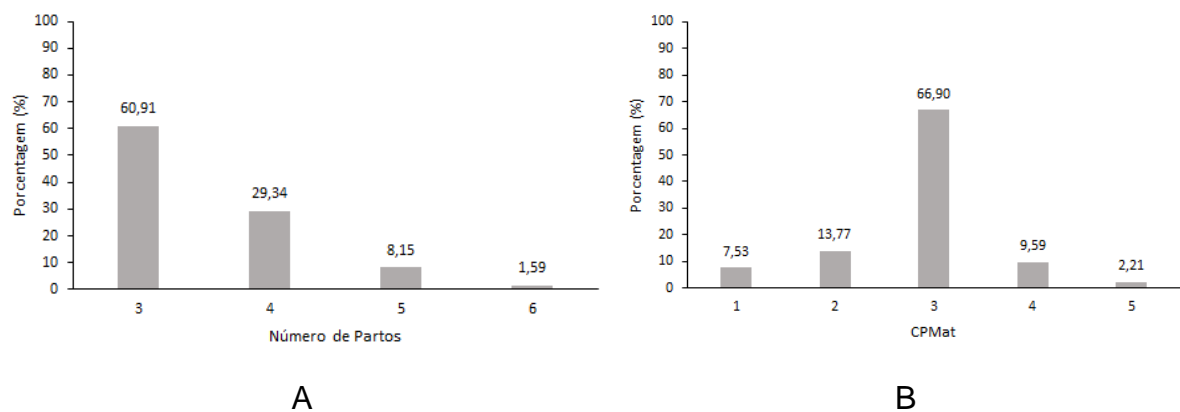


Figura 2. A) Porcentagens de vacas (n = 3.326) da raça Nelore avaliadas em função do número de partos no momento da avaliação do comportamento de proteção materna (CPMat) da análise uni-característica; B) Porcentagens de vacas da raça Nelore que receberam cada um dos escores do comportamento de proteção materna (CPMat) (n = 11.655), utilizados na análise uni-característica.

No arquivo do CPMat utilizado nas análises bi-características foi considerado um registro de fenótipo por animal, sendo o primeiro registro de cada vaca, tendo como limite máximo cinco anos de idade ao parto, sendo excluídos os GC com menos de cinco animais e sem variabilidade para a característica. Desta forma, na estrutura do banco de dados bi-característicos tínhamos uma linha por animal, com fenótipo registrado para CPMat caso o mesmo tivesse esta avaliação como vaca e o registro para o fenótipo de desempenho, quando o animal era bezerro(a). Na Figura 3 temos a distribuição das pontuações para CPMat de animais jovens. Como houve restrição de idade ao parto para o CPMat no arquivo de dados da análise bi-característica, este efeito deixou de influenciar no modelo. Além disso, houve a inclusão do sexo do bezerro como efeito fixo no modelo animal utilizado.

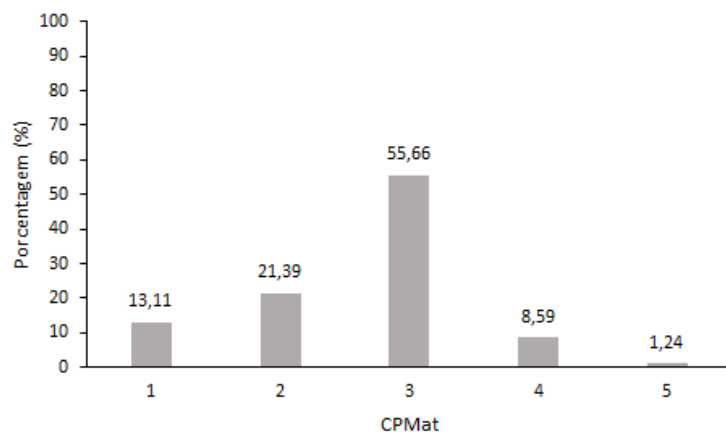


Figura 3. Porcentagens de vacas da raça Nelore que receberam cada um dos escores do comportamento de proteção materna (CPMat) (n = 8.785), utilizados na análise bicaracterística.

Para as características de desempenho e escores visuais mensurados nos bezerros na desmama, foram utilizados os mesmos bancos de dados nas análises uni e bi-características. Na fase de consistência dos dados foram mantidos apenas registros de bezerros cujas mães dispunham de dados fenotípicos de, no mínimo, duas crias (com o objetivo de melhor estimar a participação do efeito de ambiente permanente materno). Além disto, para as características de desempenho (PN, GMD e P210), registros excedendo 3 desvios padrão acima ou abaixo da média da

característica dentro do GC em que se encontravam e GC com menos de cinco animais foram excluídos. Já para C, P e M, além da necessidade de dispor de registro de pelo menos outro meio-irmão, também foram excluídos registros cujo GC tivessem menos de cinco animais ou que não apresentaram variabilidade para a característica.

A comparação de médias das características de desempenho e escores visuais, de acordo com o escore do CPMat, foram realizadas pelo teste post-hoc de *Tukey-Kramer* e os resultados foram considerados estatisticamente significativos quando $P < 0,05$. Na Figura 4 é apresentada a distribuição das notas referentes à C, P e M.

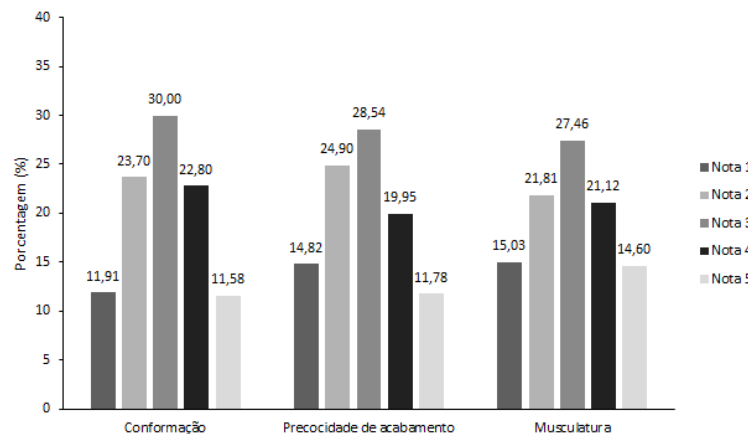


Figura 4. Porcentagens dos bezerros que receberam cada nota para os escores visuais de conformação, precocidade de acabamento e musculatura na desmama (n = 16.073).

O arquivo de pedigree continha 96.774 animais, sendo 481 touros e 31.318 vacas. Cerca 31.640 animais não tiveram pais conhecidos, mas todas as mães eram conhecidas. As estatísticas descritivas para o CPMat, características de desempenho e escores visuais de C, P e M na desmama são apresentadas na Tabela 3.

Após a consistência dos dados e a análise dos efeitos não genéticos significativos para o modelo de cada característica, os dados foram transformados em fenótipos corrigidos para os efeitos não genéticos significativos citados anteriormente, através de regressão linear, utilizando o pacote estatístico R (RStudio, PBC, Boston, MA). Assim, o fenótipo corrigido foi utilizado nas estimativas dos componentes de variância. Essa transformação foi necessária devido à falta de convergência, quando

os bancos de dados originais foram submetidos as análises quem envolviam características categóricas.

Tabela 3. Tamanhos das amostras (N), médias \pm desvios padrão (DP), moda, valores mínimos (Min) e máximos (Máx), coeficientes de variação (CV) e números de grupos de contemporâneos (GC) para cada característica analisada

Variáveis	N	Médias \pm DP	Moda	Min	Máx	CV	CG
CPMAT uni-característico	11.655	-	3	1	5	27,19	76
CPMAT bi-característico	8.785	-	3	1	5	32,66	69
PN (kg)	16.762	31,53 \pm 4,29	-	18	45	13,60	311
GMD (kg)	15.716	0,673 \pm 0,12	-	0,270	1,09	17,10	356
P210 (kg)	15.743	172,87 \pm 25,94	-	81,11	269,40	15,00	356
C	16.073	-	3	1	5	39,71	359
P	16.073	-	3	1	5	42,39	359
M	16.073	-	3	1	5	42,57	359

CPMat= comportamento de proteção materna, PN= peso ao nascer, GMD= ganho médio diário, P210= peso ao desmame ajustado aos 210 dias, C= conformação, P= precocidade de acabamento, M= musculatura.

Os componentes de (co)variâncias, parâmetros genéticos e erros padrão foram estimados usando o método de máxima verossimilhança restrita por informação média, através do software AIRELMF90 (Misztal et al., 2002; Misztal, 2008), considerando o critério de convergência de 10^{-10} . Todos os modelos não incluíram efeitos fixos para a etapa de estimação de parâmetros, uma vez que estes já tinham sido utilizados na correção do fenótipo.

Os efeitos genético aditivo direto, de ambiente permanente e residual foram incluídos como aleatórios no modelo do CPMat uni-característico. A apresentação matricial do modelo geral usado é:

$$y = Z_a a + Z_p p + e;$$

em que: y é o vetor de observações da característica; a é o vetor do efeito genético aditivo direto; p é o vetor do efeito de ambiente permanente de animal; e é o vetor de efeito residual. Z_a e Z_p são as respectivas matrizes de incidência relacionadas a a e p , respectivamente. Nas análises bi-características, no modelo utilizado para CPMat foram incluídos os mesmos efeitos anteriormente citados, exceto por não conter o

efeito de ambiente permanente de animal, já que os dados utilizados nesta análise possuíam apenas um registro de cada animal.

Para as características referentes aos fenótipos dos bezerros (PN, GMD, P210, C, P e M), foram incluídos os efeitos aleatórios genéticos aditivos direto e materno, de ambiente permanente materno e residual, tanto nos modelos de análises uni como nos bi-características.

$$y = Z_a a + Z_m m + Z_c c + e$$

em que: y é o vetor de observações de cada característica; a é o vetor do efeito genético aditivo direto; m é o vetor do efeito genético materno; c é o vetor de efeito de ambiente permanente materno; e é o vetor de efeito residual. Z_a, Z_m, Z_c , são as respectivas matrizes de incidência relacionadas a a, m e c .

3. Resultados e Discussão

Como indicado nas Figuras 2b e 3, grande parte das vacas do banco de dados uni (80,67%) e bi-característico (77,05%) permaneceu calma, sempre atenta e próxima ao bezerro, mas sem ameaçar o vaqueiro (notas 2 e 3 somadas). No entanto, a porcentagem de vacas, mesmo que inferior, que se mostraram agressivas, ameaçando ou atacando o vaqueiro (notas 4 e 5) trazem um grande inconveniente, pois geram risco de acidentes graves com os vaqueiros ou com os próprios bezerros. Esses resultados corroboram os achados do estudo realizado por Buddenberg et al. (1986), que avaliaram o comportamento de proteção materna de 329 vacas Hereford, 453 vacas Angus, 76 vacas Charolês e 31 vacas Red Poll, com aplicação de escores que variaram de 1 (mais agressiva) a 11 (menos atenciosa) e reportaram que a maioria das vacas demonstraram comportamentos calmos e atentos aos seus bezerros. Resultados semelhantes também foram reportados por Morris et al. (1994), quando avaliaram o CPMat de 765 vacas da raça Angus, Hereford e cruzamentos, porém, utilizando escores de 0 (indiferente ao manejo do bezerro) a 5 (agressiva) e por Vallée et al. (2015) que utilizaram dados de pontuações (1 = comportamento agressivo a 7 = comportamento dócil) oriundos de 6.649 vacas da raça Charolês.

A média para o PN obtida no presente estudo (Tabela 3) esteve próxima das médias descritas na literatura para bovinos da raça Nelore (Martínez-González et al., 2010; Boligon et al., 2011a; Lima et al., 2013; Araújo et al., 2014; Chud et al., 2014), assim como para P210 (Araújo et al., 2014; Chud et al., 2014; Lopes et al., 2017). Para o GMD, a média ($0,673 \pm 0,12\text{kg}$) foi inferior ao encontrado por Lopes et al. (2017) e Rezende et al. (2014), com médias de $0,760 \pm 0,13\text{kg}$, e $0,790 \pm 0,13\text{kg}$, respectivamente. Já para os escores de conformação, precocidade de acabamento e musculatura atribuídos na desmama, a média também se mostrou inferior à de outros estudos (Forni, et al., 2007; Boligon et al., 2011b; Koury Filho et al., 2010).

As médias das características de desempenho do bezerro, de acordo com a nota de CPMat mensurada em sua mãe no momento do manejo pós-parto indicam que quanto maior foi o peso ao nascer do bezerro, maior foi a proteção que recebeu de sua mãe (Tabela 4). Em estudo avaliando alguns fatores que influenciam no comportamento materno de cuidado e proteção de 34 vacas de corte puras ou mestiças da raça Gasconne, ao longo de cinco anos, Stěhulová et al. (2013) reportaram que quanto melhor a condição corporal das vacas no parto, maior foi a proteção que elas proporcionaram ao seus bezerros, justificando que vacas em boas condições corporais também devem investir mais na prole pois, a mesma quantidade de cuidados maternos impacta menos numa reprodução futura.

Em nosso estudo constatamos que a média do escore de condição corporal da vaca ao parto foi maior de acordo com o aumento da nota do CPMat (1= 2,57; 2 = 2,63; 3 = 2,70; 4 = 2,76 e 5 = 2,88). Portanto, bezerros que nasceram mais pesados possivelmente sofreram influência no crescimento pré-natal da boa condição corporal de suas mães e que, conseqüentemente, suas mães tiveram maiores recursos energéticos para proporcionar melhor proteção logo após o parto. No entanto, isso pode ser confundido por outro fator já conhecido (Burriss e Blunn, 1952; Anderson e Plum, 1965), ou seja, de que vacas com maior idade ao parto produzem bezerros mais pesados. No presente estudo, vacas que receberam maiores pontuações do CPMat, tiveram maior média de idade ao parto (1= 1.291,85 dias; 2 = 1.351,87 dias; 3 = 1.673,54 dias; 4 = 1.733,90 dias e 5 = 2.055,39 dias).

Tabela 4. Médias e respectivos desvios padrão para o peso ao nascer (PN), ganho médio diário (GMD) e peso de desmame ajustado aos 210 dias (P210) em bovinos Nelore, de acordo com as notas do CPMat de suas mães*

CPMat	PN	GMD	P210
1	29,93±3,89 ^c	0,640±0,113 ^c	164,48±25,30 ^c
2	30,64±4,12 ^b	0,647±0,107 ^c	166,59±23,92 ^c
3	31,81±4,30 ^a	0,683±0,116 ^a	175,19±26,06 ^a
4	32,09±4,26 ^a	0,670±0,112 ^b	172,75±25,23 ^b
5	32,16±4,35 ^a	0,677±0,121 ^{ab}	174,00±27,45 ^{ab}

*Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste *Tukey-Kramer* ($P < 0,05$).

Em geral, como pode ser observado na Tabela 4, as vacas com escores do CPMat intermediário (3), que se caracterizam por serem animais mais calmos e atentos aos seus bezerros, desmamam bezerros tão bons em termos de performance quanto as vacas extremamente agressivas (escore 5) ou indiferentes aos seus bezerros (escore 1).

3.1 Herdabilidade e repetibilidade para CPMat

A herdabilidade estimada em análise uni-característica para o CPMat ($0,08 \pm 0,02$; Tabela 5) é muito semelhante ao valor descrito na maioria dos estudos encontrados na literatura. Buddenberg et al. (1986) estimaram herdabilidade de $0,06 \pm 0,01$ e Morris et al. (1994) reportaram valor de herdabilidade de $0,09 \pm 0,03$. Em um estudo mais recente (Vallée et al., 2015) foi reportada herdabilidade de maior magnitude ($0,19 \pm 0,05$). Entretanto, nossos resultados diferem expressivamente do estudo de Hoppe et al. (2008), que obtiveram herdabilidade de $0,42 \pm 0,05$, utilizando escores de 1 a 5 (em escala crescente de agressividade) para o comportamento de proteção materna de 390 vacas da raça German Angus e Simental.

A baixa herdabilidade estimada no presente estudo indica que há pouca influência do efeito aditivo de genes na expressão do CPMat e que sua utilização como critério de seleção promoverá baixo ganho genético na resposta protetiva da vaca ao longo do tempo. Além disso, este resultado indica que há grande influência de fatores ambientais, deixando claro a importância de se adotar estratégias que visem promover

melhorias durante o manejo dos bezerros recém-nascidos. Este resultado corrobora o modelo dinâmico proposto por Costa et al. (2021).

Tabela 5. Médias e respectivos erros padrão para estimativas de variâncias dos fenótipos corrigidos, obtidos em análise uni-característica para o comportamento de proteção materna (CPMat), peso ao nascer (PN), ganho médio diário (GMD), peso de desmame ajustado aos 210 dias (P210), conformação (C), precocidade de acabamento (P) e musculatura (M) em bovinos Nelore

Parâmetros	Características						
	CPMat	PN	GMD	P210	C	P	M
σ^2a	0,04±0,01	9,29±1,15	0,005±0,00	256,98±31,25	0,22±0,04	0,38±0,06	0,27±0,05
σ^2m	-	1,45±0,40	0,004±0,00	194,98±23,56	0,17±0,04	0,15±0,04	0,23±0,05
σam	-	-	-	-	-	-	-
σ^2pe	0,07±0,01	-	-	-	-	-	-
σ^2pem	-	0,52±0,21	0,002±0,00	99,83±10,17	0,27±0,03	0,25±0,03	0,30±0,03
σ^2e	0,45±0,01	4,79±0,60	0,003±0,00	156,26±16,50	0,76±0,03	0,83±0,04	0,91±0,03
h^2a	0,08±0,02	0,58±0,05	0,36±0,03	0,36±0,03	0,16±0,03	0,24±0,03	0,16±0,03
h^2m	-	0,09±0,02	0,28±0,02	0,27±0,02	0,12±0,03	0,09±0,02	0,13±0,03
r	0,19±0,01	-	-	-	-	-	-
c^2	-	0,03±0,01	0,13±0,02	0,14±0,02	0,19±0,02	0,15±0,02	0,18±0,02

σ^2a = variância genética aditiva direta, σ^2m = variância genética materna, σ^2am = covariância entre efeito genético direto e materno, σ^2pe = variância de ambiente permanente, σ^2pem = variância de ambiente permanente materno, σ^2e = variância residual, h^2a = herdabilidade direta, h^2m = herdabilidade materna, r = repetibilidade e c^2 = proporção da variância de ambiente permanente materno.

Dentre os efeitos ambientais que podem estar envolvidos na expressão da resposta de proteção das vacas, o comportamento do bezerro durante a realização do manejo deve ser lembrado, uma vez que pode estimular a vaca a ser mais protetiva (Pérez-Torres et al., 2014; Costa et al., 2021). Além deste fator, o comportamento dos manejadores (Ceballos et al., 2018; Lensink et al., 2001) também pode interferir nas respostas das vacas, uma vez que os humanos podem ser considerados como predadores (Pérez-Torres et al., 2014; Costa et al., 2021). Além disso, há potencial

influência do processo de habituação das vacas ao manejo pós-parto e do descarte de mães extremamente agressivas no rebanho avaliado em nosso estudo, ao longo dos anos. Vale ressaltar que, os efeitos citados acima (reação do bezerro, comportamento do vaqueiro e habituação das vacas) não foram considerados em nosso estudo, devido à maior dificuldade de observação destes fatores no momento da avaliação CPMat, que foram realizados pelos funcionários de uma fazenda comercial, como foi em nosso estudo.

A repetibilidade estimada do CPMat ($0,19 \pm 0,01$) indica haver pouca semelhança na expressão do comportamento de proteção materna das vacas em partos consecutivos, evidenciando ainda mais a ocorrência de importantes efeitos ambientais temporários na sua determinação. Ainda, os efeitos genético aditivo direto e de ambiente permanente contribuíram de forma similar e baixa na expressão do fenótipo (Tabela 5), com valores iguais a 7,84% e 11,60%, respectivamente. Resultados de estudos anteriores reportam estimativas de repetibilidade para o CPMat variando de $0,09 \pm 0,02$ a $0,42 \pm 0,05$ (Buddenberg et al., 1986; Morris et al., 1994; Hoppe et al., 2008).

3.2 Parâmetros genéticos para as variáveis pré-desmama dos bezerros

A herdabilidade estimada para o PN ($0,58 \pm 0,05$) está dentro do intervalo encontrado em estudos prévios com raças zebuínas ou taurinas adaptadas aos trópicos, que variaram de $0,32 \pm 0,02$ a $0,61 \pm 0,018$, quando estimada por autores que utilizaram modelos uni-característicos (Lopes et al., 2013; Bunter e Johnston, 2014; Chud et al., 2014) e muito semelhante ($0,59 \pm 0,08$) ao estudo de Martínez-González et al. (2010). Os efeitos genéticos aditivos foram responsáveis por uma grande proporção da variação total da característica, apresentando possibilidade de alta resposta à seleção de curto a médio prazo. Portanto, o uso de touros com altos valores de diferenças esperadas na progênie para o peso ao nascer devem ser evitados, já que está intimamente ligado à ocorrência de partos distócitos (Zaborski et al., 2009), o que pode desencadear outras ocorrências, como mortalidade pré-desmama (Riley et al.,

2004), aumento no intervalo de partos e nos custos do sistema produtivo (Chud et al., 2014).

Para o P210, a herdabilidade estimada de $0,36 \pm 0,03$ é semelhante a diversos estudos realizados com animais da raça Nelore, por exemplo, Chud et al. (2014) e Araújo et al. (2014) que estimaram valores iguais a $0,37 \pm 0,02$ e $0,36 \pm 0,03$, respectivamente, utilizando o método de máxima verossimilhança restrita e próxima ao de Lopes et al. (2017), que utilizou inferência bayesiana e reportou herdabilidade igual a $0,32 \pm 0,002$. Porém, outros estudos (Martínez-González et al., 2010; Koury Filho et al., 2010; Laureano et al., 2011; Kluska et al., 2018) estimaram valores inferiores ao do presente trabalho ($0,22 \pm 0,01$ a $0,29 \pm 0,07$).

Em relação ao GMD, a herdabilidade estimada ($0,36 \pm 0,03$) é semelhante ao valor reportado por Rezende et al. (2014) de $0,31 \pm 0,05$, em estudo com animais Nelore no Pantanal e maior que o estimado por Laureano et al. (2011), que estudou o ganho de peso do nascimento à desmama expresso em quilos total no período, no qual a estimativa, sob análise unicaracterística, foi de $0,18 \pm 0,01$. A herdabilidade para GMD foi a mesma para o P210 em nosso estudo. Isto também foi observado por Lopes et al. (2017), que estimaram herdabilidade direta semelhante entre o peso na desmama ($0,319 \pm 0,002$) e ganho de peso do nascimento à desmama ($0,309 \pm 0,002$), revelando que os efeitos genéticos são de magnitude moderada para ambas as características.

As herdabilidades diretas para os escores visuais na desmama se mostraram de baixa magnitude (Tabela 5). Outros estudos encontraram resultados semelhantes para conformação (Koury Filho et al., 2010; Araújo et al., 2010), precocidade (Koury Filho et al., 2010; Boligon et al., 2019) e musculatura (Araújo et al., 2010; Boligon et al., 2019) em bovinos da raça Nelore, mostrando que respostas à seleção serão obtidas de forma mais lenta para estas características em comparação as de desempenho na desmama (GMD e P210). Estas estimativas foram superiores aos reportados por Forni et al. (2007), com valores de $0,12 \pm 0,01$; $0,15 \pm 0,01$ e $0,12 \pm 0,01$ para conformação, precocidade e musculatura na desmama, respectivamente, e inferiores aos descritos por Jorge Júnior et al. (2002) que estimaram herdabilidade direta de 0,33 para conformação, 0,39 para precocidade e 0,34 para musculatura.

De maneira substancial, a herdabilidade direta foi maior que a herdabilidade materna ($0,09 \pm 0,02$) para o PN, indicando pequena contribuição do potencial genético da mãe, resultado semelhante da herdabilidade materna foi estimado por Araújo et al. (2014), Chud et al. (2014) e Kamei et al. (2016). Ainda menor ($0,03 \pm 0,01$) foi a contribuição do ambiente permanente materno para expressão deste fenótipo no bezerro, que se mostrou próximo a nulidade, semelhante ao estudo de Chud et al. (2014) com valor estimado de $0,01 \pm 0,007$. Estes resultados indicam que a maior proporção de variação no PN é devido aos efeitos aditivos dos genes do próprio animal.

Herdabilidade materna, tanto para GMD ($0,27 \pm 0,02$) quanto para PDajust ($0,27 \pm 0,02$) está de acordo com o intervalo encontrado na literatura para a raça Nelore, que variaram entre $0,10 \pm 0,01$ a $0,29 \pm 0,004$ (Bologon et al., 2011a; Lopes et al., 2017) para GMD e $0,05 \pm 0,01$ a $0,29 \pm 0,004$ (Chud et al., 2014; Araújo et al., 2014; Carvalho et al., 2020) para PDajust. Diferente da estimativa de herdabilidade materna para PN, o potencial genético da mãe contribui de forma expressiva na determinação do desempenho (GMD e PDajust) da prole na desmama, podendo ser bem explorado na promoção de ganho genético para tais características.

As herdabilidades maternas estimadas para as características morfológicas ao desmame ($0,12 \pm 0,03$; $0,09 \pm 0,02$ e $0,13 \pm 0,03$, para C, P, e M, respectivamente) foram superiores aos valores reportados na literatura, porém de baixa magnitude. Bologon et al. (2019) reportaram a mesma estimativa de herdabilidade materna ($0,07 \pm 0,01$) para estes três escores visuais na desmama. Forni et al. (2010) também obtiveram médias estimadas para conformação ($0,043 \pm 0,010$), precocidade ($0,038 \pm 0,009$) e musculatura ($0,056 \pm 0,010$) inferior ao presente estudo. Isto implica em dizer que o efeito genético materno explorado de forma individual trará ganhos genéticos de forma mais lenta ao rebanho. As herdabilidades maternas se mostraram muito próximas das herdabilidades diretas na maioria das características mensuradas na desmama avaliadas no presente estudo (GMD, P210, C e M), exceto para precocidade ($0,09 \pm 0,02$). Com isso, estas características mostraram estar sobre semelhante influência do potencial genético aditivo direto e materno.

O ambiente permanente materno exerceu influência quase nula no PN. Para as demais características, as estimativas para este efeito se mostraram de baixa magnitude, porém, consideráveis, uma vez que tiveram, como no caso dos escores visuais na desmama, estimativas superiores aos efeitos genéticos aditivo direto e materno ($C = 0,19 \pm 0,02$ e $M = 0,18 \pm 0,02$) ou apenas superior ao efeito genético materno ($P = 0,15 \pm 0,02$).

A influência materna foi evidente na fase pós-natal (até o desmame) para o GMD, P210, C, P e M, em que a proporção dos efeitos maternos somados (genético materno e de ambiente permanente materno) em relação à variação fenotípica total, foram 42,86, 41,64, 30,99, 24,84 e 30,99%, respectivamente (Tabela 5), ou seja, os efeitos maternos contribuíram de forma igual e até superior ao efeito genético direto do animal. A considerável proporção de participação dos efeitos maternos pode ser atribuída ao fato de termos exigido ao nosso banco de dados apenas registro de animais com pelo menos outro meio-irmão, possibilitando melhor decomposição da influência materna em tais características. Tudo isso indica que é importante a inclusão do ambiente permanente materno no modelo para avaliação dessas características medidas do nascimento à desmama, mesmo quando o efeito genético materno está sendo considerado, o que também foi constatado por Lopes et al. (2013), uma vez que é a fase em que o animal sofre grandes influências maternas e a não inclusão de tais efeitos maternos pode estimar de forma errônea os demais efeitos incluídos no modelo.

3.3 Correlações genéticas entre CPMat e o desempenho pré-desmama

A correlação genética estimada entre CPMat e PN foi positiva e de baixa magnitude ($0,18 \pm 0,16$; Tabela 6), indicando associação entre os efeitos genético aditivo direto do CPMat e genético aditivo materno do PN. Portanto, a seleção de vacas menos protetoras poderá, em longo prazo, levar a diminuição do PN dos bezerros. Esse resultado concorda com o apresentado na Tabela 4, com médias maiores para o PN a medida em que são maiores os escores de proteção materna. No entanto, esta

estimativa da correlação genética difere do reportado por Buddenberg et al. (1986), que encontraram associação genética ($0,04 \pm 0,05$) quase nula entre o comportamento de proteção materna e peso ao nascimento.

Tabela 6. Médias e respectivos erros padrão para estimativas de variâncias dos fenótipos corrigidos, obtidos em análise bi-característica para o comportamento de proteção materna (CPMat), peso ao nascer (PN), ganho médio diário (GMD) e peso de desmame ajustado aos 210 dias (P210), conformação (C), precocidade (P) e musculatura (M) em bovinos Nelore

Parâmetros	Características					
	PN	GMD	P210	C	P	M
σ^2_a desempenho	9,30 \pm 1,16	0,005 \pm 0,00	256,84 \pm 31,15	0,22 \pm 0,04	0,38 \pm 0,06	0,27 \pm 0,05
σ^2_a CPMat	0,10 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02	0,09 \pm 0,02
σ^2_m desempenho	1,47 \pm 0,40	0,004 \pm 0,00	195,80 \pm 23,54	0,16 \pm 0,04	0,16 \pm 0,04	0,23 \pm 0,05
σ_{am} desempenho	-0,91 \pm 0,55	-0,003 \pm 0,00	-162,54 \pm 23,11	-0,04 \pm 0,04	-0,08 \pm 0,04	-0,10 \pm 0,05
σ_{aa} desempenho_CPMat	0,05 \pm 0,10	-0,005 \pm 0,00	-0,85 \pm 0,62	0,02 \pm 0,02	-0,36 \pm 0,03	-0,15 \pm 0,03
σ_{am} CPMat_desempenho	0,06 \pm 0,05	0,002 \pm 0,00	0,31 \pm 0,38	-0,01 \pm 0,02	0,008 \pm 0,17	0,15 \pm 0,17
σ^2_{pem} desempenho	0,50 \pm 0,21	0,002 \pm 0,00	100,40 \pm 10,16	0,27 \pm 0,03	0,25 \pm 0,03	0,31 \pm 0,03
σ^2_e desempenho	4,80 \pm 0,61	0,003 \pm 0,00	156,35 \pm 16,45	0,77 \pm 0,03	0,83 \pm 0,04	0,91 \pm 0,03
σ^2_e CPMat	0,64 \pm 0,02	0,64 \pm 0,02	0,64 \pm 0,02	0,64 \pm 0,02	0,64 \pm 0,02	0,64 \pm 0,18
h^2_a desempenho	0,58 \pm 0,05	0,36 \pm 0,03	0,36 \pm 0,03	0,16 \pm 0,03	0,24 \pm 0,03	0,16 \pm 0,03
h^2_a CPMat	0,13 \pm 0,02	0,13 \pm 0,02	0,13 \pm 0,02	0,13 \pm 0,02	0,13 \pm 0,02	0,13 \pm 0,02
h^2_m desempenho	0,09 \pm 0,02	0,28 \pm 0,02	0,28 \pm 0,03	0,12 \pm 0,03	0,10 \pm 0,02	0,14 \pm 0,03
c^2 desempenho	0,03 \pm 0,01	0,13 \pm 0,02	0,14 \pm 0,02	0,19 \pm 0,02	0,15 \pm 0,02	0,18 \pm 0,02
r_{aa} CPMat_desempenho	0,05 \pm 0,11	-0,23 \pm 0,13	-0,18 \pm 0,13	0,16 \pm 0,16	-0,19 \pm 0,14	-0,09 \pm 0,17
r_{am} CPMat_desempenho	0,18 \pm 0,16	0,08 \pm 0,09	0,07 \pm 0,09	-0,08 \pm 0,13	0,06 \pm 0,14	0,01 \pm 0,12

σ^2_a = variância genética aditiva direta, σ^2_m = variância genética aditiva materna, σ_{am} = covariância genética aditiva direta e genética aditiva materna, σ_{aa} = covariância genética aditiva direta e genética aditiva direta, σ^2_{pem} = variância de ambiente permanente materno, σ^2_e = variância residual, h^2_a = herdabilidade direta, h^2_m = herdabilidade materna, c^2 = proporção da variância de ambiente permanente materno, r_{aa} = correlação genética aditiva direta com genética aditiva direta e r_{am} = correlação genética aditiva direta e genética aditiva materna.

De maneira geral, as correlações genéticas obtidas entre as características de desempenho e escores visuais na desmama ($GMD= 0,08\pm 0,09$; $P210= 0,07\pm 0,09$; $C= -0,08\pm 0,13$; $P= 0,06\pm 0,14$ e $M= 0,01\pm 0,12$) com o CPMat se mostraram muito baixas ou próximas à zero. Esses resultados indicam que a seleção de vacas menos agressivas não irá gerar resultados negativos na performance de bezerros da raça Nelore. Hoppe et al. (2008) reportaram correlações fenotípicas de 0,05 e -0,02 entre um escore de proteção materna e o ganho médio diário e de 0,03 e -0,08 com o peso à desmama de bezerros, em vacas das raças German Angus e Simmental, respectivamente. Os resultados destes autores, com correlações fenotípicas próximas a zero, indicam não haver associação entre as características avaliadas. Além disso, os resultados reportados por esses autores mostraram não haver diferenças significativas no ganho médio diário (que variou de 1.053 a 1.064 gramas), nem no peso à desmama (que variou de 266,1 a 270,2 kg) em função do nível de proteção materna apresentado pelas vacas German Angus e Simmental. Os resultados reportados por Hoppe et al. (2008) foram corroborados por Turner et al. (2013), que relataram que o comportamento de proteção materna (rebanho com vacas mestiças Limousin, mestiças Aberdeen Angus e de vacas puras Charolês e Luing) não teve qualquer impacto no ganho médio diário dos bezerros (P variando entre 0,250 e 0,521).

As baixas correlações genéticas obtidas entre as características de desempenho e escores visuais na desmama com o CPMat (GMD , $P210$, C , P e M) podem ser explicadas por possível diminuição da proteção materna com o avançar dos dias após o parto, porém, não mensurado no presente estudo. Além disso, o ponto definitivo da desmama natural é desconhecido e pode ocorrer em qualquer momento, não necessariamente quando é determinado o manejo da fazenda para separar fisicamente vacas e bezerros, variando até dentro das espécies (Gonyou e Stookey 1987). Em estudo com animais de raças zebuínas (Gir, Brahman e mestiços) e avaliando o CPMat (escala de 1= indiferente a 5= agressiva), Pérez-Torres et al. (2014) constataram o aumento da porcentagem de vacas indiferentes ao procedimento com seus bezerros aos 30, 60, 90 e 120 dias pós-parto, com percentuais de 10, 10, 20 e 60% de indiferença (escore = 1), respectivamente. Essa diminuição gradual do comportamento de proteção materna durante o manejo, o qual difere de

cuidado materno (aspectos relacionados à amamentação, lambidas, tempo de contato com bezerro, etc..), pode ser um dos fatores aos quais explicam a ausência de correlação genética desse comportamento materno com o desempenho dos bezerros do nascimento à desmama. Além disso, existem vários outros efeitos que estão diretamente relacionados com a performance do bezerro nesta fase, relacionados à genética e ao ambiente em que o animal está inserido.

É importante ressaltar que, além da possibilidade da seleção direta de vacas menos agressivas no momento do manejo com seus bezerros, outras estratégias podem ser implementadas. Por exemplo, Ceballos et al. (2018) em estudo sobre níveis de treinamento dos trabalhadores em relação às boas práticas de manejo em bovinos, constatou que o treinamento leva a melhores atitudes e comportamentos dos vaqueiros em relação ao gado, bem como diminuição de comportamentos indesejáveis dos próprios animais. Com isso, houveram interações homem-animal de formas positivas em fazendas de gado de corte, melhorando a qualidade de vida dos animais e dos trabalhadores. Este fato também foi confirmado pelo estudo de Costa et al. (2021), que através da metodologia de dinâmica de sistemas caracterizou as relações de causa-efeito entre os comportamentos de vacas, bezerros e vaqueiros no momento do manejo pós-parto do bezerro e sugeriu três estratégias para reduzir os riscos de acidentes de trabalho e o promover o bem-estar geral, sendo eles, o treinamento dos trabalhadores para o uso de boas práticas de manejo do gado, o abate de vacas agressivas (seleção direta) e a melhoria de instalações de manejo dos animais.

4. Conclusões

A seleção direta baseada no CPMat pode promover ganhos genéticos a longo prazo, resultando apenas na diminuição do peso ao nascer das progênes. Com isso, é possível melhorar o bem-estar animal e humano, selecionando vacas mais calmas, sem prejudicar as demais características de desempenho na desmama de sua prole. Ainda, o uso de estratégias alternativas, relacionadas a melhoria de condições

ambientais devem ser levadas em consideração para promoção do bem-estar de animais e trabalhadores nos procedimentos de manejo pós-parto.

5. Referências

Anderson H, Plum M (1965) Gestation length and birth weight in cattle and buffaloes: A review. **Journal of Dairy Science** 48: 1224-1235.

Araújo RO, Rorato PRN, Weber T, Magda D, Lopes JS, Dornelles MA (2010) Genetic parameters and phenotypic and genetic trends for weight at weaning and visual scores during this phase estimated for Angus-Nellore crossbred young bulls. **Revista Brasileira de Zootecnia** 39: 2398-2408.

Araújo CV, Lôbo RB, Figueiredo LGG, Mousquer CJ, Laureano MMM, Bittencourt TCBSC, Araújo SI (2014) Estimates of genetic parameters of growth traits of Nellore cattle in the Midwest region of Brazil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** 15: 846-853.

Boligon AA, Baldi F, Albuquerque LG (2011a) Genetic parameters and relationships between growth traits and scrotal circumference measured at different ages in Nellore cattle. **Genetics and Molecular Biology** 34: 225-230.

Boligon AA, Mercadante MEZ, Albuquerque LG (2011b) Genetic associations of conformation, finishing precocity and muscling visual scores with mature weight in Nelore cattle. **Livestock Science** 135: 238-243.

Boligon AA, Vicente IS, Roso VM, Souza FRP (2019) Direct and maternal annual genetic changes for selected traits at weaning and yearling in beef cattle. **Acta Scientiarum** 41: e42572.

Buddenberg BJ, Brown CJ, Johnson, ZB, Honea RS (1986) Maternal behavior of beef cows at parturition. **Journal of Animal Science** 62: 42-46.

Bunter KL, Johnston DJ (2014) Genetic parameters for calf mortality and correlated cow and calf traits in tropically adapted beef breeds managed in extensive Australian production systems. **Animal Production Science** 54: 50-59.

Burriss MJ, Blunn CT (1952) Some Factors Affecting Gestation Length and Birth Weight of Beef Cattle. **Journal of Animal Science** 11: 34-41.

Cafe LM, Robinson DL, Ferguson DM, McIntyre BL, Geesink GH, Greenwood PL (2011) Cattle temperament: Persistence of assessments and associations with productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. **Journal of Animal Science** 89: 1452-1465.

Carvalho FE, Espigolan R, Berton MP, Neto JBS, Silva RP, Grigoletto L, Silva RMO, Ferraz JBS, Eler JP, Aguilar I, Lôbo RB, Baldi F (2020) Genome-wide association study and predictive ability for growth traits in Nelore cattle. **Livestock Science** 231: 103861.

Ceballos MC, Sant'Anna AC, Boivin X, Costa FO, Carvalhal MVL, Paranhos da Costa MJR (2018) Impact of good practices of handling training on beef cattle welfare and stockpeople attitudes and behaviors. **Livestock Science** 216: 24-31.

Chud TCS, Caetano SL, Buzanskas ME, Grossi DA, Guidolin DGF, Nascimento GB, Rosa JO, Lôbo RB, Munari DP (2014) Genetic analysis for gestation length, birth weight, weaning weight, and accumulated productivity in Nelore beef cattle. **Livestock Science** 170: 16-21.

Costa FO (2017) **Avaliação do comportamento de proteção materna de vacas Nelore e Hereford e seus potenciais efeitos no ganho de peso dos bezerros**. 95 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Unesp, Jaboticabal.

Costa FO, Valente TS, Toledo LM, Ambrósio LA, Del Campo M, Paranhos da Costa MJR (2021) A conceptual model of the human-animal relationships dynamics during newborn handling on cow-calf operation farms. **Livestock Science** 246: 104462.

Flörcke C, Engle TE, Grandin T, Deesing MJ (2012) Individual differences in calf defence patterns in Red Angus beef cows. **Applied Animal Behaviour Science** 139: 203-208.

Forni S, Federici JF, Albuquerque LG (2007) Tendências genéticas para escores visuais de conformação, precocidade e musculatura à desmama de bovinos Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia** 36: 572-577.

Gonyou HW, Stookey JM (1987) Maternal and neonatal behavior. **Veterinary Clinics of North American: Food Animal Practice** 3: 231-249.

Grandinson K (2005) Genetic background of maternal behaviour and its relation to offspring survival. **Livestock Production Science** 93: 43-50.

Hoppe S, Brandt HR, Erhardt G, Gauly M (2008) Maternal protective behaviour of German Angus and Simmental beef cattle after parturition and its relation to production traits. **Applied Animal Behaviour Science** 114: 297-306.

Jorge Júnior J, Pita FVC, Fries L, Albuquerque LG (2001) Influência de alguns fatores de ambiente sobre os escores de conformação, precocidade e musculatura à desmama em um rebanho da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia** 30: 1697-1703.

Jorge Júnior J (2002) **Efeitos genéticos e de ambiente sobre os escores visuais de conformação, precocidade e musculatura, no período pré-desmama, em bovinos da raça Nelore**. 76f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Unesp, Jaboticabal.

Kamei LM, Ribeiro ELA, Fonseca NAN, Muniz CASD, Camiloti TV, Koritiaki NA, Fortaleza APS (2016) Genetic parameters of growth traits in Nelore cattle. **Semina: Ciências Agrárias** 38: 1503-1510.

Kluska S, Oliveira BF, Bonamy M, Chiaia HLJ, Feitosa FLB, Berton MP, Peripolli E, Lemos MVA, Tonussi RL, Lôbo RB, Magnabosco CU, Di Croce F, Osterstock J, Pereira ASC, Munari DP, Bezerra LA, Lopes FB, Baldi F (2018) Estimates of genetic parameters for growth, reproductive, and carcass traits in Nelore cattle using the single step genomic BLUP procedure. **Livestock Science** 216: 203-209.

Koury Filho W, Albuquerque LG, Forni S, Silva JAV, Yokoo MJ, Alencar MM (2010) Estimativas de parâmetros genéticos para os escores visuais e suas associações com peso corporal em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia** 39: 1015-1022.

Laureano MMM, Boligon AA, Costa RB, Forni S, Severo JLP, Albuquerque LG (2011) Estimates of heritability and genetic trends for growth and reproduction traits in Nelore cattle. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 63: 143-152.

Lensink BJ, Fernandez X, Cozzi G, Florand L, Veissier I (2001) The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. **Journal of Animal Science** 79: 642-652.

Lima PRM, Paiva SR, Cobuci JA, Braccini Neto J, Machado CHC, McManus C (2013) Genetic parameters for type classification of Nelore cattle on central performance tests at pasture in Brazil. **Tropical Animal Health and Production** 45:1627–1634.

Lopes FB, Magnabosco CU, Paulini F, Silva MC da, Miyagi ES, Lôbo RB (2013) Genetic Analysis of Growth Traits in Polled Nelore Cattle Raised on Pasture in Tropical Region Using Bayesian Approaches. **PloS One** 8: e75423.

Lopes FB, Ferreira JL, Lobo RB, Rosa GJM (2017) Bayesian analyses of genetic parameters for growth traits in Nelore cattle raised on pasture. **Genetics and Molecular Research** 16: 1-10.

Machado, R.; Corrêa, R.F.; Barbosa RT, Bergamaschi MACM (2008) **Escore da condição corporal e sua aplicação no manejo reprodutivo de ruminantes**. São Carlos: EMBRAPA, 16p. (Circular Técnica, 57).

Martínez-González JC, García-Esquível FJ, Parra-Bracamonte GM, Castillo-Juárez H (2010) Genetic parameters for growth traits in Mexican Nelore cattle. **Tropical Animal Health and Production** 42: 887-892.

Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH (2002) BLUPF90 and related programs (BGF90). In: **Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production** 28: 21-22.

Misztal I (2008) Reliable computing in estimation of variance components. **Journal of Animal Breeding and Genetics** 125: 363-370.

Morris CA, Cullen NG, Kilgour R, Bremner KJ (1994) Some genetic factors affecting temperament in *Bos taurus* cattle. **New Zealand Journal of Agricultural Research** 37: 167-175.

Nowak R, Porter RH, Lévy F, Orgeur P, Schaal B (2000) Role of mother-offspring interactions in the survival of offspring in domestic mammals. **Reviews of Reproduction** 5: 153-163

Pérez-Torres L, Orihuela A, Corro M, Rubio I, Cohen A, Galina CS (2014) Maternal protective behavior of zebu type cattle (*Bos indicus*) and its association with temperament. **Journal of Animal Science** 92: 4694-4700.

Rezende MPG, Silveira MV, Silva RM, Silva LOC, Gondo A, Ramires GG, Souza JS (2014) Ganho de peso pré e pós desmame em bovinos da raça Nelore criados no pantanal sul mato Grossense. **Ciência Animal** 24: 20-27.

Riley DG, Chase CC, Olson TA, Coleman SW, Hammond AC (2004) Genetic and nongenetic influences on vigor at birth and preweaning mortality of purebred and high percentage Brahman calves. **Journal of Animal Science** 82: 1581-1588.

Sandelin BA, Brown AH, Johnson ZB, Hornsby JA, Baublits RT (2005) Postpartum maternal behavior score in six breed groups of beef cattle over twenty-five years. **AAES Research Series** 21: 13-16.

Silveira DD, Tineo JSA, Schmidt PI, Campos GS, Souza FRP, Roso VM, Boligon AA (2021) Hair coat score in Angus cattle: Comparison of linear and threshold models, genetic gain and correlations with growth, morphological and reproductive traits. **Livestock Science** 249:104512.

Stěhulová I, Špínka M, Šárová R, Máchová L, Kněz R, Firla P (2013) Maternal behaviour in beef cows is individually consistent and sensitive to cow body condition, calf sex and weight. **Applied Animal Behaviour Science** 144: 89-97.

Turner SP, Jack MC, Lawrence AB (2013) Precalving temperament and maternal defensiveness are independent traits but precalving fear may impact calf growth. **Journal of Animal Science** 91: 4417-4425.

Vallée A, Breider I, van Arendonk JAM, Bovenhuis H (2015) Genetic parameters for large-scale behavior traits and type traits in Charolais beef cows. **Journal of Animal Science** 93: 4277-4284.

von Keyserlingk MAG, Weary DM (2007) Maternal behavior in cattle. **Hormones and Behavior**, 52(1): 106-113.

Zaborski D, Grzesiak W, Szatkowska I, Dybus A, Muszynska M, Jedrzejczak M (2009) Factors affecting dystocia in cattle. **Reproduction in Domestic Animals** 44: 540-551.

CAPÍTULO 3 - Aspectos genômicos para o comportamento de proteção materna de vacas Nelore primíparas

RESUMO – O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar possíveis regiões genômicas, potenciais genes candidatos e seus mecanismos biológicos associados ao comportamento de proteção materna (CPMat). A pesquisa foi desenvolvida com dados de uma fazenda comercial localizada no estado do Mato Grosso, Brasil. O CPMat em relação ao bezerro recém-nascido foi avaliado no centro de manejo da maternidade, através da atribuição de escore com notas variando de 1 (vaca indiferente ao vaqueiro e ao bezerro) a 5 (vaca ataca o vaqueiro). O estudo de associação genômica ampla (GWAS) foi realizado usando um procedimento de etapa única (ssGBLUP), combinando simultaneamente todos os 1.417 fenótipos de vacas primíparas (genotipadas e não genotipadas) com o genótipo de 2.792 animais disponíveis. Os animais foram genotipados com um painel de alta densidade que contém 777.962 marcadores do tipo SNP. Após o controle de qualidade, foram mantidos 475.135 SNPs. A herdabilidade estimada para o CPMat foi de $0,20 \pm 0,14$. SNPs consecutivos explicando 0,5% ou mais da variância genética aditiva total foram considerados como janelas associadas ao CPMat. Quarenta e uma regiões candidatas localizadas em 22 diferentes cromossomos *Bos taurus* (BTA) foram associadas ao CPMat. Foram encontrados 96 genes candidatos. Entre esses, os genes *AHI1*, *FBXL20*, *NEUROD2* e *THRA*, que estão relacionados ao desenvolvimento neurológico, receptor de hormônios tireoidianos, ansiedade, depressão e medo. Os resultados do presente estudo confirmam que o CPMat é passível de seleção e pode contribuir para melhor compreensão do controle genético na expressão do comportamento de proteção materna em bovinos Nelore.

Palavras-chave: bovinos de corte, comportamento, gene, medo

1. Introdução

As características de desempenho materno são de grande importância econômica para a produção sustentável de carne bovina em todo o mundo (Michenet et al., 2016a). Em sistemas extensivos de criação, o comportamento de proteção materna é de particular importância para bovinos de corte (Grandinson, 2005), uma vez que está diretamente relacionado às reações de proteção da prole frente à potenciais predadores (Le Neindre et al., 2002). Vacas mais protetoras são importantes no sistema de cria pois têm a capacidade de aumentar a taxa sobrevivência e o desempenho de seus bezerros até a desmama, período mais

vulnerável e de dependência das habilidades maternas (Lubin et al., 2003; Sandelin et al., 2005; Hoppe et al., 2008).

Entretanto, deve-se levar em consideração que durante o manejo dos animais, reações mais extremas de proteção materna podem aumentar o risco de acidentes de trabalho (Buddenberg et al., 1986; Turner et al., 2013), impactando negativamente o bem-estar humano e animal, além de prejudicar a eficiência na realização dos trabalhos (Costa et al., 2021), já que uma mãe extremamente protetora pode causar ferimentos em seu próprio bezerro e nas pessoas responsáveis em realizar o manejo do recém-nascido (Buddenberg et al., 1986; Turner et al., 2013). Com isso, vários pesquisadores têm dedicado atenção a este tema, desenvolvendo estudos com foco na observação do comportamento de proteção materna (Sandelin et al., 2005; Flörcke et al., 2012; Haskell, et al., 2014; Pérez-Torres et al., 2014; Orihuela et al., 2020).

Da mesma forma que o observado em diversas características comportamentais (Friedrich, et al., 2016), há evidências que a expressão do comportamento de proteção materna dependa da ação combinada de fatores genéticos e ambientais (Morris et al., 1994; Hoppe et al., 2008; Vallée et al., 2015; Haskell, et al., 2014). Porém, ainda é necessário realizar mais estudos com o propósito de entender a variabilidade individual na expressão desta característica e avaliar a possibilidade de sua inclusão como um dos critérios de seleção em bovinos de corte. Além disso, os resultados obtidos com esses estudos têm potencial para contribuir com o desenvolvimento de estratégias de manejo que facilitem a realização dos trabalhos nas fazendas de cria, sem prejudicar o bem-estar dos humanos e animais envolvidos no processo (Costa et al., 2021).

Estudos de associação genômica (GWAS) permitem investigar a arquitetura genética de características complexas, como o comportamento de proteção materna, através da identificação de polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs), revelando regiões do genoma ou genes que possam estar modulando a expressão da característica (Xia et al., 2016; Grigoletto et al., 2019). Além disso, genes candidatos identificados podem impactar não apenas em uma pesquisa primária, mas também, na aplicação de outras ferramentas genômicas, como por exemplo, a seleção genômica, permitindo identificar animais indesejáveis logo no início da vida (Paredes-

Sánchez et al., 2020). No entanto, vale ressaltar que as avaliações fenotípicas são extremamente importantes, principalmente para permitir o refinamento dos efeitos dos SNPs na seleção genômica e dados da população de referência.

Vários são os estudos que buscaram elucidar a base genética de características comportamentais em bovinos através da análise de associações genômicas (Valente et al., 2016; dos Santos et al., 2017; Hazard et al., 2018; Paredes-Sánchez et al., 2020). Porém, poucos focaram no comportamento de proteção materna (Vallé et al., 2015; Michenet et al., 2016b). Assim, ainda há uma série de lacunas a serem preenchidas em relação à base genética da expressão do comportamento de proteção materna, em particular em vacas da raça Nelore, ainda não estudada.

Portanto, os objetivos no presente estudos foram (1) estimar componentes de variância e parâmetros genéticos para o comportamento de proteção materna através de estudo de associação genômica em vacas primíparas da raça Nelore, (2) identificar regiões do genoma e os processos biológicos e vias metabólicas associadas a expressão do comportamento de proteção materna em vacas primíparas da raça Nelore.

2. Material e Métodos

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal - Brasil (Certificado nº 4865/20).

2.1 Animais e manejo

O presente estudo foi conduzido com dados coletados em um rebanho de bovinos da raça Nelore pertencente à Fazenda São Marcelo, localizada no município

de Juruena, estado do Mato Grosso, Brasil. A fazenda integra o programa de melhoramento genético de rebanhos da raça Nelore coordenado pela Cia de melhoramento (CIA de Melhoramento®).

As coletas de dados foram realizadas durante as estações de nascimento, que ocorreram entre os meses de junho e outubro de cada ano, conforme descrito detalhadamente por Costa et al. (2021). Resumidamente, durante a estação de nascimento, vacas e bezerros recém-nascidos foram conduzidos do pasto para uma das áreas de manejo das maternidades (AMM). As AMMs se caracterizam por terem áreas entre 1.500 a 2.500 m², sendo cercadas com arame liso e geralmente dividida em duas partes, com uma instalação que oferece mais segurança para os trabalhadores (zona protegida, ZP) posicionada no meio de cada AMM. A ZP é uma área cercada com tábuas, com aproximadamente 9 m² (~3 × 3 m), sendo utilizada para realizar os procedimentos de manejo dos recém-nascidos, evitando o contato físico das vacas com seus bezerros e os tratadores e, conseqüentemente, acidentes de trabalho.

Durante a estação de nascimento, a rotina diária de manejo começa cedo e os bezerros são conduzidos do pasto para a AMM entre 12 e 48 horas após o nascimento, quando estão completamente secos, sem membranas fetais sobre o corpo e capazes de andar, seguindo suas mães até o local de manejo. Após a chegada ao AMM, os bezerros são separados por sexo e, em seguida, manejados individualmente dentro da ZP para a assepsia do umbigo, tatuagem na orelha e pesagem.

O comportamento de proteção materna (CPMat) de 1.417 vacas primíparas foi avaliado por funcionários da própria fazenda, devidamente treinados (coeficiente kappa de confiabilidade inter-observador = 0.95), observando a intensidade de proteção da mãe em relação à aproximação e condução de seu bezerro durante a intervenção humana dentro da AMM. O CPMat foi avaliado por observação direta, com registros contínuos e método de amostragem focal (Martin e Bateson, 2007).

O comportamento de proteção de cada vaca foi avaliado atribuindo-se notas que variaram de 1 (correspondente a uma primípara que não deu atenção ao seu filhote) a 5 (correspondente a uma primípara agressiva que tenta atacar o tratador

para proteger seu filhote). As pontuações de 2 a 4 descrevem respostas comportamentais intermediárias (Tabela 1). Após o término do procedimento, cada bezerro foi conduzido para junto de sua mãe e, ao final da jornada de trabalho, vacas e bezerros são levados a um novo pasto, com livre acesso a suplemento mineral e água.

Tabela 1. Descrição das notas do escore usado na avaliação do comportamento de proteção materna (CPMat).

Notas do CPMat	Descrição
1	A vaca fica indiferente ao manejo com o bezerro, podendo permanecer parada sem atenção ou distanciar-se do bezerro quando o vaqueiro se aproxima.
2	A vaca permanece distante, porém atenta ao manejo com o bezerro, podendo ficar parada ou, ocasionalmente, dar alguns passos em direção ao bezerro.
3	A vaca permanece calma, atenta e próxima ao bezerro. Não ameaça o vaqueiro durante a condução do bezerro até o local do manejo.
4	A vaca oferece alguma resistência, como deslocamento contínuo, movimentação da cabeça e da cauda, vocaliza e/ou bufa algumas vezes na tentativa de se manter próxima ao bezerro. Ameaça o vaqueiro, mas não o ataca.
5	A vaca fica muito agitada, podendo correr de um lado para o outro do centro de manejo, apresenta movimentação vigorosa da cabeça e da cauda, vocaliza e/ou bufa. Ataca o vaqueiro.

(Costa, 2017)

2.2 Dados genômicos e controle de qualidade

O DNA foi extraído de amostras de pelos de 2.792 animais, incluindo vacas com ou sem fenótipo para o CPMat. A genotipagem foi realizada usando o painel de marcadores do tipo SNP de alta densidade (BovineHD BeadChip – Illumina, Illumina®, Inc., San Diego, CA, EUA) que contém 777.922 polimorfismos de nucleotídeo único (SNPs). Os marcadores SNPs mapeados para os cromossomos sexuais, com posição genômica desconhecida, com taxa de chamada inferior a 90%, monomórficos e com frequência alélica menor (MAF) inferior a 5% foram excluídos. Após o controle de qualidade genômica, realizado com o software PREGSF90 (Misztal et al., 2002), um

total de 475.135 marcadores SNPs distribuídos em 29 cromossomos autossomos ficaram disponíveis para a estimativa de herdabilidade e análise de associação genômica.

2.3 Análises estatísticas

A análise genômica ponderada de melhor predição linear imparcial (WssGBLUP) foi realizada usando programas da família BLUPF90 projetados para análises genômicas, revisados recentemente por Lourenco et al. (2020). Os componentes de variância foram estimados com inferência bayesiana via amostragem de Gibbs, ajustando um modelo animal de limiar, com o uso do software THRGIBBS1F90 (Tsuruta e Misztal, 2006). Foram geradas cadeias de Gibbs de 1.000.000 iterações, com um período de burn-in 30.000 voltas e amostras retiradas a cada 50 iterações. As estimativas a posteriori foram obtidas utilizando o software POSTGIBBSF90, com avaliação da convergência dos dados realizada visualmente e por meio do teste de Geweke (Geweke, 1992).

No modelo animal utilizado foram incluídos os efeitos genético aditivos direto e residual como aleatórios, além dos efeitos fixos de grupo de contemporâneos (ano, mês e retiro de parto) e efeito linear das covariáveis score de condição corporal, idade da vaca ao primeiro parto (em dias) e peso de nascimento do bezerro em quilos (kg). O grupo de contemporâneos contendo menos de cinco animais e sem variabilidade foram excluídos das análises. O modelo de limiar utilizado pode ser representado da seguinte forma:

$$y = X\beta + Za + e$$

em que: y é o vetor de observações do comportamento de proteção materna (característica de limiar com cinco scores), β é um vetor de parâmetros de localização de efeitos sistemáticos, assumindo uma distribuição *a priori* uniforme; a é o vetor de efeito genético aditivo direto, e é o vetor de efeito residual. Foi assumido que $a \sim N(0, H\sigma_a^2)$, e $e \sim N(0, I\sigma_e^2)$, em que σ_a^2 e σ_e^2 são as variâncias genética aditiva direta e residual, respectivamente. H é a matriz de parentesco que combina as informações de

pedigree (matriz A) e dos SNPs (matriz G), e I é uma matriz identidade. A matriz inversa de H foi obtida de acordo com Aguilar et al. (2010), como descrito a seguir:

$$H^{-1} = A^{-1} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & G^{-1} - A_{22}^{-1} \end{bmatrix}$$

em que: A_{22}^{-1} é a matriz inversa de A que inclui apenas animais genotipados; e G^{-1} é a matriz inversa da matriz de parentesco genômico. A matriz G foi obtida usando o software PREGSF90, de acordo com VanRaden (2008):

$$G = \frac{ZDZ'}{\sum_{i=1}^M 2p_i(1-p_i)}$$

em que: Z é a matriz de incidência dos genótipos (0, 1 ou 2 para aa , Aa ou AA , respectivamente) ajustado para frequências alélicas; D é uma matriz diagonal de pesos para a variância dos SNPs (inicialmente $D = I$); M é o número de SNPs e p_i é a frequência alélica menor do i -th marcador SNP.

O programa WssGBLUP utiliza um processo iterativo, proposto por Wang et al. (2012), para calcular os efeitos e pesos dos marcadores SNP a partir dos valores genéticos genômicos estimados (GEBV) dos animais genotipados com a utilização do software POSTGSF90. Este processo iterativo foi repetido três vezes, como segue:

1) Na primeira iteração ($t = 0$) seja $D = I$ e construa a matriz G de acordo com VanRaden (2008): $G_{(t)} = ZD_{(t)}Z'\lambda$, onde λ é uma constante normalizada, como $\lambda =$

$\frac{\sigma_u^2}{\sigma_a^2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^M 2p_i(1-p_i)}$ e σ_u^2 é a variância genética aditiva capturada por cada marcador SNP;

2) Estimar GEBV para todos animais usando ssGBLUP;

3) Estimar o efeito dos marcadores SNP (\hat{u}) baseado no GEBV dos animais genotipados (\hat{a}), como a seguir: $\hat{u}_{(t)} = D_{(t)}Z'G_{(t)}^{-1}\hat{a}_{(t)}$;

4) Calcular o peso de cada marcador SNP: $d_{(i)} = \hat{u}_i^2 2p_i(1-p_i)$, onde i é o i -ésimo SNP;

5) Normalizar o peso do SNP para permanecer constante a variância genética total;

6) Usar o peso do SNP obtido para reconstruir a matriz G : ($G_{(t+1)}$); sair ou efetuar o Loop para a etapa 2. No presente estudo, apenas os efeitos dos marcadores SNP e pesos foram recalculados aplicando o processo iterativo das etapas 3 a 6.

A proporção da variância genética aditiva total explicada por 50 marcadores SNPs consecutivos no genoma foi calculada de acordo com Wang et al. (2012), como segue:

$$\frac{\text{var}(a_i)}{\sigma_a^2} \times 100\% = \frac{\text{var}(\sum_{j=1}^{50} Z_j \hat{u}_j)}{\sigma_a^2} \times 100\%,$$

em que: a_i é o valor genético da i -ésima região (janela SNP) de 50 marcadores adjacentes, σ_a^2 é a variância genética aditiva total, Z_j é o vetor do conteúdo de SNP do j -ésimo marcador SNP para todos os indivíduos e \hat{u}_j é o efeito marcador do j -ésimo SNP dentro da i -ésima região. Assim, os resultados da associação de todo o genoma foram apresentados como a porcentagem de variância genética aditiva direta explicada por janelas construídas com 50 SNPs consecutivos.

Os potenciais genes candidatos foram pesquisados usando as coordenadas genômicas baseadas na montagem do genoma bovino UMD-3.1, com o recurso Esembl Biomart. Apenas os genes encontrados dentro de cada janela SNP foram considerados. A anotação funcional foi realizada usando o banco de dados DAVID.

3. Resultados e Discussão

A maioria das vacas avaliadas permaneceu calma e atenta ao manejo e aos seus bezerros (notas 2 e 3; Figura 1), sem que houvesse ameaçado o manejador. Os critérios de convergência utilizados neste estudo, número de ciclos, período de burn-in e número de cadeias de Markov foram suficientes para a obtenção da convergência dos parâmetros estimados.

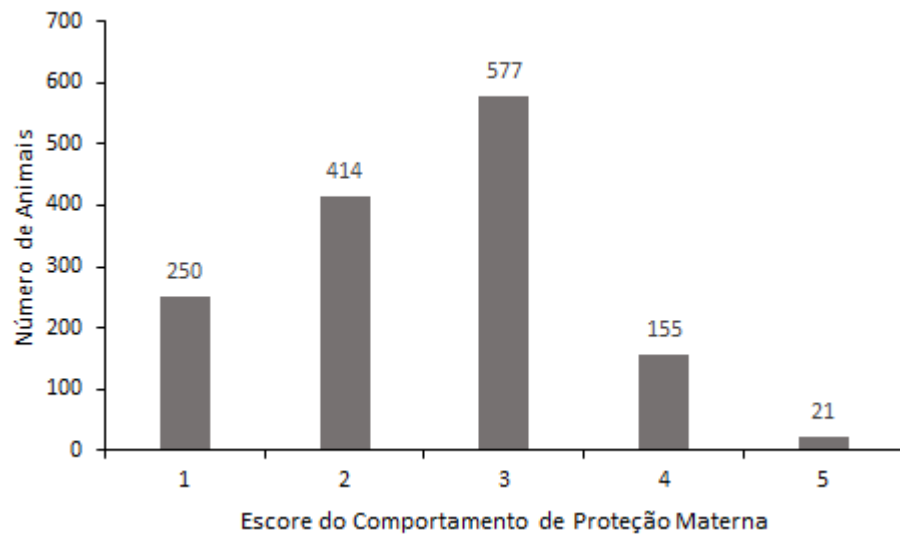


Figura 1. Distribuição do escore de comportamento de proteção materna para vacas Nelore primíparas (n = 1.417)

A média *a posteriori*, mediana dos componentes de variância e a estimativa da herdabilidade foram semelhantes, embora a moda para todos os parâmetros tenha sido menor que a média e a mediana, os dados tendem a uma distribuição simétrica (Tabela 2).

Tabela 2. Estatísticas de tendência central dos parâmetros estimados para o comportamento de proteção materna de vacas Nelore primíparas

Parâmetros	Média (SD)	Mediana	Moda	HPD 95%
σ^2a	0,09 (0,06)	0,07	0,05	0,0029 – 0,2077
σ^2e	0,37 (0,15)	0,34	0,30	0,1334 – 0,6687
h^2	0,20 (0,14)	0,17	0,12	0,0056 – 0,4810

σ^2a = variância genética aditiva direta, σ^2e = variância residual, h^2 = herdabilidade, SD= desvio padrão, HPD= intervalo de densidade de maior probabilidade.

A herdabilidade estimada ($0,20 \pm 0,14$; Tabela 2) para CPMat no presente estudo foi maior que as relatadas por Buddenberg et al. (1986) e Morris et al. (1994), com valores de $0,06 \pm 0,01$ e $0,09 \pm 0,03$, respectivamente, e menor em relação a estimativa de $0,42 \pm 0,05$ obtida por Hoppe et al. (2008). Cabe destacar que os estudos citados anteriormente foram realizados utilizando dados de vacas múltiparas. Em um

estudo com vacas da raça Charolês primíparas, Vallé et al. (2015) não observaram contribuição do efeito genético aditivo direto ($\sigma^2_a = 0$) na variação fenotípica do comportamento de proteção materna e, conseqüentemente, herdabilidade nula. A variabilidade genética aditiva direta obtida no presente estudo para CPMat mensurado em vacas primíparas indica a possibilidade de seleção e obtenção de ganho genético.

A variância genética aditiva explicada por cada região genômica contendo 50 SNPs é mostrado na Figura 2. Um total de 41 janelas SNP explicaram mais de 0,5% da variância genética aditiva para o CPMat em vacas Nelore primíparas (Tabela 3). Além disso, 17 regiões explicaram mais de 1% da variância genética.

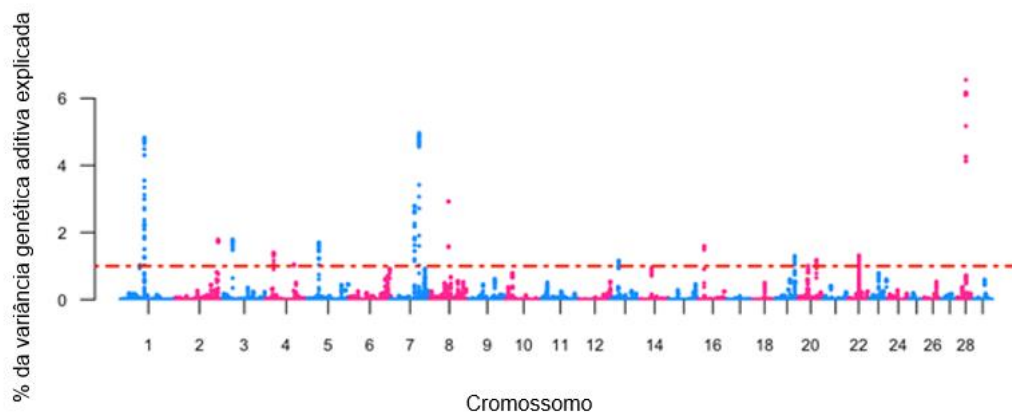


Figura 2. Gráfico de Manhattan da variância genética aditiva direta explicada por regiões de 50 SNPs adjacentes para o comportamento de proteção materna de vacas Nelore primíparas.

Usando o mapa do genoma do *Bos taurus* (BTA), 96 genes conhecidos foram encontrados dentro das regiões genômicas significativas (janelas de SNPs) identificadas em nosso estudo (Tabela 3). Dentre todos os genes identificados dentro das janelas de SNP, o *AHI1* (*Sítio 1 de integração do auxiliar de Abelson*) localizado no cromossomo 9 e *FBXL20* (*F-box e proteína de repetição rica em leucina 20*), *NeuroD2* (*Diferenciação neuronal 2*) e *THRA* (*Receptor alfa do hormônio tireoidiano*) localizados no cromossomo 19, são genes promissores por terem relação com características comportamentais.

O gene *AHI1* codifica uma proteína multidomínio, também conhecida como joubertina (Hsiao et al., 2009). Disfunções neste gene foram associadas a vários distúrbios neuropsiquiátricos e de desenvolvimento cerebral, como esquizofrenia (Amann-Zalcenstein et al., 2006), depressão (Ren et al., 2014), autismo (Retuerto et al., 2008) e síndrome de Joubert (Valente et al., 2006). Guo et al. (2018), identificaram que o gene *AHI1* facilita indiretamente a expressão da tirosina hidroxilase e biossíntese de dopamina em camundongos, o que contribuiu para a ocorrência da depressão nos animais que tiveram o gene silenciado, uma vez que tiveram a biossíntese de dopamina prejudicada. Estudos anteriores já relataram a relação da dopamina com a depressão (Dunlop e Nemeroff, 2007). Em um estudo com camundongos como modelo, Morrow et al. (1999) provocaram uma lesão no córtex pré-frontal medial através de uma neurotoxina catecolaminérgica específica (estruturalmente análoga à dopamina e à noradrenalina), reduzindo os níveis endógenos de dopamina nos camundongos lesionados e, como resultado, constataram o retardamento da extinção da resposta de estresse e de medo condicionado (sem afetar a aquisição do medo), ou seja, preservando o medo produzido por um estressor condicionado.

Sendo uma forma de aprendizagem associativa, o condicionamento do medo (CM) ocorre quando um estímulo condicionado neutro (CN; por exemplo, um som) é constantemente executado com um estímulo incondicional aversivo (IA; por exemplo, um choque). Com isso, após repetidas execuções do IA, logo após ao CN, surge a manifestação de uma resposta condicionada pelo indivíduo (RC; por exemplo, comportamento de congelamento) mediante execução do CN. A FC é aprendida rapidamente e, após uma sessão de condicionamento, é produzida uma mudança comportamental muito estável e duradoura, útil para estudos neurocomportamentais, genéticos e farmacológicos. (Shechner et al., 2014).

Tabela 3. Identificação de genes com base na porcentagem da variância genética aditiva direta explicada por regiões de 50 SNPs consecutivos para o comportamento de proteção materna de vacas Nelore primíparas.

Cromossomo	Posição (bp)	Gene ID	% variância explicada
1	54497977-54829760	<i>DPPA4</i>	1,03
1	67728915-67985731	<i>DIRC2, SEMA5B</i>	4,83
2	118328910-118512765	-	0,82
2	121778130-122002263	<i>SYNC, ZBTB8OS, RBBP4, ZBTB8A</i>	1,78
3	27070634-27232599	-	1,79
4	23816715-24276278	<i>AGMO, MEOX2</i>	1,40
4	82355139-82526869	<i>POU6F2</i>	1,04
4	88199649-88574142	<i>SLC13A1, IQUB</i>	0,50
5	33794533-33994843	-	1,70
6	103563389-103720337	<i>AFF1</i>	0,60
6	110897291-111025056	-	0,71
6	116961223-117175931	<i>LDB2</i>	0,92
7	69233370-69428413	-	2,79
7	82358483-82494652	<i>TENM2</i>	4,97
7	97127757-97361941	<i>FAM81B, TTC37, ARSK, RHOBTB3</i>	0,50
7	98932000-99150486	<i>LIX1, RIOK2</i>	0,92
8	54435508-54611923	<i>CEP78, PSAT1</i>	2,93
8	61006462-61264051	<i>RNF38, MELK</i>	0,67
8	81545238-81777036	-	0,56
8	97006008-97250223	<i>FKTN, FSD1L, TAL2, TMEM38B</i>	0,52
9	74480289-74918776	<i>AHI1</i>	0,62
10	19753156-20045932	<i>NEO1, HCN4</i>	0,79
11	16002317-16379043	<i>RASGRP3, FAM98A</i>	0,52
12	90172135-90505853	<i>TUBGCP3, ATP11A, MCF2L</i>	0,54
13	23206702-23587135	-	1,15
14	34416003-34628405	<i>C14H8orf34</i>	0,96
16	15697743-15986905	<i>BRINP3</i>	1,60
19	40271761-41036190	<i>GRB7, PLXDC1, CACNB1, ARL5C, FBXL20, STAC2, MED1, CDK12, NEUROD2, PPP1R1B, STARD3, TCAP, PNMT, PGAP3, ERBB2, MIEN1, IKZF3, ZBP2, DSDMB, ORMDL3, LRRC3C, GSDMA, CSF3, PSMD3, MED24, THRA</i>	0,60
19	53846843-54100506	<i>RBFOX3, ENGASE, C1QTNF1, CANT1, GALS3BP, TIMP2</i>	1,30
19	54593084-54829978	<i>TK1, AFMID, SYNGR2, TMC6, TNR6C, TMC8</i>	0,54
20	27089571-27479373	-	0,60

20	27538478-27799641	<i>ISL1</i>	0,53
20	28546796-28890282	-	1,01
20	52681298-53054891	-	1,17
22	31813573-32081139	-	1,31
23	27296029-27403791	<i>SLC44A4, NEU1, HSPA1A, HSPA1L, LSM2, VWA7, VARS, SAPCD1, MSH5, CLIC1, DDAH2, C23H6orf25</i>	0,79
23	49395881-49666503	<i>RPP40, CDYL</i>	0,60
26	35519422-35705433	<i>FAM160B1, TRUB1</i>	0,54
28	23644695-23892710	<i>LRRTM3, CTNNA3</i>	6,55
28	24115561-24330924	<i>CTNNA3</i>	0,72
29	31560853-31847589	-	0,59

Diante disso, reações comportamentais podem ser influenciadas por experiências prévias de interações intraespecíficas ou interespecíficas, incluindo interações com humanos, ressaltando a capacidade que os animais têm de aprender a evitar estímulos condicionados a situações aversivas (Hemsworth et al., 2002). Aprendizado semelhante é totalmente possível de ocorrer com vacas em situação de manejo pós-parto, que através de respostas de luta ou fuga (Margis et al., 2003) demonstram comportamentos agressivos ou de medo em direção aos humanos mediados por experiências prévias. Além disso, variações no gene *AHI1*, identificado no presente estudo, poderiam estar relacionadas a esta capacidade de manter por muito mais tempo o condicionamento ao medo e modular a resposta dos animais ao serem manejados por humanos.

A SCRAPPER é uma proteína do tipo ubiquitina ligase E3, codificada pelo gene *FBXL20*, enriquecida nos terminais pré-sinápticos do hipocampo, sendo um fator essencial para a liberação de vesículas sinápticas, regulando assim a liberação de neurotransmissores sinápticos via degradação de RIM1 (molécula 1 de interação da proteína da zona ativa Rab3) pelo processo de ubiquitinação (Yao et al., 2007; Betz et al., 2001). As sinapses são cruciais não apenas para mediar a neurotransmissão basal, mas também para garantir a maleabilidade em resposta a estímulos (relação celular de aprendizado e memória denominado plasticidade sináptica) (Dobie e Craig, 2007).

Yao et al. (2011) inibiram a expressão do gene *FBXL20* no cérebro de camundongos e descobriram que o potencial pós-sináptico excitatório de neurônios centrais foi significativamente aumentado, juntamente com a diminuição do condicionamento ao medo e de comportamentos semelhantes à ansiedade reduzida. Os autores sugeriram que o nível de proteína SCRAPPER e, talvez a degradação molecular mediada por SCRAPPER, desempenhem papéis importantes no condicionamento do medo e, portanto, na formação da memória do medo dependente do hipocampo.

Em um estudo mais recente, Pengfei et al. (2016) analisaram a expressão do gene *FBXL20* em humanos com epilepsia e em camundongos com epilepsia induzida. Os autores constaram que a expressão do *FBXL20* é menor nos indivíduos avaliados, sugerindo que a expressão diminuída desse gene reduz a ubiquitinação e degradação de RIM1, resultando no acúmulo de RIM1 fisiologicamente ativo. O RIM1 acumulado aumenta a frequência e a intensidade do potencial pós-sináptico excitatório, afetando a concentração pré-sináptica de cálcio, levando à remodelação sináptica e, em seguida, provocando a epilepsia.

O gene *NEUROD2* codifica um membro da família neuroD de proteínas neurogênicas hélice-alça-hélice (McCormick et al., 1996) e desempenha um papel crítico na diferenciação e sobrevivência neuronal (Lin et al., 2004). Camundongos deficientes para *NEUROD2* experimentam apoptose excessiva em células do sistema nervoso central que normalmente expressam *NEUROD2*, apresentando cérebros pequenos, ataxia, limiar convulsivo reduzido, falha de crescimento e morte precoce (Olson et al., 2001). Estudando o gene *NEUROD2* através de genótipos selvagens, heterozigotos e homozigotos, Lin et al. (2005) mostraram que se trata de um gene de ação haploinsuficiência e que é essencial para o desenvolvimento e a função da amígdala. Estes autores também relataram que os camundongos homozigotos morreram dentro de semanas após o nascimento e heterozigotos para *NEUROD2* mostram déficits profundos no aprendizado emocional, avaliado pelo condicionamento do medo. O medo não condicionado também foi diminuído em heterozigotos *NEUROD2* em comparação com os genótipos selvagens.

O gene *THRA* codifica o receptor alfa ($TR\alpha 1$) do domínio tireoidiano, o qual atua mediando as respostas do hormônio tireoidiano em mamíferos. Este gene é expresso na maioria dos tipos de célula e no cérebro em particular, tanto a glia quanto os neurônios são locais sensíveis ao hormônio tireoidiano (Bernal, 2005). Durante a fase de desenvolvimento, a falta do hormônio tireoidiano leva a deficiência mental grave e irreversível e, em adultos, o excesso ou falta resulta em problemas neurológicos e psiquiátricos (Joffe e Sokolov, 1994).

Guadaño-Ferraz et al. (2003) realizaram um estudo a fim de analisar possíveis alterações comportamentais e histológicas no cérebro de camundongos que tiveram o gene *THRA* silenciado. Estes autores constataram uma diminuição da inibição GABAérgica, sugerindo uma possível potencialização da força na qual as memórias de medo dependentes do hipocampo são armazenadas, ou seja, capacidade reduzida de armazenar memórias de experiências negativas. Em outro estudo mais recente, utilizando um modelo de camundongo transgênico específico para expressar o gene dominante negativo em neurônios pós-mitóticos, Richard et al. (2017) constataram resultados semelhantes, em que os camundongos transgênicos expressaram comportamentos relacionados ao aumento da ansiedade, o que novamente sugere que a sinalização alterada do hormônio da tireoide no cérebro afeta o comportamento adulto.

Divergindo dos genes obtidos no presente estudo, outros genes candidatos têm sido associados ao comportamento de proteção materna como resultado de estudos de GWAS. Michenet et al. (2016b) identificaram apenas duas regiões genômicas associadas ao comportamento de proteção materno na em vacas da raça Blonde d'Aquitaine. A primeira região reportada explicou 18,8% da variação genética da característica e os genes reportados são *NPY1R* e *NPY5R*, além disso, a segunda região explicou 21,5% da variação incluindo o gene *ADRA2A*. Estes genes foram associados ao estresse, ansiedade e comportamento característico de proteção em camundongos. Por outro lado, no estudo citado acima, em avaliações feitas com vacas da raça Limousin, os autores identificaram apenas uma região associada, que explicou 24,6% da variação genética, porém, nenhum gene conhecido foi detectado na região. Em outro estudo para a mesma característica, Vallée et al. (2016) avaliaram

3.274 vacas da raça Charolês, no entanto, os autores não encontraram nenhum SNP significativo associado a expressão desse comportamento.

Nossos resultados sugerem que os genes *AHI1*, *FBXL20*, *NEUROD2* e *THRA* podem estar influenciando a expressão do comportamento de proteção materna em vacas primíparas da raça Nelore, pois estão envolvidos em mecanismos de formação neurológica, liberação de neurotransmissores, depressão, ansiedade e condicionamento ao medo. Entretanto, mais estudos são necessários para validar nossos achados em outras populações.

4. Conclusões

O CPMat possui variabilidade genética aditiva na raça Nelore suficiente para responder à seleção. Foram detectados quatro genes promissores associados ao CPMat, indicando que a expressão da característica é influenciada por mecanismos biológicos envolvidos principalmente na aquisição de medo dos animais. Desta forma, esta característica pode se tornar alvo de mais estudos, incluindo os de seleção genômica, para que seja possível a obtenção de animais mais calmos no manejo e, dessa forma, melhorando aspectos do bem-estar dos animais e trabalhadores.

5. Referências

Amann-Zalcenstein D, et al. (2006) *AHI1*, a pivotal neurodevelopmental gene, and *C6orf217* are associated with susceptibility to schizophrenia. **European Journal of Human Genetics** 14:1111-1119.

Bernal J (2005) Thyroid Hormones and Brain Development. **Vitamins & Hormones** 71: 95-122.

Betz A, Thakur P, Junge HJ, Ashery U, Rhee JS, Scheuss V, Rosenmund C, Rettig J, Brose Nils (2001) Functional interaction of the active zone proteins *Munc13-1* and *RIM1* in synaptic vesicle priming. **Neuron** 30:183-96.

Brouček J, Uhrinčať M, Šoch M, Kišac P (2008) Genetics of behaviour in cattle. **Slovak Journal of Animal Science** 41:166-172.

Buddenberg BJ, Brown CJ, Johnson, ZB, Honea RS (1986) Maternal behavior of beef cows at parturition. **Journal of Animal Science** 62:42-46.

Costa FO (2017) **Avaliação do comportamento de proteção materna de vacas Nelore e Hereford e seus potenciais efeitos no ganho de peso dos bezerros**. 95 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Unesp, Jaboticabal.

Costa FO, Valente TS, Toledo LM, Ambrósio LA, Del Campo M, Paranhos da Costa MJR (2021) A conceptual model of the human-animal relationships dynamics during newborn handling on cow-calf operation farms. **Livestock Science** 246:104462.

Dobie F, Craig AM (2007) A fight for neurotransmission: SCRAPPER trashes RIM. **Cell** 130:775–777.

dos Santos FC, Peixoto MGCD, de Souza Fonseca PA, Pires MDFÁ, Ventura RV, Rosse IDC, Tomita Bruneli FA, Machado MA, Carvalho MRS (2017) Identification of candidate genes for reactivity in Guzerat (*Bos indicus*) cattle: a genome-wide association Study. **PLoS One** 12: e0169163.

Dunlop BW, Nemeroff CB (2007) The role of dopamine in the pathophysiology of depression. **Archives of general psychiatry** 64:327–337.

Flörcke C, Engle TE, Grandin T, Deesing MJ (2012) Individual differences in calf defence patterns in Red Angus beef cows. **Applied Animal Behaviour Science** 139:203-208.

Friedrich J, Brand B, Ponsuksili S, Graunke KL, Langbein J, Knaust J, Kühn C, Schwerin M (2016) Detection of genetic variants affecting cattle behaviour and their impact on milk production: a genome-wide association study. **Animal Genetics** 47: 12–18.

Geweke J (1992) Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. In: BERNARDO, J. M.; BERGE, J. O.; DAVID, A. P.; SMITH, A. F. M. (Ed.). **Bayesian Statistics**. Oxford: Clarendon Press, p. 169–193.

Grandinson K (2005) Genetic background of maternal behaviour and its relation to offspring survival. **Livestock Production Science** 93:43–50.

Grigoletto, L, et al. (2019) Genome-wide associations and detection of candidate genes for direct and maternal genetic effects influencing growth traits in the Montana Tropical® Composite population. **Livestock Science** 229: 64-76.

Guadaño-Ferraz A, Benavides-Piccione R, Venero C, Lancha C, Vennström B, Sandi C, DeFelipe J, Bernal J (2003) Lack of thyroid hormone receptor alpha1 is associated with selective alterations in behavior and hippocampal circuits. *Molecular Psychiatry*, 8: 30-38.

- Guo D, Zhang S, Sun H, Xu X, Hao Z, Mu C, Xu X, Wang G, Ren H (2018) Tyrosine hydroxylase down-regulation after loss of Abelson helper integration site 1 (AHI1) promotes depression via the circadian clock pathway in mice. *Journal of Biological Chemistry* 293:5090–101.
- Haskell MJ, Simm G, Turner SP (2014) Genetic selection for temperament traits in dairy and beef cattle. *Frontiers in Genetics* 5:368. 10.3389/fgene.2014.00368.
- Hazard D, Mace T, Foulquie D, Delval E, Douls S, Carriere F, Pradel J, Moreno C, Boissy A (2018) Genome wide association studies of maternal behaviours in sheep. In: 11th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. *Anais...* Auckland: WCGALP. p. 1130.
- Hemsworth PH, Coleman GJ, Barnett JL, Borg S, Dowling S (2002) The effects of cognitive behavioral intervention on the attitude and behavior of stockpersons and the behavior and productivity of commercial dairy cows. *Journal of Animal Science* 80: 68-78.
- Hoppe S, Brandt HR, Erhardt G, Gauly M (2008) Maternal protective behaviour of German Angus and Simmental beef cattle after parturition and its relation to production traits. *Applied Animal Behaviour Science* 114:297–306.
- Hsiao Y, Tong ZJ, Westfall JE, Ault JG, Page-McCaw PS, Ferland RJ (2009) Ahi1, whose human ortholog is mutated in Joubert syndrome, is required for Rab8a localization, ciliogenesis and vesicle trafficking. *Human Molecular Genetics* 18:3926-3941.
- Joffe RT, Sokolov ST (1994) Thyroid hormones, the brain, and affective disorders. *Critical Reviews in Neurobiology* 8: 45-63.
- Le Neindre P, Grignard L, Trillat G, Boissy A, Ménéssier F, Sapa F, Boivin X (2002) Docile Limousine cows are not poor mothers. In: 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. *Anais...* Montpellier: WCGALP, p. 19-23.
- Lin CH, Stoeck J, Ravanpay AC, Guillemot F, Tapscott SJ, Olson JM (2004) Regulation of neuroD2 expression in mouse brain. *Developmental Biology* 265: 234-245.
- Lin CH, Hansen S, Wang Z, Storm DR, Tapscott SJ, Olson JM (2005) The dosage of the neuroD2 transcription factor regulates amygdala development and emotional learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102: 14877-14882.
- Lourenco D, Legarra A, Tsuruta S, Masuda Y, Aguilar I, Misztal I (2020) Single-step genomic evaluations from theory to practice: using SNP chips and sequence data in BLUPF90. *Genes* 11:790.
- Lubin DA, Elliott JC, Black MC, Johns JM (2003) An oxytocin antagonist infused into the central nucleus of the amygdala increases maternal aggressive behavior. *Behavioral Neuroscience* 117:195–201.

Margis R, Picon P, Cosner AF, Silveira RO (2003) Relação entre estressores, estresse e ansiedade. **Revista de Psiquiatria do Rio Grande do Sul**, 25: 65-74.

Martin P, Bateson P (2007) **Measuring behavior: An introductory guide** (3rd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

McCormick MB, Tamimi RM, Snider L, Asakura A, Bergstrom D, Tapscott SJ (1996) Neurod2 and neurod3: Distinct expression patterns and transcriptional activation potentials within the neurod gene family. **Molecular and Cellular Biology** 16: 5792-5800.

Michenet A, Barbat M, Saintilan R, Venot E, and Phocas F (2016a) Detection of quantitative trait loci for maternal traits using high-density genotypes of Blonde d'Aquitaine beef cattle. **BMC Genetics** 17:88.

Michenet A, Saintilan R, Venot E, and Phocas F (2016b) Insights into the genetic variation of maternal behavior and suckling performance of continental beef cows. **Genetics Selection Evolution** 48:45.

Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH (2002) BLUPF90 and related programs (BGF90). **In: Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production** 28:21–22.

Morris CA, Cullen NG, Kilgour R, Bremner KJ (1994) Some genetic factors affecting temperament in *Bos taurus* cattle. **New Zealand Journal of Agricultural Research** 37:167–175.

Morrow BA, Elsworth JD, Rasmusson AM, Roth RH (1999) O papel dos neurônios dopaminérgicos mesoprefrontais na aquisição e expressão do medo condicionado no rato. **Neurociência** 92:553–564.

Olson JM, Asakura A, Snider L, Hawkes R, Strand A, Stoeck J, Hallahan A, Pritchard J, Tapscott SJ (2001) NeuroD2 is necessary for development and survival of central nervous system neurons. **Developmental Biology** 234: 174-187.

Orihuela A, Pérez-Torres LI, Ungerfeld R (2020) The time relative to parturition does not affect the behavioral or aggressive reactions in Zebu cows (*Bos indicus*). **Livestock Science** 234: 103978.

Paredes-Sánchez FA, Sifuentes-Rincón AM, Casas E, Arellano-Vera W, Parra-Bracamonte GM, Riley DG, Welsh Júnior TH, Randel RD (2020) Novel genes involved in the genetic architecture of temperament in Brahman cattle. **PLoS ONE** 15: e0237825.

Pengfei F, Yuetao W, Gang W, Chao G, Yanfeng X, Yan Z, Quanhong S (2016) Abnormal expression of FBXL20 in refractory epilepsy patients and a pilocarpine-induced rat model. **Neurochemical Research** 41:3020-3031.

Pérez-Torres L, Orihuela A, Corro M, Rubio I, Cohen A, Galina CS (2014) Maternal protective behavior of zebu type cattle (*Bos indicus*) and its association with temperament. **Journal of Animal Science** 92:4694-4700.

Ren L, Qian X, Zhai L, Sun M, Miao Z, Li J, Xu X (2014) A perda de Ahi1 prejudica a liberação de neurotransmissores e causa comportamentos depressivos em camundongos. **PLoS ONE** 9: e93640.

Retuerto AIA, Cantor RM, Gleeson JG (2008) Association of common variants in the Joubert syndrome gene (AHI1) with autism. **Human Molecular Genetics** 17: 3887-3896.

Richard S, Aguilera N, Thevenet M, Dkhissi-Benyahya O, Flamant F (2017) Neuronal expression of a thyroid hormone receptor alpha mutation alters mouse behaviour. **Behavioural Brain Research** 321: 18-27.

Sandelin BA, Brown AH, Johnson ZB, Hornsby JA, Baublits RT (2005) Postpartum maternal behavior score in six breed groups of beef cattle over twenty-five years. **AAES Research Series** 21:13–16.

Shechner T, Hong M, Britton JC, Pine DS, Fox NA (2014) Fear conditioning and extinction across development: evidence from human studies and animal models. **Biological Psychology** 100:1–12.

Tsuruta S, Misztal I (2006). THRGIBBS1F90 for estimation of variance components with threshold-linear models. In: Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, **Annals...** Belo Horizonte: Commun, p. 27-31.

Turner SP, Jack MC, Lawrence AB (2013) Precalving temperament and maternal defensiveness are independent traits but precalving fear may impact calf growth. **Journal of Animal Science** 91:4417–4425.

Valente EM, Brancat F, Silhavy JL, Castori M, March SE, Barrano G, et al. (2006) AHI1 gene mutations cause specific forms of Joubert syndrome-related disorders. **Annals of Neurology** 59:527-34.

Valente TS, Baldi F, Satnt'Anna AC, Albuquerque LG, Paranhos da Costa MJR (2016) Genome-Wide Association Study between Single Nucleotide Polymorphisms and Flight Speed in Nelore Cattle. **PLoS ONE** 11: e0156956.

Vallée A, Breider I, van Arendonk JAM, Bovenhuis H (2015) Genetic parameters for large-scale behavior traits and type traits in Charolais beef cows. **Journal of Animal Science** 93:4277–4284.

Vallée A, Daure J, van Arendonk JAM, Bovenhuis H (2016) Genome-wide association study for behavior, type traits, and muscular development in Charolais beef cattle. **Journal of Animal Science** 94:2307–2316.

VanRaden PM (2008) Efficient methods to compute genomic predictions. **Journal of Dairy Science** 91: 4414-4423.

Xia J, Qi X, Wu Y, Zhu B, Xu L, Zhang L, Gao X, Chen Y, Li J, Gao H (2016) Genome-wide association study identifies loci and candidate genes for meat quality traits in Simmental beef cattle. **Mammalian Genome** 27:246–255.

Yao I, et al. (2007) SCRAPPER-dependent ubiquitination of active zone protein RIM1 regulates synaptic vesicle release. **Cell** 130, 943–957.

Yao I, Takao K, Miyakawa T, Ito S, Setou M (2011) Synaptic E3 ligase SCRAPPER in contextual fear conditioning: extensive Behavioral phenotyping of Scrapper heterozygote and overexpressing mutant mice. **PLoS One** 6: e17317.

Wang H, Misztal I, Aguilar I, Legarra A, Muir WM (2012) Genome-wide association mapping including phenotypes from relatives without genotypes. **Genetics Research** 94: 73–83.