

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

ALEXANDRA FABIELLE PEREIRA VIANA

**INCLUSÃO DE VARIÁVEIS BIOCLIMATOLÓGICAS NA AVALIAÇÃO
GENÉTICA DE BOVINOS DA RAÇA ANGUS**

**Porto Alegre
2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**INCLUSÃO DE VARIÁVEIS BIOCLIMATOLÓGICAS NA AVALIAÇÃO
GENÉTICA DE BOVINOS DA RAÇA ANGUS**

ALEXANDRA FABIELLE PEREIRA VIANA

Zootecnista/UFSM

Mestre em Produção Animal/UFSM

Tese apresentada com um dos requisitos à obtenção do grau de doutora em
Zootecnia

Área de concentração Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil

Maio, 2023

CIP - Catalogação na Publicação

Viana, Alexandra Fabielle Pereira
INCLUSÃO DE VARIÁVEIS BIOCLIMATOLÓGICAS NA
AVALIAÇÃO GENÉTICA DE BOVINOS DA RAÇA ANGUS /
Alexandra Fabielle Pereira Viana. -- 2023.
73 f.
Orientador: José Braccini Neto.

Coorientador: Mário Luiz Santana Júnior.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Melhoramento Genético Animal. 2. Angus. 3.
Avaliação Genética. 4. Interação Genótipo x Ambiente.
5. Estresse Térmico. I. Braccini Neto, José, orient.
II. Santana Júnior, Mário Luiz, coorient. III. Título.

Alexandra Fabielle Pereira Viana
Mestre em Zootecnia

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de
DOUTORA EM ZOOTECNIA
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 30.05.2023
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 08/08/2023
Por



Documento assinado digitalmente
JOSE BRACCINI NETO
Data: 12/07/2023 10:58:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

JOSÉ BRACCINI NETO
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador

Sergio Luiz Vieira

Assinado de forma digital por
Sergio Luiz Vieira
Dados: 2023.08.09 13:20:53 -03'00'

SERGIO LUIZ VIEIRA
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



Documento assinado digitalmente
ANNAIZA BRAGA BIGNARDI SANTANA
Data: 17/07/2023 09:34:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Annaiza Braga Bignardi Santana
UFR



Documento assinado digitalmente
DIEGO PAGUNG AMBROSINI
Data: 17/07/2023 08:18:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Diego Pagung Ambrosini
IFAP



Documento assinado digitalmente
PAULO LUIZ SOUZA CARNEIRO
Data: 12/07/2023 14:24:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Luiz Souza Carneiro
UESB



Documento assinado digitalmente
CARLOS ALBERTO BISSANI
Data: 09/08/2023 14:08:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

***Ao meu noivo Diego por seu amor, apoio
e companheirismo.***

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Criador pelas bênçãos e unções que recebo a cada dia na minha vida, tu és o meu refúgio Deus.

A minha família que esteve ao meu lado sempre, a minha mãe Magda, meu pai Rogério e a meus irmãos, saibam que todas as conquistas obtidas até aqui e as que ainda estão por vir são nossas.

Ao Diego Machado meu amor e melhor amigo, você se fez presente me ajudando seja nos dilemas do cotidiano como nas dúvidas envolvendo a pesquisa, quando precisava estava ali ao meu lado, meu alicerce, meu farol. Eu te amo incondicionalmente!

Ao professor José Braccini Neto, pela oportunidade de ser sua orientada de doutorado, suas contribuições foram excepcionais para a construção deste trabalho. Sou grata de nestes últimos anos poder conviver e aprender com um exemplo de profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Mário Luiz Santana Junior. pela co-orientação, sanando minhas dúvidas com relação a execução das análises.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia e, em especial, ao Grupo de Pesquisa em Melhoramento Genético Animal — MegaGen.

À empresa Gensys Consultores Associados pela disponibilização dos dados para execução deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES.

Aos amigos, em especial Karine, Giovani e Maíza que estiveram ao meu lado nessa caminhada que se colocaram à disposição em compartilhar minhas dores, angústias e alegrias. Saibam que o apoio de vocês sempre será lembrado com carinho.

MUITO OBRIGADA!

***“O que fazemos para nós mesmos morre conosco.
O que fazemos pelos outros e pelo mundo
permanece e é imortal.”***

Albert Pine

INCLUSÃO DE VARIÁVEIS BIOCLIMATOLÓGICAS NA AVALIAÇÃO GENÉTICA DE BOVINOS DA RAÇA ANGUS¹

Autora: Alexandra Fabielle Pereira Viana

Orientador: José Braccini Neto

RESUMO:

Um dos entraves que impedem maior ganho genético através da seleção se dá pelo fato do estresse térmico em bovinos de corte ser pouco explorado pelos programas de melhoramento genético, uma vez que a produção de bovinos de corte ocorre em ambiente com pouco controle e uma ampla gama de objetivos e resultados. Frente a isso, os principais objetivos deste estudo foram investigar modelos que incluam variáveis bioclimáticas e o impacto do estresse térmico na avaliação genética de características de crescimento e carcaça Angus ao sobreano, e estimar parâmetros genéticos considerando a interação genótipo-ambiente, via normas de reação. Após identificar e investigar o modelo com melhor ajuste na avaliação genética, estimar a interação genótipo-ambiente (IGA) usando o índice de temperatura e umidade (ITU) como descritor ambiental em uma população de bovinos Angus. Quando as variáveis bioclimáticas sendo o (ITU) e a variação diária de temperatura (VDT) foram incluídas como efeitos fixos no modelo de avaliação genética, se obteve os melhores ajustes dos modelos. Houve reclassificação dos touros top 5%, para as características de área de olho de lombo (AOL), quando ITU e VDT foram consideradas como efeito fixo, em relação ao modelo padrão. O ganho de peso da desmama ao sobreano (GDS) sofre influência negativa do estresse por calor, com perda de 9 g/dia/unidade de ITU, apresentando redução da eficiência produtiva e da termotolerância. As estimativas de herdabilidade variaram de 0,14 a 0,49; 0,17 a 0,55 e 0,12 a 0,21 para GDS, AOL e EGS, respectivamente, confirmando que ao longo do gradiente ambiental está presente a influência da heterogeneidade de variâncias genéticas. A presença de IGA foi observada pela estimativa da correlação genética das variáveis ao longo do gradiente ambiental. Os resultados obtidos nesta tese validam a inclusão das variáveis bioclimáticas nas avaliações genéticas de características de ultrassonografia e ganho de peso do desmame ao sobreano em bovinos Angus. Dessa forma, poderá contribuir para o progresso genético por meio a seleção de genótipos Angus tolerantes ao calor.

Palavras-chave: Abeerden Angus, componentes de variância, índice de temperatura e umidade, herdabilidade, interação genótipo-ambiente.

¹ Tese de Doutorado em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (xx p.). Maio, 2023.

INCLUSION OF BIOCLIMATIC VARIABLES IN GENETIC EVALUATIONS OF ANGUS CATTLE²

Author: Alexandra Fabielle Pereira Viana

Advisor: José Braccini Neto

ABSTRACT:

One of the obstacles that hinders greater genetic gain through selection is the fact that thermal stress in beef cattle is little considered by genetic improvement programs. Given that beef production occurs in an environment with little control and a wide range of objectives and outcomes. In light of this, the main objectives of this study were to identify and investigate genetic evaluation models that include bioclimatic variables and the impact of thermal stress on growth and carcass traits in Angus cattle at yearling age, as well as estimate genetic parameters considering genotype-environment interaction through reaction norms. After identifying the model with the best fit for genetic evaluation, genotype-environment interaction (GEI) was estimated using the temperature-humidity index (THI) as an environmental descriptor in a population of Angus cattle. When bioclimatic variables (THI and DTV) were included as fixed effects in the genetic evaluation model, the best fit criteria were obtained. There was reclassification of the top 5% of bulls for the traits of loin eye area (LEA) when THI and VDT were considered as fixed effects, compared to the standard model. Weaning-to-yearling weight gain (WWG) is negatively influenced by heat stress, with a loss of 9 g/day/unit of THI, resulting in reduced production efficiency and thermotolerance. The heritability estimates were 0.14 to 0.49, 0.17 to 0.55, and 0.12 to 0.21 for WWG, LEA, and SFT, respectively, confirming that genetic variance heterogeneity is present along the environmental gradient. The presence of GEI was observed through the estimation of the genetic correlation values of THI. The results obtained in this thesis validate the inclusion of bioclimatic variables in the genetic evaluations of ultrasound traits and weaning-to-yearling weight gain in Angus cattle. Thus, it can contribute to genetic progress through the selection of heat-tolerant Angus genotypes.

Keywords: Aberdeen angus, genotype by environment interaction, heritability temperature and humidity index, variance components

² Doctoral thesis in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (xx p.) May, 2023.

Sumário

CAPÍTULO I	14
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 interação genótipo x ambiente	15
2.2 Modelos de norma de reação	17
2.3 Importância da IGA no melhoramento genético de bovinos de corte	20
2.4 Influência de variáveis climáticas na resposta animal.....	22
2.5 Estudos genéticos em bovinos utilizando o índice de temperatura e umidade (ITU) como descritor ambiental	24
3. Hipóteses.....	28
4. Objetivos.....	29
CAPÍTULO II	30
Inclusão de variáveis bioclimáticas em avaliações genéticas de crescimento e características de carcaça de bovinos Angus	31
1. Introdução	32
2. Material e Métodos	33
3. Resultados.....	37
4. Discussão	41
5. Conclusões.....	45
Referências.....	45
CAPÍTULO III	48
Interação genótipo x ambiente devido ao estresse térmico em características de crescimento e carcaça de bovinos da raça Angus	49
1. Introdução	50
2. Material e Métodos	51
3. Resultados.....	55
5. Conclusões.....	62
Referências.....	63
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
7. VITA.....	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1. Resumo da estrutura de dados do modelo padrão 34

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Spearman para os 5% melhores touros (valores genéticos estimados) para área de olho de lombo entre os modelos testados (M1 a M8). 40

CAPÍTULO III

Tabela 1. Resumo da estrutura de dados após consistência 52

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Fig. 1.** Informações médias anuais bioclimáticas: a) índice de temperatura-umidade (ITU) e b) variação diária de temperatura (VDT, °C)..... 35
- Fig. 2.** Estimativas de critérios de ajuste de modelos: função de probabilidade de log ($-2\log L$), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação de Schwarz Bayesiano (BIC); e estimativas de herdabilidade para ganho de peso do desmame ao sobreano..... 38
- Fig. 3.** Estimativas de critérios de ajuste de modelos: função de probabilidade de log ($-2\log L$), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação de Schwarz Bayesiano (BIC); e estimativa de herdabilidade para área de olho de lombo (AOL) para cada modelo (M1 a M8). 39
- Fig. 4.** Estimativas de critérios de ajuste de modelos: função de probabilidade de log ($-2\log L$), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação de Schwarz Bayesiano (BIC); e estimativas de herdabilidade para espessura de gordura subcutânea (EGS) para cada modelo (M1 a M8)..... 39

CAPÍTULO III

- Fig. 1.** Distribuição dos registros de ganho de peso da desmama ao sobreano (GDS), área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS) de acordo com as classes de ITU médio nos 150 dias pré-avaliação..... 53
- Fig. 2.** Médias posteriores das estimativas de herdabilidade para ganho da desmama ao sobreano (GDS), área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS) em função do ITU médio. 56
- Fig. 3.** Média posterior de estimativa de correlação genética entre o ganho de peso da desmama ao sobreano, em diferentes valores de índice de temperatura e umidade para bovinos da raça Angus 57
- Fig. 4.** Média posterior de estimativa de correlação genética entre a área de olho de lombo, em diferentes valores de índice de temperatura e umidade para bovinos da raça Angus 58
- Fig. 5.** Média posterior de estimativa de correlação genética entre a espessura de gordura subcutânea, em diferentes valores de índice de temperatura e umidade para bovinos da raça Angus 59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
AOL	Área de Olho de Lombo
BIC	Critério de Informação Bayesiano
cm ²	centímetro quadrado
EGS	Espessura de Gordura Subcutânea
GC	Grupo de Contemporâneos
GDS	Ganho da Desmama ao Sobreano
g/d	gramas por dia
h ²	herdabilidade
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
IGA	Interação Genótipo – Ambiente
mm	Milímetros
M1	Modelo 1
M2	Modelo 2
M3	Modelo 3
M4	Modelo 4
M5	Modelo 5
M6	Modelo 6
M7	Modelo 7
M8	Modelo 8
MP	Modelo Padrão
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NRC	National Research Council
r _g	Correlação Genética
T	Temperatura Diária de Bulbo Seco
UR	Umidade Relativa
VB	Variável Bioclimática
VG	Valor Genético
VDT	Variação Diária da Temperatura/Amplitude Térmica
-2logL	Função de Probabilidade de Log

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O melhoramento genético de bovinos voltados à produção de carne tem avançado no Brasil e no mundo, porém, ainda há espaço para a pesquisa contribuir no aumento dos ganhos genéticos. Um dos entraves que impedem maior ganho genético através de seleção se dá pelo fato de muitas avaliações genéticas não considerarem a interação genótipo-ambiente (IGA), uma vez que a produção de bovinos de corte ocorre em ambiente pouco controlado e de grande variabilidade de objetivos e resultados. Para Ambrosini et al. (2016a) a indicação de material genético, específico a cada sistema de produção, poderia aumentar os ganhos, pois, no Brasil, há uma grande variação de ambientes e sistemas de produção, e as avaliações genéticas não consideram a IGA.

O estudo da IGA via normas de reação tem sido utilizado, na pesquisa de rebanhos brasileiros, principalmente para animais da raça Nelore (PÉGOLO et al, 2009; AMBROSINI et al., 2012; 2014; 2016a; ARAÚJO NETO et al., 2018; CHIAIA et al., 2015; CARVALHO et al., 2019). Ferreira et al. (2015) relatam que o estudo da IGA, via modelos de normas de reação, possibilita distinguir genótipos suscetíveis a mudanças no desempenho dos animais de acordo com o nível ambiental. Dos fatores estudados na IGA, a inclusão das variações adaptativas em diferentes condições expostas pelo ambiente gera maior precisão nas predições dos valores genéticos para as características testadas, resultando numa seleção mais efetiva e com maior progresso genético (SILVA et al., 2019).

Dos parâmetros utilizados como gradiente ambiental nos trabalhos com IGA, via normas de reação, destaca-se o índice de temperatura e umidade (ITU), principalmente em bovinos leiteiros. Porém para bovinos de corte ainda são poucos e/ou inconclusivas as pesquisas existentes (BRADFORD et al., 2016; SANTANA JUNIOR. et al., 2018), além do que, poucas características de interesse foram estudadas. Com o avanço de mudanças climáticas este tipo de estudo torna-se cada vez mais relevante, pois de acordo com Carabaño et al. (2019) entre todas as ações que os produtores podem implementar para se adaptar ao desafio do estresse térmico, a seleção genética pode fornecer uma

ferramenta econômica e eficiente para melhorar a resiliência da produção de bovinos. Portanto, sugere-se que a adoção de modelos de normas de reação no estudo da IGA, utilizando o efeito ITU como gradiente ambiental, sobre diferentes características de interesse para seleção em bovinos de diferentes raças de destaque no cenário da bovinocultura.

Logo, ressalta-se, que a estimação dos valores genéticos, em diferentes condições de ITU, ainda precisa ser investigada para gerar informações relevantes de IGA, que irão para nortear ações futuras quanto ao uso de materiais genéticos da raça Angus mais apropriados às diferentes regiões do Brasil.

Dessa forma, objetivou-se estimar valores genéticos em função do gradiente ambiental (índice de temperatura e umidade) para características de crescimento, carcaça e temperamento em bovinos da raça Angus criados no Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 interação genótipo x ambiente

Estudos sobre ocorrência de interação genótipo-ambiente (IGA) começaram a ser uma necessidade para melhor descrever a superioridade genética dos indivíduos, uma vez que a seleção de progenitores deveria levar em consideração as condições ambientais do ambiente de criação. No sentido de Fisher, uma interação é revelada quando o efeito estatístico de um fator ambiental sobre um fenótipo depende dos genótipos dos indivíduos na população estudada (MOORE, 2018).

Estudos sobre IGA utilizam primeiramente a expressão fenotípica de um grupo de indivíduos, comparativamente a outros aparentados em ambientes diferentes, para fazer inferência acerca dos níveis de produção nos diferentes ambientes (SANTOS, 2014). A presença da IGA se caracteriza pela resposta diferenciada dos genótipos às variações das condições ambientais, o que pode ocasionar alteração do ordenamento de desempenho dos genótipos no gradiente ambiental (FALCONER & MACKAY, 1996). Para Alencar et al. (2005), esta interação pode provocar alterações das variâncias que compõem os parâmetros genéticos e fenotípicos da população, com consequente mudança nos critérios de seleção, a depender do ambiente.

O Brasil apresenta dimensões continentais e uma variabilidade considerável nas condições ambientais, portanto devido à existência da IGA um reprodutor recomendado como melhorador em determinada região pode ser para outra. Ambrosini et al. (2016a) descrevem que a indicação de material genético, específico de cada sistema de produção, poderá aumentar os ganhos, pois, no Brasil, há uma grande variação de ambientes e sistemas de produção, e as avaliações genéticas não consideram a IGA. Por outro lado, quando IGA existe e não é considerada nas avaliações genéticas, poderá prejudicar o progresso genético das populações pelo uso inadequado de reprodutores (SILVA et al., 2019). Mesmo com a atual evolução das biotécnicas reprodutivas, em que os produtores acessam material genético de reprodutores de outros estados ou

países, os quais passaram por reconhecido processo de seleção não há garantias de que ocorra incremento tão representativo da produtividade. Esse fenômeno pode ocorrer justamente em função da IGA, pois com a difusão de material genético selecionado em ambiente diferente daquele no qual será utilizado, poderá culminar em resultado produtivo aquém da expectativa.

O conjunto completo de trajetórias ontogênicas multivariadas que um genótipo pode produzir, quando exposto em ambientes diferentes, é chamado de norma de reação (SCHLICHTING & PIGLIUCCI, 1998). Em avaliações genéticas de animais domésticos os gradientes ambientais são definidos através dos efeitos ambientais como rebanho ou efeitos de rebanho – ano que envolvem manejo, sanidade, nutrição, tempo, clima e particularidades dos indivíduos de um grupo de contemporâneos (SANTOS, 2014). De acordo com De Jong & Bijma (2002) no modelo de norma de reação para o estudo da IGA o ambiente é classificado sobre qualquer escala e as características devem ter continuidade fisiológica sobre o ambiente, distinguindo a capacidade dos genótipos serem mais ou menos sensíveis às mudanças ambientais.

A sensibilidade ambiental ou plasticidade fenotípica são as modificações sofridas pelo fenótipo decorrentes dos diferentes ambientes, sendo os indivíduos mais sensíveis denominados genótipos plásticos e os de menor sensibilidade são genótipos robustos (FALCONER, 1990). Todavia, é importante ressaltar que os genótipos mais estáveis tendem a ser indicados como superiores, porém, não são obrigatoriamente os melhores em todos os ambientes.

No Brasil, vários estudos genéticos envolvendo a IGA têm demonstrado a plasticidade fenotípica de diferentes raças bovinas de relevância no país (AMBROSINI et al., 2012; AMBROSINI et al., 2016b; RIBEIRO et al., 2015; SANTANA JUNIOR. et al., 2012; SANTANA JUNIOR. et al., 2016; SANTOS et al., 2019). Após a coleta desse conjunto de informações, técnicos e produtores podem caracterizar rebanhos com características de sensibilidade ambiental, uniformizando desempenhos em ambientes distintos e privilegiando genótipos que respondam às melhorias ambientais para determinada característica (SANTOS, 2014).

2.2 Modelos de norma de reação

Quando um organismo produz um fenótipo que varia como uma função contínua em relação ao ambiente ao qual está exposto, denominamos essa relação de normas de reação (WOLTERECK, 1909). Quando se avalia o efeito da IGA, geralmente, podem-se descrever os ambientes em duas diferentes classes de descritores (discreta e contínua). Aquele que descreve o ambiente em escala discreta, como por exemplo, o sistema de produção animal, ou a descrição do ambiente em escala contínua como, por exemplo, produção de leite em rebanhos leiteiros (WINDIG et al., 2011), os mesmos autores citam que geralmente, quando se trabalha para examinar descritores de ambientes discretos, a metodologia mais utilizada são as abordagens por modelos multicaracterísticas. Porém, quando tais descritores se apresentam como sendo contínuos, os modelos de normas de reação são os mais indicados (WINDIG et al., 2011). Com isso, os pesquisadores têm adotado os modelos de normas de reação para avaliação da IGA em variadas características nas espécies de interesse zootécnico.

O fato que tornou as análises de normas de reação relevante, no estudo da IGA em animais de produção é a possibilidade de descrever a variação de genótipos em função de um gradiente ambiental (LYNCH e WALSH, 1998). Complementarmente, esta abordagem investigativa permite acomodar muitos níveis ambientais com poucos parâmetros (SU et al., 2006) e com isso visualizar o comportamento do genótipo ao longo do gradiente ambiental proposto. De Jong & Bijma (2002) descrevem como vantagem da investigação da IGA via normas de reação permitir que a resposta da seleção possa ser predita não somente na expressão fenotípica em todo o ambiente, mas também, na sensibilidade ambiental da característica em relação às mudanças ambientais (robustez ou plasticidade).

Especificamente, na avaliação da IGA, via normas de reação de bovinos de corte vários estudos têm sido desenvolvidos nos últimos anos para características relacionadas ao crescimento (AMBROSINI et al., 2012;

AMBROSINI et al., 2014; CARDOSO et al., 2011; CORRÊA et al., 2009; RASHID et al., 2016; SANTOS et al., 2019), características reprodutivas (AMBROSINI et al., 2016b; ARAÚJO NETO et al., 2018; CARVALHO et al., 2019; CHIAIA et al., 2015; SILVA et al., 2019), e mais recentemente para repostas em relação à variações climáticas (BRADFORD et al., 2016; SANTANA JUNIOR. et al., 2016; SANTANA JUNIOR. et al., 2018). De acordo com Ambrosini et al. (2012) uma norma de reação pode ser definida como as diferentes maneiras que um genótipo pode ser expresso, levando em consideração variações ambientais, que podem ser favoráveis, desfavoráveis, naturais ou artificiais.

Em seus estudos, Ambrosini et al. (2014), verificaram que a aplicação de modelos de norma de reação nos estudos da IGA de bovinos Nelore mocho do nordeste do Brasil permitiu identificar a existência de interação nessa população. Os autores observaram efeito de escala, com respostas diferentes de genótipos ao gradiente ambiental e mudança na classificação (*ranking*) dos animais, com maiores diferenças em condições superiores de produção, ou seja, quando o ambiente se tornou mais favorável. Houve incremento da variação dos valores genéticos, uma vez que os indivíduos tiveram a oportunidade de expressar seu potencial genético (AMBROSINI et al., 2014).

Os resultados apresentados pelos autores citados acima reforçam a necessidade da importância em se considerar a IGA na avaliação genética dos animais com previsão dos valores genéticos específicos dos progenitores para cada situação de ambiente. De acordo com Ambrosini et al. (2014) isso seria especialmente importante em países e/ou regiões com extrema diversidade climática, como é o caso do Brasil.

A resposta fenotípica ou genotípica usando abordagem de normas de reação comumente é caracterizada por 2 parâmetros: a elevação e a inclinação. A elevação, ou também chamado intercepto, é o valor esperado para a característica quando está no ambiente médio (ambiente 0), já a inclinação, refere-se às mudanças no fenótipo/genótipo sobre um gradiente ambiental (NUSSEY et al., 2007). De acordo com Santos (2014) uma das formas de se estudar normas de reação é por regressão aleatória, permitindo traçar uma linha do genótipo do animal em cada ambiente em relação ao gradiente ambiental. O desempenho de um genótipo é regredido de acordo com a média de

desempenho populacional em cada ambiente quando se analisa a sensibilidade ambiental (FALCONER & MACKAY, 1996). Algumas características são mais susceptíveis a mudanças, o que caracterizarão animais ditos plásticos para tais caracteres, já outros menos afetados serão tidos como robustos (SANTOS, 2014).

Cardoso et al. (2011) avaliaram modelos estatísticos com diferentes pressuposições para definir o que melhor descreva a presença de IGA no ganho de peso pós-desmama ajustado de bovinos Hereford, mediante o estudo de normas de reação ao ambiente, obtidas por regressão aleatória, usando uma abordagem bayesiana. Os autores usaram quatro modelos hierárquicos de normas de reação (MHNR), o MHNR_k que utiliza as soluções de grupos contemporâneos estimadas previamente pelo modelo animal padrão (MA) e as considera como nível ambiental para prever as normas de reação e o MHNR_s, que estima simultaneamente esses dois conjuntos de incógnitas. Para ambos os modelos, foram consideradas duas versões, uma com variância residual homogênea (hm) e outra heterogênea (ht). Pelo critério de informação da deviance e fator de Bayes, o MHRN_{shm} apresentou melhor ajuste aos dados e, pela deviance baseada na ordenada preditiva condicional, o melhor ajuste foi do MHNR_{kht}, enquanto, pelos três critérios, o pior ajuste foi obtido pelo modelo animal padrão. Com isso, Cardoso et al. (2011) obtiveram herdabilidades (h^2) estimadas nos MHNR crescentes ao longo dos gradientes ambientais avaliados (-60; 0 e +60 kg). Adicionalmente as correlações genéticas estimadas entre o nível e inclinação das normas de reação foram de alta magnitude, entre 0,97 e 0,99, caracterizando efeito de escala na IGA (CARDOSO et al., 2011).

A IGA analisa a diferença de sensibilidade dos animais avaliados às exposições ambientais e os componentes de variância atribuídos aos coeficientes de regressão linear são a chave para verificar a existência de interação (AMBROSINI et al., 2012). A correlação entre os coeficientes linear e intercepto afeta a correlação entre os valores genéticos dos animais nos ambientes, assim como a variância do coeficiente linear. Uma variação no coeficiente linear e uma alta correlação entre este e o intercepto acarreta menores reclassificações entre os reprodutores. Segundo Strandberg (2006) a avaliação para ter maior acurácia dos valores estimados e possibilitar a

comparação entre os genótipos necessita que o mesmo indivíduo ou indivíduos aparentados sejam avaliados em pelo menos dois ambientes diferentes.

2.3 Importância da IGA no melhoramento genético de bovinos de corte

A bovinocultura de corte desenvolve em variadas condições de ambiente, e com isso, há uma maior exposição dos genótipos a diferenças ambientes, principalmente com o uso em crescente escala de biotecnologias reprodutivas, como a inseminação artificial e a transferência de embriões. Nesse contexto, necessariamente deve-se levar em consideração a IGA, pois não se sabe quanto que um genótipo selecionado num dado ambiente repetirá a superioridade se o genótipo for transferido a outro ambiente (FALCONER & MACKAY, 1996). O Brasil possui uma ampla gama de ambientes para produção animal, uma vez que cobre quase metade dos América do Sul e abrange biomas e condições climáticas distintas (AMBROSINI et al. 2014). Com isso, os autores ressaltam a importância de estudar a IGA nessa região e a necessidade de incluí-la nas estimativas de valores genéticos, a fim de maximizar resposta à seleção.

Os métodos atualmente usados para determinar o mérito genético de animais superiores são baseados em uma combinação de genealogia, informações genômicas e fenotípicas e as aplicações de um modelo estatístico (ARAÚJO NETO et al., 2018). As características de crescimento foram as primeiras incluídas como critérios de seleção, e são as mais comumente usados pelos programas de melhoramento de bovinos de corte, porém atualmente as características reprodutivas vêm sendo adotadas por estes programas. Todavia, Mulder et al. (2006) alertam para que a seleção para múltiplas características que tem sido adotada não tem considerado os possíveis efeitos da IGA que interferem no ganho genético. Ao não considerar a IGA nas avaliações genéticas quando essa existe, o progresso genético das populações pode ser dificultado pelo uso de touros inadequados (SILVA et al., 2019).

Mesmo que haja o consentimento de que a IGA é relevante na avaliação do mérito genético dos bovinos de corte ela tem sido negligenciada e com isso limitado um maior avanço genético desta espécie em diferentes regiões do

Brasil e do mudo. Para MacNeil et al. (2017) há muito tempo se reconhece que a IGA influencia potencialmente a avaliação genética de bovinos de corte, no entanto, sem o devido reconhecimento dos sistemas de avaliação genética. Corroborando essas afirmações, Mattar et al. (2011) ao estudarem a IGA para peso ao ano em bovinos da raça Canchim verificaram que a variância direta aditiva e as estimativas de h^2 aumentaram de acordo com o avanço no gradiente ambiental estudado (peso, em kg), via normas de reação. Os autores ressaltam ainda que o fenômeno plasticidade fenotípica demonstrada pela inclinação da norma de reação indica a possibilidade de alterar a expressão do genótipo do indivíduo ao longo do gradiente ambiental através do processo de seleção.

A resposta reprodutiva, de vacas de corte e leite é dependente da forma como a genética estimula respostas à ação de fatores externos, dos quais podemos citar a qualidade e a quantidade de alimentação, além de fontes de estresse, como o desconforto térmico, entre outros aspectos. De acordo com Bauman et al. (1989) a eficiência de aproveitamento de nutrientes depende de processos fisiológicos e metabólicos que por sua vez dependem de fatores genéticos. A demanda da expressão deste potencial genético em função do ambiente explica grande parte da ocorrência da IGA (SILVA et al., 2019).

A limitação da expressão genotípica de bovinos de corte e o uso inadequado de reprodutores foram identificados por Rezende et al. (2020) ao avaliarem a IGA para idade ao primeiro parto nas raças Charôles e Limousin na Itália, via normas de reação. Os autores identificaram a existência da IGA para ambas as raças e alertaram que ao não considerar a IGA, pelos programas de melhoramento genético, o método atualmente usado na Itália para selecionar touros pode levar a erros de escolhas. Esse fato se dá por touros com méritos genéticos mais altos em um ambiente não serem recomendados para outras condições ambientais.

Os estudos disponíveis na literatura indicam a possibilidade de que programas de avaliação genética façam melhor uso do componente genético em relação à sensibilidade ambiental (dado pela inclinação da norma de reação), através da sua incorporação nos métodos avaliativos, com ganhos consideráveis na eficiência da seleção. Dessa forma, variações adaptativas podem ser incluídas nos índices de seleção para selecionar opções de genótipos com mais

robustez ou favorecer genótipos de maior plasticidade e que respondem ao meio a melhorias do ambiente para uma dada característica (MATTAR et al., 2011). Para Silva et al. (2019) a norma de reação ideal teria alto intercepto (alto rendimento) e inclinação plana, i.e., animais mais robustos com excelente desempenho para determinada característica sob quaisquer condições ambientais.

Embora seja de conhecimento da comunidade científica e até mesmo de produtores a IGA ainda precisa se consolidar na avaliação genética de bovinos de corte, buscando-se utilizar os genótipos mais adequados em cada sistema de criação. Logo, há essa demanda por geração de maiores descobertas científicas acerca da IGA para obtenção de respostas inovadoras e complementares para diferentes sistemas de produção, diferentes raças e características incluídas recentemente nos programas de melhoramento para a orientação de técnicos, produtores e pesquisadores.

2.4 Influência de variáveis climáticas na resposta animal

Com o avanço das mudanças climáticas, o aumento da temperatura global é reconhecido mundialmente. Neste sentido estudos vêm demonstrando os prejuízos da temperatura ambiente elevada sobre a produção em bovinos leiteiros, entretanto, em bovinos de corte, esses estudos ainda são mais escassos. Para estabelecer condições ambientais mínimas com finalidade de avaliar o desempenho e bem-estar animal, é necessário determinar parâmetros para tal avaliação, no qual o índice que vem sendo utilizado é o ITU (índice de temperatura e umidade), dado que é um indicador pouco complexo e preciso, por englobar o efeito da temperatura e umidade conjuntamente (RAVAGNOLO et al., 2000).

Para determinar se o animal está sob estresse ou conforto térmico, valores de ITU superiores a 72 determinam desconforto. Em Bovinos de corte, valores de até 74 representam conforto, entre 74 e 79, alerta, entre 79 e 84 perigo e maiores que 84 representam emergência (SHIOTA et al., 2013). Ressalta-se, no entanto, que os bovinos são animais homeotérmicos, ou seja, a sua temperatura corporal independe da temperatura do ambiente, para isso mantêm

a homotermia com o gasto energético advindo da alimentação. De acordo Mitlöhner et al. (2002), as altas temperaturas comprometem diretamente o desempenho animal, de forma que uma estratégia fisiológica dos bovinos durante o estresse térmico é diminuir a produção de calor metabólico reduzindo a ingestão de alimentos o que acarreta redução do ganho de peso, elevação da idade de abate e do custo de produção.

As formas de dissipação do calor pelos animais sofrem influência da umidade em condições de temperatura alta, tendo em vista os diferentes tipos de pelame e origens genéticas. Corroborando esta afirmação, Abreu (2011), constatou que em casos de altas temperaturas, a umidade relativa tem maior influência na dissipação de calor do que a temperatura, tendo em vista a perda de calor por evaporação, pois em altas umidades há inibição do mecanismo de evaporação pela pele e pelo trato respiratório.

Na área de melhoramento genético, Carabaño et al. (2019) ao descreverem sobre a seleção de animais tolerantes ao calor, ressaltam que a identificação de animais tolerantes ao calor é desafiadora devido à complexidade da resposta ao estresse térmico e ao antagonismo entre tolerância ao calor e produtividade. Estes autores citam que são necessários avanços nesta área para, i: encontrar fenótipos para identificar animais tolerantes ao calor e; ii: desenvolver métodos para combinar o conhecimento de todas as tecnologias "ômicas". Além do impacto direto de variáveis climáticas sobre a resposta animal, os fatores de estresse causam também perdas econômicas na produção de bovinos, que muitas vezes são negligenciados.

Alguns estudos estimaram essas perdas em função do estresse térmico, St-Pierre et al. (2003) estimaram prejuízos em função do estresse térmico, observando que representaram perda econômica anual entre \$ 1,69 e \$ 2,36 bilhões para a cadeia produtiva da bovinocultura de corte e leite. Dentre as oportunidades de mitigação do impacto do estresse térmico sobre o desempenho animal, Lees et al. (2019) apresentam a seleção genética de animais mais adaptados. Gaughan et al. (2010) indicam que a identificação de bovinos tolerantes ao calor não é um conceito novo, já que muitas raças já são conhecidas por sua tolerância térmica (*Bos indicus*), além disso, existem genótipos de *Bos taurus* que são considerados tropicalmente adaptados e

capazes manter a termorregulação sem perdas produtivas em clima quente. A literatura mostra, entretanto, que mesmo em genótipos zebuínos o estresse térmico exerceu efeito deletério sobre a função reprodutiva de fêmeas bovinas (GAMA FILHO et al., 2007; TORRES Jr. et al., 2008).

A seleção de animais multiplicadores destinados à reprodução é historicamente baseada em desempenho fenotípico de características economicamente importantes, como as taxas de crescimento. Nos anos futuros, os produtores continuarão a selecionar com base nos desempenhos individuais para características consideradas economicamente importantes, porém ter-se-á que estender a seleção a outras características.

Rhoads et al. (2013) sugeriram que enquanto os programas de melhoramento genético continuarem a enfatizar essas características de crescimento, existe o potencial que isso diminua a termotolerância devido à relação observada entre produtividade animal e aumento da produção de calor metabólico. Esse aumento na produção de calor metabólico tipicamente reduz a zona termoneutra desses animais e em conjunto com as mudanças climáticas pode apresentar algumas dificuldades para os bovinos em períodos de tempo quente (LEES et al., 2019).

2.5 Estudos genéticos em bovinos utilizando o índice de temperatura e umidade (ITU) como descritor ambiental

Sob estresse térmico, a temperatura corporal do animal excede sua faixa de temperatura específica para a atividade normal, isto requer do organismo respostas fisiológicas e comportamentais de compensação para reduzir a temperatura corporal (BERNABUCCI et al., 2010). Em bovinos, tais fatores são associados a perdas ligadas a produção e a reprodução dos animais, em maior ou menor grau dependendo do genótipo e da capacidade adaptativa. Neste viés, pesquisas na área de melhoramento genético de bovinos começaram a ser realizadas utilizando o índice de temperatura e umidade como descritor de gradiente ambiental, via normas de reação em estudos de IGA, inicialmente em bovinos de origem leiteira (RAVAGNOLO et al., 2000, RAVAGNOLO & MISZTAL, 2002; OSENI et al., 2004; AGUILAR et al., 2009; SANTANA JUNIOR. et al.,

2015). De acordo com Scholtz et al. (2013), as constantes mudanças climáticas e o aquecimento global contribuíram fortemente para o avanço da pesquisa neste campo do conhecimento.

Porém, Santana Junior. et al. (2016) relataram que até aquele momento não existiam estudos avaliando a variação genética causada pelo estresse térmico em bovinos de corte usando dados de campo. Após, busca na literatura existente sobre o tema identificou-se que ainda há uma vasta lacuna de conhecimento sobre os efeitos de variações do ITU, como gradiente ambiental, e como impactam os valores genéticos e a plasticidade fenotípica de bovinos de corte. Os poucos estudos existentes em bovinos de corte usando o ITU como descritor ambiental têm apontado a existência de IGA em bovinos de corte para peso ao desmame em bezerros das raças Nelore, Brangus e Composto tropical (SANTANA JUNIOR. et al., 2016) e na taxa de prenhez de novilhas Nelore (SANTANA JUNIOR. et al., 2018). Por outro lado, Bradford et al. (2016) não identificaram IGA, via normas de reação usado o ITU como descritor ambiental para pesos ao desmame e ao ano em bovinos Angus, entretanto, os autores citam que os resultados podem ter sofrido efeito da forma de quantificação de estresse térmico, em que os métodos usados para definir carga de calor foram aquelas desenvolvidas com sucesso para o gado leiteiro (RAVAGNOLO & MISZTAL, 2000). No entanto, os bovinos leiteiros no referido estudo eram oriundos de confinamento, sistemas com menor variação no ambiente de produção entre propriedades.

Com relação a aspectos metodológicos, Ravagnolo & Misztal (2000), estudando, via normas de reação, a IGA sobre a produção de leite relatam a possibilidade de uso de um modelo de regressão aleatória sobre ITU, o qual serviu de base aos estudos subsequentes. No entanto, tornam-se necessárias adaptações desse modelo, de modo a definir uma abordagem diferente da proposta originalmente apresentada por Ravagnolo & Misztal (2000), porque, ao contrário da produção de leite, por exemplo, o peso ao desmame em bovinos de corte tem natureza cumulativa ao longo da vida do animal (SANTANA JUNIOR. et al., 2016).

O interesse em estudar a influência do ITU como descritor ambiental em estudos de melhoramento genético, por meio de normas de reação, tem ganhado

ênfase em função dos resultados que vêm sendo encontrados. Santana Junior. et al. (2016) ao avaliarem dados de 75 rebanhos de bovinos holandeses em 8 estados brasileiros estimaram perdas da ordem de 0,22 kg/dia a cada 2 unidades a mais de ITU, na primeira lactação e 0,41 kg/dia na segunda e terceira lactações.

Em novilhas da raça Nelore, Santana Junior. et al. (2018), identificaram forte evidência da IGA devido ao estresse térmico taxa de prenhez, em que os componentes de (co) variância e as estimativas de parâmetros genéticos foram substancialmente alteradas na escala ITU. Os autores obtiveram médias *a posteriori* de h^2 para o efeito genético aditivo variando de 0,17 com ITU = 82,5 a 0,01 com ITU = 88. A correlação genética entre valores extremos de ITU (82,5 e 88) foi de -0,47 (0,10). Essas mudanças identificadas ao longo do gradiente ambiental (ITU) devem ter um impacto direto na resposta à seleção para taxa de prenhez em fêmeas Nelore. Como de praxe na maioria dos estudos com parâmetros genéticos para características reprodutivas as estimativas de h^2 foram baixas, fato que está relacionado à maior plasticidade fenotípica dessa característica. Como conclusão, Santana Junior. et al. (2018) identificaram que quando essas fêmeas tem alto mérito genético para concepção, suas taxas de prenhez tendem a cair com o aumento do ITU.

Com objetivo de identificar a variação genética no peso ao desmame de bovinos de corte em função do estresse térmico em três populações brasileiras de bovinos de corte, Santana Junior. et al. (2016) estudaram o efeito do estresse térmico acumulado do nascimento ao desmame, via modelo de normas de reação. Como evidência da IGA foi observada heterogeneidade substancial nos componentes de (co) variância para peso ao desmame através do gradiente ambiental (ITU acumulado). A esse respeito, os autores verificaram que os melhores animais em ambientes menos estressantes não são necessariamente os melhores animais em ambientes mais estressantes. Além disso, espera-se que a resposta à seleção para peso ao desmame seja menor em ambientes mais estressantes. No estudo acima referido, as médias posteriores de correlação entre o intercepto e a inclinação dos efeitos genéticos aditivos diretos e maternos e efeitos maternos de ambiente permanente foram todos negativos e de pequena

magnitude (-0,35 a -0,17). Essas correlações longe de 1 causarão uma nova classificação de animais em diferentes ambientes (Santana Junior. et al., 2016).

Em outro estudo, Santana Junior. et al. (2019) estudaram a influência do estresse térmico durante o final da gestação para peso ao nascimento de bovinos de corte compostos, usando o ITU como descritor ambiental. Os autores constataram que bezerros que passaram por estresse térmico durante os últimos 30 dias de gestação da vaca (ITU = 77) nasceram, em média, 1,248 kg mais leves, em relação àqueles que não passaram pela mesma situação (ITU = 53).

3. Hipóteses

1. A inclusão de variáveis bioclimáticas pode melhorar a predição de valores genéticos para características de crescimento e carcaça em bovinos da raça Angus.
2. O estresse térmico é capaz de afetar a predição dos valores genéticos dos animais a ponto de provocar (re)classificação de touros.
3. As características de carcaça avaliadas por ultrassonografia e o desempenho pós-desmame sofrem influência da interação genótipo-ambiente, e são prejudicadas quando os animais são manejados em ambientes com altos valores de ITU.
4. A incorporação das classes de ITU na curva fixa de regressão permite melhoria do processo de avaliação genética em bovinos Angus, via modelo de regressão aleatória.

4. Objetivos

1. Investigar a inclusão de variáveis bioclimáticas como efeitos fixos ou aleatórios, no modelo de avaliações genéticas em bovinos da raça Angus.
2. Validar o uso de informações climáticas obtidos da plataforma NASAPOWER para testar como efeitos em avaliações de interação genótipo x ambiente.
3. Avaliar se a inclusão de variáveis bioclimáticas no modelo altera o ranking de touros para as características avaliadas.
4. Avaliar a influência da interação genótipo-ambiente sobre as características estudadas, por meio de modelos de regressão aleatória, utilizando valores de ITU como descritor ambiental.
5. Estimar os parâmetros genéticos para as características de crescimento e carcaça de bovinos Angus, em diferentes escalas de ITU.

CAPÍTULO II

Inclusão de variáveis bioclimáticas em avaliações genéticas de crescimento e características de carcaça de bovinos Angus

RESUMO: Considerando a importância da pecuária de corte e as mudanças climáticas, genótipos mais tolerantes ao estresse calórico precisam ser identificados. O objetivo deste estudo foi investigar o efeito da inclusão do índice de temperatura-umidade (ITU) e da variação diária de temperatura (VDT) nas avaliações genéticas de características de crescimento e carcaça em bovinos Angus. Os dados compreenderam 44.396 bovinos Angus, coletados de 1988 a 2018 e os dados bioclimáticos (ITU e VDT) derivados de satélite da NASA em locais a menos de 50 km das fazendas. A partir de um modelo padrão (sem ITU e VDT) as variáveis bioclimáticas foram incluídas nas avaliações genéticas de diferentes formas, totalizando oito modelos. Todas as análises genéticas foram realizadas com modelo animal, utilizando o programa AIREMLF90. O modelo que incluiu ITU e VDT como efeitos fixos, para três características avaliadas, apresentou melhor ajuste ($-2\log L$, critério de informação de *Akaike* e critério de informação Bayesiano). A correlação de classificação de *Spearman* dos valores genéticos estimados para a característica área de olho de lombo (AOL) entre os oito modelos foi $\geq 0,94$ para os 5% melhores touros. Entre o modelo padrão e o modelo com melhor critério de ajuste, 58,4 % dos touros foram (re)classificados em diferentes posições para AOL. A inclusão das variáveis bioclimáticas na avaliação genética de bovinos Angus melhora os critérios de ajuste do modelo, alterando ligeiramente a classificação dos reprodutores quando ITU e VDT são incluídos como efeitos fixos. Em síntese, a inclusão de variáveis bioclimáticas mostra-se uma alternativa para melhorar os ajustes em modelos de avaliação genética em bovinos de corte.

Palavras-chave: área de olho de lombo, critério de informação bayesiano, espessura de gordura na carcaça, efeito ambiental, estresse térmico.

1. Introdução

Atualmente, o Brasil é o maior exportador mundial de carne bovina, embora 73,93% da carne produzida fique no mercado interno (ABIEC, 2021). O melhoramento genético de bovinos para produção de carne avançou no Brasil e contribuiu para ganhos significativos de produtividade.

Entre os parâmetros utilizados como gradiente ambiental em estudos com interação genótipo x ambiente de bovinos de leite, destacam-se o índice de temperatura e umidade (ITU) e a variação diária de temperatura (VDT) (NEGRI et al., 2021). Em bovinos da raça Nelore, os valores genéticos de crescimento e características reprodutivas foram sensíveis a alterações no ITU, demonstrando assim um importante efeito da interação genótipo-ambiente devido ao estresse térmico (SANTANA JUNIOR. et al., 2016; SANTANA JUNIOR. et al., 2018). No entanto, para variáveis relacionadas à qualidade da carcaça, ainda não existem estudos. O

Entre as ações que os pecuaristas podem implementar para enfrentarem o desafio do estresse térmico, a seleção genética pode ser uma ferramenta econômica e eficiente para melhorar a resiliência dos animais. No entanto, a identificação de animais tolerantes ao calor é um desafio devido à complexidade da resposta ao estresse térmico e ao antagonismo entre tolerância ao calor e produtividade (CARABAÑO et al. 2019). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito do estresse térmico via ITU e VDT nas avaliações genéticas para ganho de peso da desmama ao sobreano, e medidas ultrassonográficas da carcaça ao sobreano, em bovinos de corte da raça Angus.

2. Material e Métodos

2.1 Descrição do banco de dados

As informações fenotípicas e de pedigree utilizadas neste estudo foram fornecidas pela GenSys® Consultores Associados S/C Ltda e Natura Genética Sul Americana. A base de dados foi inicialmente composta por informações obtidas de 44.396 animais da raça Angus nascidos entre 1988 e 2018. As características avaliadas foram: ganho de peso da desmama ao sobreano (GDS) e mensurações de ultrassonografia ao sobreano, área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS).

2.2 Edição dos dados e formação do grupo de contemporâneos

Os grupos contemporâneos (GC) reuniram animais nascidos no mesmo ano e estação de nascimento, pertencentes ao mesmo grupo de manejo alimentar, criados na mesma fazenda e sexo. Para todas as características, a consistência dos dados foi realizada com base nos seguintes critérios: (a) GC com menos de três registros e (b) touros com menos de cinco progênes foram removidos do arquivo de dados final. (c) registros com desvio padrão acima e abaixo de 3,0 foram excluídos da análise.

A análise de conectividade foi realizada via software AMC (ROSO e SCHENKEL, 2006) utilizando o critério de que cada grupo contemporâneo tivesse pelo menos 10 ligações genéticas para fazer parte do arquipélago a ser usado nas análises posteriores. A análise estatística descritiva e a consistência dos dados foram realizadas por meio do software R versão 4.1.3 (R Core Team, 2022). As informações e a estrutura dos dados estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da estrutura de dados do modelo padrão

Item	Características ¹		
	AOL	EGS	GDS
Animais no arquivo de pedigree	5.229	5.138	30.105
Animais com registros	2.026	1.973	22.522
Mães no arquivo de pedigree	2.976	2.937	12.125
Pais no arquivo de pedigree	252	251	543
Média fenotípica	64,22±5,65 ²	2,79±0,45 ³	0,410±0,05 ⁴
Grupos de contemporâneos	72	70	695
Animais fora do arquipélago	7	28	227
Média do ITU	79,87	78,22	75,62
Desvio padrão do ITU	3,33	3,32	7,98

¹ AOL: Área de olho de lombo; EGS: Espessura de gordura subcutânea; GDS: Ganho de peso do desmame ao sobreano.

² expressão em cm².

³ expressão em mm.

⁴ expressão em g/d.

2.3 Variáveis bioclimáticas

A primeira variável bioclimática (VB) calculada foi o índice de temperatura-umidade (ITU) de acordo com a equação descrita pelo National Research Council (1971):

$$ITU = [(1,8 \times T + 32) - (0,55 - (0,0055 \times UR) \times (1,8 \times T - 26))],$$

em que, T é a temperatura diária de bulbo seco (T em °C) e UR e umidade relativa (UR em %), as quais foram registradas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e disponíveis na plataforma NASAPOWER (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) conforme Carrara et al. (2023). Foram utilizados dados de T e UR de cidades localizadas a menos de 50 km das fazendas.

A segunda variável utilizada foi a variação diária da temperatura (VDT) calculada pela diferença entre as temperaturas máxima e mínima diária (°C), também disponibilizadas na plataforma NASAPOWER. A variação do ITU e VDT para os últimos 10 anos está ilustrado na Figura 1. Para as análises, ITU e VDT

representam a média das observações das variáveis climáticas obtidas nos 150 dias (5 meses) que antecederam a mensuração das características nos animais, conforme utilizado por Bradford et al. (2016) para animais de mesma raça.

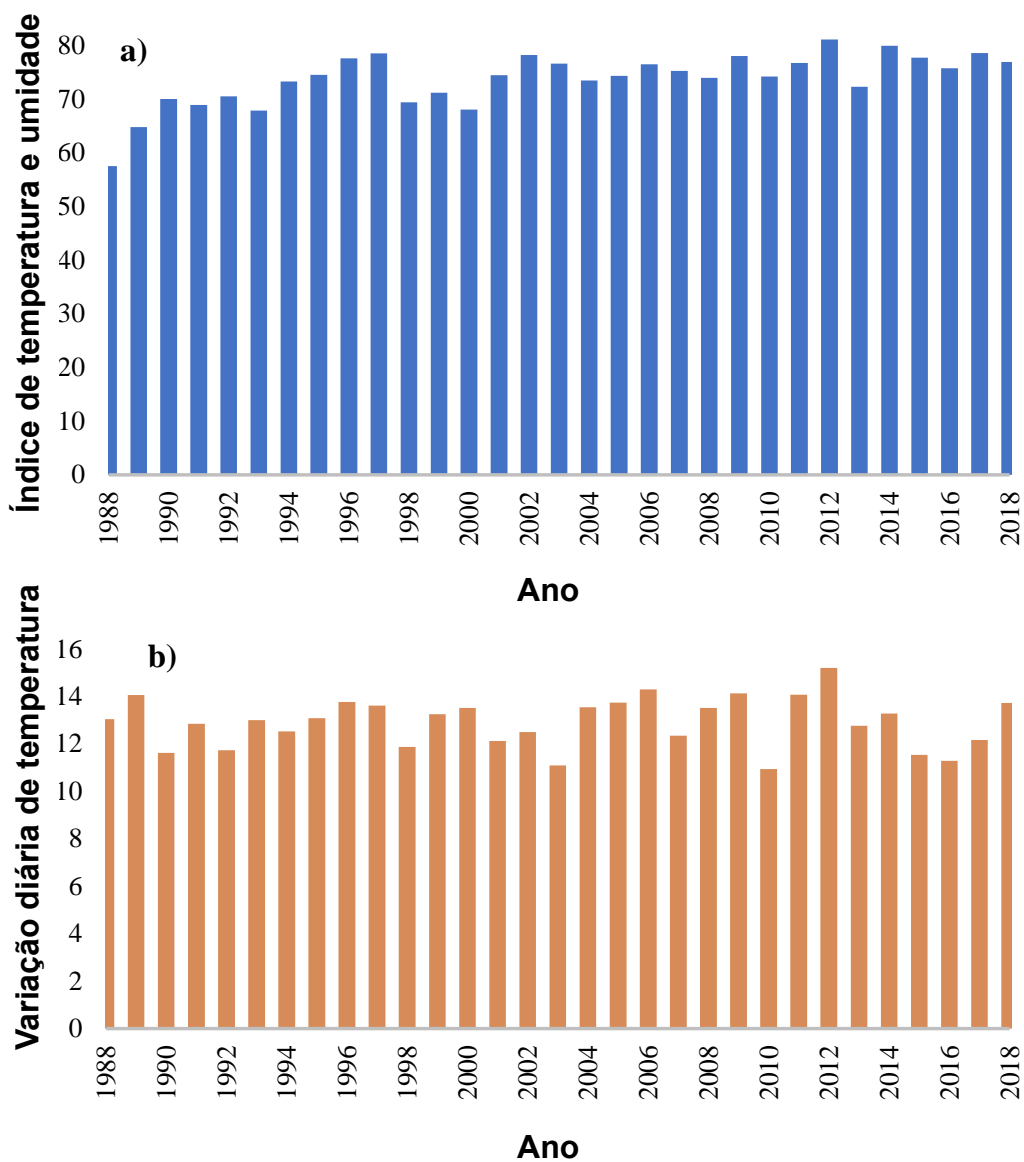


Fig. 1. Informações médias anuais bioclimáticas: a) índice de temperatura-umidade (ITU) e b) variação diária de temperatura (VDT, °C).

2.4 Modelos

Foram utilizados diferentes modelos para verificar a melhor forma de inclusão de dados bioclimáticos para correção do modelo padrão de avaliação genética para GDS, AOL e EGS. O modelo padrão (MP) não considera variáveis bioclimáticas para correção dos dados, e segue a estrutura utilizada pela empresa GenSys conforme demonstrado abaixo:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{W}\mathbf{m} + \mathbf{e},$$

sendo, \mathbf{y} um vetor de GDS, AOL e EGS; $\boldsymbol{\beta}$ as soluções para efeitos fixos da covariável linear de idade do animal (d) e grupo contemporâneo, \mathbf{u} um vetor de efeitos genéticos diretos; \mathbf{m} um vetor de efeitos genéticos maternos; e um vetor de resíduos aleatórios; \mathbf{X} , \mathbf{Z} e \mathbf{W} matrizes de incidência relacionando registros a efeitos genéticos fixos, diretos e genéticos maternos, respectivamente. Para todos os modelos, a covariância entre os efeitos genéticos diretos e maternos foi assumida como 0, conforme usado por Bradford et al. (2016).

A partir do modelo padrão foram incluídas as variáveis bioclimáticas (VB) de diferentes formas, chegando aos oito modelos descritos a seguir.

Modelo 1 (M1): Modelo padrão, sem a inclusão das VBs conforme descrito acima.

Modelo 2 (M2): Grupo de contemporâneo e ITU (efeitos fixos).

Modelo 3 (M3): Grupo de contemporâneo (efeitos fixos) e ITU (covariável linear).

Modelo 4 (M4): Grupo de contemporâneo (efeitos fixos) e ITU (covariável linear e quadrática).

Modelo 5 (M5): Grupo de contemporâneo (efeitos fixos), ITU e VDT (covariáveis lineares).

Modelo 6 (M6): Grupo de contemporâneo, ITU e VDT (efeitos fixos).

Modelo 7 (M7): Grupo de contemporâneo e ITU (efeitos fixos) e VDT (covariável linear).

Modelo 8 (M8): Grupo de contemporâneo e VDT (efeitos fixos) e ITU (covariável linear).

2.5 Comparação de modelos

Todas as análises genéticas foram realizadas com um modelo animal, utilizando o programa AIREMLF90 (MISZTAL et al., 2002). A qualidade do ajuste foi avaliada considerando modelos não aninhados e penalidades, de acordo com o número de parâmetros a serem estimados, via os seguintes critérios. Critério de informação de Akaike ($AIC = -2\log L + 2p$, em que p é o número de parâmetros do modelo); o Critério Bayesiano de Schwarz ($BIC = -2\log L + p \cdot \log(\lambda)$, em que $\log(\lambda)$ é o logaritmo natural do tamanho da amostra (ou dimensão de y) e p é o número de parâmetros no modelo). O critério de informação Bayesiano de Schwarz é mais rígido que o AIC e o desejável são modelos com menor valor, para ambos os critérios. Para verificar a reclassificação dos 5% melhores touros (Top 5%), em cada modelo, via seus valores genéticos estimados (VG), foi utilizado o coeficiente de correlação de *Spearman*.

3 Resultados

3.1 Ajuste dos modelos

Para GDS, os modelos M3; M4; e M5 são muito similares ao modelo padrão e apresentaram os piores ajustes (Fig. 2). Um segundo grupo, formado pelos modelos M2; M7 e M8, apresentaram ajustes intermediários, mas o M6 foi o modelo com os menores valores, demonstrando melhor ajuste ao conjunto de dados.

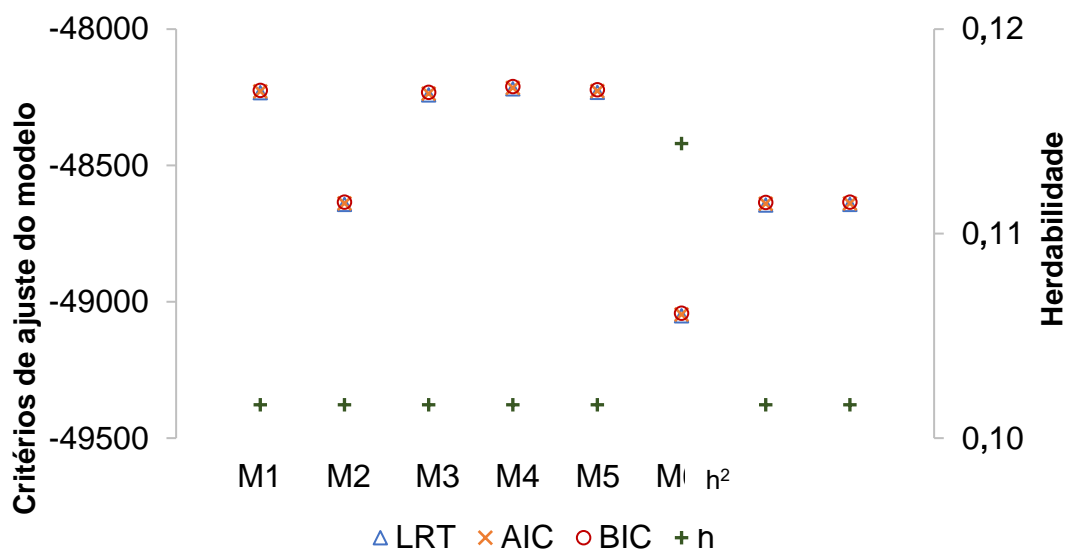


Fig. 2. Estimativas de critérios de ajuste de modelos: função de probabilidade de log ($-2\log L$), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação de Schwarz Bayesiano (BIC); e estimativas de herdabilidade para ganho de peso do desmame ao sobreano

Observa-se que o acréscimo de variável ambiental modelada como covariável (M3, M4 e M5) não melhora o ajuste em relação ao modelo padrão (M1). No entanto, tratar uma das variáveis ambientais (ITU, no M2) como fixa melhora-se o ajuste em relação a M1 e, quando ambas as variáveis ambientais são tratadas como fixas (ITU e VDT, no M6) se consegue o melhor ajuste.

Para AOL, avaliado por ultrassonografia ao sobreano, observou-se o mesmo padrão obtido para GDS. A cada acréscimo da variável ambiental, tratada, como fixa se melhora a qualidade do ajuste. Portanto, o M6 também apresentou os melhores ajustes (menores valores de $-2\log L$, AIC e BIC) para correção dos dados (Figuras 3).

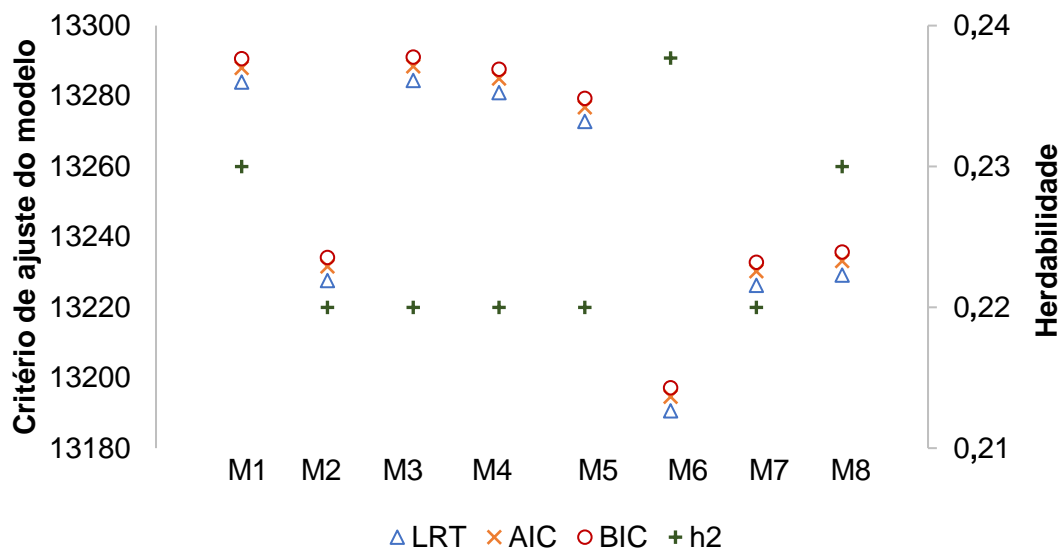


Fig 3. Estimativas de critérios de ajuste de modelos: função de probabilidade de log ($-2\log L$), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação de Schwarz Bayesiano (BIC); e estimativa de herdabilidade para área de olho de lombo (AOL) para cada modelo (M1 a M8).

Da mesma forma que ocorreu para as demais características, para EGS o modelo de melhor ajuste foi o M6, levando a maiores estimativas de herdabilidade com aumento na detecção de variabilidade genética, fato também observado para as outras variáveis em diferentes magnitudes (Figura 4).

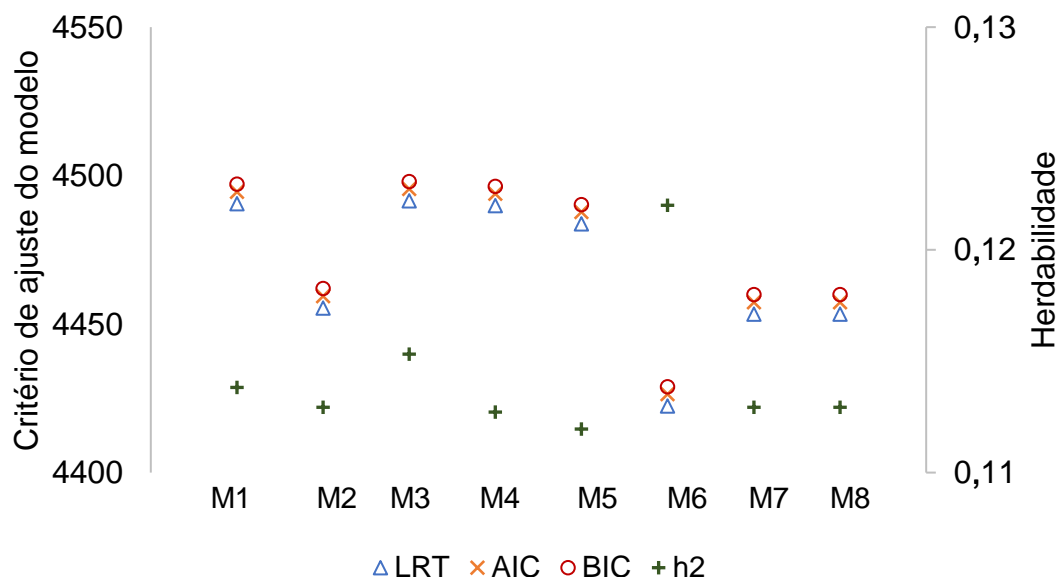


Fig. 4. Estimativas de critérios de ajuste de modelos: função de probabilidade de log ($-2\log L$), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação de Schwarz Bayesiano (BIC); e estimativas de herdabilidade para espessura de gordura subcutânea (EGS) para cada modelo (M1 a M8).

3.2 Ranking do Top 5% Touros pelos valores genéticos estimados

Como resultado, foi testado um coeficiente de correlação de *Spearman* para os 5% melhores touros no *ranking* (valores genéticos estimados) para área de olho de lombo (Tabela 2). Adotou-se essa característica para avaliar as classificações dos touros, em virtude desta, apresentar a maior variabilidade genética (h^2 situada entre 0,22 e 0,24 nos distintos modelos testados). Como as variações nos critérios de ajuste do modelo e na estimativa de h^2 foram pequenas, a correlação de *Spearman* dos valores genéticos estimados entre os oito modelos foi $\geq 0,94$ para os 5% melhores touros ($n = 12$).

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Spearman para os 5% melhores touros (valores genéticos estimados) para área de olho de lombo entre os modelos testados (M1 a M8).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
M1		0,94	1,00	0,98	0,96	0,94	0,94	0,94
M2			0,94	0,95	0,98	1,00	1,00	1,00
M3				0,98	0,96	0,94	0,94	0,94
M4					0,97	0,96	0,96	0,96
M5						1,00	1,00	1,00
M6							1,00	1,00
M7								1,00
M8								

Para verificar o impacto do estresse térmico na estimativa de VGs dos touros para AOL, foi demonstrada a classificação de touros em cada modelo que incluiu as variáveis bioclimáticas, em relação ao modelo padrão (utilizado rotineiramente). Dos doze touros testados (top 5%), oito (denominados a, b, d, e, g, i, j e k) mudaram de posição no ranking de acordo com o modelo utilizado (Tabela 3).

Tabela 3. Ranking de valores genéticos estimados dos doze melhores reprodutores (top 5%) para área de olho de lombo, de acordo com os modelos testados.

Item	Modelos							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Touros								
a	9	11	9	10	11	11	11	11
b	2	3	2	3	3	3	3	3
c	12	12	12	12	12	12	12	12
d	11	9	11	11	9	9	9	9
e	7	6	7	7	7	6	6	6
f	5	5	5	5	5	5	5	5
g	3	2	3	2	2	2	2	2
h	1	1	1	1	1	1	1	1
i	10	10	10	9	10	10	10	10
j	8	7	8	8	8	7	7	7
k	6	8	6	6	6	8	8	8
l	4	4	4	4	4	4	4	4

4 Discussão

Quando se pensa em inclusão de variáveis bioclimáticas na avaliação genética de bovinos de corte, a limitação passa a ser quanto à proximidade das fazendas às estações meteorológicas (geralmente precisa ser <50 km). Como resultado, muitas informações são perdidas. Nesse sentido, o presente estudo parece ser pioneiro na utilização de dados meteorológicos de satélite obtidos da plataforma NASA-POWER. O sistema NASA-POWER foi desenvolvido para fornecer um conjunto de informações meteorológicas para apoiar e ser usado diretamente em diversas áreas (STACKHOUSE et al., 2016). Os produtos obtidos, baseados em satélites e modelos de dados, mostraram-se precisos para

fornecer dados confiáveis em locais suficientes onde as medições de superfície são escassas ou inexistentes (STACKHOUSE, 2022; CARRARA et al., 2023).

Rhoads et al. (2013) sugeriram que, se os programas de melhoramento continuarem a enfatizar essas características de crescimento, existe potencial para que isso diminua a termotolerância devido à relação observada entre a produtividade animal e o aumento da produção metabólica de calor. Esse aumento na produção metabólica de calor normalmente reduz a zona termoneutra desses animais e em conjunto com as mudanças climáticas, podem apresentar algumas dificuldades para os bovinos em períodos de clima quente (Lees et al., 2019).

Dentre os modelos em estudo o modelo que apresentou melhor ajuste em função dos critérios (AIC, BIC e -2Log) foi o modelo 6 (M6), que incluiu as variáveis bioclimáticas ITU e VDT como efeitos fixos, na avaliação das três características. A inclusão da VDT, junto ao ITU é inédita para bovinos de corte, porém, os resultados obtidos corroboram com Negri et al. (2021), que evidenciaram que, para vacas leiteiras, a inclusão de ITU e VDT como efeitos fixos foi a melhor modelagem de avaliação genética para produção de leite.

No caso de bovinos de corte, os poucos estudos que incluem a ITU nas avaliações genéticas evidenciam que seu uso como descritor ambiental permite evidenciar a interação genótipos x ambientes (IGA). Santana Junior et al. (2018) verificaram que os valores genéticos para taxa de prenhez de novilhas Nelore foram sensíveis às mudanças no ITU, demonstrando um importante efeito da interação genótipo-ambiente devido ao estresse térmico.

As respostas dos animais ao seu ambiente térmico são extremamente variadas, no entanto, o ambiente térmico influencia na saúde, produtividade e bem-estar dos bovinos (Lees et al., 2019). Para características avaliadas na carcaça que, no passado exigia o abate de progênies para avaliação de touros, a consideração do ambiente térmico nos modelos tornava-se praticamente inexistente. Bradford et al. (2016) descreveram que, mesmo para seleção de características extremamente relevantes na carcaça não se costuma ter informações sobre a localização geográfica dos animais durante a fase de terminação, limitando a capacidade de avaliar o estresse térmico.

Embora não se deva descuidar das características de crescimento, nas últimas décadas surgiu a necessidade de selecionar bovinos com melhores constituições de carcaça, voltadas à maior produção de carne, com melhor acabamento. Destaca-se nesse contexto, a técnica de ultrassonografia, que permite aferir características como área de olho de lombo e espessura de gordura a qualquer idade, e que ao contrário, dos testes de progênie permite estimar precocemente o valor genético dos animais. Ademais, o uso da ultrassonografia de carcaça permite que se aumenta a coleta de fenótipos na carcaça apontados, por Bradford et al. (2016) como um limitante à seleção desse conjunto de características.

Evidenciou-se que ao usar as informações de ITU e VDT como efeitos fixos, ao invés de incluí-los como covariável ocorre melhor ajuste do modelo. Resultado que corrobora com as observações de Negri et al. (2020), em gado de leite, que também obtiveram melhor ajuste no modelo quando ITU e VDT foram usadas como efeitos fixos. Nesse estudo, constataram uma (re)classificação maior dos valores genéticos de reprodutores nos modelos avaliados e sugerem que VDT seja incluída, juntamente ao ITU, em avaliações que busquem avaliar o impacto do estresse térmico. Tais variáveis, atualmente, são fundamentais de serem quantificadas, pois, sob estresse térmico, a temperatura corporal do animal excede sua faixa de temperatura específica para a atividade normal, isto requer do organismo respostas fisiológicas e comportamentais de compensação para reduzir a temperatura corporal (BERNABUCCI et al., 2010). Em bovinos, tais fatores são associados a perdas ligadas a produção e a reprodução dos animais, em maior ou menor grau dependendo do genótipo e da capacidade adaptativa.

As mudanças de classificação dos 5% melhores touros pelos seus VGs para as características GDS, AOL e EGS foram muito pequenas. Contudo, mesmo as correlações medianas podem levar a mudanças importantes na classificação dos touros (AMBROSINI et al., 2016).

Esse resultado está de acordo com Ogawa & Satoh (2021) usaram um de regressão aleatória e um modelo de repetibilidade e encontraram uma correlação da classificação de *Spearman* dos VGs em ambos os modelos estimados entre 0,94 para touros ao avaliar a resposta no intervalo entre partos

de vacas de corte. Ambrosini et al. (2016) obtiveram correlações de classificação de médias a altas entre VGs dos touros, em diferentes ambientes, mostrando baixa ocorrência de reclassificação, para características de crescimento em bovinos de corte, via modelo de normas de reação.

No caso do presente estudo, mesmo com altos coeficientes de correlação de *Spearman* entre os VGs dos melhores touros Angus para AOL e EGS, nos diferentes modelos observamos mudanças muito pequenas no ranking. Sendo possível verificar que os touros com melhores valores genéticos, assim permanecem, não alterando suas classificações, devido aos modelos de avaliação testados (Tabela 3). Este resultado demonstra a robustez de tais animais, desta forma ocorre a seleção dos melhores touros pela metodologia tradicional e excluindo os demais da seleção. Os estudos disponíveis na literatura indicam a possibilidade de programas de avaliação, genética utilizarem melhor o componente genético em relação à sensibilidade ambiental por meio de sua inclusão de variáveis ambientais descritoras nos modelos de avaliação. Variações adaptativas podem ser incluídas, por exemplo, em índices de seleção para selecionar opções de genótipos com mais robustez ou para favorecer genótipos com maior plasticidade e que respondam a melhorias no ambiente para uma determinada característica (Mattar et al., 2011).

Atualmente, a existência da interação entre o genótipo e as variáveis climatológicas não pode mais ser negligenciada. Sem a inclusão de variáveis bioclimáticas no modelo, alguns touros podem ser penalizados porque suas progênes estão condicionadas a fatores ambientais de estresse (Negri et al., 2021). Neste contexto, o presente trabalho permite inferir que incluir indicadores de estresse térmico em modelos genéticos de bovinos de corte devem ser mais estudados e incluídos nos modelos como efeitos fixos para obtenção de valores genéticos mais acurados.

5 Conclusões

A inclusão das variáveis bioclimáticas ITU e VDT como efeitos fixos na avaliação genética de bovinos de corte Angus melhora os critérios de ajuste dos modelos, mostrando-se uma descoberta promissora.

A classificação dos touros muda ligeiramente quando ITU e VDT são incluídos como efeitos fixos no modelo, alterando o valor genético estimado para características de carcaça, avaliadas por ultrassonografia *in vivo*

Referências

AMBROSINI, D. P. et al. Interação genótipo x ambiente via modelos de normas de reação para características de crescimento em bovinos Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 2, p. 177-186, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Beef report – Perfil da pecuária no Brasil**. São Paulo: ABIEC, 2021. 60 p.

BERNABUCCI, U. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v.4, p.1167-1183, 2010.

BRADFORD, H. L. et al. Genetic evaluations for growth heat tolerance in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v.94, p.4143-4150, 2016.

CARABAÑO, M. et al. Selecting for heat tolerance. **Animal Frontiers**, London, v. 9, n. 1, p. 62-68, 2019.

CARRARA, E. R. et al. NASA POWER satellite meteorological system is a good tool for obtaining estimates of the temperature-humidity index under Brazilian conditions compared to INMET weather stations data. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 67, p.1273-1277, 2023.

FARIA, C. U. et al. Análise bayesiana para características de carcaça avaliadas por ultrassonografia de bovinos da raça Nelore Mocho, criados em bioma Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 317-322, 2015.

LEES, A. M. et al. The impact of heat load on cattle. **Animals**, Basel, v. 9, n. 6, [art.] 322, 2019.

MATTAR, M.; SILVA, L. O. C.; CARDOSO, F. F. Genotype x environment interaction for long-yearling weight in Canchim cattle quantified by reaction norm analysis. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 2349-2355, 2011.

MISZTAL, I. *et al.* BLUPF90 and related programs (BGF90). *In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7.*, 2002, Montpellier, France. **Proceedings of the [...]**. Paris: INRA, 2002. p. 21-22.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **A guide to environmental research on animals**. Washington, DC: National Academy of Sciences, 1971.

NEGRI, R. *et al.* Inclusion of bioclimatic variables in genetic evaluations of dairy cattle. **Animal Bioscience**, Seoul, v. 34, n. 2, p. 163–171, 2021.

OGAWA, S.; SATOH, M. Random regression analysis of calving interval of Japanese black cows. **Animals**, Basel, v. 11, n. 1, [art.] 202, 2021.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

RHOADS, R. P.; BAUMGARD, L. H.; SUAGEE, J. K. 2011 and 2012 early careers achievement awards: metabolic priorities during heat stress with an emphasis on skeletal muscle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, p. 2492-2503, 2013.

ROSO, V. M.; SCHENKEL, F. S. AMC - a computer program to assess the degree of connectedness among contemporary groups. *In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8.*, 2006, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Proceedings of the [...]**. Belo Horizonte: Instituto Prociência, 2006. p. 26–27.

SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Genetic variation of the weaning weight of beef cattle as a function of accumulated heat stress. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.133, p.92-104, 2016.

SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Genetic variation in Nelore heifer pregnancy due to heat stress during the breeding season. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 218, p. 101-107, 2018.

SILVA, S. L. *et al.* Correlações entre características de carcaça avaliadas por ultrassom e pós-abate em novilhos Nelore, alimentados com altas proporções de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1236-1242, 2003.

SILVA, T. L. *et al.* Genotype-environment interaction in the genetic variability analysis of reproductive traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 230, [art.] e103825, 2019.

STACKHOUSE, P. W. *et al.* **Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) release 6.0 methodology**: version 3.2.0. [S. l.: NASA], June 2016. Disponível em: <https://dokumen.tips/documents/sse-release-60-methodology.html?page=1>. Acesso em: 22 maio 2021.

STACKHOUSE, P. W. **The POWER project**. Hampton: NASA Prediction of Worldwide Energy Resources, 2022. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/>. Acesso em: 12 abr. 2022.

CAPÍTULO III

Interação genótipo x ambiente devido ao estresse térmico em características de crescimento e carcaça de bovinos da raça Angus

RESUMO: Objetivou-se neste estudo estimar os parâmetros genéticos e ocorrência de IGA para características de crescimento e carcaça, usando índice de temperatura e umidade (ITU) como descritor ambiental, via normas de reação em uma população de bovinos Angus. Foram utilizados dados de 44.396 bovinos Angus, coletados de 1988 a 2018 e dados bioclimáticos para o cálculo de ITU obtidos de satélite da NASA, em locais a menos de 50 km das fazendas. Componentes de (co)variância e parâmetros genéticos para todas as características foram estimados usando modelo de norma de reação. O ganho de peso da desmama ao sobreano foi reduzido linearmente com o aumento nos valores de ITU, em 9 g/dia em cada unidade de ITU. As alterações observadas nas estimativas de variâncias e herdabilidade para as características ganho do desmame ao sobreano (GDS), área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS) sugerem substancial heterogeneidade de variâncias genéticas, ao longo do gradiente ambiental. Contudo, há variabilidade genética suficiente para realizar seleção, visando melhoramento genético para crescimento e constituição de carcaça, e ao mesmo tempo para termotolerância em bovinos Angus. As estimativas de correlação genética entre valores distintos de ITU foram de baixa magnitude em condições distintas de estresse térmico, indicando que o conjunto de genes responsáveis pela expressão dos fenótipos avaliados em ambiente de conforto é diferente daqueles que atuam em condições de estresse térmico. Conclui-se com as estimativas de parâmetros genéticos que existe interação genótipo-ambiente para características de crescimento e carcaça em bovinos Angus criados em condições (sub)tropicais, e que incluir indicadores de estresse térmico nas avaliações genéticas permite ser mais assertivo na identificação de animais de maior mérito genético em cada ambiente.

Palavras-chave: bovinos de corte, características de carcaça, parâmetros genéticos, regressão aleatória, termotolerância.

1. Introdução

Em seu princípio, os programas de melhoramento genético de bovinos de corte davam ênfase a características de crescimento, por fatores como, maior facilidade na coleta de fenótipos e rápida percepção de avanços, resultante da variabilidade genética existente para tais caracteres. No entanto, nas últimas décadas surgiu a necessidade de selecionar bovinos com melhores constituições de carcaça, voltadas à maior produção de carne e com melhor acabamento. Destaca-se nesse contexto, a técnica de ultrassonografia, que permite aferir características como área de olho de lombo e espessura de gordura a qualquer idade, diminuindo o intervalo de gerações.

Ao se buscar aliar velocidade de crescimento, com constituições de carcaça e qualidade de carne buscadas pelo mercado, a raça Angus ganha destaque no cenário mundial. Ademais, as características de carcaça avaliadas in vivo, na raça Angus têm apresentado valores de herdabilidade que denotam resposta à seleção direta (KEMP et al., 2002; WEIK et al., 2021). Por outro lado, as características ligadas à termorregulação fazem com que bovinos britânicos, como Angus, tenham atributos que os tornam naturalmente propensos aos efeitos nocivos do estresse térmico, quando criados em ambientes (sub)tropicais (ALVES et al., 2022). Neste contexto, o principal indicador de estresse térmico utilizado em avaliações genéticas de bovinos de corte é o índice de temperatura e umidade (BRADFORD et al., 2016; SANTANA JUNIOR et al., 2016; ALVES et al., 2022)

Embora vários estudos tenham relatado os efeitos da interação genótipo-ambiente (IGA), sobre características produtivas, as avaliações genéticas em programas de melhoramento para bovinos de corte são realizadas sob suposições gerais de ausência de IGA e variâncias residuais e genéticas constantes (FREITAS et al., 2021). Todavia, negligenciar os efeitos da IGA sobre a estimação de valores genéticos pode resultar em predições viesadas que prejudiquem o avanço genético. Silva et al. (2019) destacam que dos fatores estudados na IGA, a inclusão das variações adaptativas em diferentes condições expostas pelo ambiente gera maior precisão nas predições dos valores genéticos para as características testadas, resultando numa seleção mais efetiva

e com maior progresso genético. Modelos de normas de reação têm sido usados para avaliar a IGA em bovinos de corte (SANTANA JUNIOR et al., 2016; ARAÚJO NETO et al., 2018; SILVA et al., 2019; ALVES et al., 2022).

O objetivo deste estudo foi verificar a presença da IGA nas características de crescimento e carcaça da raça Angus, usando índice de temperatura e umidade como descritor ambiental, via normas de reação.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição do banco de dados

As informações usadas nas análises foram o ganho de peso da desmama ao sobreano (GDS), a área de olho de lombo (AOL) e a espessura de gordura subcutânea (EGS). Estas últimas mensuradas por ultrassonografia de carcaça. O banco de dados inicial e as informações de pedigree foram cedidos pela empresa GenSys®, responsável pelo programa de melhoramento genético Natura, que inclui a raça Angus. O conjunto de dados considerados na avaliação genética constituía-se inicialmente de 44.396 animais da raça Angus nascidos de 1988 a 2018, em diferentes regiões brasileiras e do Paraguai.

2.2. Edição dos dados e formação do grupo de contemporâneos

Foram criados grupos contemporâneos (GC) reuniram animais nascidos no mesmo ano e estação de nascimento, pertencentes ao mesmo grupo de manejo alimentar, criados na mesma fazenda e de mesmo sexo. Para obter a consistência dos dados foram eliminados do arquivo, os GC's com menos de três registros, touros com menos de cinco progênie. Os registros com desvio padrão acima e abaixo de 3,0 foram excluídos da análise.

A análise de conexão entre os grupos de contemporâneos foi realizada pelo programa AMC (ROSO & SCHENKEL, 2006) baseada no número total de laços genéticos, em que para permanecer foi necessário o mínimo 10 laços genéticos. A análise estatística descritiva (Tabela 1) e a consistência dos dados foram realizadas por meio do software R versão 4.1.3 (R Core Team, 2022).

Tabela 1. Resumo da estrutura de dados após consistência

Item	Características ¹		
	AOL	EGS	GDS
Animais no arquivo de pedigree	5.229	5.138	30.105
Animais com registros	2.026	1.973	22.522
Mães no arquivo de pedigree	2.976	2.937	12.125
Pais no arquivo de pedigree	252	251	543
Média fenotípica	64,22±5,65 ²	2,79±0,45 ³	0,410±0,05 ⁴
Grupos de contemporâneos	72	70	695
Animais fora do arquipélago	7	28	227
Média do ITU	79,87	78,22	75,62
Desvio padrão do ITU	3,33	3,32	7,98

¹ AOL: Área de olho de lombo; EGS: Espessura de gordura subcutânea; GDS: Ganho de peso do desmame ao sobreano.

² expresso em cm².

³ expresso em mm.

⁴ expresso em g/d.

2.3. Dados climáticos e descritor ambiental

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi adotado como descritor da condição térmica pré-avaliações das características estudadas. O ITU foi calculado de acordo com equação proposta pelo NRC (1971), como segue:

$$ITU = [(1,8 \times T + 32) - (0,55 - (0,0055 \times UR) \times (1,8 \times T - 26))],$$

em que, T é a temperatura diária de bulbo seco (T em °C) e UR e umidade relativa (UR em %), as quais foram registradas pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e disponíveis na plataforma NASAPOWER (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>). A distância máxima admitida entre as cidades que continham informações de T e UR e as fazendas de criação foi de 50 km em linha reta. O ITU médio utilizado como descritor ambiental, no presente estudo considerou 150 dias anteriores à coleta dos fenótipos, conforme utilizado por Bradford et al. (2016).

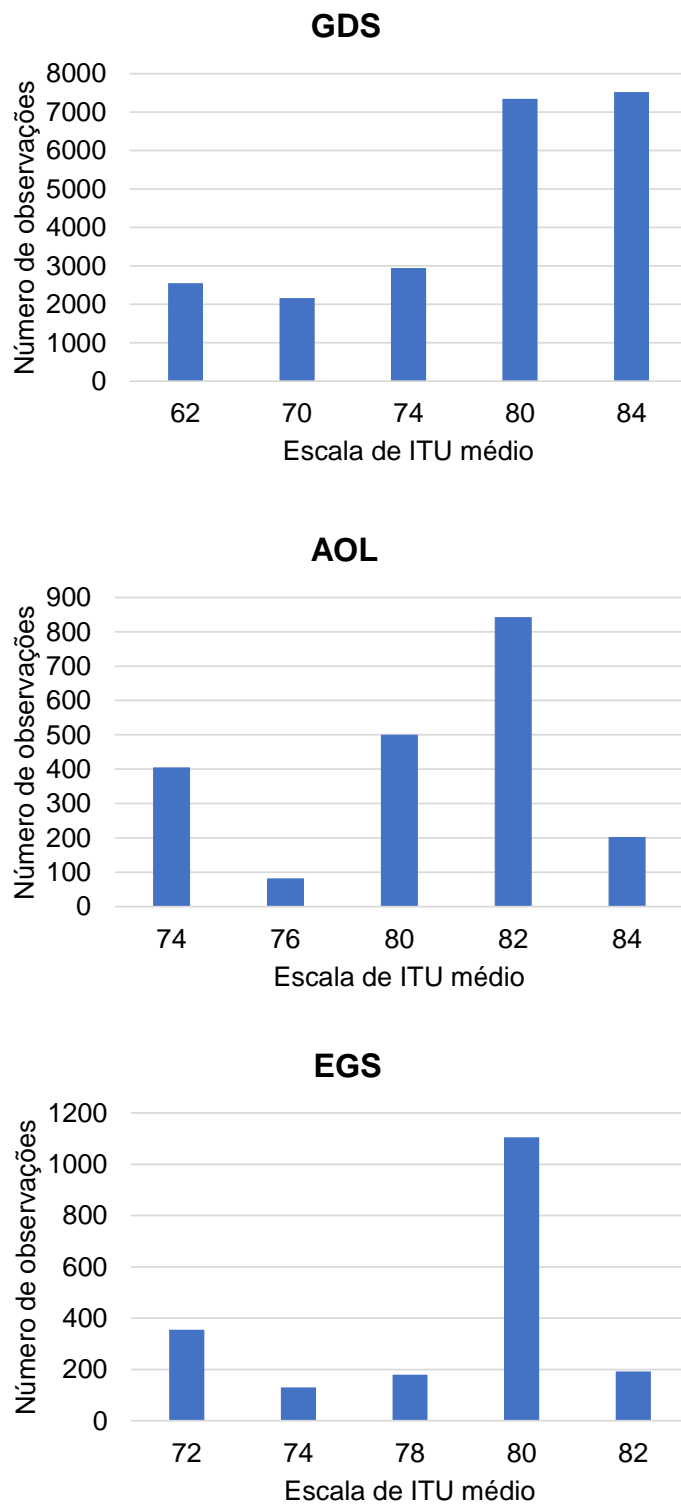


Fig. 1. Distribuição dos registros de ganho de peso da desmama ao sobreano (GDS), área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS) de acordo com as classes de ITU médio nos 150 dias pré-avaliação

2.4. Estimação dos componentes de (co)variância

Os componentes de variância foram obtidos usando um modelo de normas de reação linear, usando como variável descritora o ITU médio. O modelo adotado pode ser descrito como segue:

$$y_{ijkl} = hys_i + \sum_{k=0}^n \phi_k(mo_t)\beta_{jk} + \sum_{k=0}^n \phi_k(mo_t)u_{jk} + \sum_{k=0}^n \phi_k(mo_t)pe_{jk} + e_{ijkl},$$

em que y_{ijkl} é o vetor de informações dos fenótipos para GDS, AOL e EGS; hys_i é o conjunto de efeitos fixos; β_{jk} é o coeficiente de regressão linear fixa; u_{jk} e pe_{jk} são os coeficientes de regressão aleatória lineares que descrevem os efeitos genéticos aditivos e de ambiente permanente sobre a performance do animal; $\phi_k(mo_t)$ é polinômio ortogonal de Legendre correspondente ao ITU médio, usado como coeficiente de regressão; e e_{ijkl} é o efeito aleatório residual. A variância residual heterogênea foi modelada com três classes de ITU médio ($ITU \leq 74$; $75 \leq ITU \leq 79$; $ITU \geq 80$).

Para o modelo adotado assumiu-se:

$$\text{Var} = \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{pe} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} \otimes \mathbf{G} & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{I} \otimes \mathbf{P} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{E} \end{bmatrix},$$

em que \mathbf{G} e \mathbf{P} são as matrizes de (co)variância dos coeficientes de regressão aleatória, \mathbf{A} é a matriz de parentesco, \mathbf{I} é a matriz identidade, \mathbf{E} é uma matriz diagonal com uma variância residual específica para cada classe de ITU, e \otimes é o produto de Kronecker entre as matrizes.

Os componentes de (co)variância foram obtidos usando o amostrador de Gibbs. Por meio de métodos Monte Carlo via Cadeias de Markov (MCMC), usando o Amostrador de Gibbs, gerou-se uma amostra piloto com uma cadeia total de 100.000 amostras chegando a 200.000 amostras, um período de descarte (*burn-in*) de 10.000 e dez (10) de intervalo de salvamento (*thinning*) para as características. Para definir a quantidade ideal de iterações necessárias para que o Amostrador de Gibbs apresentasse convergência à distribuição

estacionária, foi utilizado o critério de Raftery & Lewis (RAFTERY & LEWIS, 1992).

A convergência da cadeia de Gibbs para as amostras sugeridas pelo teste de Raftery & Lewis foi verificada com base no arquivo de saída (*postgibbs_samples*), gerado pelo programa POSTGIBBSF90 (MISZTAL et al., 2002) e testada através do critério de Geweke. Assim, os componentes de (co)variância e os parâmetros genéticos (herdabilidade e correlação genética) foram calculados com as 9.000 amostras. Estes testes foram realizados por meio do software R versão 4.1.3 (R Core Team, 2022).

3. Resultados

As estimativas de herdabilidade (h^2) para GDS se alteraram ao longo do gradiente ambiental (0,14 a 0,49), em que condições mais extremas de estresse, resultaram em menores estimativas de h^2 (Figura 2).

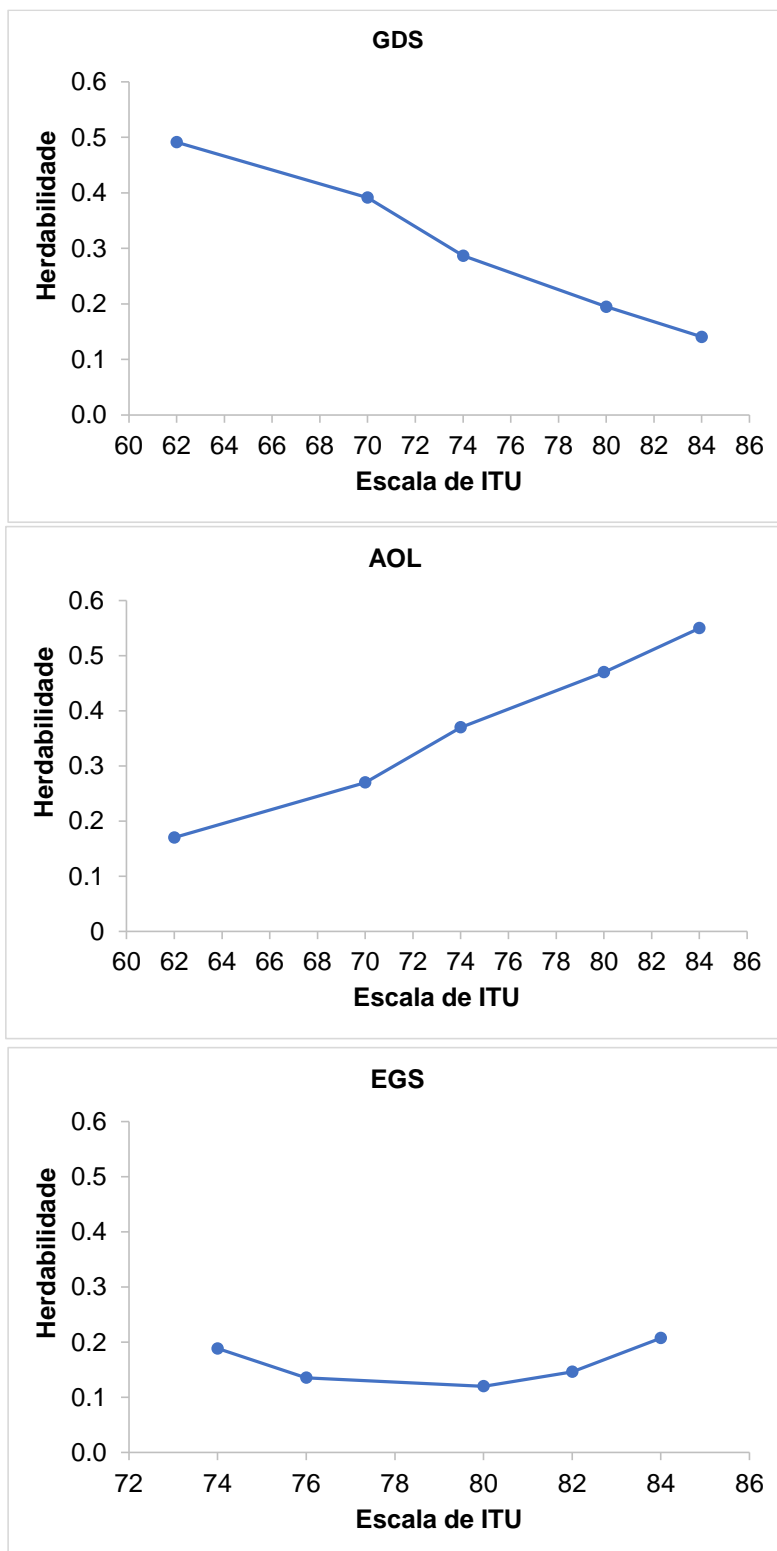


Fig. 2. Médias posteriores das estimativas de herdabilidade para ganho da desmama ao sobreano (GDS), área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS) em função do ITU médio.

A área de olho de lombo teve, alteração ao longo do gradiente ambiental, porém com aumento a cada unidade de ITU, os valores de h^2 diminuíram (0,17 a 0,55) (Figura 2).

Com relação a espessura de gordura subcutânea percebe-se um comportamento distinto, em que as maiores estimativas de h^2 estiveram nos extremos de ITU e as menores estimativas em escalas de ITU intermediárias, com estimativas de h^2 de 0,19 e 0,21, respectivamente, para ITU de 74 e 84. Enquanto isso, a menor estimativa foi de 0,12 na ITU 80 (Figura 2).

As correlações genéticas (r_g) obtidas para GDS nos diferentes valores de ITU variaram, principalmente entre os ITUs extremos, indicando ocorrência de interação genótipo-ambiente, e conseqüentemente possibilidade de alteração de classificação de touros pelos seus valores genéticos entre ITU 62 vs. ITU 80 e 84, e entre ITU 74 e ITU 84, com valores de r_g menores que 0,80 caracterizando IGA segundo Robertson (1959) (Figura 3).



Fig. 3. Média posterior de estimativa de correlação genética entre o ganho de peso da desmama ao sobreano, em diferentes valores de índice de temperatura e umidade para bovinos da raça Angus

Correlações genéticas (r_g) de diferentes magnitudes foram obtidas entre área de olho de lombo nos diferentes ITUs (Figura 4), demonstrando alteração dos de acordo com maior ou menor estresse térmico. Foram observados valores menores que 0,80 da ITU 74 com as demais.



Fig. 4. Média posterior de estimativa de correlação genética entre a área de olho de lombo, em diferentes valores de índice de temperatura e umidade para bovinos da raça Angus

A espessura de gordura subcutânea, avaliada por ultrassonografia, resultou em valores de r_g bastante discrepantes, em diferentes condições de estresse térmico (Figura 5). Com isso, há indícios de forte interação genótipo-ambiente, para características de acabamento de carcaça.

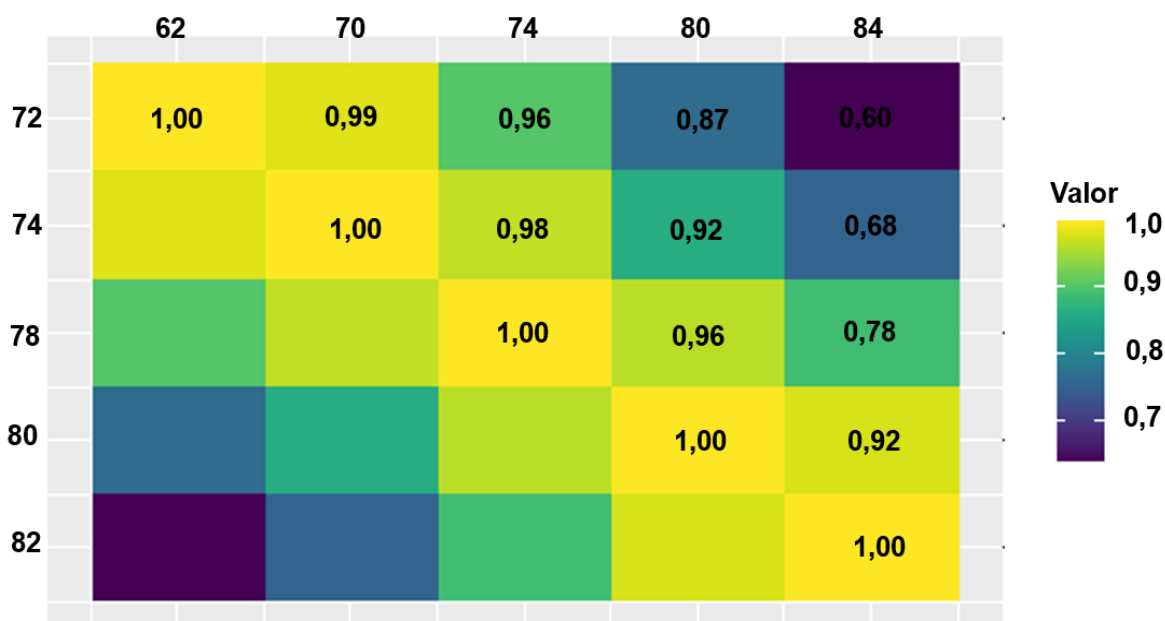


Fig. 5. Média posterior de estimativa de correlação genética entre a espessura de gordura subcutânea, em diferentes valores de índice de temperatura e umidade para bovinos da raça Angus

4. Discussão

Observou-se maior número de observações para as características avaliadas concentradas em valores de ITU superiores a 80 (Figura 1). Isso se deve ao período do ano em que são realizadas a grande maioria das avaliações ao sobreano em bovinos de corte no Brasil, no início da estação de outono, ou seja, 150 dias prévios a essa avaliação contemplam a estação do verão caracterizada por clima bastante quente em praticamente todas as regiões do Brasil. Dessa forma, a grande maioria dos bovinos encontravam-se sob condições de estresse por calor em ambiente natural. Comportamento oposto foi observado por Bradford et al. (2016), em que um significativo número de bovinos Angus avaliados ao desmame e ao sobreano não se encontravam em escalas de ITU que representassem estresse por calor.

.A interação entre genótipo e ambiente fornece evidências convincentes de que os valores dos parâmetros genéticos dependem do ambiente em que os animais são criados (Rezende et al., 2020). Esta afirmação é corroborada pelos resultados obtidos neste trabalho para as três características avaliadas, pois houve mudança nas estimativas de h^2 ao longo do descritor ambiental (Figura 2). Ao passo que quando houve aumento na escala de ITU, as estimativas de h^2 para GDS demonstraram redução na variabilidade genética e/ou aumento na variância ambiental. Esse resultado está em acordo com Santana Junior et al. (2016) que ao avaliar a interação genótipo ambiente de três grupos genéticos de bovinos de corte concluíram que a resposta à seleção será menor, quanto maior o estresse por calor.

Para a característica ganho de peso pós-desmame em uma população de bovinos Angus, Cardoso & Tempelman (2012) destacam que a estimativa de h^2 tem acréscimo relativamente alto quando o ambiente de produção dos animais proporciona conforto. Essa afirmativa é corroborada pelas estimativas de h^2 encontradas no presente estudo, nas menores unidades de ITU. Os autores salientam a importância de os programas de melhoramento genético explorar o potencial dos modelos de norma de reação para aumentar a acurácia das avaliações genéticas ao se considerar a interação genótipo-ambiente.

O melhoramento genético de bovinos de corte por muito tempo deu enfoque especial às características de ganho de peso, com importante incremento do ganho genético, fruto de h^2 moderadas e métodos adequados de seleção. Entretanto, nas últimas décadas surgiu a necessidade de selecionar bovinos com melhores constituições de carcaça, o que tem sido facilitado pelas novas tecnologias de imagens para obter tais variáveis. Como exemplo, as características de carcaça, avaliadas por ultrassonografia, podem ser usadas como critério de seleção para o progresso genético de rebanhos bovinos, com estimativas de herdabilidade medianas (FARIA et al., 2015).

Observou-se, para AOL, variação substancial da h^2 ao longo das unidades de ITU (Figura 2), com maiores valores em ambientes os quais os animais encontram-se sob estresse por calor. Em escalas de ITU de 70 e 74, que representam conforto térmico ou mais próximo disto. As estimativas de h^2 para AOL são muito próximas à observada por Weik et al. (2021), que foi de 0,36

quando estimaram parâmetros genéticos de gado neozelandês, incluindo Angus. Por sua vez, numa população Aberdeen Angus na República Tcheca, Vesela et al. (2022) obtiveram alta herdabilidade para área de olho de lombo, com estimativa de 0,71. Porém em condições tropicais brasileiras, Oliveira et al. (2017), através de estudo meta-analítico encontraram herdabilidade média para AOL em bovinos Nelore de 0,29. Pela menor adaptação do Angus, em relação ao Nelore, os resultados apontam para maiores valores de herdabilidade nesta característica quanto mais longe da zona termoneutra encontra-se o bovino podendo indicar variabilidade genética ainda não explorada, e para a necessidade de considerar a interação genótipo-ambiente na seleção para essa característica. Adicionalmente, estudos incluindo dados de genótipos são necessários para melhor avaliar a arquitetura genética dessa característica ao longo do gradiente ambiental.

Dentre as características avaliadas por este estudo, a de menor variação na herdabilidade foi a espessura de gordura subcutânea. Os valores de maior h^2 nos ITUs extremos obtidos para esta característica e com menor valor ($h^2 = 0,12$) na escala de ITU de 80, o que pode indicar seleção dos animais nessa faixa de conforto e disponibilidade de variabilidade genética nos extremos. Os valores de herdabilidade para espessura de gordura são inferiores aos relatados por Weik et al. (2021) e Vesela et al. (2022), com valores respectivamente de 0,58 e 0,44. Por sua vez, Reverter et al. (2000) obtiveram h^2 de 0,20 para espessura de gordura subcutânea em bovinos Angus, resultado corroborado pelo presente estudo.

Ao avaliar estimativas de herdabilidade em características pré-desmama em uma população Angus-Brangus, Alves et al. (2022) inferiram que há substancial heterogeneidade de variâncias genéticas ao longo do gradiente ambiental. Uma vez analisadas as herdabilidades em características pós-desmame, no presente estudo mantém-se essa inferência e se percebe que a resposta à seleção para GDS, AOL e EGS é dependente do nível de estresse térmico ao qual bovinos Angus são submetidos.

As estimativas de correlação genética entre as classes de ITU variaram de baixa e alta magnitude para todas as características. No entanto, menores valores de correlação genética foram observados em ITUs extremos,

demonstrando que muitos dos genes que atuam na expressão de uma característica em determinado valor de ITU diferem daqueles que atuam em outra escala de ITU, fato também observado por ALVES et al., (2022), trabalhando com bovinos leiteiros. Particularmente, para espessura de gordura subcutânea, baixos valores de correlação genética são observados em ITUs extremos, levando a afirmar que animais de maior valor genético para características de carcaça em determinado ambiente, não necessariamente serão os melhores em outro, cujo nível de estresse térmico possa ser maior. Esse resultado torna-se ainda mais relevante se considerarmos a amplitude de regiões e condições climáticas nas quais a raça Angus é criada no Brasil. Resultado similar foi obtido por Santana Junior et al. (2016) que observaram correlações genéticas para peso ao desmame em bovinos da raça Brangus criados no Brasil, em diferentes unidades de ITU. Portanto, faz-se necessário que produtores busquem alternativas para minimizar os prejuízos causados pelo estresse térmico sobre a produção de bovinos. Uma forma duradoura de contornar essa situação é através da seleção genética de animais mais resilientes a ITU extremos, pois fica evidenciado pela literatura que existe interação genótipo-ambiente para bovinos de corte em diferentes valores de ITU (Santana Junior et al., 2016; Santana Junior et al., 2018; Alves et al., 2022).

5. Conclusões

O desempenho fenotípico dos animais, em idade entre a desmama e o sobreano, é inferior em condições de estresse térmico. As estimativas de herdabilidades nas diferentes classes de índice de temperatura e umidade denotam a existência de variabilidade genética diferenciada ao longo do gradiente ambiental. As baixas correlações, principalmente nos extremos de ITUs evidenciam a existência de interação genótipo-ambiente avaliada para ganho da desmama ao sobreano e características de carcaça avaliadas por ultrassonografia em bovinos Angus.

Referências

ALVES, M. S. et al. Thermal stress during late gestation impairs postnatal growth and provides background for genotype-environment interaction in Hereford-Braford and Angus-Brangus cattle. *Livestock Science*, Amsterdam, v. 263, [art.] 105027, 2022.

ARAÚJO NETO, F. R. *et al.* Study of the effect of genotype–environment interaction on age at first calving and production traits in Nellore cattle using multi-trait reaction norms and Bayesian inference. **Animal Science Journal**, Richmond, v. 89, p. 939-945, 2018.

BRADFORD, H. L. *et al.* Genetic evaluations for growth heat tolerance in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 94, p. 4143-4150, 2016.

CARDOSO, F. F.; TEMPELMAN, R. J. Modelos de norma de reação linear para predição de mérito genético de bovinos Angus sob interação genótipo-ambiente. **Journal of Animal Science**, Cambridge, v. 90, n. 7, p. 2130-2141, 2012.

FARIA, C. U. *et al.* Análise bayesiana para características de carcaça avaliadas por ultrassonografia de bovinos da raça Nelore Mocho, criados em bioma Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 317-322, 2015.

FREITAS, A. P. *et al.* Different selection practices affect the environmental sensitivity of beef cattle. **Plos One**, San Francisco, v. 16, n. 4, [art.] e0248186, 2021.

KEMP, D. J.; HERRING, W. O.; KAISER, C. J. Genetic and environmental parameters for steer ultrasound and carcass traits. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, p. 1489–1496, 2002.

MISZTAL, I. *et al.* BLUPF90 and related programs (BGF90). *In*: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7., 2002, Montpellier, France. **Proceedings of the** [...]. Paris: INRA, 2002. p. 21-22.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **A guide to environmental research on animals**. Washington, DC: National Academy of Sciences, 1971.

NEGRI, R. *et al.* Inclusion of bioclimatic variables in genetic evaluations of dairy cattle. **Animal Bioscience**, Seoul, v. 34, n. 2, p. 163–171, 2021.

OLIVEIRA, H. R. *et al.* Meta-analysis of genetic-parameter estimates for reproduction, growth and carcass traits in Nellore cattle by using a random-effects model. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 58, n. 9, p. 1575-1583, 2017.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

RAFTERY, A. E.; LEWIS, S. M. One long run with diagnostics: Implementation strategies for Markov Chain Monte Carlo. **Statistical Science**, [Hayward, Calif.], v. 7, n. 4, p. 493-497, 1992.

REZENDE, M. P. G. *et al.* Genotype-environment interaction for age at first calving in Limousine and Charolais cattle raised in Italy, employing reaction norm model. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 232, [art.] 103912, 2020.

ROSO, V. M.; SCHENKEL, F. S. AMC - a computer program to assess the degree of connectedness among contemporary groups. *In*: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8., 2006, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Proceedings of the** [...]. Belo Horizonte: Instituto Prociência, 2006. p. 26–27.

SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Genetic variation of the weaning weight of beef cattle as a function of accumulated heat stress. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.133, p.92-104, 2016.

SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Genetic variation in Nelore heifer pregnancy due to heat stress during the breeding season. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 218, p. 101-107, 2018.

SILVA, T. L. *et al.* Genotype-environment interaction in the genetic variability analysis of reproductive traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 230, [art.] e103825, 2019.

VESELA, Z. *et al.* Genetic parameters for live animal ultrasound measures, scrotal circumference, carcass and growth traits in Aberdeen Angus. **Interbull Bulletin**, Cincinnati, n. 57, p. 58-62, 2022.

WEIK, F. *et al.* Genetic parameters for growth, ultrasound and carcass traits in New Zealand beef cattle and their correlations with maternal performance. **Animals**, Basel, v. 12, n. 1, [art.] 25, 2021.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa investigou a inclusão das variáveis bioclimáticas (ITU e VDT) na avaliação genética de bovinos de corte. Partiu-se da hipótese de que o impacto do estresse térmico atua no período prévio da mensuração das características de área de lombo, espessura de gordura subcutânea e ganho do desmame ao sobreano desmame. Com a abordagem de empregar dados meteorológicos de satélite obtidos da plataforma NASA-POWER, tem-se uma alternativa para o cálculo variáveis bioclimáticas. Isso adquire importância, principalmente quando as fazendas se encontram fora dos perímetros próximos das estações meteorológicas

Ao propor o emprego das variáveis bioclimáticas como efeito fixo na avaliação genética em bovinos de corte foi possível minimizar os efeitos do estresse térmico na avaliação, reclassificação e seleção dos animais termotolerantes para as características em estudo.

As características de carcaça têm alto potencial para seleção genética, o que pode resultar em um rápido progresso genético e, como consequência, aumentar a procura por animais termotolerantes com alto valor genético para as características.

Logo, ressalta-se, que a estimação dos valores genéticos, em diferentes condições de ITU, ainda precisa ser investigada para gerar informações relevantes de IGA, que irão para nortear ações futuras quanto ao uso de materiais genéticos da raça Brangus mais apropriados às diferentes regiões do Brasil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. S. **Indicadores de estresse térmico em bovinos**. Porto Alegre, 2011. Seminário apresentado na disciplina Bioquímica do Tecido Animal, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da UFRGS. Disponível em: https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2020/11/estresse_termico.pdf. Acesso em: 14 abr. 2020.
- AGUILAR, I.; MISZTAL, I.; TSURUTA, S. Genetic components of heat stress for dairy cattle with multiple lactations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 5702-5711, 2009.
- ALENCAR, M. M.; MASCIOLI, A. S.; FREITAS, A. R. Evidências de interação genótipo x ambiente sobre características de crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, p. 489-495, 2005.
- AMBROSINI, D. P. et al. Interação genótipo x ambiente quanto ao peso ao ano em bovinos Nelore Mocho no nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 10, p. 1489-1495, 2012.
- AMBROSINI, D. P. et al. Reaction norms models in the adjusted weight at 550 days of age for Polled Nelore cattle in northeast Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 43, p. 351-357, 2014.
- AMBROSINI, D. P. et al. Interação genótipo x ambiente via modelos de normas de reação para características de crescimento em bovinos Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 2, p. 177-186, 2016a.
- AMBROSINI, D. P. et al. Genotype x environment interactions in reproductive traits of Nelore cattle in northeastern Brazil. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 48, p. 1401-1407, 2016b.
- ARAÚJO NETO, F. R. et al. Study of the effect of genotype–environment interaction on age at first calving and production traits in Nelore cattle using multi-trait reaction norms and Bayesian inference. **Animal Science Journal**, Richmond, v. 89, p. 939-945, 2018.
- BAUMAN, D. E. et al. Regulation of nutrient partitioning: homeostasis, homeorhesis and exogenous somatotropin. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION DISEASE IN FARM ANIMALS, 7., 1989, ITHACA. **Proceedings of the [...]**. Ithaca: Cornell University, 1989. p. 306-323.
- BERNABUCCI, U. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, Cambridge, v. 4, p. 1167-1183, 2010.
- BRADFORD, H. L. et al. Genetic evaluations for growth heat tolerance in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 94, p. 4143-4150, 2016.

CARABAÑO, M. *et al.* Selecting for heat tolerance. **Animal Frontiers**, London, v. 9, n. 1, p. 62-68, 2019.

CARDOSO, F. F. **Aplicação da inferência bayesiana no melhoramento animal usando o programa InterGen: manual da versão 1.2.** Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2010. (Embrapa Pecuária Sul. Documentos, 34).

CARDOSO, L. L. *et al.* Hierarchical Bayesian models for genotype \times environment estimates in post-weaning gain of Hereford bovine via reaction norms. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.2, p.294-300, 2011.

CARVALHO, C. V. D. *et al.* Genotype \times environment interaction for reproductive traits in Brazilian Nelore breed cattle. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 20, [art.] e0512019, [p. 1-13], 2019.

CHIAIA, H. L. J. *et al.* Genotype environment interaction for age at first calving, scrotal circumference, and yearling weight in Nelore cattle using reaction norms in multitrait random regression models. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, p. 1-8, 2015.

CORRÊA, M. B. B.; DIONELLO, N. J. L.; CARDOSO, F. F. Caracterização da interação genótipo-ambiente e comparação entre modelos para ajuste do ganho pós-desmama de bovinos Devon via normas de reação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 8, p. 1468-1477, 2009.

DE JONG, G.; BIJMA, P. Selection and phenotypic plasticity in evolutionary biology and animal breeding. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 78, p. 195-214, 2002.

FALCONER, D. S. Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. **Genetics Research**, London, v. 56, p. 57-70, 1990.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. Essex: Longman, 1996. 464 p.

FERREIRA, J. L. *et al.* Genotype-environment interaction of maternal influence characteristics in Nelore cattle bred in the Brazilian humid tropical regions by reaction norm. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 4, p. 2787-2798, 2015.

GAMA FILHO, R. V. *et al.* Sazonalidade na produção folicular ovariana e produção embrionária em novilhas da raça Guzerá. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 44, p. 422-277, 2007.

GAUGHAN, J. B. *et al.* Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 54, p. 617-627, 2010.

GEWEKE, J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. *In*: BERNARDO, J. M. *et al.* (ed.). **Bayesian statistics 4**. New York: Oxford University, 1992. p. 169-193.

LEES, A. M. *et al.* The impact of heat load on cattle. **Animals**, Basel, v. 9, n. 6, [art.] 322, 2019.

LYNCH, M.; WALSH, J. B. **Genetics and analysis of quantitative traits**. Sunderland: Sinauer Associates, 1998.

MACNEIL, M. D.; CARDOSO, F. F.; HAY, E. Genotype by environment interaction effects in genetic evaluation of pre-weaning gain for Line 1 Hereford cattle from Miles City, Montana. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 95, p. 3833-3838, 2017.

MATTAR, M.; SILVA, L. O. C.; CARDOSO, F. F. Genotype x environment interaction for long-yearling weight in Canchim cattle quantified by reaction norm analysis. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 2349-2355, 2011.

MITLÖHNER, F. M.; GALYEAN, M. L.; MCGLONE, J. J. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behaviour of heat-stressed feedlot heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80, p. 2043-2050, 2002.

MOORE, D. S. Gene x environment interaction: what exactly are we talking about? **Research in Developmental Disabilities**, New York, v. 82, p. 3-9, 2018.

MULDER, H. A. *et al.* Optimization of dairy cattle breeding programs for different environments with genotype by environment interaction. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, p. 1740-1752, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **A guide to environmental research on animals**. Washington, DC: National Academy of Sciences, 1971.

NUSSEY, D. H.; WILSON, A. J.; BROMMER, J. E. The evolutionary ecology of individual phenotypic plasticity in wild populations. **Journal of Evolutionary Biology**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 831-844, 2007.

OSENI, S. *et al.* Genetic components of days open under heat stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, p. 3022-3028, 2004.

PÉGOLO, N. T. *et al.* Genotype by environment interaction for 450-day weight of Nelore cattle analyzed by reaction norm models. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 32, p. 281-287, 2009.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

- RAFTERY, A. E.; LEWIS, S. M. One long run with diagnostics: Implementation strategies for Markov Chain Monte Carlo. **Statistical Science**, [Hayward, Calif.], v. 7, n. 4, p. 493-497, 1992.
- RASHID, M. M. *et al.* Genotype × environment interactions in growth performance of brahman crossbred cattle in Bangladesh. **Asian Journal of Animal Sciences**, Faisalabad, v. 10, n. 1, p. 68-76, 2016.
- RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I.; HOOGENBOOM, G. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 2120-2125, 2000.
- RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, p. 2126-2130, 2000.
- REZENDE, M. P. G. *et al.* Genotype-environment interaction for age at first calving in Limousine and Charolais cattle raised in Italy, employing reaction norm model. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 232, [art.] 103912, 2020.
- RHOADS, R. P.; BAUMGARD, L. H.; SUAGEE, J. K. 2011 and 2012 early careers achievement awards: metabolic priorities during heat stress with an emphasis on skeletal muscle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, p. 2492-2503, 2013.
- RIBEIRO, S. *et al.* Genotype x environment interaction for weaning weight in Nellore cattle using reaction norm analysis. **Livestock Science**, Amsterdam,, v.176, p.40-46, 2015.
- ROSO, V. M.; SCHENKEL, F. S. AMC - a computer program to assess the degree of connectedness among contemporary groups. *In*: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8., 2006, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Proceedings of the [...]**. Belo Horizonte: Instituto Prociência, 2006. p. 26–27.
- SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Phenotypic plasticity of composite beef cattle performance using reaction norms model with unknown covariate. **Animal**, Cambridge, v. 7, n. 2, p. 202-210, 2012.
- SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Detrimental effect of selection for milk yield on genetic tolerance to heat stress in purebred zebu cattle: genetic parameters and trends. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 98, p. 9035-9043, 2015.
- SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Genetic variation of the weaning weight of beef cattle as a function of accumulated heat stress. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.133, p.92-104, 2016.

SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Genetic variation in Nelore heifer pregnancy due to heat stress during the breeding season. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 218, p. 101-107, 2018.

SANTANA JUNIOR, M. L. *et al.* Componente genético de estresse térmico durante o final da gestação para peso ao nascimento de bovinos de corte compostos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 13., 2019, Salvador, BA. **Anais**. Chapecó: SBMA, 2019. Disponível em: <http://sbmaonline.org.br/anais/xiii/pdf/4DNB.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.

SANTOS, J. C. **Normas de reação na avaliação da interação genótipos ambientes para peso ao ano e sobreano em bovinos Guzerá da Região Nordeste do Brasil**. 2014. 44 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié, 2014.

SANTOS, J. C. *et al.* Normas de reação para peso aos 365 e 550 dias de idade em bovinos Guzerá no Nordeste do Brasil. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 68, n. 264, p. 562-570, 2019.

SCHLICHTING, C. D.; PIGLIUCCI, M. **Phenotypic evolution: a reaction norm perspective**. Sunderland: Sinauer Associates, 1998.

SCHOLTZ, M. M. *et al.* The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere. **Nature Science**, London, v. 5, p. 106-119, 2013.

SHIOTA, A. M. *et al.* Parâmetros fisiológicos, características de pelame e gradientes térmicos em novilhas nelore no verão e inverno em ambiente tropical. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 13-19, 2013.

SILVA, T. L. *et al.* Genotype-environment interaction in the genetic variability analysis of reproductive traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 230, [art.] e103825, 2019.

SMITH, B. J. **Bayesian output analysis program (BOA): version 1.1.7.2: user's manual**. Iowa: University of Iowa, 2007.

ST-PIERRE, N. R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. E52-E77, 2003.

STRANDBERG, E. Analysis of genotype by environment interaction using random regression models. *In*: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8., 2006, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Proceedings of the [...]**. Belo Horizonte: Instituto Prociência, 2006. p. 25-05.

SU, G. *et al.* Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.84, p.1651-1657, 2006.

TORRES JUNIOR, J. R. *et al.* Effect of maternal heat-stress on follicular growth and oocyte competence in *Bos indicus* cattle. **Theriogenology**, New York, v. 69, p. 155-166, 2008.

WINDIG, J. J. *et al.* Simultaneous estimation of genotype by environment interaction accounting for discrete and continuous environmental descriptors in Irish dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 6, p. 3137-3147, 2011.

WOLTERECK, R. Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung, speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede bei Daphnien. **Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft**, Leipzig, v. 19, p. 110-173, 1909.

7. VITA

Alexandra Fabielle Pereira Viana, filha de Magda de Fátima Pereira Viana e Rogério da Silva Viana nascida em Santa Maria — Rio Grande do Sul, no dia 05 de agosto de 1988.

Em 2011, ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, na qual obteve o título de Bacharel em Zootecnia em agosto de 2016, e pela mesma universidade adquiriu o título de Mestre em Zootecnia (2017-2019) junto ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na área de concentração de Produção Animal, sob orientação do Prof. Dr. Paulo Roberto Nogara Rorato, sendo bolsista pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Em abril de 2019, ingressou no curso de Doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, vinculado à Faculdade de Agronomia da UFRGS, sob orientação do Prof. Dr. José Braccini Neto, com bolsa concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).