

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA  
MESTRADO EM ZOOTECNIA**

**HENRIQUE ALBERTO MULIM**

**ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO,  
PARA CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO  
DO PARANÁ**

**PONTA GROSSA  
2019**

**HENRIQUE ALBERTO MULIM**

**ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO,  
PARA CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO  
DO PARANÁ**

**Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do título de mestre em Zootecnia na  
Universidade Estadual de Ponta Grossa,  
Genética, Melhoramento e Reprodução Animal.**

**Orientador: Prof. Dr. Victor Breno Pedrosa**

**PONTA GROSSA**

**2019**

M957 Mulim, Henrique Alberto  
Estudo de interação genótipo ambiente, vias normas de reação,  
para características produtivas na raça holandesa do estado do  
Paraná/ Henrique Alberto Mulim. Ponta Grossa, 2019.  
74 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia – Área de concentração –  
Genética, Melhoramento e Reprodução Animal), Universidade  
Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Victor Breno Pedrosa

1. Bovinos leiteiros. 2. Correlações. 3. Herdabilidade. 4.  
Melhoramento genético. 5. Temperatura. I. Mulim, Henrique  
Alberto. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa - Mestrado  
em Zootecnia. IV. T.

CDD : 636



## TERMO DE APROVAÇÃO

**HENRIQUE ALBERTO MULIM**

“ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO, PARA CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO DO PARANÁ”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia – Mestrado em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias e Tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no dia 21 de janeiro de 2019, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Victor Breno Pedrosa – UEPG  
Presidente

Prof. Dr. Gerson Barreto Mourão – ESALQ/USP  
Membro

Prof. Dr. Diego de Cordova Cucco – UDESC  
Membro

Ponta Grossa, 21 de janeiro de 2019.

*“Aos meus pais, em especial minha mãe, que a todo o momento me deram apoio para chegar até aqui, e o esforço que tiveram para que pudesse conquistar mais essa etapa, dedico esse trabalho.”*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus que me concedeu calma e discernimento nos momentos difíceis. Me ensinou que tudo é possível quando se confia nEle e me guiou nas decisões onde aos meus olhos não teriam mais soluções.

Aos meus pais, Idalberto da Silva Mulim e Tereza Cristina Gomides, que sempre me incentivaram a buscar conhecimento e lutar para conquistar meus objetivos. Obrigado por sonharem e lutarem junto comigo.

Aos meus irmãos João Vitor, Débora e Ramon pela paciência nas horas de estresse, pelas conversas que me faziam refletir, e por todo amor e carinho que sempre tiveram comigo.

Ao professor Dr. Victor Breno Pedrosa por toda dedicação em me orientar, pelos puxões de orelha, conselhos e conversas. Obrigado por todo esforço que o senhor teve para que pudéssemos desenvolver um ótimo trabalho e pelas dicas e conselhos no investimento a minha carreira.

Aos amigos do LeMA – Laboratório de estudos em Melhoramento Animal: Alice, Edina, Ingrid, Jessica, Kim, Lorena, Lorena Mendes, Manu, Priscila, Raphael, Renata, Rita, e em especial as meninas com quem convivi diariamente no laboratório: Gabriele de Souza Romano, Michelli de Fátima Sieklicki, Rafaela Martins e Essamai Brizola Lagos, pelos cafés no lab, os altos papos, as conversas cabeças sobre inúmeros assuntos e por todo o incentivo e apoio.

Aos amigos do *Wake Up* por todo esse tempo de convívio, foram anos de caminhada juntos e amizades. Obrigado, em especial, por esses últimos dois anos que tive o privilégio de estar à frente na organização. Foi cansativo, mas a cada sábado encontrar vocês e admirar cada sorriso valia muito.

Aos amigos que fiz durante essa jornada e amigos que estão comigo antes mesmo de começar aqui. Obrigado por divertirem os meus dias, me distraírem quando necessitava, mas principalmente por entenderem as vezes que não poderia estar junto a vocês pela responsabilidade perante a compromissos assumidos.

Aos meus familiares, tios, primos, padrinhos, que mesmo estando longe se lembravam de mim mandando suas mensagens de apoio e festejando comigo minhas conquistas.

Aos Professores e Funcionários do departamento de Zootecnia, em especial a Professora Dr. Lidiane Fonseca por disponibilizar sua aula para que pudesse realizar meu estágio à docência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, assim como o coordenador Professor Dr. Wilson Massamitu Furuya, por todo o empenho e dedicação para o crescimento do programa.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em especial, aos professores Adriana de Souza Martins, Evandro Maia Ferreira, Fernanda Losi Alves de Almeida, Raquel Abdallah da Rocha, Romaiiana Picada Pereira, Valéria Rossetto Barriviera Furuya e Victor Breno Pedrosa, os quais compartilharam seus conhecimentos durante as aulas ministradas, as quais tive o privilégio de assistir.

Aos Colegas do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, obrigado pelo companheirismo, pelas risadas, trabalhos e provas que nos aproximaram, nos fizeram correr muito, mas ao final conseguíamos.

Aos Professores Dr. Paulo Carneiro e Dr. Carlos Malhado, pelas conversas iniciais e as sugestões na realização desse trabalho.

A Professora Dra. Aline Zampar, pela disposição em compartilhar seus conhecimentos para realização desse trabalho.

Ao Professor Dr. Gerson Barreto Mourão, pelo auxílio na correção e desenvolvimento desse trabalho.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa pela disponibilidade de cursar a Pós-Graduação e realizar a pesquisa em suas dependências.

A Associação Paranaense dos Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH), pela concessão do banco de dados para a realização desse estudo.

As agências de fomento à pesquisa CNPq, CAPES e Fundação Araucária pelo financiamento econômico da pesquisa e concessão da bolsa de estudo.

A todos que me incentivaram e lutaram comigo nessa jornada:

***Muito Obrigado!***

*“Você pode usar todos os dados quantitativos que tiver ao seu dispor, mas ainda assim terá que desconfiar deles e usar sua inteligência e seu discernimento.”*

**ALVIN TOFFLER**



## RESUMO

MULIM, Henrique Alberto. **Estudo de interação genótipo ambiente, via normas de reação, para características produtivas na raça Holandesa do estado do Paraná.** 2019. 74. Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2019

Com avanço das biotecnologias da reprodução animal, como a inseminação artificial, possibilitou a difusão de mesmos materiais genéticos em diferentes regiões pelo mundo todo. A partir desse ponto, o aumento de estudos da interação genótipo ambiente começa a ser observado, uma vez que o desempenho genético de alguns animais tende a modificar de acordo com o ambiente onde está sendo avaliado. Com isso o objetivo desse trabalho foi investigar a presença da Interação Genótipo Ambiente, via modelos de normas de reação, para as características leite, gordura e proteína, em diferentes temperaturas regionais do estado do Paraná, em animais da raça Holandesa. Dados de 67.360 vaca primíparas pertencentes a Associação Paranaense dos Criadores de Bovinos da Raça Holandesa, obtidas através de controle leiteiro oficial, foram utilizadas nas análises. Adotou-se o modelo de regressão aleatória para análise de normas de reação, assumindo a variância residual como heterogênea. Aplicou-se nas análises a avaliação de quarta ordem sob polinômios de Legendre assumindo o modelo misto de análise por método REML através do software WOMBAT. Posterior as análises do rebanho completo, avaliou-se o comportamento genético dos 15 touros mais representativos, conforme as mudanças do gradiente de temperatura. As médias para Produção de Leite, Gordura e Proteína foram 8.374,82 kg, 277,81 kg e 255,47 kg, respectivamente. As herdabilidades variaram de 0,18 a 0,23, 0,21 a 0,27 e 0,14 a 0,20 para Produção de Leite, Gordura e Proteína, respectivamente, condizendo com estudos anteriores realizados no estado. A correlação entre os gradientes de temperatura para todas as características ficou acima de 0,80 indicando ausências de interações relevantes entre o genótipo e o ambiente. Apesar disso, houve modificações genéticas no aumento de temperatura chegando a diferença de até 289 kg de leite, 10,69 kg de gordura e 9,47kg de proteína, apresentando modificações pontuais dos touros de acordo com a característica analisada. A partir dessas informações, conclui-se que não é necessária a inclusão da variável temperatura nos modelos de análises genéticas da raça Holandesa, aplicados no estado do Paraná.

**Palavras-chave:** bovinos leiteiros, correlações, herdabilidade, melhoramento genético, temperatura

## ABSTRACT

MULIM, Henrique Alberto. **Genetic environment interaction study by reaction norm for production traits in Holstein cattle in Paraná state.** 2019. 73. Dissertação Mestrado em Zootecnia – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2019.

The reproductive animal biotechnology advances, such as artificial insemination, has enabled the diffusion of the same genetic material in different regions all over the world. From there, more studies of the genotype environment interaction have begun to be observed, since the genetic performance of some animals tend to modify according to the environment where it is being evaluated. The objective of this study was to investigate the presence of genotype-environment interaction, through reaction norm models, for the milk yield, fat yield and protein yield, in different regional temperatures in the state of Paraná, in animals of the Holstein cattle. Data from 67,360 primiparous cows belonging to the Paraná Holstein Breeders Association database were analyzed through official dairy control. It was adopted the random regression model for the analysis of reaction norms, assuming the residual variance as heterogeneous. The fourth-order evaluation under Legendre polynomial was applied to the analysis, assuming the mixed model of analysis by REML method through the WOMBAT software. After the full herd analysis, the genetic behavior of the 15 most representative bulls was evaluated, as the temperature gradient changes. The averages for Milk, Fat and Protein yield were 8,374.82 kg, 277.81 kg and 255.47 kg, respectively. Heritabilities ranged from 0.18 to 0.23, 0.21 to 0.27 and 0.14 to 0.20 for Milk, Fat and Protein yield, respectively, consistent with previous studies performed in Holstein Cattle in Paraná State. The correlation between temperature gradients for all traits was above 0.80 indicating an absence of significant interactions between genotype and environment. Despite of this, there were genetic modifications in the temperature increase, reaching a difference of up to 289 kg of milk, 10.69 kg of fat and 9.47 kg of protein, presenting specific modifications of the bulls according to the analyzed characteristic. From this information, it is concluded that it is not necessary the inclusion of temperature variable on genetic analysis model at Paraná Holstein Cattle

**Keywords:** animal breeding, correlation, dairy cattle, heritability, temperature

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos de normas de reação sob diferentes situações	<b>Erro!</b>	<b>Indicador não definido.</b>
Figura 2 - Médias de temperatura anual do estado do Paraná de acordo com trabalho de Alvares et al. (2013) (adaptado de IAPAR, 2018)	25	
Figura 3 - Gráfico de herdabilidades para Produção de Leite no decorrer dos gradientes ambientais	39	
Figura 4 - Gráfico de correlação entre os gradientes ambientais de temperatura para produção de Leite no estado do Paraná	40	
Figura 5 - Normas de Reação dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná para característica Produção de Leite	41	
Figura 6 - Gráfico de herdabilidades para Produção de Gordura e Produção de Proteína no decorrer dos gradientes ambientais	60	
Figura 7 - Gráfico de correlação entre os gradientes ambientais de temperatura para produção de Gordura no estado do Paraná	61	
Figura 8 - Gráfico de correlação entre os gradientes ambientais de temperatura para produção de Proteína no estado do Paraná	62	
Figura 9 - Normas de Reação dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná para as características Produção de Gordura	64	
Figura 10 - Normas de Reação dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná para as características Produção de Proteína	65	

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva geral e por gradiente de temperatura para a produção de leite dos animais da raça Holandesa do estado do Paraná .....	37
Tabela 2 - Valores de variância fenotípica ( $\sigma^2_p$ ), variância ambiental ( $\sigma^2_e$ ), variância genética ( $\sigma^2_a$ ), herdabilidade ( $h^2$ ) e erro padrão (e.p.) para os diferentes gradientes de temperatura dos animais da raça Holandesa no estado do Paraná, para característica Leite .....	38
Tabela 3 - Correlações Genéticas entre Gradientes Ambientais de Temperatura para Produção de Leite de bovinos da raça Holandesa no estado do Paraná .....	40
Tabela 4 - Estatística descritiva geral e por gradiente de temperatura para a produção de gordura e proteína dos animais da raça Holandesa do estado do Paraná .....	58
Tabela 5 - Valores de variância fenotípica ( $\sigma^2_p$ ), variância ambiental ( $\sigma^2_e$ ), variância genética ( $\sigma^2_a$ ), herdabilidade ( $h^2$ ) e erro padrão (e.p.) para os diferentes gradientes de temperatura dos animais da raça Holandesa no estado do Paraná, para PG e PP .....	59
Tabela 6 - Correlações Genéticas entre Gradientes Ambientais de Temperatura para Produção de Gordura e Proteína do Leite de bovinos da raça Holandesa no estado do Paraná .....	63

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I - ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO, PARA CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO DO PARANÁ .....</b>	<b>13</b>
1- INTRODUÇÃO .....	13
2- INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE .....	15
3- A ABORDAGEM POR NORMAS DE REAÇÃO .....	16
4- METODOLOGIA.....	21
4.1 - Descrição do Gradiente Ambiental e Formação Banco de Dados .....	25
5- OBJETIVOS .....	26
6- REFERÊNCIAS.....	27
<b>CAPÍTULO II - ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO, PARA PRODUÇÃO DE LEITE NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO DO PARANÁ .....</b>	<b>31</b>
1- INTRODUÇÃO .....	32
2- MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3- RESULTADOS .....	37
4- DISCUSSÃO .....	42
5- CONCLUSÃO.....	47
6- REFERENCIAS.....	48
<b>CAPÍTULO III - ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO, PARA PRODUÇÃO SÓLIDOS DO LEITE NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO DO PARANÁ .....</b>	<b>52</b>
1- INTRODUÇÃO .....	53
2- MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3- RESULTADOS .....	58
4- DISCUSSÃO .....	66
5- CONCLUSÃO.....	70
6- REFERÊNCIAS.....	71

## **CAPÍTULO I - ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO, PARA CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO DO PARANÁ**

### **1- INTRODUÇÃO**

A produção de leite é uma das principais atividades pecuárias de sustento no Brasil e no mundo. Estima-se que no ano de 2017 um volume de 811 milhões de toneladas de leite foi produzido em todo o mundo, 1,4% a mais que em 2016 (FAO, 2018). Tal fato pode ser explicado por alguns fatores preponderantes como, a expansão de áreas produtivas (FAO, 2017), ao incremento na produtividade animal (KOÇ, 2017) e ainda, o aumento do número de animais participantes de programas de avaliação genética.

No Brasil, o quinto maior produtor mundial, verifica-se que a aquisição de leite pelos laticínios alcançou a captação de 24,12 bilhões de litros em 2017, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018). Porém, a referida produção de leite no Brasil está mais associada ao elevado número de animais nos rebanhos, do que a produtividade desses, conforme demonstrado no censo pecuário municipal, realizado pelo IBGE (2016). O referido documento demonstra que a produtividade média anual, no país é de apenas 1.709 kg litros de leite/vaca (6,6 litros de leite/vaca/dia), reforçando a tese de que há necessidade eminente de melhoria dos indicadores produtivos, o que impactará diretamente na lucratividade.

Entretanto, essa produtividade não é uma realidade em todo o país. No Paraná, segundo maior produtor de leite a nível nacional, verifica-se uma evolução dos índices produtivos de até 72% nos últimos 10 anos, esse apresenta 7,5% do número de vacas ordenhada no país (SEAB, 2017). Estima-se que a produtividade média do estado seja do valor de 2.916 litros de leite/vaca (EMBRAPA, 2018) quase o dobro dos valores encontrados no país. É de característica do estado apresentar mesorregiões produtivas distribuídas por todo seu território, e embora a pecuária leiteira seja uma das principais atividades em muitos municípios, há ainda elevada heterogeneidade nos modelos de produções, bem como na caracterização dos produtores (SILVA; CAMARA; TELLES, 2016), sendo encontrados modelos produtivos totalmente à pasto até modelos em que de criação em total confinamento

dos animais.

A maioria dos animais constituintes dos rebanhos de bovinos leiteiros no estado do Paraná apresentam constituição genética com alguma composição advinda da raça Holandesa, seja esta parcial ou na composição total, como no puro de origem (WIRBISKI et al., 2009). A referida raça apresenta elevada capacidade produtiva e, por este aspecto, pode ser encontrada em todos os continentes, sendo a principal raça de diversos programas de melhoramento de bovinos leiteiros em todo o mundo.

Para maioria das espécies, os modelos adotados nos programas de seleção genética não consideram os efeitos da interação genótipo x ambiente para estimação dos méritos genéticos dos indivíduos. Conforme mencionado por Streit et al. (2012), a não adoção dos efeitos de interação genótipo x ambiente pode resultar em subestimação dos valores genéticos preditos e, por consequência, ocasionar viés nas estimativas, principalmente quando o programa possui animais criados em ambientes muito diversos.

Tais interações podem reclassificar os animais selecionados, levando a diferentes produções em diferentes ambientes. O modelo de norma de reação pode ser utilizado para a obtenção das interações entre o genótipo e o ambiente. Esse mostrará as diferentes respostas de um dado genótipo a mudanças ambientais e assim exemplificará a variedade fenotípica desse genótipo em diferentes ambientes (RIBEIRO et al., 2015).

## 2- INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE

Para diferentes espécies de produção de animal, a melhoria em um sistema de produção pode ser realizada de duas formas: através da adequação do ambiente em que se está realizando a atividade econômica ou o investimento em genética para potencializar a produção (HUQUET; LECLERC; DUCROCQ, 2012), sendo esse último de caráter acumulativo. Com a evolução das biotécnicas reprodutivas, os criadores têm a oportunidade de acessar material genético de reprodutores de outros estados ou mesmo internacionais, o que proporciona significativa melhoria no processo de seleção. No entanto, diante deste cenário, há possibilidade de difusão de material genético selecionado em ambiente diferente daquele no qual será utilizado, o que, dependendo da adaptabilidade do animal, pode culminar em resultado produtivo aquém do esperado.

A resposta genética aos diferentes ambientes a ela proporcionados pode ser definida como interação genótipo x ambiente e informa a possibilidades de fenótipos expressos, por certo genótipo, em cada ambiente (FALCONER; MACKAY, 1989). Com os diferentes sistemas de criação da bovinocultura, gerando assim diferentes tipos ambientais, há um aumento na importância do estudo da interação, pois essas diferenças podem afetar a seleção do melhor animal progenitor para as futuras gerações (STRANDBERG et al., 2009).

As interações que ocorrem entre o genótipo do animal e o ambiente em que está sendo exposto pode induzir a heterogeneidade de variâncias ou até um reposicionamento dos animais quando esses expostos a seleção (VAN DER LAAK et al., 2016). Essas mudanças nos valores de expressão do fenótipo estão relacionadas não a mudança da constituição genética do animal, mas sim as respostas metabólicas de acordo com o ambiente em que o animal está sendo criado. Sendo assim, determinados genes podem ser manifestados em ambientes específicos e não em outros ocasionando uma variação da produção em função de tal interação (KIPLAGAT; LIMO; KOSGEY, 2012).

Em presença de tais interações, duas alternativas para tomadas de decisões podem ser apresentadas dependendo do controle de tal ambiente. Quando o ambiente está sob controle dos criadores esses podem adaptá-lo para otimizar a



expressão do genótipo, e assim a melhor performance do animal poderá ser expressa. Já quando tal ambiente está além desse controle, a escolha do genótipo que se adapte as suas condições ambientais é a solução (HAMMAMI; REKIK; GENGLER, 2009).

### **3- A ABORDAGEM POR NORMAS DE REAÇÃO**

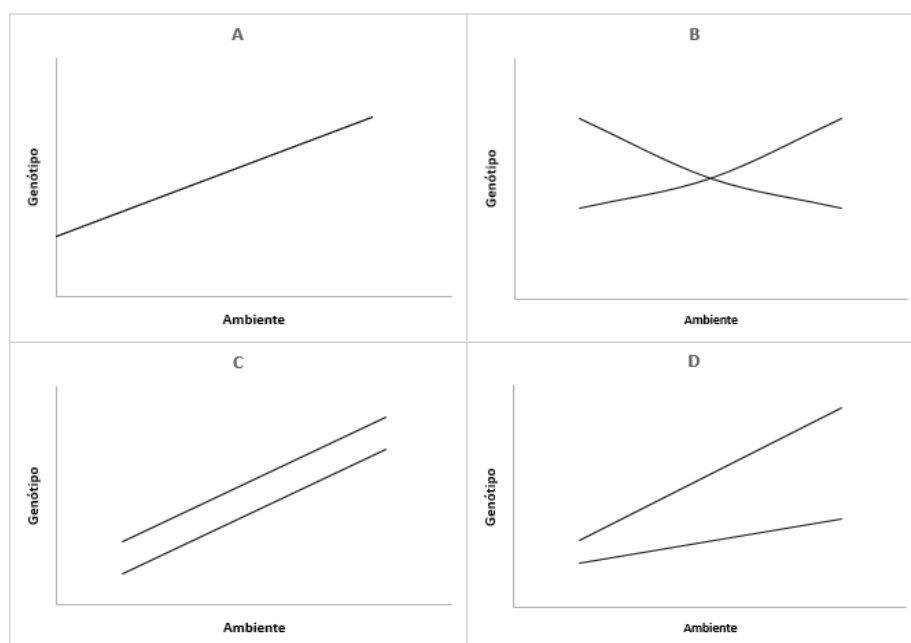
Considerando-se o efeito de interação genótipo-ambiente, geralmente pode-se descrever os ambientes em duas classes de descritores. Aquele que descreve o ambiente em escala discreta, como por exemplo o sistema de produção animal, ou aquele que descreve o ambiente em escala contínua como por exemplo média de produção de leite do rebanho. (WINDIG et al., 2011). O processo de descrição do ambiente também pode direcionar a metodologia investigativa de interação genótipo-ambiente. Normalmente, quando se trabalha para examinar descritores de ambientes discretos, a metodologia mais utilizada são as abordagens por modelos de multicaracterísticas. Já, quando tais descritores se apresentam como sendo contínuos, os modelos de normas de reação são os mais indicados (WINDIG et al., 2011).

No melhoramento animal, as análises de normas de reação envolvem a quantificação da resiliência dos valores produtivos expressados pelo genótipo ou por vários genótipos sobre um gradiente de um descritor ambiental (KNAP, 2005). A atratividade de tal abordagem para a investigação, se dá pela possibilidade de acomodar um grande número de níveis ambientais com poucos parâmetros (SU et al., 2006) e assim visualizar o comportamento do genótipo pelo avanço do gradiente ambiental.

Os modelos de normas de reação têm sido adotados para analisar a importância da interação genótipo ambiente em diferentes características e diversas produções e populações. Como exemplo, estudo realizado por Hay e Roberts (2018), que avaliaram a interação entre a nutrição e o genótipo de bovinos de corte no desenvolvimento pós desmame. Ou ainda como Mota et al. (2018) no estudo em populações de Hereford e Braford, sob abordagem de normas de reação, revelou possíveis regiões no cromossomo associada a resistência à carrapatos. A vantagem

dessa metodologia é que permite não só a previsão de seleção em qualquer ambiente, mas também na sensibilidade ambiental da característica (KOLMODIN; BIJMA, 2004).

A resposta fenotípica/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 essa está no ambiente médio (ambiente 0), já a inclinação, refere-se as mudanças no fenótipo/genótipo sobre um gradiente ambiental (NUSSEY; WILSON; BROMMER, 2007). Assim a caracterização dos modelos de normas de reação pode ser exemplificada por meio plotagem gráfica e o comportamento interativo entre o genótipo e o ambiente ilustrado, como exemplificado na Figura 1.



**Figura 1 - Modelos de normas de reação sob diferentes situações.** A figura (A) representa o esquema de representação dos modelos de normas de reação, onde o ponto de saída do eixo Y (genótipo) mostra a elevação para a característica e a inclinação da reta as mudanças sob o gradiente ambiental (eixo X). A figura (B) exemplifica uma interação genótipo-ambiente com reposicionamento dos genótipos ao aumento do gradiente ambiental. A figura (C), há uma elevação do genótipo animal com o aumento do gradiente ambiental, porém verifica-se que não há interação entre os dois fatores (sem interação genótipo-ambiente). A figura (D), mostra a divergência do incremento genotípico da característica com aumento do ambiente entre os dois genótipos, caracterizando assim a interação genótipo-ambiente.

De certo modo, todas as espécies respondem as mudanças ambientais através da alteração fenotípica e fisiológica (KIPLAGAT; LIMO; KOSGEY, 2012), o que diferenciara cada uma, além da característica que está sendo analisada, é como tais mudança afetarão o desempenho genético do animal. Algumas características são mais susceptíveis a essas mudanças, o que caracterizarão animais ditos plásticos para tais, já outros menos afetados serão tidos como robustos.

Esses fenótipos plásticos podem ser definidos como respostas de características ao efeito do ambiente que podem ser diretos, pelo efeito da variável ambiental nos eixos hormonais e enzimáticos da característica, ou indiretos quando a sinalização de caminho neuroendócrinos afeta a transcrição de tal característica (AUBIN-HORTH; RENN, 2009). Já a robustez fenotípica pode ser interpretada como a manutenção das funcionalidades específicas quando em mudanças ambientais, sendo composta pela resistência a esse estresse e a flexibilidade para se ajustar a tal (VAN DER VEEN et al., 2009). A inclusão de tais características nos modelos de seleção pode ser importante, como na seleção para aumento de robustez dos animais a uma determinada característica, ou ainda, quando na comercialização de material genético para uma variedade de ambientes de produção (JONG; BIJMA, 2002).

Outra vantagem da avaliação pelo método de normas de reação é a possibilidade de reclassificar os animais de acordo com a variação ambiental. Tal característica da metodologia possibilita a escolha do progenitor mais adaptado ao ambiente similar onde sua descendência será mantida (BIGNARDI et al., 2015), e assim, por consequência, a geração de animais mais adaptados a suas regiões.

Os métodos de normas de reação têm sido aplicados em rebanhos leiteiros devido ao grande número de filhas de um mesmo touro, registradas em uma ampla variedade de ambientes que, geralmente são utilizadas nas estimação de valores genéticos para seleção de candidatos (TIEZZI et al., 2017). Sendo assim, a avaliação do genótipo dos pais se torna possível em diferentes ambientes e o comportamento genético de tais touros passíveis de serem acompanhados em diversos ambientes.

Kolmodin et al. (2002) ao trabalharem com investigação de interação genótipo-ambiente em rebanhos leiteiros Nórdicos, via modelos de normas de reação, encontraram oscilações nas estimativas de herdabilidades para produção de proteína

e dias em aberto, considerando como gradiente ambiental o nível de produção e fertilidade. Já em outro estudo, Kolmodin et al. (2004), avaliando agora somente rebanhos Suecos Vermelhos e Brancos, encontraram interação genótipo-ambiente para ambas características (produção de proteína e dias em aberto). Em ambos os estudos a IGA foi considerada como com pequeno efeito e re-rankings de touros foram pontuais, mesmo em considerações a utilização de banco de dados de diferentes países, como ocorreu no segundo estudo. Os autores sugerem que em condições climáticas semelhantes, estudos de IGA em bovinos leiteiros em único país dificilmente encontrarão re-ranking de valores genéticos significativos.

Outra curiosidade dos modelos de normas de reação é a possibilidade avaliar fatores ambientais de interferência produtiva, como manejo, nível de produção, temperatura entre outros, na manifestação genética dos animais. Streit et al. (2012) ao trabalharem com modelos não lineares aplicados às normas de reação, em rebanhos da raça Holandesa na Alemanha, estipularam como gradiente ambiental as soluções de rebanho no controle leiteiro para características do leite, energia para produção de leite e escore de célula somática (ECS). Os primeiros dois descritores indicaram a sensibilidade em ambientes favoráveis e desfavoráveis e o ECS os níveis de higiene das fazendas, visualizando assim o comportamento genético dos animais quando ao ambiente e sanidade da produção. Ravagnolo e Misztal (2000) estimaram parâmetros genéticos em função do índice de temperatura-umidade (levando-se em consideração a máxima temperatura do dia com a mínima umidade) no momento do controle leiteiro para característica de tolerância ao estresse ao calor, em animais da raça Holandesa no estado da Geórgia/EUA. Com isso, os autores conseguiram utilizar tais informações na seleção de animais resistentes ao calor e estimar ganhos genéticos ao ano de até 2,9 quilos de produção de leite por ano na seleção de animais resistentes ao calor.

No Brasil, poucos estudos foram realizados com modelos de normas de reação em bovinos de leite, principalmente que levassem em conta parâmetros de qualidade e produtividade dos rebanhos. Alguns estudos foram realizados para descrever a sensibilidade ambiental de algumas características, como o de Bignardi et al (2015) que teve como o objetivo a avaliação, por metodologia de normas de

reação, da sensibilidade ambiental da lactação de animais criados em condições subtropicais, mostrando a presença de interação genótipo-ambiente com efeito de escalonamento dessa interação ao longo da lactação e *re-ranking* dos valores genéticos dos animais.

Santana Jr et al. (2017) ao investigarem a sensibilidade ao estresse por calor em taxas de retorno pós inseminação artificial em animais da raça Holandesa no Brasil, identificaram fortes evidências de interação genótipo-ambiente para tal característica e o índice de temperatura e umidade (THI), além do *re-ranking* dos vinte reprodutores com maiores números de filhas com o aumento dos índices de THI. Em outro estudo, ao avaliarem a mesma influencia porém na produção de leite na qualidade do leite, Santana Jr et al. (2017a) encontraram existência de interação genótipo-ambiente, devido a calor, agindo com maior influência na produção de leite do que na porcentagem de sólidos dos componentes do leite. Os autores afirmam que no estudo em questão, a interação genótipo-ambiente foi relevante para a característica de produção de leite, fato não observado para as características de qualidade do produto.

Salvian (2016) investigou o efeito do estresse térmico nos valores genéticos dos animais, em fazendas provenientes do estado de São Paulo. Nesse estudo, as características de produção de leite, teores de gordura e proteína, além de teores de ácidos graxos saturados e insaturados apresentaram interação entre os componentes genéticos e ambientais de modo que os animais responderam diferente quando submetidos a ambientes distintos (presença e ausência de estresse).

No estado do Paraná, assim como no Brasil, poucos estudos de interação genótipo-ambiente para características produtivas com bovinos leiteiros foram realizados, desses há uma inexistência por modelos de investigação por normas de reação. Paula et al. (2009) investigaram a interação genótipo-ambiente para a produção de leite dividindo o estado em sete bacias principais de captação de leite. Essa divisão foi realizada segundo o critério do total de leite captado pelas cooperativas, sendo que na comparação entre bacias algumas, mesmo estando em mesmas regiões geográficas, foram consideradas como bacias diferentes. Como resultado, na comparação houve exímia interação genótipo-ambiente entre as sete

bacias, além da reclassificação dos touros em todas as sete bacias com diferentes valores genéticos, do mesmo animal, em cada bacia.

Por sua vez, Moreira et al. (2018) ao investigar a interação genótipo-ambiente para características de produção de leite, gordura e proteína no rebanho paranaense, seguiu a metodologia de divisão do Paraná, porém tomando como demarcações o clima das regiões de produção. A separação obedeceu a divisão estabelecida pela Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do estado do Paraná (SEAB-PR) onde, das quatro regiões, as três com produções e rebanhos mais significativos foram utilizadas. Diferente do encontrado por Paula et al. (2009), Moreira et al. (2018) não encontrou interação genótipo-ambiente para nenhuma das características, sendo as regiões altamente correlacionadas, o que comprova a inexistência da interação entre regiões.

Apesar da interação genótipo-ambiente encontrada por Moreira et al. (2018) na produção de leite e sólidos serem pouco significativas, houve a existência de reclassificações pontuais dos touros nas mudanças climáticas paranaenses. Tal achado poderia indicar que outros fatores podem estar exercendo interferência na manifestação genética dos animais, sendo estudos necessários para identificá-los. Sendo assim, o presente estudo será regido de forma a investigar as interações genótipo-ambiente através do modelo de normas de reação para as produções de leite e sólidos, além de avaliar uma possível reclassificação de touros conforme as mudanças de gradiente ambiental de temperatura.

#### **4- METODOLOGIA**

A caracterização das normas de reação pode ser um importante passo para o entendimento de como a população responderá as mudanças ambientais. Porém, modelos simples, como aqueles que conectam as médias fenotípicas em ambientes distintos linearmente, podem ter propriedades que não refletem, ou refletem pobremente, algumas propriedades da verdadeira norma de reação (MORRISSEY; LIEFTING, 2016).

Petit e Vézina (2014), utilizando dos trabalhos de Brommer (2013), McKechnie (2008) e Nussey, Wilson e Brommer (2007) afirmam que as normas de reação são

caracterizadas por mais dois parâmetros além da inclinação e elevação normalmente discutida em estudos lineares. Essa pode ser caracterizada por 4 parâmetros distintos:

- Elevação ou intercepto: é a expressão média da característica em análise;
- Inclinação: mostra a flexibilidade fenotípica da característica, de acordo com o gradiente ambiental;
- Amplitude: mostra a diferença entre valores da característica em análise (valor mínimo e máximo);
- Forma ou definição: informa os limites de ajustes de uma característica sobre uma dada variação de mudança no ambiente.

Alguns procedimentos podem ser mais poderosos para descrever as variações do que outros nas normas de reação (BROMMER; KONTIAINEN; PIETIÄINEN, 2012), principalmente com questões a forma ou definição da verdadeira norma de reação. Uma metodologia que vem sendo discutida é através de métodos de Regressão Aleatória.

Vários estudos recentes têm tentado responder se há variação genética na plasticidade individual através da combinação da abordagem de normas de reação usando o modelo misto de análise através de regressão aleatória (MARTIN et al., 2011). A regressão aleatória simplifica a estimativa, permitindo que o valor da característica varie como uma função polinomial ao nível do assunto de interesse (BROMMER, 2013b), sendo a regressão muito útil na caracterização das normas de reação, e defendida para tal análise (MORRISSEY; LIEFTING, 2016).

A regressão aleatória estima a quantidade de variação entre os indivíduos tanto na inclinação quanto na elevação das normas de reação (VAN DE POL, 2012) e pode ser descrita, de modo geral como:

$$Y_{ij} = \mu + \delta_i + (\beta + \Delta_i) + X_{ij} + e_{ij}$$

onde,  $Y_{ij}$  é o valor da variável dependente;  $X_{ij}$  é o valor do ambiente para mensuração  $j$  do indivíduo  $i$ ;  $\mu$  é a média populacional quando a variável ambiental é igual a 0;  $\beta$  é

a inclinação populacional de dependência de  $Y$  em  $X$ ;  $\Delta_i$  e  $\delta_i$  são desvios de médias populacionais para o grupo de observações indexadas por  $i$ ;  $e$  é o erro, ou resíduo, dos dados estruturados por  $i$  e  $j$ .

Tais regressões são tidas como ajustes dos quadrados mínimos de uma função aproximativa a uma verdadeira norma de reação com uma forma funcional desconhecida (MORRISSEY; LIEFTING, 2016). Além de que, os parâmetros descritos na função são livres para variar entre indivíduos e são tratados como efeito de distribuição aleatórios (MARTIN et al., 2011), tornando tal característica mais uma vantagem sobre os modelos lineares de estimativas.

Na inferência das análises de regressão em normas de reação, o modelo pode ser tido como

$$y_{ij} = \sum_{k=0}^{k=4} b_{jk} \phi_k(j) + \sum_{k=0}^{k=4} a_{ik} \phi_k(j) + e_{ij}$$

em que,  $y_{ij}$  é a resposta genética para característica em avaliação do animal  $i$  sob o gradiente de temperatura  $j$ ;  $b_{jk}$  é o efeito do coeficiente de regressão fixo associado ao polinômio de Legendre  $k$ ;  $a_{ik}$  é o efeito do coeficiente de regressão aleatória  $k$  do efeito direto genético aditivo atribuído ao animal  $i$ ;  $\phi_k(j)$  é o polinômio de Legendre associado ao nível do gradiente de temperatura exposto o animal  $i$ ;  $k$  é a ordem dos polinômios de Legendre, sendo ajustado a quarta ordem;  $e_{ij}$  é associado ao resíduo da observação  $y_{ij}$ . Pode ser aplicado a utilização de modelos mistos de análises por método de máxima verossimilhança restrita (REML) na estimação dos valores genéticos. Tal método, foi um grande avanço para a estimação dos parâmetros genéticos, tendo como objetivo a contabilização das perdas de graus de liberdade, decorridos na estimativa de efeitos fixos, diminuindo viés das análises (GIANOLA; ROSA, 2014).

Independentemente da escolha de inferência, a estimativa de parâmetros genéticos quantitativos requer um modelo estatístico apropriado para as observações (HILL; KIRKPATRICK, 2010). Em termos matriciais, o modelo adotado para o estudo é tido como



$$y = Xb + Zu + e$$

pressupondo os modelos:

$$E = \begin{bmatrix} y \\ b \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad V \begin{bmatrix} u \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{rn} \otimes A & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

em que,  $y$  é o vetor de observação;  $b$  é o vetor de efeitos fixos atribuído ao grupo de contemporâneo,  $u$  é o vetor de efeitos aleatórios;  $e$  é o vetor de efeitos residuais;  $X$  e  $Z$  são matrizes de incidência para efeitos aleatórios e fixos, respectivamente;  $K_{rn}$  é a matriz de covariância associada aos efeitos aleatórios para parâmetros do modelo da norma de reação;  $A$  é a matriz numerador de relacionamento aditivo;  $R$  é a matriz de variância residual.

Os componentes de variância genética aditiva, bem como as estimativas de herdabilidade direta se aplicaram nos diferentes gradientes ambientais, de acordo com os modelos a seguir:

$$h^2_t = \frac{\sigma^2_{g_{at}}}{\sigma^2_{g_{at}} + \sigma^2_{e_t}}$$

sendo

$$\sigma^2_{g_{at}} = \sigma_a^2 + \sigma_b^2 t^2 + 2\sigma_{a,b}t$$

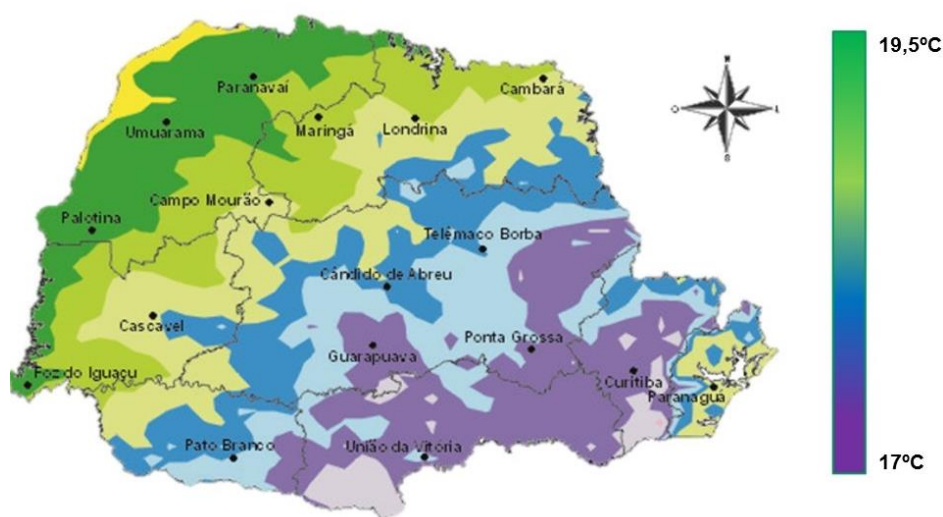
Onde  $h^2_t$  é a herdabilidade direta para as diferentes características de produção relacionada ao gradiente ambiental  $t$ ,  $\sigma^2_{g_{at}}$  é variância genética aditiva atribuída ao nível  $t$  do gradiente ambiental;  $\sigma^2_{e_t}$  é a estimativa de variância residual atribuída ao nível  $t$  do gradiente ambiental;  $\sigma_a^2$  é a estimativa da variância genética do

componente do intercepto;  $\sigma^2_b$  é a estimativa de inclinação dos componentes de variância das normas de reação;  $\sigma_{a,b}$  é a estimativa de covariância entre efeitos genéticos do intercepto e da inclinação e  $t$  são os níveis ambientais.

Para a regressão dos touros no decorrer dos gradientes, as estimativas dos valores genéticos nos  $t$  níveis do gradiente ambiental, em análise de comportamento genético, se deram por média ponderada das filhas de cada reprodutor a cada nível  $t$  do gradiente.

#### 4.1 - Descrição do Gradiente Ambiental e Formação Banco de Dados

O Gradiente ambiental utilizado para o estudo das análises foram as médias de temperaturas anuais do estado do Paraná, de acordo com trabalho de Alvares et al. (2013). Em levantamento inicial, as médias de temperatura variaram de 17°C a 19,5°C, da região mais ao sul a região mais ao norte do estado, como pode ser observada na Figura 2, a seguir.



**Figura 1 - Médias de temperatura anual do estado do Paraná de acordo com trabalho de Alvares et al. (2013) (adaptado de IAPAR, 2018)**

Posterior levantamento, verificou-se a possibilidade de ajuste nas divisões dos gradientes a cada 0,5°C, gerando um total de 6 gradientes ambientais distintos, com pelo menos 1.000 animais em cada gradiente, o qual foram utilizados nas análises de regressão como variáveis controle sobre os efeitos genéticos.

A formação do banco de dados se deu pelo conjunto de informações cedidas pela Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH). O banco contou com informações de animais primíparas nascidas entre os anos de 1990 a 2015, dados coletados através de controle leiteiro oficial. As coletas foram realizadas de acordo com o regimento de controle leiteiro (APCBRH, 2012) por técnicos da própria associação com base no manual de coleta de Horst (2008).

Constavam no banco de dados, os dados de produção de Leite (PL), Gordura (PG) e Proteína (PP), todas em quilos ajustados aos 305 dias de lactação. Além disso, informações de rebanho, cidade, pai e mãe, data de nascimento, bem como data e idade ao primeiro parto, dias em lactação além das produções já mencionadas. Todas essas informações utilizadas nos critérios para edição de banco de dados, como formação de grupo de contemporâneos, locação em um dos 6 gradientes ambientes de temperatura, ou critérios de exclusão na análise de consistência.

## **5- OBJETIVOS**

- Avaliar os efeitos de interação Genótipo-Ambiente, via modelos de Normas de Reação, em Características Produtivas de bovinos da Raça Holandesa no estado do Paraná
- Avaliar o ranqueamento dos principais touros nas diferentes regiões estudadas
- Avaliar o comportamento genético da população de acordo com o gradiente ambiental exposto.

## 6- REFERÊNCIAS

AUBIN-HORTH, N.; RENN, S. C. P. Genomic reaction norms: Using integrative biology to understand molecular mechanisms of phenotypic plasticity. **Molecular Ecology**, v. 18, n. 18, p. 3763–3780, 2009.

BIGNARDI, A. B. et al. Reaction norm model to describe environmental sensitivity across first lactation in dairy cattle under tropical conditions. **Tropical Animal Health Production**, v. 47, p. 1405–1410, 2015.

EMBRAPA. **Indicadores Leite e Derivados**. Juiz de Fora: [s.n.].

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to Quantitative Genetics**. 3. ed. New York: 1989.

FAO. Overview of the Agricultural Outlook 2017-2026. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026**, v. 181, n. November 1947, p. 17–58, 2017.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Dairy Market Review Milk production trends in 2017**. Roma: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9210EN/i9210en.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2018.

HAMMAMI, H.; REKIK, B.; GENGLER, N. Genotype by environment interaction in dairy cattle. **Biotechnol. Agron. Soc. Environ.**, v. 13, n. 1, p. 155–164, 2009.

HAY, E. H.; ROBERTS, A. Genotype × prenatal and post-weaning nutritional environment interaction in a composite beef cattle breed using reaction norms and a multi-trait model. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 444–453, 2018.

HUQUET, B.; LECLERC, H.; DUCROCQ, V. Modelling and estimation of genotype by environment interactions for production traits in French dairy cattle. **Genetics Selection Evolution**, v. 44, n. 1, p. 35, 2012.

IBGE. Indicadores IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, p. 76, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção pecuária municipal. **Decision Support Systems**, v. 44, n. 4, p. 1–51, 2016.

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

KIPLAGAT, S. K.; LIMO, M. K.; KOSGEY, I. S. Genetic Improvement of Livestock for Milk Production. In: CHAIYABUTR, N. (Ed.). . **Milk Production – Advanced Genetic Traits, Cellular Mechanism, Animal Management and Health**. 1 ed. Pathum: InTech, 2012. v. 8p. 378.

KNAP, P. W. Breeding robust pigs. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 45, n. 7–8, p. 763–773, 2005.

KOÇ, A. Effects of some environmental factors on milking time milk yield in red Holstein cows. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 5, n. 8, p. 917–922, 2017.

KOLMODIN, R. et al. Genotype by environment interaction in Nordic dairy cattle studied using reaction norms. **Acta Agriculturae Scandinavica - Section A: Animal Science**, v. 52, n. 1, p. 11–24, 2002.

KOLMODIN, R. et al. Reaction norms for protein yield and days open in Swedish red and white dairy cattle in relation to various environmental variables. **Acta Agriculturae Scandinavica - Section A: Animal Science**, v. 54, n. 3, p. 139–151, 2004.

KOLMODIN, R.; BIJMA, P. Response to mass selection when the genotype by environment interaction is modelled as a linear reaction norm. **Genetics Selection Evolution**, v. 36, n. 4, p. 435, 2004.

MOREIRA, R. P. et al. Evaluation of genotype by environment interactions on milk production traits of Holstein cows in Southern Brazil. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, p. 66, 2018.

MOTA, R. R. et al. Analyses of reaction norms reveal new chromosome regions associated with tick resistance in cattle. **animal**, v. 12, n. 02, p. 205–214, 13 fev. 2018.

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

PAULA, M. C. DE et al. Interação genótipo × ambiente para produção de leite de bovinos da raça Holandesa entre bacias leiteiras no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 3598, p. 467–473, 2009.

RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I. Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle,

- Parameter Estimation. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 9, p. 2126–2130, 2000.
- RIBEIRO, S. et al. Genotypexenvironment interaction for weaning weight in Nellore cattle using reaction norm analysis. **Livestock Science**, v. 176, p. 40–46, 2015.
- SALVIAN, M. **Estresse térmico sobre a predição de valores genéticos para características de produção e qualidade do leite de vacas Holandesas**. [s.l.] Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, 2016.
- SANTANA JR, M. L. et al. Genetics of heat tolerance for milk yield and quality in Holsteins. **The Animal Consortium**, v. 11, n. 1, p. 4–14, 2017a.
- SANTANA JR, M. L. et al. Genetic component of sensitivity to heat stress for nonreturn rate of Brazilian Holstein cattle. **Theriogenology**, v. 98, p. 101–107, ago. 2017b.
- SEAB. LEITE - Análise da Conjuntura Agropecuária. **DERAL - Departamento de Economia Rural**, p. 16, 2017.
- SILVA, L. H. A. DA; CAMARA, M. R. G. DA; TELLES, T. S. Evolução e distribuição espacial da produção de leite no estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 1, p. 37–47, 2016.
- STRANDBERG, E. et al. Genotype by environment interaction for first-lactation female fertility traits in UK dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 7, p. 3437–3446, 2009.
- STREIT, M. et al. Reaction norms and genotype-by-environment interaction in the German Holstein dairy cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 129, n. 5, p. 380–389, out. 2012.
- SU, G. et al. Bayesian analysis of the linear reaction norm model with unknown covariates. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 7, p. 1651–1657, 2006.
- TIEZZI, F. et al. Genotype by environment (climate) interaction improves genomic prediction for production traits in US Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 3, p. 2042–2056, 2017.
- VAN DER LAAK, M. et al. Genotype by environment interaction for production, somatic cell score, workability, and conformation traits in Dutch Holstein-Friesian cows between farms with or without grazing. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 6, p. 4496–

4503, 2016.

VAN DER VEEN, A. A. et al. Robust performance : principles and potential applications in livestock production systems. **EFITA conference**, v. 1, p. 173–180, jan. 2009.

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**, v. 94, n. 6, p. 3137–3147, 2011.

WIRBISKI, S. et al. Caracterização Socioeconômica da Atividade Leiteira do Paraná. **Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, v. 47, p. 1–20, 2009.

## **CAPÍTULO II - ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO, PARA PRODUÇÃO DE LEITE NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO DO PARANÁ**

**RESUMO:** O estado do Paraná é um dos grandes produtores de leite a nível nacional, observa-se que apesar das variações climáticas apresentadas no estado, as avaliações genéticas já aplicadas não levam em consideração a diferenças de temperaturas apresentadas nas diferentes regiões, o que poderiam tendenciar as informações de seleção. Com isso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento genético de uma população de bovinos da raça Holandesa, em resposta à variação de temperatura ambiental, por meio de análise dos efeitos da interação genótipo ambiente (IGA), via normas de reação. Para tanto, foram utilizadas informações de produção de leite de 67.360 vacas primíparas, provenientes do banco de dados da Associação Paranaense dos Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH), obtidos através de controle leiteiro oficial. Como variável ambiental, foram utilizadas as temperaturas regionais do estado divididos em 6 gradientes. Na formação de grupo de contemporâneos foram consideradas as informações de fazenda e ano de parto, e mantidos apenas os grupos com ao menos três animais mensurados. Foi adotado o modelo de regressão aleatória, considerando como heterogênea a variância residual em até 8 classes. A implementação dos modelos de regressão aleatória permitiu a avaliação de quarta ordem, sob polinômios de Legendre, aplicando-se os modelos mistos de análise por método REML, através do *software* WOMBAT. Adicionalmente a análise do rebanho completo, foi avaliado o comportamento genético dos 15 touros mais representativos, conforme as mudanças de gradiente de temperatura. A média de produção total observada foi de 8.374,82 kg de leite, indicando a superioridade produtiva dos animais avaliados em comparação a produção a nível nacional. Os coeficientes de herdabilidades se apresentaram como sendo de baixas a moderadas magnitudes variando de 0,18 a 0,23, apresentando uma redução com o aumento da temperatura, indicando influência de tal sobre as herdabilidades. Foi possível identificar variações na expressão genética de alguns touros chegando a diferença em até 289 kg de leite no aumento da temperatura regional de 17°C para 19,5°C. Porém, as correlações genéticas entre os gradientes mostraram-se todas acima de 0,800, variando de 0,873 a 0,998 indicando ausência de interação significativas entre o genótipo e o ambiente. A partir dessas informações, não há a necessidade de aplicação da variável temperatura nos modelos de análises genéticas aplicados no estado.

**Palavras-chaves:** polinômios de Legendre, regressão aleatória, temperatura regional.



## 1- INTRODUÇÃO

A produção de leite é uma das principais atividades econômicas realizadas no mundo (FAO, 2017) e, sabe-se que a mesma pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, tais como a temperatura, entre outros (PRAGNA et al., 2017). Como exemplo, Al Reyad et al. (2016) constaram diferenciação na produção e composição do leite por conta do estresse calórico sofrido pelos animais, criados em locais de temperatura elevada. Adicionalmente, Cotor et al. (2015) verificaram o aumento da produção de leite, quando os animais foram expostos a ambientes com temperaturas mais amenas. Assim, a influência da temperatura na produção parece estar relacionada a manifestação de polimorfismos responsáveis na expressão de genes com efeitos na produção de leite (KOMISAREK; KOLENDA, 2016).

Conforme mencionado, o efeito do ambiente pode influir diretamente na produção e composição do leite dos animais. Porém, no Brasil, um país com elevada diversidade ambiental, pouco se sabe sobre a influência de cada ambiente no comportamento genético dos animais da raça Holandesa. Os estudos dos efeitos da interação genótipo – ambiente (IGA), objetivam avaliar os desempenhos de um mesmo indivíduo em diferentes ambientes e a relação de interação entre as duas variáveis (FALCONER, 1952). Esse modelo representa uma extensão do modelo de avaliação genética tradicional por apresentar a inclusão de interações aleatórias do genótipo avaliado e o ambiente de criação (HAMMAMI; REKIK; GENGLER, 2009). Por tal possibilidade, diferentes respostas de um mesmo genótipo podem ser observadas em diferentes ambientes, caso essas sejam constatadas.

Sabendo que características economicamente importantes são controladas por fator genéticos, ambientais e a interação entre eles (HAY; ROBERTS, 2018), a IGA pode resultar em um modo de análise genética uma vez que o mérito genético dos animais pode ser visto com em função do ambiente. Análises destas interações, tem recebido notável atenção, especialmente para rebanhos de bovinos leiteiros, pois quando não consideradas, poderiam influenciar as estimações de parâmetros e méritos genéticos (STREIT et al., 2012). Apesar dos investimentos na seleção genética dos rebanhos leiteiros, poucos trabalhos foram realizados em investigações de IGA. Tais estudos seriam importantes, visto que o referido estado apresenta

diferentes microclimas em toda sua extensão, como de estação seca, úmido, super úmido ou ainda tropical (SEAB, 2000), o que proporciona diferenças nas médias de temperaturas anuais em cada região do estado.

Uma abordagem que frequentemente vem sendo utilizada em estudos para investigar a IGA é através dos modelos de norma de reação (TIEZZI et al., 2017). Os modelos de normas de reação são tidos como a expressão dos valores genéticos em função de um descritor ambiental (MIRANDA et al., 2016) podendo assim informar o melhor desempenho em cada ambiente para cada característica estudada. Os métodos de normas de reação têm sido muito aplicados em rebanhos leiteiros pelo grande número de registro de filhas de um mesmo touro em uma ampla variedade de ambientes (RAUW; GOMEZ-RAYA, 2015). Isso possibilita a avaliação dos diferentes touros nos diferentes ambientes estudados, bem como o desempenho no decorrer do gradiente ambiental, sendo essa uma vantagem da metodologia pela verificação de possíveis *re-rankings* nos ambientes considerados, além da verificação da genética mais adaptada à condição de produção.

Com isso, os objetivos do estudo foram: (i) verificar a existência de interação genótipo-ambiente, via modelos de normas de reação através de regressão aleatória, para a característica de produção de leite (PL), em animais da raça Holandesa, de acordo com a temperatura regional; (ii) estimar as variâncias genéticas e herdabilidades para as características de PL conforme as mudanças de gradiente de temperatura; e (iii) analisar o desempenho genético dos principais touros utilizados na região para característica de produção de leite de acordo com as mudanças de gradiente de temperatura regional.

## 2- MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de 67.360 fêmeas primíparas nascidas entre os anos de 1990 a 2015, filhas de 936 touros, pertencentes ao banco de dados da Associação Paranaense dos Criadores de Bovinos da Raça Holandesa, advindos do controle leiteiro oficial. A matriz de parentesco contou com informações de 95.073 animais distribuídos em 398 rebanhos, pertencentes a 88 cidades paranaenses.

Em levantamento a priori, as médias de temperaturas anuais das cidades paranaenses foram investigadas de acordo com o trabalho de Alvares et al. (2013). Desse levantamento, verificou-se que as temperaturas médias anuais foram de no mínimo 17°C nas regiões ao sul do estado e 19,5°C nas regiões ao norte. Desta maneira, o estado foi particionado em 6 gradientes ambientais, divididos a cada 0,5°C de temperatura. Tais separações foram utilizadas como variáveis controle no estudo, verificando-se o comportamento genético da população sob as mudanças de gradiente ambiental.

As edições de dados foram realizadas através do software estatístico SAS (SAS INSTITUTE INC., 2013). Informações de fazenda e data do parto foram utilizadas como critérios para formação de grupo de contemporâneo (GC). Sendo que, na análise de consistência dos dados, GC's com menos de três observações foram eliminados, além de animais que continham mais que 500 dias ou menos de 60 dias de lactação. Também foram removidos na edição animais com idade ao parto inferior a 18 meses ou superior a 48 meses.

As produções de leite (PL em kg), foram ajustadas aos 305 dias. Sendo que, animais com menos de 500 kg PL/lactação foram excluídos do banco de dados. A conectividade dos rebanhos, entre os gradientes ambientais, se deu através da presença genética dos touros em pelo menos três dos gradientes. Sendo que, animais filhos de pais desconhecidos, touros com representatividade em menos de três gradientes ou touros que apareciam somente uma vez no rebanho foram eliminados do banco de dados. Ao final, cada gradiente ambiental continha pelo menos 1.000 animais para as avaliações.

O modelo adotado para análise da interação genótipo-ambiente, via normas de reação, foi através de regressão aleatória, assumindo-se a variância residual como

heterogênea, em até oito classes de variância. A implementação dos modelos de regressão aleatória permitiu a avaliação em quarta ordem, sob polinômios de Legendre. Sendo esses polinômios ultimamente escolhidos por promover melhor propriedades de convergência dos dados em regressões ortogonal, como exposto no trabalho de Schaeffer (2004).

O modelo de normas de reação, via regressão aleatória, pode ser descrito como:

$$y_{ij} = \sum_{k=0}^{k=4} b_{jk} \phi_k(j) + \sum_{k=0}^{k=4} a_{ik} \phi_k(j) + e_{ij}$$

em que,  $y_{ij}$  é a resposta genética para característica em avaliação do animal  $i$  sob o gradiente de temperatura  $j$ ;  $b_{jk}$  é o efeito do coeficiente de regressão fixo associado ao polinômio de Legendre  $k$ ;  $a_{ik}$  é o efeito do coeficiente de regressão aleatória  $k$  do efeito direto genético aditivo atribuído ao animal  $i$ ;  $\phi_k(j)$  é o polinômio de Legendre associado ao nível do gradiente de temperatura exposto o animal  $i$ ;  $k$  é a ordem dos polinômios de Legendre, sendo ajustado a quarta ordem;  $e_{ij}$  é associado ao resíduo da observação  $y_{ij}$ . Sendo as representações matriciais dadas como:

$$y = Xb + Zu + e$$

pressupondo os modelos:

$$E = \begin{bmatrix} y \\ b \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e \quad V \begin{bmatrix} u \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{rn} \otimes A & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

em que,  $y$  é o vetor de observação;  $b$  é o vetor de efeitos fixos atribuído ao grupo de contemporâneo,  $u$  é o vetor de efeitos aleatórios;  $e$  é o vetor de efeitos residuais;  $X$  e  $Z$  são matrizes de incidência para efeitos aleatórios e fixos, respectivamente;  $K_m$  é a matriz de covariância associada aos efeitos aleatórios para parâmetros do modelo da norma de reação;  $A$  é a matriz numerador de relacionamento aditivo;  $R$  é a matriz de

variância residual.

Os componentes de variância genética aditiva, bem como as estimativas de herdabilidade direta se aplicam nos diferentes gradientes ambientais, de acordo com os modelos a seguir:

$$h^2_t = \frac{\sigma^2_{g_{at}}}{\sigma^2_{g_{at}} + \sigma^2_{e_t}}$$

sendo,

$$\sigma^2_{g_{at}} = \sigma^2_a + \sigma^2_b t^2 + 2\sigma_{a,b} t$$

em que,  $h^2_t$  é a herdabilidade direta para as diferentes características de produção relacionada ao gradiente de temperatura  $t$ ,  $\sigma^2_{g_{at}}$  é variância genética aditiva atribuída ao nível  $t$  do gradiente de temperatura;  $\sigma^2_{e_t}$  é a estimativa de variância residual atribuída ao nível  $t$  do gradiente de temperatura;  $\sigma^2_a$  é a estimativa da variância genética do componente do intercepto;  $\sigma^2_b$  é a estimativa de inclinação dos componentes de variância das normas de reação;  $\sigma_{a,b}$  é a estimativa de covariância entre efeitos genéticos do intercepto e da inclinação e  $t$  são os níveis de temperatura. Na inferência, aplicou-se os modelos mistos de análises por método de máxima verossimilhança restrita (REML) através do *software* WOMBAT® (MEYER, 2007).

Para a regressão dos touros no decorrer dos gradientes, as estimativas dos valores genéticos nos  $t$  níveis do gradiente ambiental, em análise de comportamento genético, se deram por média ponderada do valor genético das filhas de cada reprodutor a cada nível de temperatura. Sendo que um subconjunto de dados, com informações dos touros presentes em todos os gradientes ambientais, foi formado para uma representatividade mais fidedigna do valor genético em cada índice de temperatura. Para estas análises, foram considerados os 15 touros com maior número de filhas distribuídas pelo estado, observado o comportamento genético destes, ao decorrer das mudanças de gradiente de temperatura. Sendo o touro com maior representatividade apresentando o total de 1250 filhas e o de menor representatividade, entre as 15, 394 filhas.

### 3- RESULTADOS

A estatística descritiva para a produção de leite dos animais da raça Holandesa do estado do Paraná é apresentada na Tabela 1, a seguir.

**Tabela 1 - Estatística descritiva geral e por gradiente de temperatura para a produção de leite dos animais da raça Holandesa do estado do Paraná**

	<b>N</b>	<b>GC</b>	<b>Touros</b>	<b>Reb</b>	<b>Média</b>	<b>D.P</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
Geral	67.360	3.355	936	398	8.374,82	2.042,41	613,16	18.583,20
Temperatura								
(°C)								
17,0	19.194	1.289	903	171	8.280,48	2.093,25	613,16	18.583,24
17,5	29.121	1.100	890	103	8.602,39	2.028,41	731,54	17.882,07
18,0	1.956	86	432	8	8.664,71	1.800,10	1.489,00	15.729,18
18,5	1.140	91	282	21	8.801,86	1.963,88	1.137,36	13.411,34
19,0	14.402	588	788	49	8.129,20	1.932,88	623,00	14.785,93
19,5	1.547	201	395	46	7.998,34	2.254,00	1601,02	16.256,54

N= número de animais participantes nas análises

GC= número de grupo de contemporâneos

Touros= número de touros avaliados

Reb= número de rebanhos avaliados

D.P.= desvio padrão

Mín. = valor mínimo de produção

Máx. = valor máximo de produção

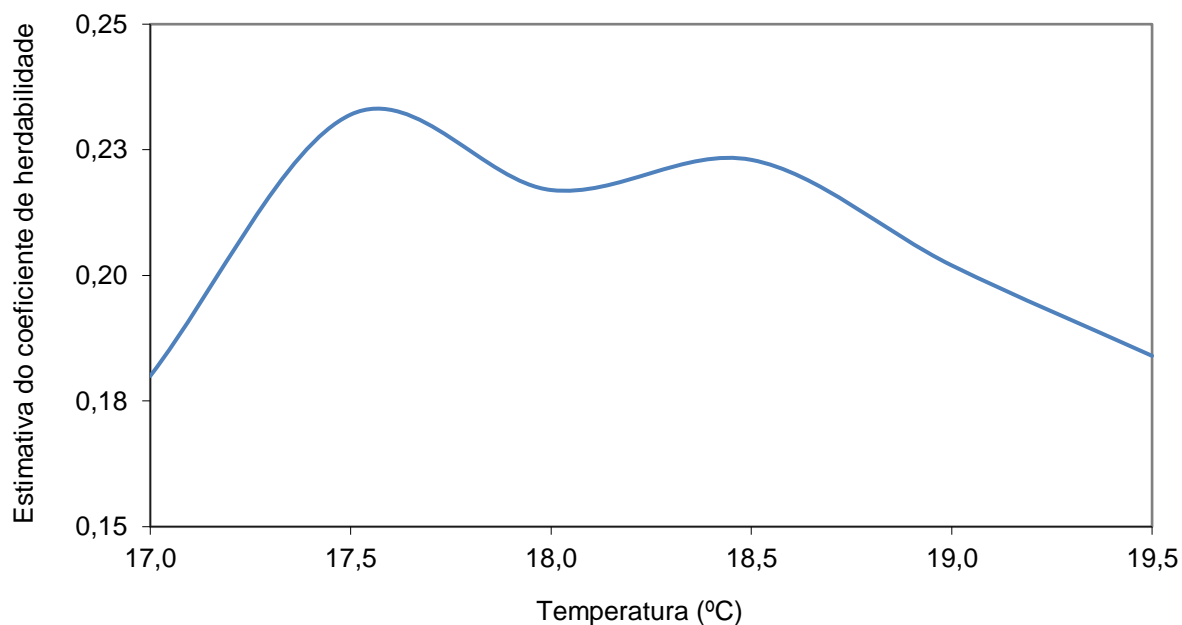
Como pode ser observado na Tabela 1, os gradientes que apresentaram maiores números de animais, também apresentaram um maior número de rebanhos nas análises. A produção de leite do gradiente de temperatura 18,5°C, gradiente com maior média produtiva, apresentou produção em até 9,12% maior que a menor média produtiva entre os gradientes ambientais (19,5°C). Em volume, a produção de Leite das regiões de 18,5°C apresentam até 803,52 kg de leite/animal/lactação a mais que as regiões de 19,5°C. Observa-se nos resultados, o aumento da produção até o gradiente ambiental 18,5°C, posterior a esse gradiente há uma redução das médias produtivas do estado. O coeficiente de variação dos gradientes ambientais divergiu entre 21%, para as regiões com temperaturas ao redor de 18°C, a 28% nas regiões

com temperaturas ao redor de 19,5°C. As variâncias genéticas, variâncias ambientais e variâncias fenotípicas, bem como as herdabilidades e seus erros padrão são apresentados na Tabela 2, a seguir.

**Tabela 2 - Valores de variância fenotípica ( $\sigma^2_p$ ), variância ambiental ( $\sigma^2_e$ ), variância genética ( $\sigma^2_a$ ), herdabilidade ( $h^2$ ) e erro padrão (e.p.) para os diferentes gradientes de temperatura dos animais da raça Holandesa no estado do Paraná, para característica Leite**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b><math>\sigma^2_p</math></b>	<b><math>\sigma^2_e</math></b>	<b><math>\sigma^2_a</math></b>	<b><math>h^2</math></b>	<b>e.p.</b>
17,0	2.275.340,00	1.865.277,00	410.063,00	0,18	0,009
17,5	2.527.070,00	1.941.364,00	585.706,00	0,23	0,002
18,0	2.811.810,00	2.202.702,00	609.108,00	0,22	0,002
18,5	2.423.060,00	1.882.607,00	540.453,00	0,22	0,000
19,0	2.343.550,00	1.869.587,00	473.963,00	0,20	0,003
19,5	2.452.830,00	2.001.598,00	451.232,00	0,18	0,002

A temperatura de 18°C apresentou a maior variância genética aditiva, bem como também a maior variância ambiental para a característica leite, resultando assim na maior variância fenotípica encontrada. A menor variância genética foi apresentada pelo gradiente 17°C apresentando também a menor herdabilidade entre os gradientes (0,18). Na Figura 3, a seguir, é apresentado o comportamento das herdabilidades no decorrer do crescimento do gradiente ambiental.

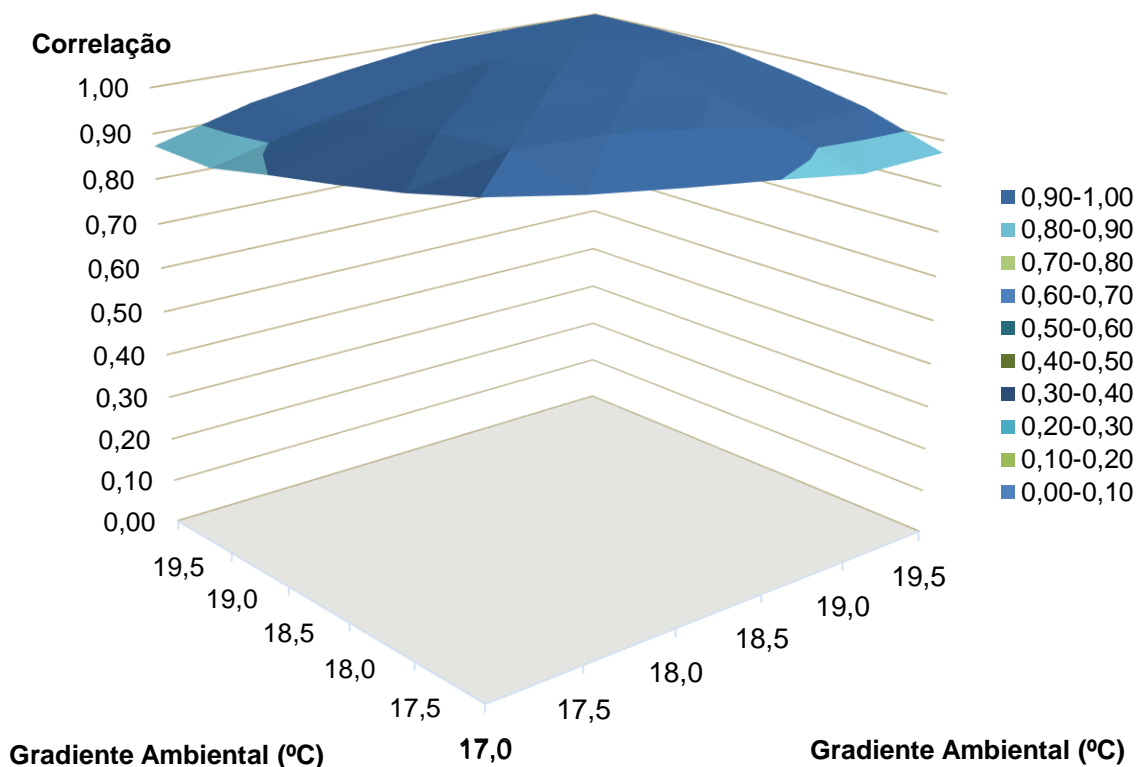


**Figura 2 - Gráfico de herdabilidades para Produção de Leite no decorrer dos gradientes ambientais**

É possível observar um aumento da herdabilidade do gradiente 17°C para o gradiente 17,5°C e posterior a esse gradiente, há uma redução das herdabilidades 17,5°C até o gradiente 19,5°C. Como pode ser observado, há uma propensão de diminuição das herdabilidades com o aumento da temperatura ambiental.

As correlações entre os gradientes ambientais, utilizados para verificar a existência de interação genótipo-ambiente, são apresentadas na Figura 4.





**Figura 3 - Gráfico de correlação entre os gradientes ambientais de temperatura para produção de Leite no estado do Paraná.**

Todos os gradientes apresentaram correlação acima de 0,800, como pode ser observado na Figura 4. A correlação entre todos os gradientes ambientais está detalhada na Tabela 3.

**Tabela 3 - Correlações Genéticas entre Gradientes Ambientais de Temperatura para Produção de Leite de bovinos da raça Holandesa no estado do Paraná**

Temperatura (°C)	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5
17,0	1,00	0,96	0,93	0,90	0,87	0,87
17,5		1,00	0,99	0,96	0,92	0,93
18,0			1,00	0,99	0,96	0,97
18,5				1,00	0,99	0,99
19,0					1,00	0,99
19,5						1,00

A Figura 5 apresenta o valor genético dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná e a interação com o aumento de temperatura ambiental.

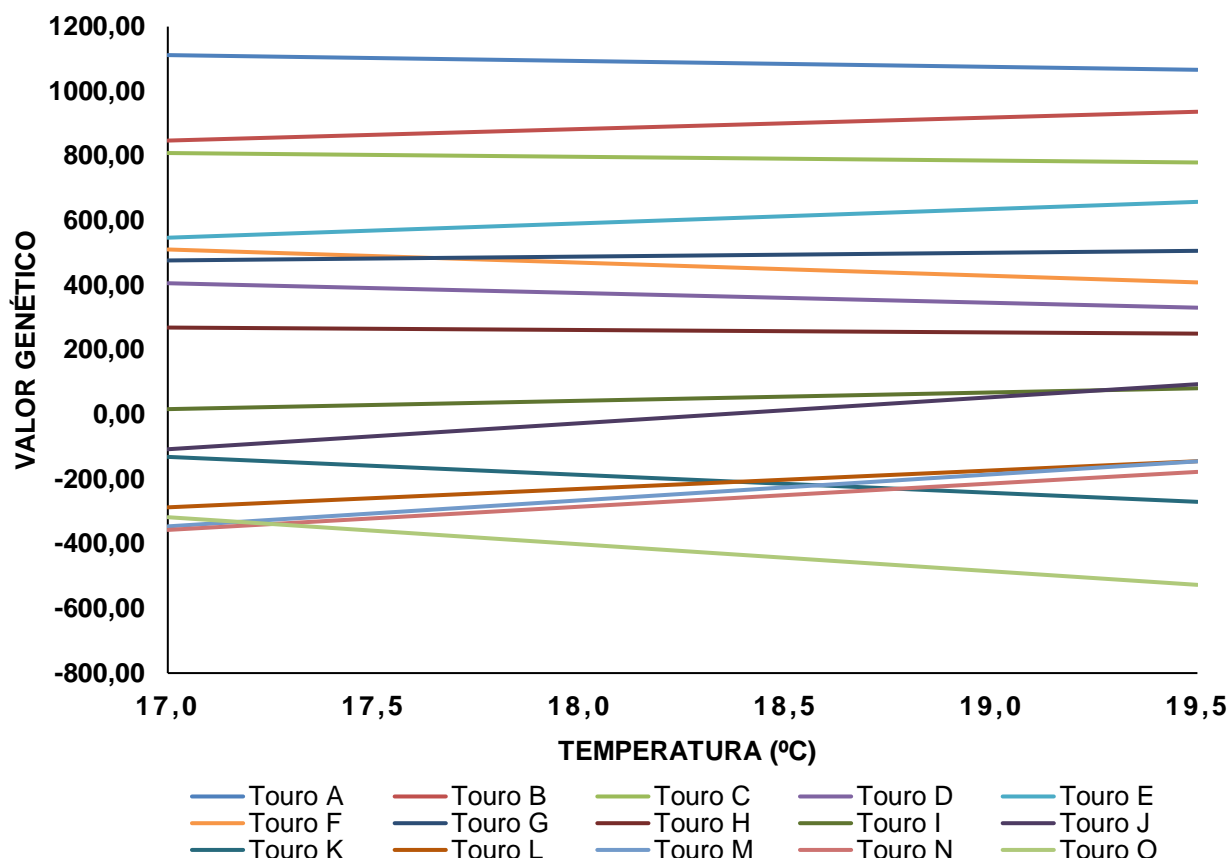


Figura 4 - Normas de Reação dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná para característica Produção de Leite

Comportamentos distintos foram observados no avanço do gradiente ambiental. Em alguns casos, touros apresentaram aumento do valor genético em até 282 kg de leite ao aumento da temperatura. Por outro lado, a redução do valor genético em até 289 kg de leite também foi apresentada. A maior variação dos valores genéticos foi proeminente em animais cujas as médias dos valores já se apresentavam como abaixo da base genética (valor tido como 0). Animais com valores acima da base genética da população apresentaram como característica uma menor variação dos valores genéticos ao decorrer do aumento da temperatura ambiental. Pode-se mencionar que, o reposicionamento dos touros no avanço do gradiente ambiental foi pontual, apresentando poucas trocas de posições entre os touros.

#### 4- DISCUSSÃO

Os dados de produção média 8.374 kg de leite/animal/ano se mostraram superiores aqueles encontrados na literatura sobre a produção brasileira de 1.709 kg de leite/animal/ano (IBGE, 2016), confirmando a alta produtividade dos rebanhos paranaenses. Produções diárias essas próximas a produções de países altamente produtivos como Estados Unidos (HADRICH et al., 2018) ou Canadá (DO et al., 2018), o que reforça o alto potencial produtivo apresentado pelos animais. Chama a atenção os altos valores encontrados nas produções máximas em cada gradiente de temperatura (Tabela 1), assim como as elevadas médias encontradas em todos os gradientes de temperatura. Isso destaca que mesmo com a heterogeneidade de produções apontadas por Telles, Bacchi e Shimizu (2017) nos rebanhos paranaenses, as regiões permanecem com elevada produtividade, nas diversas temperaturas avaliadas.

Outra observação encontrada durante as análises, foi a participação de rebanhos e animais nas avaliações, sendo esses dados apresentados na Tabela 1. Observa-se que é de característica das regiões próximas aos 17°C, apresentarem um maior número de rebanho, quanto também maior número de animais por rebanho. Característica oposta ao encontrado mais ao norte do estado, onde o número de rebanhos foi menor, bem como o número de animais por rebanho também foi inferior. Essa observação está ligada a existência de bacias leiteiras concentradas mais ao sul do estado (PAULA et al., 2009) que, historicamente, tem há tempos como tradição, a atividade leiteira, como a principal atividade pecuária. Com isso, é verídico que maiores investimentos e produções mais elevadas sejam encontradas nessas bacias leiteiras, uma vez que estas têm como principal, e muitas vezes única, atividade econômica.

Historicamente, a raça Holandesa é tida como uma das grandes raças de maiores produções pelo mundo todo. Suas produções podem alcançar elevadas quantidades, como podem ser observados na Tabela 1. Analisando tais dados, observa-se a redução de produção após certa elevação de temperatura. Tal comportamento, sugere que o aumento temperatura influencie à diminuição de produção de leite. Essa afirmação é suportada por Yano, Shimadzu e Endo (2014),

que afirmam que animais produtivos diminuem suas produções ao aumento da temperatura ambiental.

Com relação aos coeficientes de herdabilidade, estas mostraram-se, em sua maioria, de magnitudes moderadas, consistentes, portanto, com estudos anteriores realizados nos rebanhos paranaenses (MOREIRA et al., 2018; PAULA et al., 2008, 2009). Em exceção, as herdabilidades encontradas, especificamente nas regiões a 17°C e 19,5°C, foram de baixa magnitude. Pontos esses possivelmente relacionado a menor variância genética dos animais, no caso do gradiente 17°C, e no caso do gradiente 19,5 a uma maior ação ambiental sobre os animais aliado a um menor número de animais participantes das análises. Tal achado sugere que ganhos genéticos proporcionados a essas regiões ocorram mais suavemente quando comparados com as demais regiões avaliadas.

De modo geral, os coeficientes de herdabilidades reduziram com o aumento de temperatura regional, como pode ser observado na Figura 3. Comportamento semelhantes também foram observados em estudos com a raça Holandesa em rebanhos da Espanha (CARABAÑO et al., 2014) e Bélgica (HAMMAMI et al., 2015) reafirmando que a temperatura pode exercer efeito na expressão genética para característica leite. Com isso, a existência dessas variações nas herdabilidades podem levar a diferentes respostas de seleção nos diferentes ambientes avaliados (BIGNARDI et al., 2015).

Observando as variâncias (Tabela 2) é possível notar a um equilíbrio entre as variâncias genéticas indicando que, de certa forma, os animais apresentaram uma manifestação genética similar nos diferentes gradientes de temperatura observados. Portanto, as diferenças nas herdabilidades, no aumento da temperatura regional, podem ser amparadas pelas divergências ocasionadas nas variâncias ambientais que ocasionaram a variação das herdabilidades. Herdabilidades superiores foram encontradas em rebanhos canadenses (LOKER et al., 2012) e norte-americanos (ABDALLA et al., 2016), países com histórico de seleção mais longos. Isso sugere que ao expor os animais aos processos de seleção é possível diminuir a ação da variância ambiental sob o desempenho dos animais e elevar, como consequência dessa ação, as herdabilidades decorrer do tempo.

Pôde-se verificar que as correlações genéticas entre os diferentes gradientes ambientais se apresentaram acima de 0,80 (Tabela 3), indicando a ausência relevante de interação genótipo ambiente, em todos os gradientes de temperaturas avaliados, conforme critério estabelecido por Robertson (1959). Os elevados coeficientes de correlações genéticas aqui obtidos indicam que a produção de leite está sendo expressa de maneira semelhante nas diferentes regiões avaliadas, sem alterações genéticas relevantes nos rebanhos paranaenses ao aumento de temperatura regional, fato esse também afirmado por Moreira et al. (2018). Baixas correlações e, por consequência, significativo efeito de interação genótipo ambiente poderia ser esperado, caso a variação de temperatura médias fossem maiores entre as regiões e, acentuadas por maiores períodos (BOHMANOVA et al., 2008) ou ainda diferentes latitudes em avaliações (ISMAEL et al., 2016). Porém, apesar das diferenças climáticas encontradas no Paraná, a pouca variação de temperatura e mesmo a influência genotípica advinda do exterior (MONTALDO et al., 2015; PEDROSA et al., 2015) não foram suficientes para exercer influência genética relevantes na manifestação da característica leite, da população de bovinos da raça Holandesa no estado do Paraná.

Apesar dos dados de correlações indicarem a ausência de interação genótipo ambiente relevante, pequenas alterações dos valores genéticos dos animais foram verificadas no decorrer do aumento de temperatura, como pode ser visto na Figura 5. De modo geral, os valores genéticos dos animais aproximaram-se conforme o aumento de temperatura. Isso indica que nas regiões mais quentes as médias de diferenças genéticas expressas entre a descendência desses animais tendem a ser menores do que a descendência desses mesmos animais nas regiões mais frias, onde as discrepâncias de mérito genético se mostraram maiores.

Como demonstrado, alguns animais, principalmente aqueles acima da base genética, tiveram como peculiaridade a persistência genética no aumento da temperatura. Isso indica que as funcionalidades específicas para produção de Leite não sofreram alterações provenientes das mudanças de temperatura regional, caracterizando os animais como robustos a essa característica (VAN DER VEEN et al., 2009). Sendo assim, ganhos genéticos similares podem ocorrer em todo o estado

mesmo em variação de temperatura. Por outro lado, os animais que apresentaram valores genéticos abaixo da média relativa a base genética, apresentaram valores genéticos flutuando de acordo o aumento da temperatura, caracterizando-os como animais ditos plásticos (BOHLOULI; ALIJANI, 2012) para a característica leite.

As mudanças que ocorrem em função do aumento da temperatura não estão ligadas a mudanças da constituição genética dos animais, mas sim a respostas neuroendócrinas, estimuladas pelo aumento da temperatura, que afetarão a transcrição dos genes responsáveis a produção de leite (DINGEMANSE; WOLF, 2013), ou ainda, a efeitos em eixos hormonais e enzimáticos responsáveis pelo ajuste do animal ao ambiente exposto (VAN DER VEEN et al., 2009). Como exemplo, podemos citar mudanças que são visivelmente verificadas no caso de alguns touros avaliados no presente estudo. Como por exemplo, o touro O, que ao aumentar da temperatura, apresentou a redução de seu valor genético em grande expressividade. Ou ainda, o touro J com aumento substancial do seu valor genético. Evidenciando assim que em tais touros, a temperatura pode exercer manifestações significativas na expressão da característica leite. No caso particular destes touros, deve-se monitorar o comportamento genético dos mesmos, conforme as diferenciações climáticas nas quais suas progênes estarão submetidas.

Apesar de casos como os demonstrados, a reclassificação dos touros ao decorrer do gradiente de temperatura foi pontual. O que já era de se esperar devido à ausência de interação significativa entre o genótipo e a temperatura (PEGOLO et al., 2011). O reposicionamento se deu em grande parte a partir do ambiente 18,5°C, e tal reposicionamento não relacionado, em sua grande parte, a diminuição do valor genético dos animais, mas sim ao aumento desse valor ao aumento de temperatura. Nesse crescimento podemos destacar o touro G que no gradiente 17°C se encontra como sexto colocado no ranqueamento dos touros, e no gradiente 19,5°C passa a ser o quinto colocado na classificação geral de mérito genético para produção de leite. Ou ainda o touro J, que no gradiente 17°C se encontra abaixo da média relativa a base genética da população, porém ao elevar a temperatura, o seu mérito individual tendeu a aumentar e ficar entre os nove touros mais bem posicionados ao gradiente 19,5°C. Nesses casos, tais touros ao serem considerados como melhoradores dentro da

população, necessitariam de um monitoramento, visto que alterações de desempenho, mesmo que tênues, poderiam ocorrer.

## **5- CONCLUSÃO**

Pode-se observar que não houve interação genótipo ambiente significativa para a característica produção de leite no aumento da temperatura regional do estado do Paraná para os animais da raça Holandesa. As herdabilidades tendem a se reduzir com o aumento da temperatura e somente alguns touros tiveram seu valor genético alterado conforme o aumento de temperatura, principalmente aquele cujos os valores se encontravam abaixo da base genética. A partir desses resultados, pode-se afirmar que a aplicação da variável temperatura nos modelos de avaliação realizados no estado não se faz necessária, indicando que o modelo tradicional empreendido pode exercer satisfatórios ganhos mesmos em variações de temperaturas regionais.



## 6- REFERENCIAS

ABDALLA, E. A. et al. Short communication: Genetic correlation of bovine leukosis incidence with somatic cell score and milk yield in a US Holstein population. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 3, p. 2005–2009, mar. 2016.

AL REYAD, M. et al. Effect of heat stress on milk production and its composition of Holstein Friesian crossbred dairy cows. **Asian J. Med. Biol. Res. Asian Journal of Medical and Biological Research**, v. 2, n. 2, p. 190–195, 2016.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BIGNARDI, A. B. et al. Reaction norm model to describe environmental sensitivity across first lactation in dairy cattle under tropical conditions. **Tropical Animal Health Production**, v. 47, p. 1405–1410, 2015.

BOHLOULI, M.; ALIJANI, S. Genotype by environment interaction for milk production traits in Iranian Holstein dairy cattle using random regression model. **Livestock Research for Rural Development**, v. 24, p. 7–12, 2012.

BOHMANOVA, J. et al. Short Communication: Genotype by Environment Interaction Due to Heat Stress. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 2, p. 840–846, 2008.

CARABAÑO, M. J. et al. Modeling heat stress effect on Holstein cows under hot and dry conditions: Selection tools. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 12, p. 7889–7904, dez. 2014.

COTOR, G. et al. The effect of environmental temperature variation, on milk yield and composition, in dairy cows. **Journal of Biotechnology**, v. 208, n. 2015, p. S39, 2015.

DINGEMANSE, N. J.; WOLF, M. Between-individual differences in behavioural plasticity within populations: causes and consequences. **Animal Behaviour**, v. 85, n. 5, p. 1031–1039, 1 maio 2013.

DO, D. N. et al. Genetic parameters of milk cholesterol content in Holstein cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, p. 1–9, 27 abr. 2018.

FALCONER, D. S. The Problem of Environment and Selection. **The American**

**Naturalist**, v. 86, n. 830, p. 293–298, 29 set. 1952.

FAO. Overview of the Agricultural Outlook 2017-2026. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026**, v. 181, n. November 1947, p. 17–58, 2017.

HADRICH, J. C. et al. Estimating milk yield and value losses from increased somatic cell count on US dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 4, p. 3588–3596, abr. 2018.

HAMMAMI, H. et al. Genetic analysis of heat stress effects on yield traits, udder health, and fatty acids of Walloon Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 7, p. 4956–4968, jul. 2015.

HAMMAMI, H.; REKIK, B.; GENGLER, N. Genotype by environment interaction in dairy cattle. **Biotechnol. Agron. Soc. Environ.**, v. 13, n. 1, p. 155–164, 2009.

HAY, E. H.; ROBERTS, A. Genotype × prenatal and post-weaning nutritional environment interaction in a composite beef cattle breed using reaction norms and a multi-trait model. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 444–453, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção pecuária municipal. **Decision Support Systems**, v. 44, n. 4, p. 1–51, 2016.

ISMAEL, A. et al. Genotype by environment interaction for the interval from calving to first insemination with regard to calving month and geographic location in Holstein cows in Denmark and Sweden. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5498–5507, 2016.

KOMISAREK, J.; KOLENDA, M. The effect of DGAT1 polymorphism on milk production traits in dairy cows depending on environmental temperature. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 40, n. 2, p. 251–254, 2016.

LOKER, S. et al. Genetic and environmental relationships between body condition score and milk production traits in Canadian Holsteins. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 1, p. 410–419, jan. 2012.

MEYER, K. WOMBAT—A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). **Journal of Zhejiang University SCIENCE B**,

v. 8, n. 11, p. 815–821, out. 2007.

MIRANDA, J. A. et al. Sensitivity of breeding values for carcass traits of meat-type quail to changes in dietary (methionine + cystine):lysine ratio using reaction norm models. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 133, n. 6, p. 463–475, 2016.

MONTALDO, H. H. et al. Genotype-environment interaction between chile and north america and between chilean herd environmental categories for milk yield traits in black and white cattle. **Animal Science Papers and Reports**, v. 33, n. 1, p. 23–33, 2015.

MOREIRA, R. P. et al. Evaluation of genotype by environment interactions on milk production traits of Holstein cows in Southern Brazil. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, p. 66, 2018.

PAULA, M. C. DE et al. Estimativas de parâmetros genéticos para produção e composição do leite de vacas da raça Holandesa no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 824–828, 2008.

PAULA, M. C. DE et al. Interação genótipo × ambiente para produção de leite de bovinos da raça Holandesa entre bacias leiteiras no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 3598, p. 467–473, 2009.

PEDROSA, V. B. et al. Genetic trends in dairy production of Brazilian Holstein cow. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 345–351, 2015.

PEGOLO, N. T. et al. Effects of sex and age on genotype × environment interaction for beef cattle body weight studied using reaction norm models<sup>1</sup>. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3410–3425, 1 nov. 2011.

PRAGNA, P. et al. Heat Stress and Dairy Cow: Impact on Both Milk Yield and Composition. **International Journal of Dairy Science**, v. 12, n. 1, p. 1–11, 2017.

RAUW, W. M.; GOMEZ-RAYA, L. Genotype by environment interaction and breeding for robustness in. **Frontiers in Genetics**, v. 6, p. 1–15, 2015.

ROBERTSON, A. Experimental Design on the mensuarement of heritabilities and genetic correlations. In: **Biometrical Genetics**. [s.l: s.n.]. v. 15p. 219–226.

SAS INSTITUTE INC. **SAS 9.1.3 Help and Documentation**. Cary: ADABAS, 2013.

SCHAEFFER, L. R. Application of random regression models in animal breeding. **Livestock Production Science**, v. 86, n. 1–3, p. 35–45, 2004.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO - SEAB. **Caracterização da Bovinocultura de Leite no Estado do Paraná**. Curitiba: [s.n.].

STREIT, M. et al. Reaction norms and genotype-by-environment interaction in the German Holstein dairy cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 129, n. 5, p. 380–389, out. 2012.

TELLES, T. S.; BACCHI, M. D.; SHIMIZU, J. Distribuição espacial de microrregiões especializadas na produção de leite. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 443–453, 2017.

TIEZZI, F. et al. Genotype by environment (climate) interaction improves genomic prediction for production traits in US Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 3, p. 2042–2056, 2017.

VAN DER VEEN, A. A. et al. Robust performance : principles and potential applications in livestock production systems. **EFITA conference**, v. 1, p. 173–180, jan. 2009.

YANO, M.; SHIMADZU, H.; ENDO, T. Modelling temperature effects on milk production : a study on Holstein cows

### **CAPÍTULO III - ESTUDO DE INTERAÇÃO GENÓTIPO AMBIENTE, VIA NORMAS DE REAÇÃO, PARA PRODUÇÃO SÓLIDOS DO LEITE NA RAÇA HOLANDESA DO ESTADO DO PARANÁ**

**RESUMO:** Objetivou-se nesse trabalho avaliar o comportamento genético da população de bovinos da raça Holandesa do estado do Paraná, em resposta à variação de temperatura regional, por meio de análise dos efeitos da interação genótipo ambiente (IGA), via normas de reação. Foram utilizadas informações de produção de gordura (PG) e produção de proteína (PP) de 67.360 vacas primíparas, provenientes do banco de dados da Associação Paranaense dos Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH), obtidos através de controle leiteiro oficial. Como variável ambiental, foram utilizadas as temperaturas regionais do estado divididos em seis gradientes distintos. A edição dos dados foi realizada através do software estatístico SAS. Foi adotado o modelo de regressão aleatória, considerando a variância residual como heterogênea em até 8 classes. Implementou-se, por modelos de regressão aleatória, a avaliação de quarta ordem sob polinômios de Legendre aplicando-se os modelos mistos de análise por método REML, através do *software* WOMBAT. Posterior a análise do rebanho completo, foi avaliado o comportamento genético dos 15 touros mais representativos, conforme as mudanças de gradiente de temperatura do estado. As médias de PG e PP observadas foram de 277,81 kg e 255,47 kg, respectivamente. As herdabilidades variaram de 0,21 a 0,27 para PG e 0,14 a 0,20 para PP, nos diferentes gradientes observados, em que as herdabilidades foram influenciadas positiva e negativamente, respectivamente, para PG e PP, conforme o aumento da temperatura ambiental. As correlações genéticas entre os gradientes, para ambas as características, foram todas acima de 0,800, indicando ausência de interação genótipo ambiente significativas. Apesar disso, foi possível notar variações pontuais na expressão genética de alguns touros, com diferenças de até 10,69 kg de gordura e 9,47kg de proteína, conforme aumento do gradiente de temperatura. A partir dessas informações, conclui-se que não é necessária a inclusão da variável temperatura nos modelos de análises genéticas da raça Holandesa, aplicados no estado do Paraná.

**Palavras-chaves:** correlações genéticas, herdabilidade, valor genético

## 1- INTRODUÇÃO

Em sistemas de produção animal, os fatores genéticos e ambientais são os principais pontos de investimentos, responsáveis pelas mudanças fenotípicas esperadas nas futuras gerações (HUQUET; LECLERC; DUCROCQ, 2012). No entanto, sabe-se que em muitas avaliações genéticas, tais fatores são tidos somente como independentes, sem ser considerado, no entanto, possíveis interações entre as variáveis genótipo e ambiente. As interações genótipo ambiente são responsáveis por diferentes manifestações, de um mesmo genótipo, em diferentes ambientes (FALCONER, 1990; HAMMAMI; REKIK; GENGLER, 2009). Como resultado de tais interações, um genótipo de boa performance em determinado ambiente pode não ser tão bom em outro, acarretando em situações como o aumento, ou diminuição, das diferenças genéticas entre reprodutores, ou ainda, de maneira mais impactante, na reclassificação de reprodutores, de acordo com o ambiente avaliado (VAN DER LAAK et al., 2016).

Com o avanço das biotecnologias reprodutivas, tornou-se possível a difusão de um mesmo genótipo em ampla variedade de ambientes. Com isso, efeitos da interação genótipo ambiente tem despertado considerável atenção dos selecionadores junto aos programas de melhoramento de rebanhos leiteiros (STREIT et al., 2012), uma vez que as respostas a seleção podem divergir do ambiente onde os reprodutores foram selecionados. Sendo assim, a informação do valor genético animal pode-se tornar dependente do ambiente (MOTA et al., 2018), ocasionando uma variação das respostas de um mesmo genótipo. Neste contexto, a aplicação de estudos que visam avaliar tal interação podem auxiliar na obtenção das respostas do comportamento genético de acordo com o ambiente de criação e assim caracterizar essas respostas, como os casos das avaliações por modelos de normas de reação (MORRISSEY; LIEFTING, 2016).

As abordagens de normas de reação possibilitam a caracterização da performance genética dos animais sobre um determinado gradiente ambiental (HAY; ROBERTS, 2018). Com isso, torna-se possível a quantificação da interação sob o efeito ambiental a ser analisado, permitindo identificar a melhor performance genotípica para cada ambiente (STREIT et al., 2013). Sendo assim, a abordagem por

normas de reação torna-se uma ferramenta para modelar a interação entre o genótipo e ambiente (TIEZZI et al., 2017) possibilitando a escolha do melhor reprodutor.

Um dos primeiros estudos para investigação dessas interações, por modelos de normas de reação em sólidos, foi aplicado por Kolmodin et al. (2004) em rebanhos leiteiros Suecos Vermelhos e Brancos, onde identificou a presença da interação genótipo ambiente entre a produção de proteína e ambientes como níveis de produção e fertilidade do rebanho. A partir daí diversos estudos com diferentes ambientes começaram a ser estudados. Como exemplo, Streit et al. (2012) em estudos com a raça Holandesa na Alemanha analisando como diferentes níveis de produção e sanidade do rebanho pode afetar o comportamento genético da população para características como produção de leite e sólidos. Ou ainda, Yin e König (2018) que constataram a mudança na performance genética de animais da raça Holandesa da Alemanha nas alterações nos níveis dos rebanhos avaliados.

Como observado, diferentes tipos de ambientes podem ser tidos como descritores nas análises da interação genótipo ambiente, sendo o objetivo de tais identificar o efeito do ambiente sobre a manifestação do genótipo animal. É amplamente conhecido que fatores ambientais, como exemplo a temperatura, exercem efeitos notórios na produção e composição do leite (KOMISAREK; KOLENDA, 2016; PRAGNA et al., 2017). Apesar disso, diferenças climáticas registradas no estado do Paraná (SEAB, 2000) não são levadas em consideração nos estudos de avaliação genética realizadas no estado. Quando as interações não são levadas em conta um viés nas informações dos valores genéticos podem tendenciar as informações acarretando em diferenças na resposta de seleção esperada (STREIT et al., 2012).

Com isso, os objetivos do trabalho foram: (i) verificar a existência de interação genótipo-ambiente, via modelos de normas de reação através de regressão aleatória, para as características de produção de Gordura (PG) e produção de Proteína (PP); (ii) estimar as variâncias genéticas e herdabilidades para as características de PG e PP; e (iii) analisar o desempenho genético dos principais touros utilizados na região para as características de PG e PP de acordo com as mudanças de gradiente de temperatura regional nos animais da raça Holandesa no estado do Paraná.

## 2- MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizadas informações de 67.360 fêmeas primíparas, nascidas entre os anos de 1990 a 2015, filhas de 936 touros, distribuídas em 398 rebanhos, pertencentes ao banco de dados da Associação Paranaense dos Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH). Constitui-se deste conjunto de dados, matriz de parentesco, contendo 95.073 animais.

As médias anuais de temperatura foram alçados de acordo com o trabalho de Alvares et al. (2013), sendo verificado a variação de temperatura de 17°C a 19,5°C entre as regiões (Sul ao Norte). Isso possibilitou a divisão do estado em seis gradientes ambientais, divididos a cada 0,5°C. Essas separações foram utilizadas como variáveis controle no estudo, sendo o comportamento genético verificado através das mudanças do gradiente de temperatura.

As edições dos dados foram realizados pelo *software* SAS (SAS INSTITUTE INC., 2013), sendo as informações de fazenda e data de parto utilizadas como critérios para formação de grupo de contemporâneo (GC). Na análise de consistência dos dados, informações de GC's menores que três observações, animais com mais de 500 ou menos de 60 dias de lactação ou ainda animais com idade ao parto inferior a 18 meses ou superior a 48 meses foram eliminados do banco para análise.

As produções de Gordura (PG) e Proteína (PP), em kg, foram ajustadas aos 305 dias de lactação e a conectividade entre os rebanhos verificadas pela presença genética dos touros de conexão em pelo menos 3 gradientes de temperatura. Adicionalmente, animais que apresentaram informações incompletas, pais desconhecidos, filhas de touros presentes somente uma vez no rebanho e foram eliminados. Ao final, cada gradiente ambiental continha informações de mais de 1000 indivíduos.

Adotou-se o modelo de regressão aleatória (RA) para investigação da interação genótipo ambiente, via normas de reação. A variância residual foi tida como heterogênea e particionada em até oito classes. A implementação dos modelos de RA permitiu, por polinômios de Legendre, a avaliação em quarta ordem. Sendo o modelo matricial de normas de reação descrito como:

$$y_{ij} = \sum_{k=0}^{k=4} b_{jk} \phi_k(j) + \sum_{k=0}^{k=4} a_{ik} \phi_k(j) + e_{ij}$$



em que,  $y_{ij}$  é a resposta genética para característica em avaliação do animal  $i$  sob o gradiente de temperatura  $j$ ;  $b_{jk}$  é o efeito do coeficiente de regressão fixo associado ao polinômio de Legendre  $k$ ;  $a_{ik}$  é o efeito do coeficiente de regressão aleatória  $k$  do efeito direto genético aditivo atribuído ao animal  $i$ ;  $\phi_k(j)$  é o polinômio de Legendre associado ao nível do gradiente de temperatura exposto o animal  $i$ ;  $k$  é a ordem dos polinômios de Legendre, sendo ajustado a quarta ordem;  $e_{ij}$  é associado ao resíduo da observação  $y_{ij}$ . Sendo as representações matriciais dadas como:

$$y = Xb + Zu + e$$

pressupondo os modelos:

$$E = \begin{bmatrix} y \\ b \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad e \quad V \begin{bmatrix} u \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{rn} \otimes A & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

em que,  $y$  é o vetor de observação;  $b$  é o vetor de efeitos fixos atribuído ao grupo de contemporâneo,  $u$  é o vetor de efeitos aleatórios;  $e$  é o vetor de efeitos residuais;  $X$  e  $Z$  são matrizes de incidência para efeitos aleatórios e fixos, respectivamente;  $K_{rn}$  é a matriz de covariância associada aos efeitos aleatórios para parâmetros do modelo da norma de reação;  $A$  é a matriz numerador de relacionamento aditivo;  $R$  é a matriz de variância residual.

Os componentes de variância genética aditiva, bem como as estimativas de herdabilidade direta se aplicaram nos diferentes gradientes ambientais, de acordo com os modelos a seguir:

$$h^2_t = \frac{\sigma^2_{g_{a_t}}}{\sigma^2_{g_{a_t}} + \sigma^2_{e_t}}$$

sendo,

$$\sigma^2_{g_{a_t}} = \sigma^2_a + \sigma^2_b t^2 + 2\sigma_{a,b} t$$

em que,  $h_t^2$  é a herdabilidade direta para as diferentes características de produção relacionada ao gradiente de temperatura  $t$ ,  $\sigma^2_{g_{at}}$  é variância genética aditiva atribuída ao nível  $t$  do gradiente de temperatura;  $\sigma^2_{e_t}$  é a estimativa de variância residual atribuída ao nível  $t$  do gradiente de temperatura;  $\sigma^2_a$  é a estimativa da variância genética do componente do intercepto;  $\sigma^2_b$  é a estimativa de inclinação dos componentes de variância das normas de reação;  $\sigma_{a,b}$  é a estimativa de covariância entre efeitos genéticos do intercepto e da inclinação e  $t$  são os níveis de temperatura. Na inferência, aplicou-se os modelos mistos de análises por método de máxima verossimilhança restrita (REML) através do *software* WOMBAT (MEYER, 2007).

Para a regressão dos touros no decorrer dos gradientes, as estimativas dos valores genéticos nos  $t$  níveis do gradiente ambiental, em análise de comportamento genético, se deram por média ponderada das filhas de cada reprodutor a cada nível de temperatura. Sendo que um subconjunto de dados, com informações dos touros presentes em todos os gradientes ambientais, foi formado para uma representatividade mais fidedigna dos valores genéticos em cada índice de temperatura. Para estas análises, foi observado o comportamento genético dos 15 touros com maior número de filhas distribuídas pelo estado, em decorrência das mudanças de gradiente de temperatura.

### 3- RESULTADOS

A estatística descritiva para a produção de gordura e proteína é apresentada na Tabela 4, a seguir.

**Tabela 4 - Estatística descritiva geral e por gradiente de temperatura para a produção de gordura e proteína dos animais da raça Holandesa do estado do Paraná**

	<b>N</b>	<b>média</b>	<b>DP</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
<b>GORDURA</b>					
<b>GERAL</b>	67.360	277,81	71,95	22,07	704,85
<b>Temperatura (°C)</b>					
17,0	19.194	270,10	74,40	22,07	648,71
17,5	29.121	289,25	69,66	28,33	582,25
18,0	1.956	287,65	66,46	36,00	545,52
18,5	1.140	290,38	73,55	35,35	574,31
19,0	14.402	268,32	68,93	28,89	692,86
19,5	1.547	258,85	77,04	50,00	704,85
<b>PROTEÍNA</b>					
<b>GERAL</b>	67.360	255,47	61,48	19,77	543,96
<b>Temperatura (°C)</b>					
17,00	19.194	251,25	63,96	19,77	543,96
17,50	29.121	261,43	59,93	21,41	531,80
18,00	1.956	262,82	55,45	48,00	464,77
18,50	1.140	263,07	57,63	33,15	403,00
19,00	14.402	252,42	59,49	27,14	468,05
19,50	1.547	243,79	68,01	49,00	532,98

N= número de animais participantes nas análises

D.P.= desvio padrão

Mín. = valor mínimo de produção

Máx. = valor máximo de produção

A distribuição de animais pelos gradientes de temperatura foram: 17°C contendo 19.194 animais, 17,5°C contendo 29.121 animais, 18°C contendo 1.956 animais, 18,5°C contendo 1.140 animais, 19°C contendo 14.402 animais e 19,5°C contendo 1.547 animais, totalizando 67.360 animais avaliados. O gradiente que apresentou maior produção de gordura foi o de 18,5°C, com PG em até 12,18% superior que o gradiente de menor produção de gordura (19,5°C). A redução de produção entre os dois gradientes foi de 31,53 kg de gordura/lactação/animal. O coeficiente de variação dos gradientes de temperatura variou entre 23%, para as

regiões com temperaturas de 18°C, a 30% para as regiões ao redor de 19°C. Para a PP, assim como PG, o gradiente de maior produção foi o de 18,5°C, e o de menor produção o de 19,5°C. A diferença de produção entre os gradientes foi de até 7,90%, ou seja, uma diferença de até 19,28 kg de proteína/lactação/animal na mudança de gradientes ambientais. O coeficiente de variação dos gradientes de temperatura variou entre 21%, para as regiões com temperaturas de 18°C, a 28% para as regiões ao redor de 19,5°C.

As variâncias genéticas, variâncias ambientais e variâncias fenotípicas, bem como as herdabilidades e os erros padrão para as características PG e PP, são apresentados na Tabela 5, a seguir.

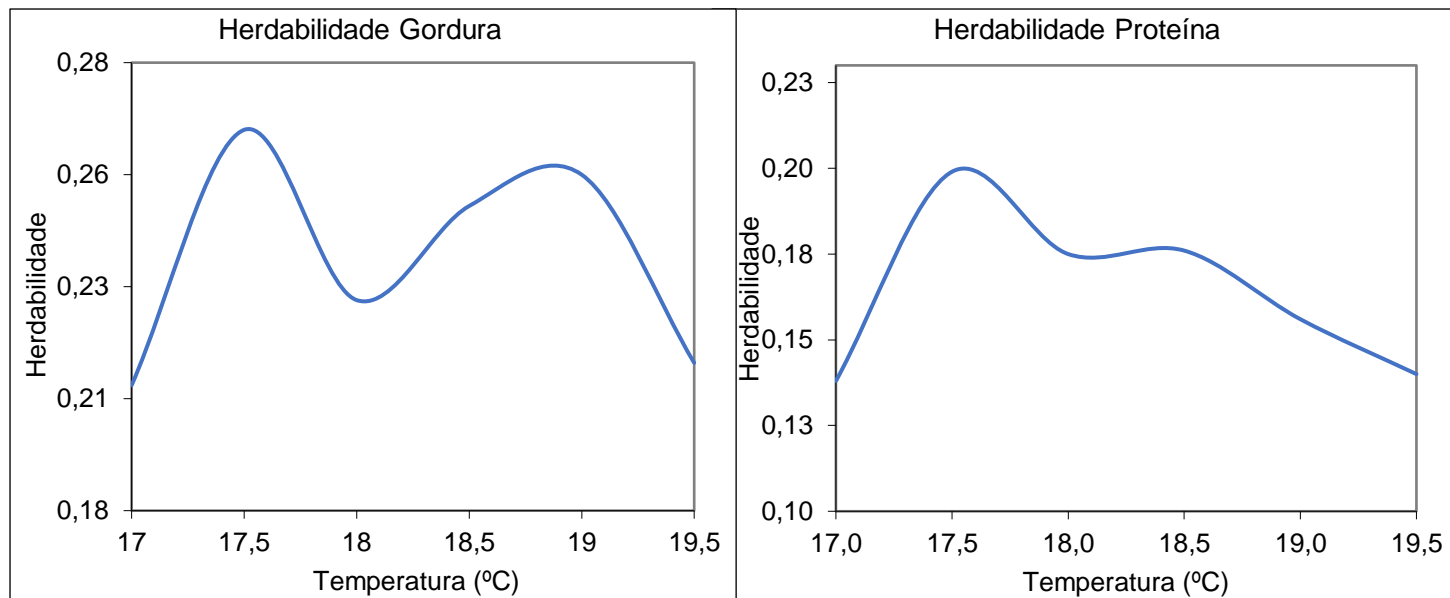
**Tabela 5 - Valores de variância fenotípica ( $\sigma^2p$ ), variância ambiental ( $\sigma^2e$ ), variância genética ( $\sigma^2a$ ), herdabilidade ( $h^2$ ) e erro padrão ( $\sigma_{\theta}^{\wedge}$ ) para os diferentes gradientes de temperatura dos animais da raça Holandesa no estado do Paraná, para PG e PP**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b><math>\sigma^2p</math></b>	<b><math>\sigma^2e</math></b>	<b><math>\sigma^2a</math></b>	<b><math>h^2</math></b>	<b><math>\sigma_{\theta}^{\wedge}</math></b>
<b>GORDURA</b>					
17,00	2.776,37	2.199,56	576,81	0,21	0,015
17,50	2.974,07	2.184,96	789,11	0,27	0,014
18,00	3.705,93	2.864,56	841,38	0,23	0,016
18,50	3.233,85	2.430,20	803,65	0,25	0,019
19,00	2.923,50	2.178,46	745,04	0,26	0,017
19,50	3.071,41	2.418,21	653,21	0,21	0,024
<b>PROTEÍNA</b>					
17,00	1.976,26	1.702,90	273,36	0,14	0,014
17,50	2.144,78	1.718,34	426,44	0,20	0,013
18,00	2.477,86	2.045,20	432,66	0,18	0,015
18,50	2.131,70	1.757,45	374,25	0,18	0,017
19,00	2.105,89	1.776,83	329,06	0,16	0,015
19,50	2.313,99	1.989,70	324,29	0,14	0,021

Para PG, a maior variância genética foi observada no gradiente 18°C. O gradiente de menor variância genética foi o de 17°C. As herdabilidades nos diferentes gradientes se mostraram todas acima de 0,20. Sendo a maior herdabilidade encontrada nas regiões de gradiente a 17,5°C. Já para PP, diferente do apresentado pela PG, as herdabilidades se mostraram abaixo de 0,20 na maioria dos gradientes ambientais, exceto para o gradiente de temperatura 17,5°C. A maior variância

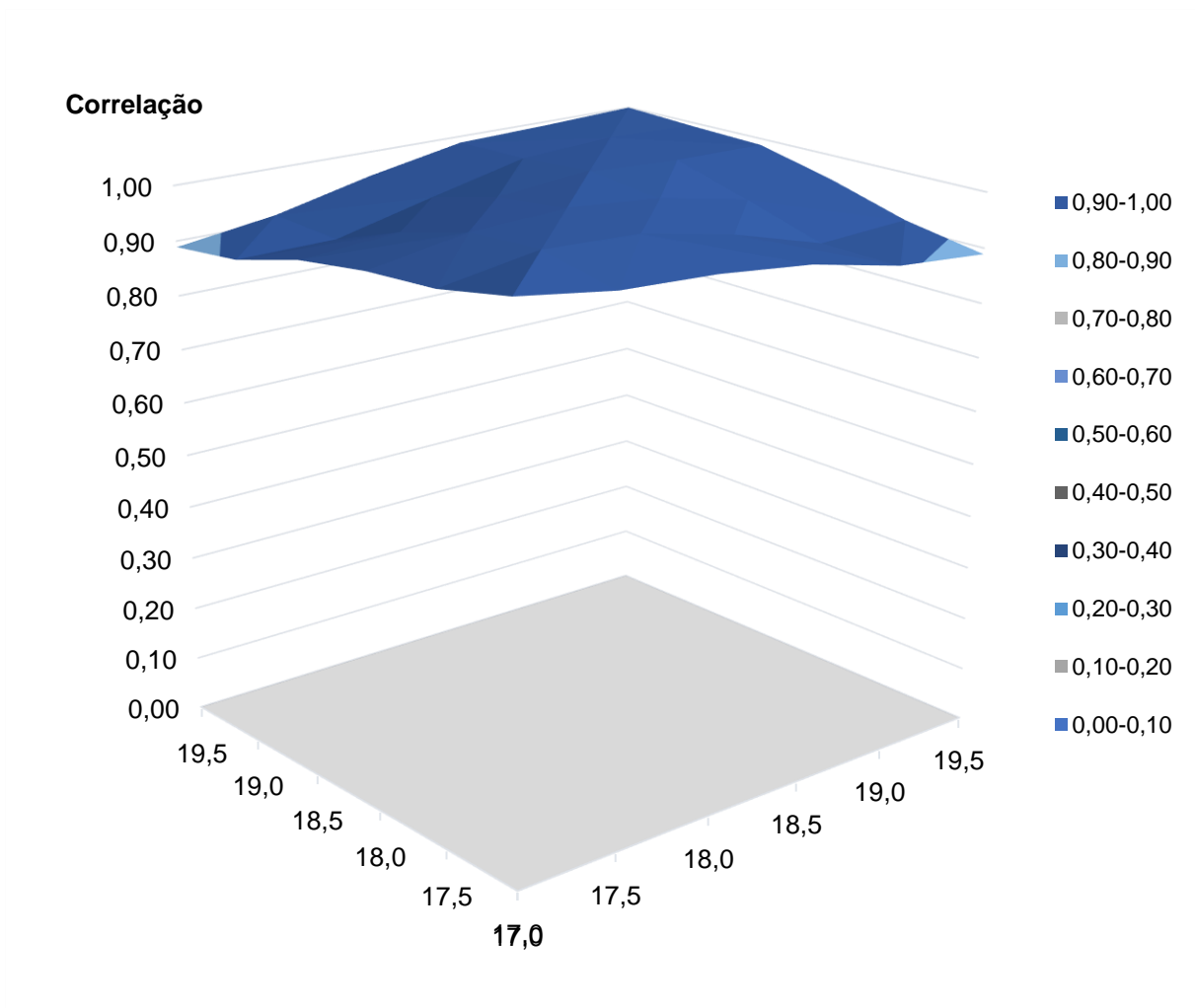
genética foi apresentada pelo gradiente 18,5°C e a menor variância genética, pelo gradiente 17°C.

A Figura 6 apresenta as mudanças de valores das herdabilidades de acordo com o gradiente de temperatura do estado do Paraná.



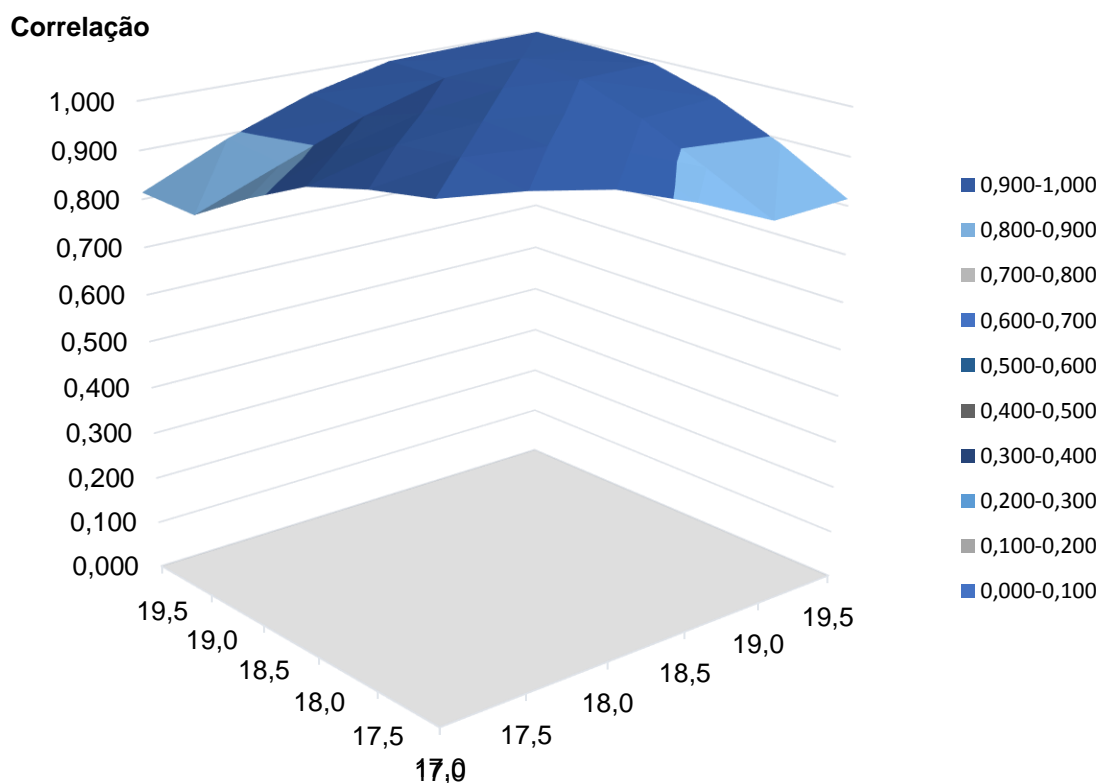
**Figura 5 - Gráfico de herdabilidades para Produção de Gordura e Produção de Proteína no decorrer dos gradientes ambientais**

Para a característica PG, nota-se um suave aumento das herdabilidades conforme o aumento da temperatura, apresentando dois picos bastante evidentes ao redor das regiões em temperatura a 17,5°C e 19°C. Já para característica PP, houve evidente redução das herdabilidades com o aumento da temperatura. As correlações entre os gradientes ambientais, utilizados para verificar a existência de interação genótipo-ambiente para PG na Figura 7, a seguir.



**Figura 6 - Gráfico de correlação entre os gradientes ambientais de temperatura para produção de Gordura no estado do Paraná.**

Altas correlações foram observadas entre todos os gradientes ambientais para PG, sendo a menor correlação (0,89) apresentado entre os gradientes 17°C e 19,5 °C. As demais correlações entre os gradientes se apresentaram maiores que 0,900. A seguir, são apresentadas as correlações entre os gradientes ambientais para PP.



**Figura 7 - Gráfico de correlação entre os gradientes ambientais de temperatura para produção de Proteína no estado do Paraná.**

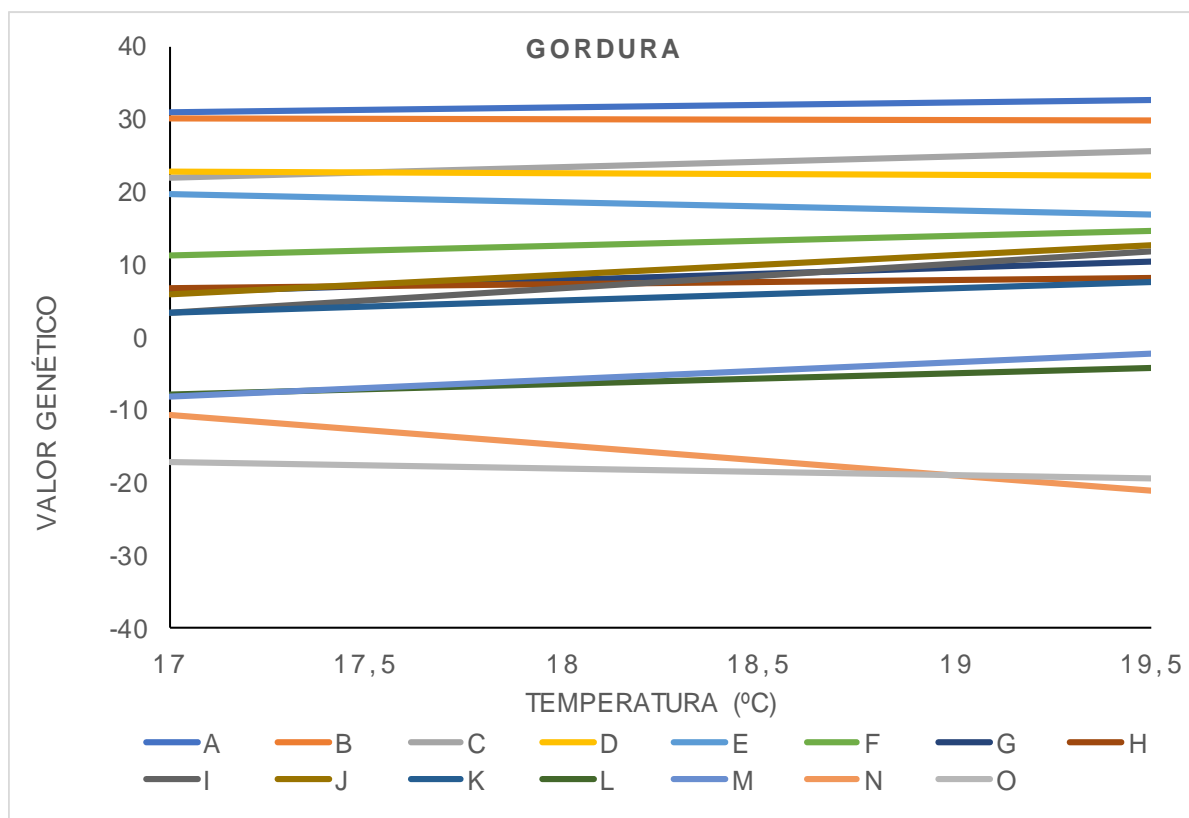
Para PP, altas correlações entre os gradientes ambientais foram encontradas principalmente a partir do gradiente 17,0°C a 18,0°C. Correlações menores que 0,90 foram apresentadas entre os gradientes 17,0°C e 18,5°C, 17,0°C e 19,0°C, e entre 17,0°C e 19,5°C. Os valores das correlações entre os gradientes ambientais são apresentados, para ambas características, na Tabela 6.

**Tabela 6 - Correlações Genéticas entre Gradientes Ambientais de Temperatura para Produção de Gordura e Proteína do Leite de bovinos da raça Holandesa no estado do Paraná**

	<b>17,0</b>	<b>17,5</b>	<b>18,0</b>	<b>18,5</b>	<b>19,0</b>	<b>19,5</b>
<b>GORDURA</b>						
<b>17,0</b>	1,00	0,97	0,96	0,94	0,90	0,89
<b>17,5</b>		1,00	0,99	0,96	0,91	0,91
<b>18,0</b>			1,00	0,98	0,95	0,96
<b>18,5</b>				1,00	0,99	0,99
<b>19,0</b>					1,00	0,99
<b>19,5</b>						1,00
<b>PROTEÍNA</b>						
<b>17,0</b>	1,00	0,98	0,94	0,88	0,81	0,81
<b>17,5</b>		1,00	0,99	0,94	0,88	0,89
<b>18,0</b>			1,00	0,98	0,94	0,95
<b>18,5</b>				1,00	0,99	0,99
<b>19,0</b>					1,00	0,99
<b>19,5</b>						1,00

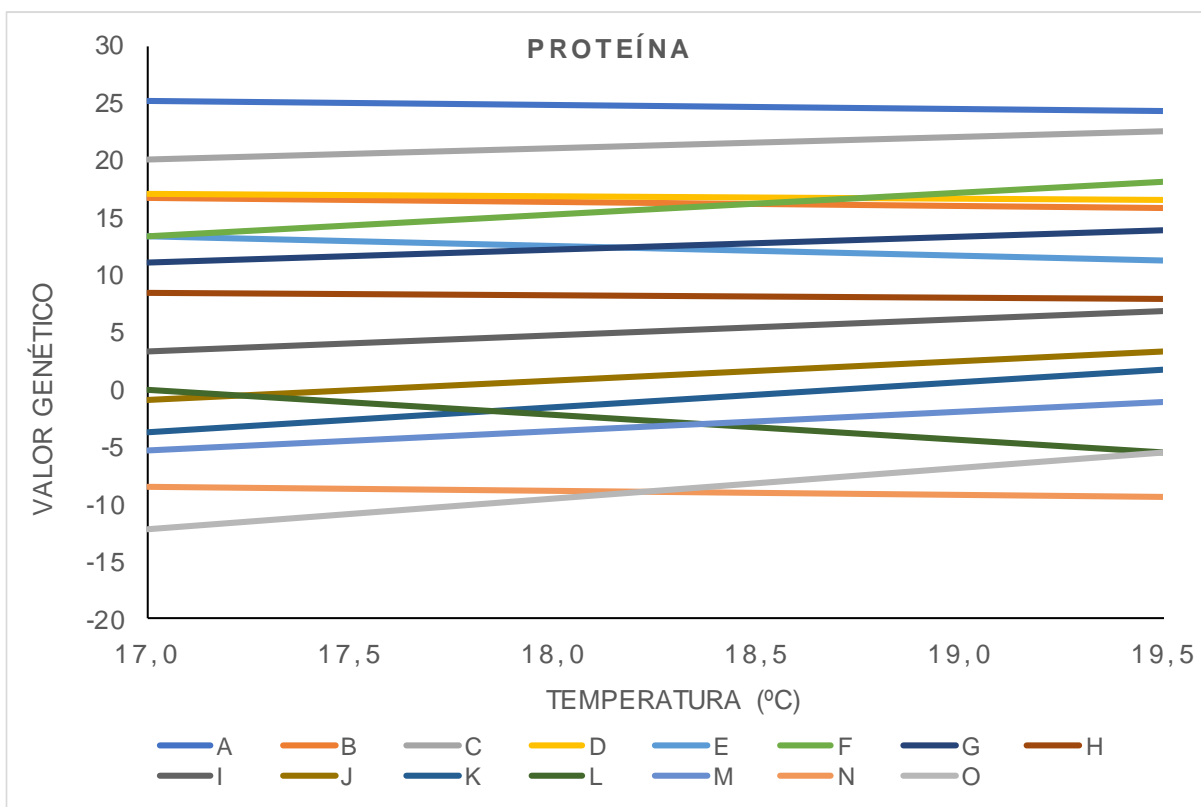
Na figura 9, pode-se observar o valor genético dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná, para PG, e a interação com o aumento de temperatura ambiental.





**Figura 8 - Normas de Reação dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná para as características Produção de Gordura**

Pôde-se observar uma redução no valor genético dos animais de até 10,12 kg de gordura em comparação dos gradientes 17°C para o 19,5°C. Houve também, um aumento no valor genético de até 10,69 kg de gordura com o aumento da temperatura. A alteração do *ranking* de touros entre os gradientes se mostrou presente, em alguns animais, principalmente a partir do gradiente de 18,5°C. Sendo a mudança de touros significativa em alguns casos, como por exemplo o touro C posicionado em quarto no gradiente 17°C com o valor genético bem próximo ao terceiro colocado, tem o seu valor genético maior no gradiente 19,5 °C e distanciando-se do quarto colocado. Ou ainda a redução do valor genético com o aumento de temperatura do penúltimo touro (touro N) no gradiente 17°C e conseqüentemente o último do gradiente 19,5°C. A normas de reação para PP dos 15 touros mais representativos do estado são apresentados na Figura 5.



**Figura 9 - Normas de Reação dos 15 touros mais representativos do estado do Paraná para as características Produção de Proteína**

Para a PP, com o aumento da temperatura ambiental houve o aumento do valor genético dos animais em até 9,47 kg de proteína. Porém verifica-se também a redução em até 7,17 kg de proteína do valor genético de alguns animais. Houve uma aproximação dos valores genéticos entre os animais com o aumento do gradiente ambiental. A ocorrência de reclassificação entre os animais foi observada em seis touros. Esses todos, apresentaram o aumento do valor genético com o aumento de temperatura. Pôde-se observar a reclassificação do quinto touro (touro F) com maior valor genético no gradiente 17°C passa a ser terceiro no ambiente 19,5°C. Ou ainda, os touros com valores genéticos negativo no gradiente 17°C (Touro J e K) passam a ser positivos no gradiente 19,5°C.

#### 4- DISCUSSÃO

Médias expressivas para PG (277,81 kg/lactação/ano) e PP (255,47 kg/lactação/ano) foram encontradas nos rebanhos em estudo, sendo que, valores similares também foram apresentado por Moreira et al. (2018) nos rebanhos paranaenses. Tais dados corroboram com a afirmação que elevados volumes de sólidos de animais da raça Holandesa, são entregues a usinas de beneficiamento do leite para a fabricação de derivados do leite. Porém, potenciais ganhos podem ainda ser alcançados como, por exemplo, valores produtivos apresentados por Dekleva et al. (2012) com produções maiores que a relatadas nesse estudo em rebanhos do Estado Unidos, ou ainda, como Do et al. (2018) em rebanhos Canadenses.

Verifica-se que maiores produções são encontradas, em ambas características, nas regiões mais ao sul do estado, assim como, maior número de animais participantes nas análises (Tabela 4). Tal fato está associado a presença de bacias leiteiras mais concentradas nessas regiões (PAULA et al., 2009) e a presença de cooperativas que incentivam, através de bonificações, a busca por produção de sólidos do leite. Com isso, há um estímulo ao aumento da produtividade, uma vez que há a remuneração para tais características, fato esse não tão comum em outras regiões do país.

Para PG, as herdabilidades foram todas de magnitude moderada, variando de 0,21 a 0,27, conforme observado na Figura 6. Herdabilidades semelhantes foram relatadas por Moreira et al. (2018) e Paula et al. (2008) em rebanhos da mesma raça no Paraná, bem como, por van der Laak et al. (2016), em estudo conduzido na Holanda. Contudo, herdabilidades maiores já foram relatadas na literatura, para característica PG, para animais da raça Holandesa. Como o caso de Do et al. (2018) que encontraram herdabilidades de até 0,39 para a PG em rebanhos holandeses do Canadá. País esse com histórico de seleção de animais para a característica por maior período de tempo que o Brasil o que pode levar a maiores proporções de pesos genéticos na expressão da característica.

Dois picos nas herdabilidades foram bastante evidenciados durante as análises, sendo esses nos gradientes 17,5°C e entre 18,5-19°C. Observando os resultados na Tabela 5 é possível notar que as regiões de 17,5°C e 19°C foram responsáveis por exibir menores variáveis ambientais o que de fato pode contribuir

em maiores herdabilidades. Nessas regiões há presença de fortes bacias leiteira com sistemas de criações semelhantes, maiores investimentos e maior controle de criação sobre os animais o que pode levar a uma menor variância ambiental comparadas com as demais regiões onde a diversidade de produções são maiores. Outra observação realizada foi o aumento, ainda que tênue, das herdabilidades com o aumento da temperatura.

Para a PP, as herdabilidades foram, em grande parte, de baixa magnitude, variando de 0,14 a 0,20, indicando elevada influência dos fatores ambientais na expressão da característica. Valores semelhantes foram apresentados por Montaldo et al. (2017) e Tullo et al. (2014) em rebanhos da raça no México e na Itália, respectivamente. Sendo que uma possível causa dos valores de herdabilidades baixas para a características PP serem comuns, é o tardio início de seleção para a característica nesses países. Como contraponto podemos citar exemplos de estudos para a característica onde a seleção acontece a mais tempo e herdabilidades moderadas podem ser encontradas para a característica, como estudo de Pritchard et al. (2013) em rebanhos do Reino Unido.

No comportamento genético relacionado a mudança de gradientes ambientais (Figura 6), é possível notar que há diminuição das herdabilidades no decorrer do aumento da temperatura, comportamento oposto ao observado para PG. Tal comportamento indica que a temperatura exerce efeito na expressão das herdabilidades negativamente, sendo informação semelhante também apontada por Carabaño et al. (2014) nos rebanhos na Espanha. Observa-se que tal comportamento é em resposta a diminuição dos valores da variância genética dos animais, indicando que animais superiores são encontrados mais as regiões ao sul do estado, onde há um maior incentivo à PP pelas cooperativas, como já mencionado.

Como é possível notar pela Figura 7 e 8, e na Tabela 6, na correlação genética entre os ambientes todos se mostraram como não havendo a existência significativa de interação genótipo ambiente para ambas as características de acordo com Robertson (1959), onde os valores se mostraram todos acima de 0,800. Isso significa que ambas as características estão sendo expressas de maneira semelhantes nas diferentes regiões estudadas, não apresentando diferenças genéticas significativas nas manifestações dos genótipos. Elevadas diferenciações de latitudes (ISMAEL et al., 2016) e maiores variações de temperatura por maior período de tempo

(BOHMANOVA et al., 2008) são fatores que podem exercer efeitos significativos nas interações genótipos ambientes, fatores esse não encontrados no Paraná apesar das diferenças climáticas apresentadas no estado (SEAB, 2000).

Contudo, mesmo que em ausência de interação genótipo ambiente significativa, pequenas alterações nos valores genéticos dos animais podem ser observadas no decorrer do aumento da temperatura em ambas características (Figura 9 e 10). Tais são tidas como respostas do sistema adaptativo, através de mecanismos enzimáticos e hormonais, dos animais ao ambiente exposto ocasionando assim mudanças no comportamento genético ao longo do aumento da temperatura (DINGEMANSE; WOLF, 2013).

Para PG (Figura 9), os valores dos animais tenderam a aproximação e ao aumento do valor genético com o aumento da temperatura, sendo que dissimilaridades maiores são constatadas entre os animais nas regiões próximas a 17°C. Tal resultado confere que a diferença média entre as filhas dos touros nas regiões próximas a 17°C tendem a ser maiores do que as diferenças entre as filhas dos mesmos touros nas regiões próximas a 19,5°C, onde a divergência genética entre os animais fora menor. É possível notar que comportamentos robustos e plásticos entre os animais são apresentados, diferenciando a adaptação dos animais ao efeito da temperatura, exemplificando que diferentes genótipos respondem diferentemente às mesmas condições expostas (AUBIN-HORTH; RENN, 2009). Sendo os casos de animais robustos para PG evidenciados por meio dos touros B, D e O, que entre os demais apresentaram pouca variação do valor genético no aumento da temperatura, e plásticos nos touros C, E, I e N, em que a variação do valor genético foi mais expressiva em comparação aos animais avaliados. No emprego de tais animais plásticos, é aconselhável a utilização desses com maior cautela pela maior variação da expressão nos diferentes ambientes.

No que se refere ao ranqueamento dos touros para PG, foram pontuais as mudanças de posicionamento no decorrer das avaliações, sendo a maior troca apresentada pelo touro I que se encontrava em décimo colocado como melhor reprodutor no ambiente 17°C e passa a ser o oitavo no ambiente 19,5°C, duas posições de diferenças entre os ambientes. Trocas na classificação entre animais pelas diferentes respostas no aumento da temperatura regional puderam ser verificadas, principalmente aqueles cujo o valor genético eram próximos no gradiente

17°C. Como exemplo, a troca de posição entre os touros C e D, e entre os touros L e M. Os touros C e M apresentaram maior influência da temperatura na manifestação genética da característica, sendo que há inversão da classificação com os touros D e L, respectivamente, por esses serem menos afetados pelo aumento da temperatura regional, ocasionando a reclassificação no gradiente 19,5°C. Destaca-se também as trocas entre os touros G, H, I, J e K, cada um respondendo diferentemente ao fator ambiental e modificando suas posições, como os touros H e K que apresentaram sendo mais robustos no desempenho para característica com menores modificações do seu desempenho quando comparados com os touros G, I e J, os quais foram mais afetados pelo aumento da temperatura. Cabe ainda ressaltar o caso do touro N que teve seu valor genético fortemente afetado, passando ao último colocado na região 19,5°C.

Assim como a PG, a PP também apresentou, de modo geral, a aproximação dos valores genéticos dos animais com o aumento da temperatura regional, resultando em menor diferenças genéticas dos animais no gradiente 19,5°C quando comparada com os mesmos animais no gradiente 17°C, como pode ser observado na Figura 10. Porém, diferente do observado em PG, houve alterações expressivas na reclassificação de alguns touros com o aumento da temperatura. Como o caso do touro F, touro posicionado como quinto melhor valor genético para PP no gradiente 17°C passa a terceiro no gradiente 19,5°C. Ou ainda, o touro L que ocupava a décima posição no gradiente 17°C e passa a se posicionar na décima quarta posição no gradiente 19,5°C. Essas alterações ligadas a respostas plásticas dos indivíduos ao aumento da temperatura. Tendo a grande variação da resposta genética ao efeito da temperatura afetado as posições dos touros e a classificação como reprodutores.

Apesar dos casos mencionados, as reclassificações dos touros em ambas características podem ser consideradas esporádicas. Grandes alterações seriam esperadas caso os efeitos da interação genótipo ambiente fossem significativas (PEGOLO et al., 2011), respostas essa não encontradas para nenhuma das características avaliadas. Além disso, em bovinos leiteiros fatores ambientais que exerçam efeitos significativos sobre a genética dos animais, dentro de uma mesma região, são raros de serem mensurados (KOLMODIN; BIJMA, 2004), mesmo que, como aplicado nesse estudo, em consideração a diferentes temperaturas e climas como os encontrados no Paraná.

## **5- CONCLUSÃO**

Observa-se a ausência de interações genótipo ambiente significativas para as características PG e PP no aumento da temperatura regional do estado do Paraná para os animais da raça Holandesa. Houve pouca variação na magnitude das herdabilidades em ambas as características no aumento da temperatura regional, não diferenciando a magnitude das herdabilidades. A partir desses resultados pode-se afirmar que a aplicação da variável temperatura nos modelos de avaliação realizados no estado não se faz necessária, indicando que o modelo tradicional empregados, que não considera os efeitos de interação genótipo ambiente, é adequada para resultar em boas estimativas de parâmetros e valores genéticos.

## 6- REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AUBIN-HORTH, N.; RENN, S. C. P. Genomic reaction norms: Using integrative biology to understand molecular mechanisms of phenotypic plasticity. **Molecular Ecology**, v. 18, n. 18, p. 3763–3780, 2009.

BOHMANOVA, J. et al. Short Communication: Genotype by Environment Interaction Due to Heat Stress. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 2, p. 840–846, 2008.

CARABAÑO, M. J. et al. Modeling heat stress effect on Holstein cows under hot and dry conditions: Selection tools. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 12, p. 7889–7904, dez. 2014.

DEKLEVA, M. W. et al. Short communication: Interactions of milk, fat, and protein yield genotypes with herd feeding characteristics. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 3, p. 1559–1564, mar. 2012.

DINGEMANSE, N. J.; WOLF, M. Between-individual differences in behavioural plasticity within populations: causes and consequences. **Animal Behaviour**, v. 85, n. 5, p. 1031–1039, 1 maio 2013.

DO, D. N. et al. Genetic parameters of milk cholesterol content in Holstein cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, p. 1–9, 27 abr. 2018.

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

HAMMAMI, H.; REKIK, B.; GENGLER, N. Genotype by environment interaction in dairy cattle. **Biotechnol. Agron. Soc. Environ.**, v. 13, n. 1, p. 155–164, 2009.

HAY, E. H.; ROBERTS, A. Genotype × prenatal and post-weaning nutritional environment interaction in a composite beef cattle breed using reaction norms and a multi-trait model. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 444–453, 2018.

HUQUET, B.; LECLERC, H.; DUCROCQ, V. Modelling and estimation of genotype by



environment interactions for production traits in French dairy cattle. **Genetics Selection Evolution**, v. 44, n. 1, p. 35, 2012.

ISMAEL, A. et al. Genotype by environment interaction for the interval from calving to first insemination with regard to calving month and geographic location in Holstein cows in Denmark and Sweden. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5498–5507, 2016.

KOLMODIN, R. et al. Reaction norms for protein yield and days open in Swedish red and white dairy cattle in relation to various environmental variables. **Acta Agriculturae Scandinavica - Section A: Animal Science**, v. 54, n. 3, p. 139–151, 2004.

KOLMODIN, R.; BIJMA, P. Response to mass selection when the genotype by environment interaction is modelled as a linear reaction norm. **Genetics Selection Evolution**, v. 36, n. 4, p. 435, 2004.

KOMISAREK, J.; KOLENDA, M. The effect of DGAT1 polymorphism on milk production traits in dairy cows depending on environmental temperature. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 40, n. 2, p. 251–254, 2016.

MEYER, K. WOMBAT—A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). **Journal of Zhejiang University SCIENCE B**, v. 8, n. 11, p. 815–821, out. 2007.

MONTALDO, H. H. et al. Genotype x environment interaction for fertility and milk yield traits in Canadian, Mexican and US Holstein cattle. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 2, p. e0402, 6 jun. 2017.

MOREIRA, R. P. et al. Evaluation of genotype by environment interactions on milk production traits of Holstein cows in Southern Brazil. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, p. 66, 2018.

MORRISSEY, M. B.; LIEFTING, M. Variation in reaction norms: Statistical considerations and biological interpretation. **Evolution; international journal of organic evolution**, v. 70, n. 9, p. 1944–1959, 2016.

MOTA, R. R. et al. Analyses of reaction norms reveal new chromosome regions

- associated with tick resistance in cattle. **animal**, v. 12, n. 02, p. 205–214, 13 fev. 2018.
- PAULA, M. C. DE et al. Estimativas de parâmetros genéticos para produção e composição do leite de vacas da raça Holandesa no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 824–828, 2008.
- PAULA, M. C. DE et al. Interação genótipo × ambiente para produção de leite de bovinos da raça Holandesa entre bacias leiteiras no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 3598, p. 467–473, 2009.
- PEGOLO, N. T. et al. Effects of sex and age on genotype × environment interaction for beef cattle body weight studied using reaction norm models<sup>1</sup>. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3410–3425, 1 nov. 2011.
- PRAGNA, P. et al. Heat Stress and Dairy Cow: Impact on Both Milk Yield and Composition. **International Journal of Dairy Science**, v. 12, n. 1, p. 1–11, 2017.
- PRITCHARD, T. et al. Genetic parameters for production, health, fertility and longevity traits in dairy cows. **animal**, v. 7, n. 01, p. 34–46, 16 jan. 2013.
- ROBERTSON, A. Experimental Design on the mensuarement of heritabilities and genetic correlations. In: **Biometrical Genetics**. [s.l: s.n.]. v. 15p. 219–226.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS 9.1.3 Help and Documentation**. Cary: ADABAS, 2013.
- SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO - SEAB. **Caracterização da Bovinocultura de Leite no Estado do Paraná**. Curitiba: [s.n.].
- STREIT, M. et al. Reaction norms and genotype-by-environment interaction in the German Holstein dairy cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 129, n. 5, p. 380–389, out. 2012.
- STREIT, M. et al. Using Genome-Wide Association Analysis to Characterize Environmental Sensitivity of Milk Traits in Dairy Cattle. **G3 Genes|Genomes|Genetics**, v. 3, n. 7, p. 1085–1093, 8 jul. 2013.
- TIEZZI, F. et al. Genotype by environment (climate) interaction improves genomic prediction for production traits in US Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 3, p. 2042–2056, 2017.

TULLO, E. et al. Genetic Parameters of Fatty Acids in Italian Brown Swiss and Holstein Cows. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, n. 3, p. 3208, 17 jan. 2014.

VAN DER LAAK, M. et al. Genotype by environment interaction for production, somatic cell score, workability, and conformation traits in Dutch Holstein-Friesian cows between farms with or without grazing. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 6, p. 4496–4503, 2016.

YIN, T.; KÖNIG, S. Heritabilities and genetic correlations in the same traits across different strata of herds created according to continuous genomic, genetic, and phenotypic descriptors. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 3, p. 2171–2186, mar. 2018.