

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ANÁLISE GENÉTICA DE RESISTÊNCIA AO *Rhipicephalus*  
(*Boophilus*) *microplus* EM BOVINOS CRUZADOS  
HEREFORD X NELORE**

**Denise Rocha Ayres**  
Zootecnista

JABOTICABAL - SP - BRASIL  
2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ANÁLISE GENÉTICA DE RESISTÊNCIA AO *Rhipicephalus*  
(*Boophilus*) *microplus* EM BOVINOS CRUZADOS  
HEREFORD X NELORE**

**Denise Rocha Ayres**

Orientadora: **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lucia Galvão de Albuquerque**

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

JABOTICABAL - SP - BRASIL  
2012

Ayres, Denise Rocha  
A985a Análise genética de resistência ao *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* em bovinos cruzados Hereford x Nelore. / Denise Rocha  
Ayres. -- Jaboticabal, 2012  
xix, 61 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012

Orientador: Lucia Galvão de Albuquerque

Banca examinadora: Márcia Cristina de Sena Oliveira, Lenira El Faro, Maria Eugênia Zerlotti Mercadante, Danísio Prado Munari

Bibliografia

1. Bovinos de corte. 2. Ectoparasitas. 3. Comparação de modelos. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.2:636.082

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**DENISE ROCHA AYRES** – filha de José Carlos Leite Ayres (*in memoriam*) e de Elisabeth das Graças Rocha Ayres (*in memoriam*), nasceu na cidade de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, em 10 de novembro de 1982. Iniciou, em março de 2002, o curso de Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Campus de Jaboticabal-SP, obtendo o título de Zootecnista em julho de 2006. Em agosto de 2006, ingressou no Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Campus de Jaboticabal, obtendo o grau de Mestre em julho de 2008, sob orientação da Profa. Dra. Lucia Galvão de Albuquerque. Em agosto de 2008, iniciou o doutorado no mesmo programa de Pós-graduação. Realizou estágio de doutorado “*sandwich*” na University of Guelph, ON, Canadá, sob orientação do Prof. Dr. Flávio Schramm Schenkel, no ano de 2011. Obteve o grau de Doutor em 02 de julho de 2012, sob orientação da Profa. Dra. Lucia Galvão de Albuquerque.

*“Só o riso, o amor e o prazer merecem revanche. O Resto, mais que perda de tempo...é perda de vida”.*

*Chico Xavier*

## ASSIM MESMO

Muitas vezes as pessoas são egocêntricas, ilógicas e insensatas.  
Perdoe-as assim mesmo.

Se você é gentil, as pessoas podem acusá-lo de egoísta, interesseiro.  
Seja gentil, assim mesmo.

Se você é um vencedor, terá alguns falsos amigos e alguns inimigos  
verdadeiros.  
Vença assim mesmo.

Se você é honesto e franco, as pessoas podem enganá-lo.  
Seja honesto assim mesmo.

O que você levou anos para construir, alguém pode destruir de uma  
hora para outra.  
Construa assim mesmo.

Se você tem Paz e é Feliz, as pessoas podem sentir inveja.  
Seja Feliz assim mesmo.

Dê ao mundo o melhor de você, mas isso pode nunca ser o bastante.  
Dê o melhor de você assim mesmo.

Veja que, no final das contas, é entre você e DEUS.

Nunca foi entre você e as outras pessoas.

Madre Teresa de Calcutá

## Ofereço

*À Deus, que em toda sua imensidão de amor e luz me guiou pelo caminho mais certo, acalmou meu coração nos momentos de angústia e me ensinou, e ainda ensina, a compreender que a vida é linda e perfeita da maneira como tem que ser.*

*Ao meu pai José Carlos (in memoriam) que me amou a sua maneira... Se eu tivesse mais um último minuto ao seu lado diria o quanto te amo.*

*Aos meus anjos tão amados: minha mãe Elisabeth (in memoriam) e minha avó Lourdes (in memoriam)... sinto tanta falta do amor, do carinho, do aconchego que sempre encontrava me esperando! Mas, apesar da ausência, ainda me sinto a pessoa mais privilegiada do mundo por poder tê-las tido como minhas maiores professoras nessa vida. Por tudo que foram e que ainda são para mim. Por se fazerem presentes ao simples fechar dos meus olhos.*

*“Só se vê bem com o coração, o essencial é invisível aos olhos”.*

*( Antoine de Saint - Exupéry)*

## *Dedico*

*Aos melhores irmãos do mundo: André, Carla e Thiago que me fizeram entender desde criança toda a importância da palavra “família”. Sou muito feliz por tê-los como meus melhores amigos, confidentes, muito mais que irmãos de sangue, irmãos de alma.*

*Aos meu pequenos sobrinhos, Isis, Biel e Manu, que estão crescendo muito rápido e enchendo minha vida de amor, carinho e felicidade.*

*Ao Rodrigo, meu melhor amigo que se tornou meu maior amor. À você que por tantas vezes me trouxe a paz que me faltava, o colo que eu precisava, o sorriso que eu buscava. Por ser muito mais que meu namorado, por ser meu parceiro, meu amor, meu cúmplice e querer dividir comigo todo caminho à frente.*



## *Agradecimentos*

*À Deus, por sua misericórdia imensa e seu amor tão presente em minha vida.*

*À minha família, que esteve presente ao meu lado por toda caminhada, compreendendo minhas ausências e me dando amor e apoio para conquistar cada sonho desejado.*

*Ao meu amor Rodrigo, por toda ajuda, paciência e principalmente pelo companheirismo e amor. És meu anjo, minha vida!*

*Aos queridos Gilson e Heloísa, por todo carinho, cuidado e amor.*

*A Profa Lucia, por ter participado de todo meu crescimento profissional, por compreender meus limites, me dar forças pra continuar e acreditar em mim, muito obrigada.*

*Aos Professores Tonhati, Henrique e Danísio, por toda colaboração durante os anos de mestrado e doutorado, muito obrigada!*

*Ao Professor Flávio, que me acolheu com tanta generosidade e carinho durante meu período de doutorado “sandwich” em Guelph.*

*A Unesp, Campus de Jaboticabal, por minha formação profissional.*

*Aos funcionários da FCAV por toda colaboração.*

*Ao CNPq, pelo aporte financeiro que permitiu a realização deste trabalho.*

*Aos meus queridos amigos de Guelph: Maria Emília, Diego, Carla (Biscoita), Tati, Gabe, Glenn, Dona Cleide, Jessica, Laíla, Dani, Flavio, Sandra, Mariana e Daniel, por todos os bons momentos juntos.*

*Aos amigos Ricardo, Fabiana, Rafinha (meu lindo)...você fazem parte da minha família. As vezes precisamos ir tão longe para encontrar exatamente quem têm que permanecer nos nossos caminhos por toda vida.*

*Aos amigos do melhoramento animal: Andre (Murotte), Annaiza, Mario, Arione, Fabio, Luciana, Raphael, Márcio Cinachi, Monyka, Marcos, Fernando, Gregório, Ana Paula (Fuxis), Daniel (Gordinho et al.), Raul, Fernanda Monsalves, Francisco, Iara, Luis, Diogo, Matilde, Natália (Tirinha), Inaê (gansinha LINDA!), Tomás, Rafael Tonussi, Fabricia, Rafael Espigolan, Gerardo, Rafael Medeiros, Fabio Borba, Larissa, Tati e Diego. Vocês são os melhores companheiros de trabalho, o melhor time e me farão muito falta!*

*Aos amigos que dividiram comigo todas as minhas alegrias e também as dificuldades do caminho...Obrigada Anna, Arione, Murotte, Iara, Rapha e Fuxis por terem me levantado quando precisei, por dividirem comigo seus sorrisos e por serem tão presentes em minha vida.*

*As amigas Renatha(Pixaím), Dora, Fabi e Isabela por tantos anos especiais.*

*Aos amigos Bruna e Emanuel pela amizade construída desde o início da graduação.*

*A todos os amigos que participaram comigo dessa fase, me incentivando e tornando a caminhada mais tranquila.*

## Sumário

<b>CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais .....</b>	<b>1</b>
<b>1 - Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2 - Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>3 - Revisão de Literatura .....</b>	<b>3</b>
3.1 <i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i> .....	3
3.2 <i>Importância econômica</i> .....	4
3.3 <i>Resposta imune dos bovinos a infestações por carrapato</i> .....	6
3.4 <i>Avaliação do grau de infestação por Rhipicephalus (B.) microplus</i> .....	8
3.5 <i>Fatores não genéticos que afetam o grau de infestação por carrapatos</i> .....	9
3.5.1 <i>Estação do ano</i> .....	9
3.5.2 <i>Efeito da idade</i> .....	11
3.5.3 <i>Efeito do sexo</i> .....	12
3.6 <i>Fatores genéticos</i> .....	12
3.6.1 <i>Raça</i> .....	12
3.7 <i>Estimativas de herdabilidade para a característica resistência à carrapato</i> ....	14
3.8 <i>Modelos utilizados para as análises</i> .....	15
3.8.1 <i>Modelo Linear Misto</i> .....	15
3.8.2 <i>Modelo Linear Generalizado Misto</i> .....	16
<b>4- Referências Bibliográficas .....</b>	<b>18</b>
 <b>CAPÍTULO 2 – Estimação de parâmetros genéticos e investigação de interação genótipo x ambiente para resistência a carrapatos de bovinos cruzados em diferentes regiões do Brasil.....</b>	 <b>25</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>26</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>27</b>
<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>31</b>
<b>Conclusões .....</b>	<b>38</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>39</b>
 <b>CAPÍTULO 3 – Modelos lineares e Poisson para análise genética de resistência ao carrapato em bovinos cruzados Hereford x Nelore.....</b>	 <b>43</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>44</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>45</b>
<i>Dados</i> .....	45
<i>Modelos</i> .....	46
<i>Comparação de modelos</i> .....	49
<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>51</b>
<b>Conclusões .....</b>	<b>58</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>59</b>

**ANÁLISE GENÉTICA DE RESISTÊNCIA AO *Rhipicephalus (Boophilus)*  
*microplus* EM BOVINOS CRUZADOS HEREFORD X NELORE**

**RESUMO:** Com o objetivo de investigar a variação genética para característica resistência a carrapato e encontrar o modelo mais adequado para avaliação genética desta característica, foram utilizados dados de contagem de carrapato (CC) por infestação natural em bovinos cruzados Hereford x Nelore. Primeiramente os dados de CC obtidos de rebanhos localizados nos estados de Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR), Mato Grosso do Sul (MS) e São Paulo (SP) foram transformados para  $\log_{10}(CC+1)$  e agrupados em duas regiões, definidas por análise de agrupamento. Cada grupo foi considerado como uma característica diferente e com a utilização de um modelo bi-característica foram estimados os componentes de (co)variância e ainda avaliada a ocorrência de interação genótipo x ambiente para a característica. As estimativas de herdabilidade observadas para resistência à infestação por carrapatos foram baixas sugerindo que exista a possibilidade de seleção para animais resistentes a carrapato, porém com um lento progresso genético. Foi observada alta correlação genética para a característica contagem de carrapatos entre os dois grupos e não foi observada interação genótipo x ambiente para esta característica na população de estudo. Posteriormente, foi realizado um estudo comparativo quanto à habilidade preditiva e o ajuste de diferentes modelos para avaliação da característica contagem de carrapatos. Para isso foram utilizados três diferentes modelos de avaliação: linear com a utilização da transformação logarítmica das observações (MLOG); linear sem a transformação das observações (MLIN) e o linear generalizado Poisson com adição de um termo residual (MPOI). Foi utilizada validação cruzada para comparar a habilidade preditiva dos modelos. Uma discreta superioridade quanto à qualidade de ajuste e habilidade preditiva do modelo foi apresentada pelo MPOI. As correlações entre as contagens de carrapato observadas e preditas foram praticamente iguais em todos os modelos e a maior correlação de rank entre os valores genéticos foi observada entre os modelos MLOG e MPOI. Para a prática de seleção para animais resistentes ao carrapato tanto o MPOI quanto o modelo MLOG podem ser utilizados.

**Palavras-chave:** Bovinos de corte, ectoparasita, REML, comparação de modelos, validação cruzada

## **GENETIC ANALYSIS OF *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* RESISTANCE IN HEREFORD X NELLORE CATTLE**

**ABSTRACT:** Aiming to investigate the genetic variation of tick resistance and to find the Best fitting model for this trait, data of tick counting (TC) by natural infestation in Hereford Nellore cattle were used. Firstly, the data of TC obtained from herds located in the states of Rio Grande do Sul (RS), Parana (PR), Mato Grosso do Sul (MS) e São Paulo (SP) were transformed into  $\log_{10}(CC+1)$  and grouped into two regions, defined by cluster analysis. Each group was considered as a different trait, and by using a two-trait model, the covariance components were estimated, and also, the occurrence of genotype x environment interaction was evaluated for the trait. Estimates of heritability observed for TC were low, suggesting that there is a possibility of selecting animal that are resistant to tick infestation, however, with a low genetic progress. High genetic correlation for TC between both groups was estimated, and no genotype x environment interaction was observed for this trait in this population. After, a comparative study was performed regarding the predictive ability and the fitting of different models for the evaluation of TC. For that, three different evaluation models were used: linear with the use of logarithmic transformation of the data (MLOG); linear without the use of logarithmic transformation of the data (MLIN), and linear generalized Poisson with the addition of a residual term (MPOI). Cross validation was performed to compare the predictive ability of the models. A discreet superiority regarding the adjustment quality and the predictive ability were showed by the model MPOI. Correlations between observed and predicted TC were almost equal in all models and the highest rank correlation between EBVs was observed between the models MLOG and MPOI. For selection of animals that are resistant to tick, both MPOI and MLOG models can be used.

**Keywords:** Beef cattle, ectoparasite, REML, model comparison, cross validation

## CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais

### 1 - Introdução

A atividade agropecuária no Brasil contribui significativamente para o desenvolvimento sócio-econômico do país. Geradora de aproximadamente 7,5 milhões de empregos e de um faturamento que gira em torno de 5 bilhões/ano, a pecuária de corte brasileira coloca o país em posição de destaque como principal exportador mundial da carne bovina (Mottes et al., 2011). Manter a liderança comercial exige constante atenção ao sistema de produção, devido à necessidade de aumentar os índices produtivos sem deixar de garantir a qualidade da carne.

Adequadas práticas de manejo, aliadas a boa alimentação, controle sanitário e melhoramento genético dos animais, visam atender essa exigência. A maior lotação dos pastos, que tem por finalidade aumentar a produtividade em consequência do aumento da concentração de animais por área, pode levar a ocorrência de alterações nas relações parasita-hospedeiro e, conseqüentemente, à necessidade de um maior controle parasitário dentre os quais destaca-se o carrapato dos bovinos *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Martins, 2004).

As infestações causadas pelo carrapato *R. (B.) microplus* tem causado queda nos índices de produção do rebanho, devido a diminuição no desempenho dos animais por perda de peso, causada principalmente pela perda do apetite (Seebeck et al., 1971), menores índices de fertilidade, diminuição da produção de leite e depressão na qualidade dos subprodutos como couro, em virtude das cicatrizes irreversíveis provocadas durante a alimentação do parasita. Soma-se ainda o custo com medicamentos antiparasitários, equipamentos, mão de obra necessária para seu combate e os animais que vão a óbito devido à ineficiência do tratamento. O *R. (B.) microplus* é também o principal vetor de alguns gêneros de hemoparasitas dos bovinos: *Anaplasma marginale*, *Babesia bovis* e *Babesia bigemina*, causadores da doença conhecida como Tristeza Parasitária Bovina, e que também leva a grandes prejuízos para os produtores (Andreotti, 2002).

As alternativas usuais para o controle de carrapatos são a utilização de produtos químicos, a rotação de pastagem e a seleção de animais resistentes. A utilização de produtos químicos em grande escala pode prejudicar o controle futuro desses parasitas, em decorrência do desenvolvimento de resistência aos princípios

ativos utilizados, além da possibilidade de resíduos na carne e leite, da poluição ambiental e danos à saúde e ao bem estar das pessoas. Em contrapartida, a seleção de animais resistentes ao carrapato reduz a necessidade de controles químicos, e dessa forma, minimiza custos com mão de obra e produtos carrapaticidas, reduz o impacto ambiental na saúde humana e cria uma solução efetiva para o problema.

A resistência a carrapatos é definida como a habilidade de um animal em limitar o número de carrapatos que se tornem adultos sobre ele, a qual pode ter sua explicação em muitos fatores: fisiológicos, comportamentais, imunológicos e anatômicos. Tal resistência pode variar tanto em animais de raças diferentes como entre animais de uma mesma raça (Fraga, 2003). Assim, a seleção de animais resistentes pode ser uma eficiente alternativa para o controle da infestação dos animais por carrapatos. Contudo, uma metodologia adequada e estimativas acuradas de parâmetros genéticos são necessários para a avaliação genética dos animais.

## **2 - Objetivos**

### ***Objetivo geral***

- Fornecer subsídios para a seleção de animais mais resistentes ao carrapato *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*.

### ***Objetivos específicos***

- Estimar parâmetros genéticos e componentes de variância para a característica contagem de carrapatos
- Avaliar a existência de interação genótipo x ambiente na população para a característica contagem de carrapato
- Avaliar a adequação de modelos para o estudo da característica resistência de bovinos de corte ao carrapato

### 3 - Revisão de Literatura

#### 3.1 *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

O carrapato *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini,1887) é um artrópode hematófago membro da família Ixodidae. Este carrapato foi primeiramente chamado de *Boophilus microplus*, no entanto *Boophilus* se tornou um subgênero do gênero *Rhipicephalus* recebendo atualmente a nomenclatura de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Os exemplares de *Boophilus* agrupam-se em cinco espécies, e a *R. (B.) microplus* é a mais difundida e a única encontrada no Brasil, sendo o ectoparasita de maior importância para estudos em rebanhos (Pereira, 2008). Originário da Ásia, especificamente da Ilha de Java e Índia, o carrapato teve sua disseminação por território mundial em função das expedições exploradoras e carregamentos de animais e mercadorias. Desta forma, acabou se fixando nas regiões tropicais e subtropicais como Austrália, México, América do Sul, América Central e África (Nuñez et al.,1982).

Comumente encontrado em regiões onde o calor e a umidade favorecem seu desenvolvimento, o ciclo biológico do carrapato *R. (B.) microplus* apresenta-se em duas fases, conhecidas como fase de vida livre, que se realiza no solo e na vegetação e outra fase parasitária, que se efetua no corpo do bovino. Durante a fase de vida parasitária as influências climáticas não comprometem significativamente o desenvolvimento desses parasitas. Na fase de vida livre, em que se encontram diferentes fases desse parasita (ovos, larvas e teleóginas em fase de pré-postura e postura) sofrem influência direta das mudanças climáticas, que atuam no ciclo de desenvolvimento do parasita e até mesmo na porcentagem de sobrevivência (Furlong et al., 2003).

Segundo Rocha (1999), a fase de vida livre tem seu início com a queda da fêmea adulta (teleóquina ingurgitada). Já no solo, a mesma encontra um lugar protegido da luz solar direta e realiza o período de pré-postura, que leva de dois a três dias aproximadamente, seguido posteriormente ao período de postura, com duração média de dezessete dias, em que cada fêmea chega a produzir 3.000 ovos. A eclosão inicia-se no período de cinco a dez dias, após o final da postura, e se



completa dentro de quatro a seis dias, em que as neolarvas tem o endurecimento da quitina tornando-se assim larvas infestantes. A fase parasitária inicia-se com a fixação das larvas infestantes, presentes nos pastos, em um hospedeiro passando a ser larva parasitária e dando início assim aos seguintes estágios de desenvolvimento: larva (três pares de patas) e ninfa (quatro pares de patas). A partir da fase de ninfa, ocorre a diferenciação sexual e os machos são denominados neandros (machos jovens) e gonandros (machos adultos) e as fêmeas neóginas (fêmea jovem), partenóginas (fêmea adulta) e teleóginas (fêmeas ingurgitadas).

Os machos são normalmente menores que as fêmeas e permanecem no hospedeiro, alimentando-se de sangue e fecundando as fêmeas adultas, por um período de aproximadamente um mês. Já as fêmeas ingurgitadas alimentam-se de sangue rapidamente nas últimas horas de vida parasitária e então caem ao solo, iniciando a fase de vida livre, por volta do 22º e 23º dias após a fixação (Gonzales, 1974).

### ***3.2 Importância econômica***

O carrapato bovino é sem dúvida o parasita de maior importância econômica para a pecuária. Segundo Grisi et al. (2002), os custos provenientes dos danos, diretos e indiretos, somente no Brasil chegam a margem de dois bilhões de dólares a cada ano. Nos Estados Unidos o gasto com o controle de carrapatos chegou a margem dos 130,5 milhões de dólares no ano de 1906, o que levou o país a criar um efetivo programa de erradicação. Ainda nos dias de hoje, o controle para prevenção de uma reentrada do parasita em seu território, através da divisa com México, tem um custo de 4 milhões de dólares anuais (Guerrero, 2011).

A picada do carrapato leva a um processo de irritabilidade cutânea, causando feridas no couro e cicatrizes irreversíveis (Oliveira, 1983), além de serem porta de entrada para larvas de moscas e bactérias. Segundo Gomes (2000), as cicatrizes provocadas no couro do animal são verificadas durante seu beneficiamento no cortume e têm causado um grande prejuízo no setor coureiro do Mato Grosso do Sul. O autor salienta ainda que, com o controle eficiente deste parasita, aproximadamente 40% dos 80% do couro classificado como de sexta e sétima

categoria, retornariam à quinta categoria o que representaria um aumento do valor agregado a este produto de 25%.

No caso de algumas infestações, devido à baixa resistência do animal e à debilidade nutricional, os animais podem ir a óbito ou contrair a enfermidade conhecida como Tristeza Parasitária Bovina, causada por agentes infecciosos como *Anaplasma* e *Babesia* os quais o carrapato *R. (B.) microplus* é vetor (Furlong, 2005). Segundo Anualpec (2009), as doenças do complexo da Tristeza Parasitária juntamente com o carrapato bovino ainda hoje são endêmicos no Brasil, porém não se tem a quantificação exata desse prejuízo em todo rebanho nacional.

A produção leiteira é diretamente afetada por infestações de carrapatos. No Brasil, técnicos do Ministério da Agricultura estimaram no ano de 1983/84, um prejuízo de um bilhão de dólares/ano devido ao carrapato, sendo que, 40% desse prejuízo ocorria em virtude da diminuição da produção de leite (Rocha, 2000). Furlong et al. (1996) verificaram a diminuição de 23% da produção leiteira em novilhas mestiças Holandês x Zebu com infestação de 105 carrapatos/vaca. Na Austrália e também em Cuba foram computados grandes prejuízos devido à diminuição da produção de 182 litros de leite por animal em lactação devido a infestações desse parasita (Cordovés, 1997).

A pecuária de corte também sofre os reflexos da ação do carrapato *R. (B.) microplus*. Frisch et al. (2000), na Austrália, estimaram uma redução anual de ganho de peso vivo de 20 kg em animais de 12 a 18 meses com carga parasitária de aproximadamente 40 carrapatos/dia. Segundo Martinez et al. (2004), as infestações por ectoparasitos no Brasil são responsáveis por perda produtiva da ordem de 26 milhões de arrobas de carne/ano e quatro bilhões de litros de leite/ano.

Além disso, os prejuízos mais evidentes aos olhos do produtor ficam por conta dos custos efetivos com mão de obra para controle e eliminação do carrapato bovino, instalações para manejo e compra de produtos quimioterápicos. No Brasil, os gastos com parasiticidas ao ano chegam ao montante de 800 milhões de reais, na tentativa de frear as infestações por ectoparasitas (Martinez et al., 2004).

### **3.3 Resposta imune dos bovinos a infestações por carrapato**

A maneira como o sistema imunológico dos bovinos reage ao parasitismo é ainda hoje fonte de grandes estudos. Os carrapatos possuem componentes imunogênicos na saliva, capazes de modular a resposta bovina para perfis de citocinas favorecendo, dessa maneira, a atividade hemofágica do parasita (Wikel, 1996), enquanto que, o sistema de defesa dos bovinos responde às picadas dos parasitas provocando a inflamação cutânea e ativando a imunidade humoral e celular (Willadsen e Jongejan, 1999). Segundo Maharana et al. (2011), a dinâmica carrapato-hospedeiro-patógenos é caracterizada pela complexidade das interações imunológicas.

Riek (1962) definiu dois sistemas diferentes de resistência bovina ao carrapato: resistência inata determinada geneticamente, é a capacidade do animal em se manter não infectado por microorganismos e suas toxinas e, resistência adquirida, observada após a exposição do animal a uma ou mais infestações por carrapatos.

Hemmer et al. (2000) sugerem que, em uma infestação primária, a resistência inata é de suma importância para controlar ou interromper o desenvolvimento dos parasitas. Entre os componentes imunológicos que estão naturalmente presentes no indivíduo encontram-se barreiras físicas (pele), químicas, macrófagos, monócitos, PMN's (células polimorfonucleares), eosinófilos, linfócitos NK ("natural killer"), proteínas séricas do sistema complemento, quimiocinas e outras proteínas solúveis do sangue (Pardini, 2008).

A imunidade adquirida é formada pela cooperação entre os linfócitos T (LT) e B (LB), citocinas, células de Langerhans e anticorpos e é dividida em imunidade celular e humoral. A imunidade celular é mediada principalmente pelos linfócitos T, que junto com outras células, como macrófagos, atuam especificamente na defesa contra microorganismos extracelulares obrigatórios. Enquanto que, a imunidade humoral é mediada por anticorpos secretados pelos linfócitos B que atuam no reconhecimento específico e eliminação de vários tipos de antígenos, ativam o sistema complemento e levam à lise e fagocitose de patógenos (Janeway et al., 2002). Em animais geneticamente resistentes, os componentes da imunidade celular

parecem atuar como mecanismo de controle e/ou rejeição ao carrapato (Bechara et al., 2000).

Em estudos realizados por Wagland (1975) foi observado que, após infestações recorrentes, o nível de resistência dos animais foi maior, quando comparados com o nível após a primeira infestação, o que confirma a existência da resistência adquirida. Wikel (1997) observou que esta resistência pode ser medida pela redução na quantidade e no tempo da alimentação dos parasitos, diminuição do números de ovos viáveis que atingirão os próximos estágios e, até mesmo pela dificuldade de ingurgimento das fêmeas. Segundo Janeway et al. (2002), esse tipo de resposta é altamente específica e gera memória imunológica tornando o indivíduo menos susceptível a novas infestações.

Maharana et al. (2011) destacaram o fato de animais *Bos indicus* apresentarem uma grande resistência inata, sugerindo ainda que a capacidade de apresentar uma resposta imune mais intensa à infestação de parasitas esteja ligada a determinadas raças. Quanto à resistência adquirida, os autores também encontraram uma maior capacidade de resposta imune em animais *Bos indicus*, quando comparado a *Bos taurus*, medida pela elaboração de macrófagos e propagação de linfócitos B e T in vitro.

O processo reativo do hospedeiro, por meio da degranulação de mastócitos e infiltração de eosinófilos no local da picada é, também, de grande importância para a resistência dos bovinos, pois pode dificultar a alimentação do carrapato e causar irritação cutânea, levando-os a reação de auto limpeza por lambedura ou roçadura (Pereira, 1982; Owen e Axford, 1991; Teodoro et al., 2004). Verissimo et al. (2002) verificaram que animais menos susceptíveis ao carrapato apresentam uma maior quantidade de mastócitos dérmicos.

A habilidade individual dos bovinos para adquirir imunidade aos carrapatos é fortemente hereditária (Seifert, 1971). Walker (2011) afirma que o gado *Bos taurus* tem uma capacidade imunitária moderada (aproximadamente 85% dos carrapatos são mortos pela defesa imunológica do animal) enquanto que o *Bos indicus* apresenta uma alta capacidade de defesa imune (98% dos carrapatos mortos). Tal sucesso se refere a capacidade de interromper o ciclo de vida do parasita.

### **3.4 Avaliação do grau de infestação por *Rhipicephalus (B.) microplus***

A seleção de animais resistentes dentro de um rebanho, o que diminui o controle químico e maximiza a produtividade, é feita por meio de avaliação do número de carrapatos no rebanho (Cardoso et al., 2000). Para avaliar a resistência dos animais às infestações por esse parasita, são realizadas contagens e verificações do estágio de desenvolvimento dos carrapatos recolhidos, seja por infestação artificial ou natural.

Avaliação por meio de infestação artificial dá-se pelo processo de cultivo de larvas em laboratório e infestação nos bovinos (Silva et al., 2006). As larvas são obtidas por meio de incubação de teleoginas em temperatura (aproximadamente 27°C) e umidade (96%) que favoreçam o seu desenvolvimento (Sutherst et al., 1978). Posteriormente é realizada a infestação artificial dos animais colocando sobre seu dorso as larvas produzidas. Do 19º ao 23º dia, após infestação, são realizadas contagens de teleoginas ( $\geq 4,5$  mm) em um dos lados dos animais (Alencar et al., 2008).

No caso de infestações naturais, observa-se a resistência dos bovinos em pastagens infestadas por esses ectoparasitas. Diferentes métodos de avaliação para resistência a carrapatos sob infestação natural são descritos na literatura. O método tradicional, desenvolvido por Villares (1941), consiste na contagem de todas as fêmeas maiores de 4 mm de diâmetro presentes no corpo do animal. Este mesmo método foi adaptado propondo a contagem de fêmeas maiores que 4,5 mm de diâmetro em um dos lados do corpo do bovino (Wilkinson, 1955; Wharton e Utech, 1970).

Cardoso et al. (2000) avaliaram infestações por *R. (B.) microplus* em animais F1 Angus x Nelore, por método simplificado, que consiste na metodologia tradicional (contagem completa em um dos lados do animal), aplicada a regiões específicas do corpo dos animais. Essas regiões foram determinadas, dividindo-se todo o lado esquerdo dos animais da seguinte maneira:

- Região anterior: compreendendo somente a cabeça do animal;

- Região mediana: compreendendo as regiões do pescoço, membro anterior e tórax dos animais, incluindo a região inferior (abdômen) até o quarto traseiro;
- Região posterior: compreendendo as regiões do traseiro, membro posterior e cauda dos animais;
- Entrepernas: compreendendo a região localizada entre os membros posteriores dos animais.

Os autores encontraram correlações entre os valores genéticos dos animais variando de moderada a alta magnitude, sendo que, os maiores valores foram observados entre a contagem tradicional e as contagens nas regiões mediana (0,82), posterior (0,76) e entrepernas (0,65). Dessa maneira, foi sugerida a possibilidade de seleção pela contagem de carrapatos nas regiões entrepernas ou posterior, que levaria a um ganho indireto, por resposta correlacionada, na contagem total de carrapatos.

Fraga et al. (2003) avaliaram o grau de infestação ao carrapato pelo método proposto por Wilkinson (1955) e Wharton e Utech (1970) e, também, por meio de medidas de escores variando de 0 a 4, sendo 0 para ausência de parasitas e 4 para alta infestação, concluíram que a utilização dos escores seria viável devido a menor demanda de tempo e alta correlação genética com a contagem do número de carrapatos.

### ***3.5 Fatores não genéticos que afetam o grau de infestação por carrapatos***

Diversos fatores não genéticos, tais como, a estação do ano, a idade do animal e o sexo do animal, são de fundamental importância por afetarem o grau de infestação de carrapatos nos bovinos.

#### ***3.5.1 Estação do ano***

A ação de diversos fatores combinados, como: temperatura, precipitação pluvial, umidade do ar entre outros, resultam no efeito de mês ou estação do ano sobre a infestação de carrapatos (Silva et al., 2006). Por ser um país de dimensão continental, as variações climáticas inerentes a cada região geográfica, que favorecem ou dificultam o desenvolvimento desses parasitas, são diferentes. Assim,

os resultados encontrados na literatura quanto à época do ano de maior infestação por carrapatos são muito divergentes (Silva et al., 2010). Moreno (1984), trabalhando com bovinos de quatro fazendas localizadas na região de Belo Horizonte, encontrou dois picos de infestação, sendo o primeiro de setembro a dezembro e o segundo de abril a junho. Oliveira et al. (1989), em experimento com bovinos das raças Nelore e Canchim, e Silva et al. (2010), que trabalharam com fêmeas de quatro grupos genéticos (Nelore, Angus x Nelore, Simental x Nelore e Canchim x Nelore), verificaram picos de infestação nas estações outono e inverno, na região central do estado de São Paulo. Também no estado de São Paulo, Guaragna et al. (1992) reportaram picos de infestações no inverno e na primavera e menores no verão e no outono, enquanto que Veríssimo et al. (1997) observaram queda na contagem de carrapatos no inverno, com um aumento do número de carrapatos na primavera e no verão e pico no outono. Fraga et al. (2003), em estudo com bovinos da raça Caracu criados nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, encontraram o pico de infestação de carrapatos no verão, observando queda pronunciada na primavera.

Um ponto importante a ser destacado é o fato do ciclo de vida dos carrapatos ocorrer no solo e na vegetação, e outra fase parasitária, que se desenvolve no corpo do bovino, podendo a contagem de carrapatos, dessa forma, ser influenciada pelas diferenças climáticas regionais (Furlong et al., 2003). Além disso, alguns estudos demonstraram que os carrapatos podem apresentar de 3 a 4 gerações ao ano, dependendo das condições climáticas favoráveis nas diferentes regiões do país. Rocha (1999) concluiu que na região Sudeste há quatro gerações de carrapatos que se desenvolvem por todo ano, tendo seu ciclo de vida mais curto e maiores infestações nos meses entre setembro e março, enquanto que, Martins et al. (2002) descreveram três gerações em Eldorado do Sul (RS), com picos na primavera, no verão e no outono.

Segundo Furlong et al. (2003), o clima predominante na região Sudeste, Centro-Oeste e no Brasil central permite o desenvolvimento e a sobrevivência do carrapato durante todo o ano, em níveis de infestação suficientes para causar perdas. Porém, o período seco, de temperaturas mais baixas, entre os meses de abril e setembro, prejudica o desenvolvimento da fase de vida livre, fazendo com que o ciclo se alongue. Já nas regiões do sul do Brasil, durante os períodos de inverno rigoroso, o desenvolvimento desses parasitas fica prejudicado, sendo que

apenas alguns ovos férteis que caíram na pastagem no final do outono é que repovoarão as pastagens no início da primavera.

### **3.5.2 Efeito da idade**

Outro efeito não genético observado é devido à idade do animal. Enquanto alguns trabalhos sugerem que não há influência da idade do animal na contagem de carrapatos, outros estudos encontram diferentes fases de susceptibilidade ao parasita durante a vida do hospedeiro.

Utech et al. (1978a), em pesquisa com animais Australian Illawara, Shorton e Brahman sob infestação artificial de carrapatos, observaram que as vacas com idade de 3 a 4 anos eram mais resistentes que as vacas de 5 a 6 anos, assim como os bezerros lactantes que apresentavam menor contagem de carrapatos do que suas mães. Entretanto, Madalena et al. (1985), trabalhando com rebanho mestiço (Holandês x Guzerá) não encontraram efeito significativo da idade sobre a contagem de carrapatos. Veríssimo et al. (1997), estudando resistência de bovinos leiteiros mestiços, relatam que os bezerros lactantes ou muito jovens são resistentes ao carrapato devido a componentes presentes no leite, no colostro ou no sangue. Andreoti (2002) destaca o fato da resistência do bezerro ser maior que a da mãe devido ao cuidado materno.

Gomes (1992), em sua pesquisa com vacas da raça Gir, observou aumento linear na contagem de carrapatos com o aumento da idade dos animais. Em contrapartida, em estudo realizado por Teodoro et al. (1994) verificou-se um efeito quadrático da idade, assim como Fraga et al. (2003), que acompanhando bovinos da raça Caracu, observaram efeito quadrático da idade do animal sobre o grau de infestação, com o pico de infestação ocorrendo aos 1.893 dias de idade.

Segundo Silva et al. (2006), pode-se observar uma grande divergência quanto aos efeitos de idade, porém, muitos dos trabalhos observados apontam um aumento da susceptibilidade dos animais ao carrapato com o aumento da idade, até que se alcance um platô próximo aos cinco anos de idade e volte a se tornar menos susceptível por volta dos dez anos de idade.



### **3.5.3 Efeito do sexo**

Alguns estudos apontam para uma maior resistência das fêmeas bovinas à infestação por carrapatos. Segundo Seifert (1971) essa menor susceptibilidade observada pode ser decorrência de influências hormonais, assim como Marshall (1981) que destaca ainda as diferenças na pele e na mobilidade dos animais como possíveis causas para as variações observadas na contagem de carrapatos entre sexos em uma mesma raça de bovinos.

Oliveira e Alencar (1987), avaliando a diferença à susceptibilidade a tal parasita entre as raças Canchim e Nelore concluíram que dentro das raças avaliadas as fêmeas bovinas apresentaram uma maior resistência ao carrapato quando comparadas aos machos da mesma raça. Diversos estudos concordam com este resultado (Oliveira et al., 1989; Burrow et al., 1991; e Veríssimo et al., 1997). No entanto, González-Cerón et al. (2009), em pesquisa realizada no México, avaliando diferentes áreas corporais para contagem de carrapatos em bovinos Criolo Leiteiro, não encontraram diferenças significativas entre os sexos.

## **3.6 Fatores genéticos**

### **3.6.1 Raça**

Resultados de diversos estudos comparativos, realizados em países de clima tropical, entre as raças *Bos taurus* e *Bos indicus* indicam que os animais de origem zebuína tendem a ser mais resistentes ao carrapato (Villares, 1941; Wagland, 1975; Utechet al., 1978b; Madalena et al., 1985; Prayaga, 2003; D'andrea et al., 2006). Francis e Little (1964) descreveram que animais *Bos taurus* apresentam em média 10,5 mais carrapatos que os *Bos indicus* ou seus cruzamentos.

Segundo Gonzales (1975), essa maior resistência se deve a maior quantidade de glândulas sebáceas encontrada na pele dos zebuínos que produziram odores afastando o carrapato, e ao fato da maior mobilidade geral do animal e elasticidade de sua pele, o que possivelmente faz com que se defenda melhor da infestação. Além disso, Lemos (1986) destacou que o fato dos zebuínos terem sido expostos ao

*R. (B.) microplus* a milhares de anos, fez com que os animais mais susceptíveis fossem eliminados do rebanho, deixando maiores chances de reprodução para os resistentes.

Comparando o grau de resistência a carrapatos em diferentes raças Villares (1941) conclui que do total de observações (100%) apenas 5% do total de carrapatos eram provenientes de animais Zebus, enquanto que 7% eram provenientes de raças nacionais ou crioulas e 88% de raças européias. Entre as raças zebuínas observadas a raça Nelore apresentou maior resistência seguidas das raças Gir e Guzerá. De acordo com Utech et al. (1978a), em estudo sobre a frequência de distribuição da resistência ao carrapato, em grupos de animais *Bos indicus*, *Bos taurus* e seus cruzamentos, 80% dos animais mestiços *B. indicus* x *B. taurus* tinham resistência entre moderada e alta, ao passo que 80% dos *B. taurus* tinham resistência entre baixa e muito baixa. No mesmo estudo observou-se que entre os animais taurinos, a raça Jersey mostrou-se a mais resistente e que as mais susceptíveis foram a Holandesa e Hereford.

Lemos et al. (1985), ao estudarem a resistência natural ao carrapato em novilhas de diferentes grupos genéticos, os quais variavam de  $\frac{1}{4}$  holandês x  $\frac{3}{4}$  zebu a Holandês puro por cruzar, observaram maior infestação pelos parasitas conforme se aumentava a proporção de genes do Holandês, o que mostra a menor resistência da raça européia.

Ao comparar animais de diferentes proporções taurino x zebuino Cardoso (2000) também observou maior susceptibilidade de animais com maior proporção taurina. Assim como Silva et al. (2010), que avaliando animais de quatro grupos genéticos, observaram maior resistência dos animais Nelore.

A utilização da resistência do hospedeiro no controle do *R. (B.) microplus* é comum na Austrália e na África, onde se pratica o descarte dos mais infestados, implementando-se cruzamentos a fim de criar raças sintéticas resistentes ao carrapato (Owen e Axford, 1991). Esse é o caso da raça sintética Adaptur, criada na Austrália a partir do cruzamento de animais Hereford e Shorton com a finalidade de se explorar o gene de efeito maior, descoberto a partir desse cruzamento, que afeta a susceptibilidade ao carrapato (Frisch, 1999).

A exploração da resistência dos animais entre e dentro de raças é o fator mais importante que influencia o custo do controle dos carrapatos, por ser de menor

custo, permanente e não requerer gasto adicional para se produzir determinada quantidade de produto (Martinez, 2004).

### **3.7 Estimativas de herdabilidade para a característica resistência à carrapato**

As estimativas de herdabilidade encontradas na literatura para a característica resistência de bovinos ao carrapato são variáveis. Mackinnon et al. (1991) obtiveram estimativas de herdabilidade variando de 0,34 a 0,37, em bovinos mestiços e puros Africander e Brahman. Conceição Jr. (1997) obteve estimativa de herdabilidade para a característica de resistência a carrapato de bovinos mestiços leiteiros igual a 0,49 e encontrou correlações genéticas negativas e favoráveis entre a contagem de carrapatos e as características produção de proteína no leite e duração da lactação.

Fraga et al. (2003), em estudo com animais da raça Caracu, estimaram herdabilidade de 0,22 para a característica de resistência a carrapato, sendo que as estimativas dos componentes de variância foram obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita livre de derivadas, utilizando-se um modelo que incluiu os efeitos fixos de grupo de contemporâneos (fazenda-ano-época), espessura do pelame e idade do animal como covariável e os efeitos aleatórios aditivos diretos e de ambiente permanente.

Silva et al. (2006), utilizando o método dos quadrados mínimos, cujos modelos estatísticos continham os efeitos do grupo genético da fêmea, animal dentro do grupo genético, época do ano, estado fisiológico do animal e a interação entre grupo genético e contagem, observaram o valor de 0,12 para estimativa de herdabilidade para o número de carrapatos. Os autores concluíram que, apesar desta baixa estimativa, existe variação genética e por isso existe a possibilidade de progresso genético pela seleção.

Budeli et al. (2009), estimaram componentes de variância pelo método da máxima verossimilhança restrita para contagem de carrapatos (dividida em sete conjuntos de dados de acordo com a média de contagem do grupo contemporâneo) em bovinos Bonsmara Sul Africanos, encontraram estimativas de herdabilidade de 0,05 à 0,17 e afirmaram que existe a possibilidade de seleção para a resistência dos bovinos ao carrapato apesar de se esperar um progresso genético lento.

Diversos fatores, como a população estudada, os diferentes grupos genéticos avaliados, a estrutura de dados, o modelo utilizado no desenvolvimento das análises, podem justificar essa grande variação nas estimativas de herdabilidade para a característica resistência a carrapatos.

### **3.8 Modelos utilizados para as análises**

#### **3.8.1 Modelo Linear Misto**

No melhoramento genético, a grande maioria das características é avaliada sob um modelo linear misto, o qual apresenta as seguintes pressuposições: aditividade dos efeitos dos fatores de variação, normalidade da distribuição dos erros e homogeneidade das variâncias. Desta forma, sob um modelo linear misto, assume-se que a característica ou variável resposta ( $y$ ) deve seguir uma distribuição Normal. Um modelo misto simples, aplicado em avaliações genéticas de animais, pode ser representado por:

$$y = X\beta + Z\alpha + \varepsilon$$

onde:

$y$  é o vetor das observações;

$\beta$  é o vetor de efeitos fixos;

$X$  é a matriz de incidência que associa os elementos de  $\beta$  a  $y$ ;

$\alpha$  é o vetor de efeito aleatório genético aditivo;

$Z$  é a matriz de incidência que associa os elementos de  $\alpha$  a  $y$ ;

$\varepsilon$  é o vetor de resíduos aleatórios;

Para os quais se assume distribuição Normal multivariada:

$$\begin{bmatrix} y \\ \alpha \\ \varepsilon \end{bmatrix} \sim N \left\{ \begin{bmatrix} X\beta \\ \Phi \\ \Phi \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} ZGZ'+R & ZG & R \\ GZ' & G & \Phi \\ R & \Phi & R \end{bmatrix} \right\},$$

onde  $G = A \otimes G_0$ ,  $A$  é a matriz do numerador dos coeficientes de parentesco entre os animais e  $G_0$  é a matriz  $q \times q$  de (co)variâncias genéticas aditivas entre as  $q$  características.

Por não atender parte das premissas necessárias aos modelos lineares mistos, frequentemente as características de contagem, como número de carrapatos, casos de mastite durante o período de lactação, números de manchas na pelagem de ovinos, entre outras, devem passar por uma transformação (logarítmica, raiz quadrada) direta nos dados observados com a finalidade de ajustar-se as pressuposições do modelo. Entretanto, nem sempre tal transformação garante que tais pressuposições sejam atendidas e então outras metodologias, como os modelos lineares generalizados, podem ser utilizadas.

### **3.8.2 Modelo Linear Generalizado Misto**

Desenvolvidos por Nelder e Wedderburn (1972), os modelos lineares generalizados aplicam-se a características que não seguem distribuição Normal dos dados, com a condição de que a distribuição da variável resposta pertença à família exponencial de distribuições (Pértille, 2011).

Conforme descritos por Nelder e Wedderburn (1972) os modelos lineares generalizados são compostos por três partes:

- Componente aleatório: compreende as variáveis respostas ( $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$ ) que são independentes e seguem distribuição que pertence à família exponencial na forma canônica (normal, gama e normal inversa – dados contínuos; binomial - proporções; poisson e binomial negativa - dados de contagem).
- Componente sistemático: compreende as variáveis explicativas  $x'_i = [x'_{1i}, x'_{2i} \dots x'_{ni}]$  para  $i = 1, 2 \dots n$  que dá origem a um vetor de preditores lineares.
- Função de ligação: faz a ligação entre os componentes aleatório e sistemático por meio de uma função  $g(\cdot)$  conhecida, a qual liga a média ao preditor linear.

$$g(\mu_i) = \eta_i = x_i' \beta$$

Assim, ocorre a linearização dos efeitos sistemáticos por uma função de ligação adequada aos valores esperados, que torna possível aos valores ajustados variarem dentro de uma escala real das respostas (Nunes, 2004). Segundo McCulloch et al. (2008) a maior diferença entre uma transformação direta nos dados, como as transformações logarítmicas, e a utilização de modelos lineares generalizados é que nesse caso a transformação, via função de ligação, ocorre na média da variável resposta e não diretamente nos dados observados. A função de ligação é específica para cada distribuição da família exponencial, dessa forma, para distribuição Poisson pode-se utilizar a função de ligação logarítmica ou raiz quadrada (Gilmour et al., 2006).

Frequentemente, a metodologia aplicada para estimação de componentes de variância e parâmetros genéticos para características como a contagem de carrapatos é a utilização de modelos lineares após a transformação (logarítmica) das observações, na tentativa de obter uma distribuição Normal. No entanto, não foram encontrados na literatura, para esta característica, metodologias cuja transformações direta dos dados não fossem necessárias, tal como a utilização de modelos lineares generalizados mistos. Dessa forma, teve-se por objetivo com este trabalho avaliar a adequação de modelos para o estudo da característica resistência de bovinos de corte ao carrapato, bem como estimar parâmetros genéticos e componentes de variância para a característica.

### Referências Bibliográficas

- ALENCAR, M.M.; OLIVEIRA, M.C.S.; CHAGAS, A.C.S.; SCHIAVONE, D.C.; FERREZINI, J. Estudo da infestação artificial de carrapatos *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* em fêmeas bovinas Nelore, Angus x Nelore e Senepol x Nelore. VII Simpósio Brasileiro de melhoramento Animal, São Carlos. Anais... VII Simpósio Brasileiro de melhoramento Animal, 2008.
- ANDREOTTI, R.; MALAVAZI-PIZA, K.C.; SASAK, S.D.; SAMPAIO, C.A.M.; TANAKA, A.S. BMT1antigens induce a bovine protective immune response against *Boophilus microplus* tick. *International Immunopharmacology*, v.2, p. 557-563, 2002.
- ANUALPEC. Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Angra FNP Pesquisas, 2009. 360p.
- BECHARA, G. H.; MORELLI JUNIOR, J.; SZABÓ, M. P. J. Skin test and tick immune status in susceptible and resistant cattle in Brazil. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.916, p.570-575, 2000.
- BUDELI, M.A.; NEPHAWE, K.A.; NORRIS, D.; SELAPA, N.W.; BERGH, L.; MAIWASHE, A. Genetic parameter estimates for tick resistance in Bonsmara cattle. *South African Journal of Animal Science*, 2009.
- BURROW, H. M.; GULBRANSEN, B.; JOHNSON, S.K.; DAVIS, G.P.; SHORTHOSE, W.R.; ELLIOTT, R.F. Consequences of selection for growth and heat resistance on growth, feed conversion efficiency, commercial carcass traits and meat quality of zebu crossbreed cattle. *Australian Journal Agriculture Research*, v.42, p. 1373-1383, 1991.
- CARDOSO, V. Avaliação de diferentes métodos de determinação da resistência genética ao carrapato *B. microplus*, em bovinos de corte. 2000.108p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista –Unesp, Jaboticabal, 2000.
- CARDOSO, V.; FRIES, L.A.; ALBUQUERQUE, L.G. Comparação de diferentes métodos de avaliação da resistência genética de bezerros F1 Angus X Nelore desmamados ao carrapato *Boophilus microplus*. In: III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal, Belo Horizonte, MG, 2000. Anais. III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal, Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 2000, p. 460-463.

- CONCEIÇÃO JR, V. Estudo das relações entre a resistência genética a carrapato e características produtivas na espécie bovina. 1997.106p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária - UFMG, Belo Horizonte, 1997.
- CORDOVÉS, C.O. Carrapato: controle ou erradicação. 2.ed. Porto Alegre, Agropecuária, p.176, 1997.
- D'ANDREA, L.A.Z.; SARTOR, I.F.; MADRUGA, C.R.; FREITAS, S.B.Z.; KROLL, L.B.; KRONKA, S.N. Condição imunológica de bovinos das raças Holandesa e Nelore frente a *Babesia bovis* e *B. bigemina* em duas regiões do Estado de São Paulo, Pesquisa Veterinária Brasileira. 2006.
- FRAGA, A. B.; ALENCAR, M.M.; FIGUEIREDO, L.A.; RAZOOK, A.G.; CYRILLO, J.N.S.G.. Análise de fatores genéticos e ambientais que afetam a infestação de fêmeas bovinas da raça Caracu por carrapatos (*Boophilus microplus*), Revista Brasileira de Zootecnia, v.32, n.6 (Supl.1), p.1578-1586, 2003.
- FRANCIS J.; LITTLE D.A. Resistance of droughtmaster cattle to tick infestation and babesiosis. Aust Vet J, v.40, p.247-53, 1964.
- FRISCH, J.E. Towards a permanent solution for controlling cattle ticks. International Journal for Parasitology, p.57-71, 1999.
- FRISCH, J.E.; NEILL, C.J.; KELLY, M.J. Using genetics to control cattle ectoparasites – the Rockhampton experience. International Journal for Parasitology, p.253-264, 2000.
- FURLONG, J.; DERESZ, F.; MATOS, L.L. de; BALBI, M. V. The effect of cattle tick *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) infestation on feed intake and milk yield of Holstein x Zebu crossbred cows. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE VETERINÁRIA, 15., 1996, Campo Grande. Anais... Campo Grande, p.340, 1996.
- FURLONG, J.; MARTINS, J.R.S.; PRATA, M.C.A. Carrapato dos bovinos: Controle estratégico nas diferentes regiões brasileiras. Comunicado Técnico, EMBRAPA-Juiz de Fora, MG, 2003.
- FURLONG, J. Carrapato: Problemas e Soluções. Juiz de Fora – Embrapa Gado de Leite, 2005, 65p.
- GILMOUR, A.R.; GOGEL, B.J.; CULLIS, B.R.; THOMPSON, R. ASREML user guide: release 2.0. Hemel Hempstead: VSN International Ltd, 2006. 342 p.
- GOMES, A. Resistência a infestação natural por larvas, ninfas e adultos de *Boophilus microplus* em vacas zebuínas da raça Gir, em função de sua idade, da gestação, da lactação e da seleção para produção leiteira, com e sem



- tratamento carrapaticida, ao longo de 12 estações consecutivas de um triênio. 1992. 90 f. Tese (Doutorado em Ciência) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GOMES, A. Carrapato de boi: Prejuízos e controle. Comunicado técnico, EMBRAPA – Campo Grande, MS, 2000.
- GONZALES, J.C. O carrapato do boi: vida, resistência e controle. São Paulo: Mestre Jou, 1974. 101p.
- GONZALES, J.C. O controle dos carrapatos dos bovinos. Porto Alegre: Sulina, 104p., 1975.
- GONZÁLEZ-CERÓN, F.; BECERRIL-PÉREZ, C.; TORRES-HERNÁNDEZ, G.; DIAZ-RIVERA, P. Garrapats que infestan regiones corporales del bovino criollo lechero tropical em Veracruz, México. *Agrociencia*, 2009.
- GRISI, L., MASSARD, C.L., MOYA BORJA, G.E., PEREIRA, J.B. Impacto econômico das principais ectoparasitoses em bovinos no Brasil. *A Hora Vet.* Ano 21 n. 125, p.8-10, 2002.
- GUARAGNA, G. P. et al. Resistência comparativa de tourinhos das raças Holandesa e Mantiqueira à infestação artificial de carrapato (*Boophilus microplus*, CANESTRINI). *Boletim da Industria Animal*, v.49, n.2, p-73-82, 1992.
- GUERRERO, F.D. Cattle Tick Genome Sequencing and Transcriptome Analysis. USDA. Disponível em: [http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn\\_no=421301](http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn_no=421301). Acesso em :Outubro 2011.
- HEMMER, R.M.; FERRICK, D.A.; CONRAD, P.A. Role of T cells and cytokines in fatal and resolving experimental babesiosis : protection in TNFRp55-/- mice infected with de human Babesia WA1 parasite. *J. Parasitol.*, v.86, p.736-742, 2000.
- JANEWAY, C.A.; TAVERS, P.; WALPORT, M.; SHOLMCHIK. *Imunologia: O sistema imune na saúde e na doença*, Artmed, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2002.
- LEMOS, A.M.; TEODORO, R.L.; OLIVEIRA, G.P.; MADALENA, F.E. Comparative performance of six Holstein-Friesian x Guzera grades in Brazil. 3. Burdens of *Boophilus microplus* under field condition. *Anim. Produc.*, Edinburgh, v. 41, n.2, p.187-191, 1985.
- LEMOS, A.M. A resistência genética de bovinos e o controle do carrapato. Documento Embrapa/CNPGL, Coronel Pacheco, p.42, 1986.

- MACKINNON, M. J.; MEYER, K.; HETZEL, D. J. S. Genetic variation and covariation for growth, parasite resistance and heat tolerance in tropical cattle. *Livestock Production Science*, v.27, p.105-122, 1991.
- MADALENA, F. E.; TEODORO, R.L.; LEMOS, A.M.; OLIVEIRA, G.P. Causes of variations of field burdens of cattle ticks (*B. microplus*). *Revista Brasileira de Genética*, v.3, n.2, p.361-375, 1985.
- MAHARANA, B.R.; BAITHALU, R.K.; ALLAIE, I.M. Mechanism of Immunity to Tick infestation in Livestock. *Veterinary World*, p.131-135, 2011.
- MARSHALL, A. G. *The Ecology of Ectoparasitic Insects*. Academic Press. United Kingdom. 351 p. 1981.
- MARTINEZ, M.L.; SILVA, M.V.G.B.; MACHADO, M.A. ET AL. A biologia molecular como aliada no combate aos carrapatos. (Compact Disc) IN: Simpósio Nacional da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 5., Pirassununga, 2004. Anais. Pirassununga:SBMA, 2004.
- MARTINS, J.R.; EVANS, D.E.; CERESÉR, V.H. AND CORRÊA B.L. Partial strategic tick control within a herd of European breed cattle, in the state of Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Experimental & Applied Acarology*, v. 27, n. 3, p. 241-251, 2002.
- MARTINS, J.R. Manejo da resistência aos carrapaticidas. XIII Congresso Brasileiro de Parasitologia veterinária & I Simposio Lationo- Americano de Ricketisioses, Ouro Preto - MG, 2004
- McCULLOCH, C.E.; SEARLE, S.R.; NEUHAUS, J.M. *Generalized, linear, and mixed models*. 2nd ed. New Jersey: John Wiley, 2008. 358 p.
- MORENO, E.C. Incidência de ixodídeos em bovinos de leite e prevalência em animais domésticos da Região metalúrgica de Minas Gerais. 1984. 105p. Dissertação – Mestrado - Instituto de Ciências Biológicas – UFMG, Belo Horizonte.
- MOTTES, G.S.; OLIVEIRA, S.R.; GONÇALVES, J.R; FACHINI, C. Desafios de produção de carne bovina brasileira para exportação. 5º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, Campinas –SP, 2011.
- NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. *Generalized linear models*. *Journal of the Royal Statistical Society, Malden*, v. 135, p. 370-384. 1972.

- NUNES, J.A.; MORAIS, A.R.; BUENO FILHO, J.S.S. Modelagem da superdispersão em dados por um modelo linear generalizado misto. *Revista de Matemática e Estatística*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 55-70, 2004.
- NUÑES, J.L.; MUÑOZ COBENAS, M.E., MOLTEDO, H.L. *Boophilus microplus*, la garrapata comum del ganado vacuno. Buenos Aires: Hemisférios Sur, p.19, 1982.
- OLIVEIRA, G. P. Fatores que afetam economicamente a produção de couro de bovinos. *Arr. Bol. Tecnol.* Pág. 353-358. 26 de março de 1983.
- OLIVEIRA, G. P. e ALENCAR, M. M. Resistência de bovinos ao carrapato *Boophilus microplus*. I Infestação Artificial. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.22, n.4, p.433-438, 1987.
- OLIVEIRA, G. P.; ALENCAR, M.M.; FREITAS A. R. Resistência de bovinos ao carrapato *Boophilus microplus*. II. Infestação natural. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, v.24, n.10, p.1267-1271, 1989.
- OWEN. J. B.; AXFORD, R. F. E. Breeding for disease resistance in farm animals, 499p., 1991.
- PARDINI, M.M. Produção de óxido nítrico e interferon-gama por células mononucleares de sangue periférico de bovinos infestados artificialmente por *Boophilus microplus*. Dissertação de mestrado – UFJF, Juiz de Fora – MG, 104p. 2008.
- PEREIRA, M. C. Taxonomia do subgênero *Boophilus* e das suas espécies. In: PEREIRA, M. C.; LABRUNA, M. B.; SZABÓ, M. P. J.; KLAFKE, G. M. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: Biologia, Controle e Resistência. São Paulo: Med Vet Livros, 2008. P 7-14,
- PÉRTILE, S.F.N. Parâmetros genéticos defeitos de pernas, características de desempenho e carcaça em frangos de corte. Dissertação de Mestrado – USP, Piracicaba SP, 91p. 2011.
- PEREIRA, M. C. *Boophilus microplus*: revisão taxonômica e morfológica. Rio de Janeiro: Químio Divisão Veterinária, 1982. 167 p.
- PRAYAGA K. C. Evaluation of beef cattle genotypes and estimation of direct and maternal genetic effects in a tropical environment. 2. Adaptive and temperament traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, .54, p.1027–1038, 2003.

- RIEK, R. F. Studies on the reactions of animals to infestation with ticks. VI. Resistance of cattle to infestation with the tick *Boophilus microplus* (Canestrini). Australian Journal Agricultura Research. v.13, p. 532-550,1962.
- ROCHA, C.M.B.M. Aspectos relevantes da biologia do *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887). Lavras: Editora UFLA, 1999. 20p. (Boletim técnico n°32). Disponível em: <http://www.editora.ufla.br>. Acesso em: agosto de 2011.
- ROCHA, C.M.B.M. Importância do carrapato *Boophilus microplus* no processo produtivo do leite. Lavras: Editora UFLA, 2000. 19p. (Boletim técnico n°30). Disponível em: <http://www.editora.ufla.br>. Acesso em: agosto de 2011.
- SEEBECK, R. M., SPRINGELL, O. H., O'KELLY, J. C. O. Alterations in host metabolism by the specific and anorectic effects of the cattle tick (*Boophilus microplus*). I. Food intake and body weight growth. Australian Journal of Biology Science, v. 24, p. 839-50, 1971.
- SEIFERT, G. M. Ecto and endoparasitic effects on the growth rates of Zebu crossbred and British cattle in the field. Australian Journal of Agricultural Research, v.22, p. 839-850, 1971.
- SILVA, A.M.; ALENCAR, M.M.; REGITANO, L.C.A.; OLIVEIRA, M.C.S. Estudo de infestação de fêmeas bovinas de diferentes grupos genéticos por parasitas. V Simpósio da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 2006.
- SILVA, A.M.; ALENCAR, M.M.; REGITANO, L.C.A.; OLIVEIRA, M.C.S. Infestação natural de fêmeas bovinas de corte por ectoparasitas na Região Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, p.1477-1482, 2010.
- SUTHERST, R. W. et al. Aspects of host finding by the cattle tick *Boophilus microplus*. Australian Journal Zool., v.26, p.159-174,1978.
- TEODORO, R.L.; LEMOS, A.M.; MADALENA, F.E. Carga parasitária de *Boophilus microplus* em vacas mestiças europeu x zebu. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.23, 1994.
- TEODORO, R.L.; MARTINEZ, M.L.; SILVA, M.V.B.; MACHADO, M.A.; VERNEQUE, R.S. Resistencia bovina ao carrapato *Boophilus microplus* experiência brasileira. V Simposio da Sociedade Brasileira de melhoramento animal. Anais: V Simposio da Sociedade Brasileira de melhoramento animal, 2004.
- UTECH, K. B. W.; SEIFERT. G. W.; WHARTON, R. H. Breeding Australian Illawarra Shorthorn cattle for resistance to *Boophilus microplus*. I. Factor affecting resistance. Australian Journal Agriculture Research, v.29, p.411-422, 1978a.

- UTECH, K. B. W.; WHARTON, R. H.; KERR, J. D. Resistance to *Boophilus microplus* (Canestrini) in different Breed of Cattle. Australian Journal Agriculture Research, v.29, p.885-895, 1978b.
- VERÍSSIMO, C.J.; SILVA, R.G.; OLIVEIRA, A.A.D.; RIBEIRO, W.R.; ROCHA, U.F. Resistência e susceptibilidade de bovinos leiteiros mestiços ao carrapato *Boophilus microplus*. Boletim da Indústria Animal, v.54, n.2, p.1-10.,1997.
- VERÍSSIMO, C.J.; OTZUK, I.P.; DEODATO, A.P.; LARA, M.A.C.; BECHARA, G.H. Número de mastócitos dérmicos na pele de bovinos europeus zebuínos e mestiços e infestação pelo carrapato *Boophilus microplus*. XII Congresso Brasileiro de Parasitologia Veterinária. Rio de Janeiro. Anais... XII Congresso Brasileiro de Parasitologia Veterinária, 2002.
- VILLARES, J. B. Climatologia Zootécnica. III. Contribuição ao estudo da resistência e susceptibilidade genética dos bovinos ao *Boophilus microplus*. Boletim de Indústria Animal, v.4, n.1, p.60-86, 1941.
- WAGLAND, B. M. Host resistance of cattle tick (*Boophilus microplus*) in Brahman (*Bos indicus*) Cattle. I Responses of previously unexposed cattle to four infestations with 20.000 larvae. Australian Journal Agricultura Research. v.26, p.1073-1080, 1975.
- WALKER, A.R. Eradication and control of livestock ticks: biological, economics and social perspectives. Parasitology, p. 945-959, 2011.
- WHARTON, R. H.; UTECH, K. B. W. The relation between engorgement and dropping of *Boophilus microplus* (Canestrini) (Ixodidae) to the assessment to tick numbers on cattle. Journal Australian Emtomology Soc., v.9, p.171-182, 1970.
- WILKINSON, P. R. Observations on infestations of undipped cattle of bristh with the cattle tick, *Boophilus microplus* (CANESTRINI). Australian Journal Research, v.6, p.655-665, 1955.
- WIKEL, S.K. Host immunity to ticks. Ann Rev Entomol,v.41,p.1–22, 1996.
- WIKEL, S.K.; BERGMAN D. Tick-host immunology: Significant advances and challenging opportunities. Parasitology Today, v.13, p.383-389, 1997.
- WILLADSEN P.; JONGEJAN F. Immunology of the Tick-Host Interaction and the Control of Ticks and Tick-borne Diseases Parasitol Today.v.15(7), p.258-62, 1999.

## **CAPÍTULO 2 – Estimação de parâmetros genéticos e investigação de interação genótipo x ambiente para resistência a carrapatos de bovinos cruzados em diferentes regiões do Brasil**

**Resumo:** Dados de 6.156 bovinos cruzados Nelore x Hereford, distribuídos em 18 rebanhos localizados nos estados de Mato Grosso do Sul (MS), São Paulo (SP), Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS) foram analisados com a finalidade de investigar a variação genética para resistência à carrapato, por meio da estimação de componentes de variância e parâmetros genéticos para contagem de carrapatos (*Rhipicephalus (Boophilus) microplus*) por infestação natural, e ainda, uma possível interação genótipo x ambiente. Os dados de contagem de carrapato (CC) foram transformados para  $\log_{10}(CC+1)$  e agrupados em duas regiões, definidas por análise de agrupamento, e analisados utilizando o método de máxima verossimilhança restrita. O modelo estatístico incluiu o efeito genético aditivo como aleatório, e os efeitos fixos de grupo de contemporâneos (GC) e grupos genéticos (GG) como classificatórios e a idade do animal no momento da contagem (efeito linear) e heterozigose individual (efeito linear, variando de 0 a 1) como covariáveis. Nas duas regiões estudadas o efeito da heterose encontrado foi inversamente proporcional, isto é, a contagem de carrapatos diminuiu com o aumento da heterozigose. As estimativas de herdabilidade observadas para resistência à infestação por carrapatos foram  $0,12 \pm 0,04$  e  $0,11 \pm 0,04$  para o grupo A (RS e sul do estado do PR) e B (MS, SP e norte do estado do PR), respectivamente. Os resultados do presente estudo sugerem que a seleção para animais resistentes a carrapatos seria possível, utilizando a contagem de carrapatos para se estimar o valor genético dos animais, porém com um lento progresso genético. A correlação genética para a característica contagem de carrapatos entre os dois grupos (A e B) foi de  $0,84 \pm 0,27$  e não foi observada interação genótipo x ambiente para esta característica na população de estudo.

**Palavras-chave:** bovinos de corte, ectoparasita, REML

## Introdução

Para uma eficiente exploração comercial tanto da carne quanto do leite bovino, necessitam-se de animais com excelente potencial de produção bem como adaptados ao ambiente. Nesse contexto, especialmente em regiões tropicais, a ocorrência de infestações por carrapatos, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, é apontada como uma importante causa do declínio nos índices de produção animal. Os danos causados abrangem: queda no desempenho dos animais, com perda de peso, causada principalmente por efeito anorético (perda de apetite), mesmo quando os animais são submetidos a uma dieta de alta qualidade (Seebeck et al., 1971); redução nos índices de fertilidade; diminuição da produção de leite; bem como depressão da qualidade de subprodutos como o couro, devido às cicatrizes irreversíveis provocadas pelo parasita. Adicionalmente, há aumento no custo de produção devido ao controle químico e à mão de obra necessária para aplicação de antiparasitários, que pode ainda levar à presença de resíduos químicos na carne e no leite, poluição ambiental e danos à saúde e bem estar das pessoas.

A seleção de animais mais resistentes ao carrapato pode ser uma alternativa para o controle desses parasitas, sendo necessário para isso um intenso trabalho de colheita e avaliação dos dados dos rebanhos (Cardoso et al., 2000). Diversos estudos, especialmente em países de áreas tropicais, têm mostrado que há diferenças nos níveis de resistência ao carrapato entre e dentre raças, ocorrendo diminuição na contagem de carrapatos a medida que a percentagem de genes Zebuínos aumenta (Veríssimo et al., 1997; Wambura et al., 1998; Prayaga et al., 2005; Jonsson, 2006; Budeli et al., 2009; Silva et al., 2010).

No Brasil, existe ampla variabilidade nos sistemas de produção, em termos de manejo e alimentação. Além disso, há também grande variação climática entre as diferentes regiões do país, compreendendo temperatura, regime de chuvas e umidade, que podem influenciar no nível de infestação dos animais por carrapatos. Segundo Teixeira et al. (2006), a grande extensão territorial brasileira promove sensíveis diferenças em fatores importantes para a pecuária e, dessa forma, torna-se necessária a identificação de genótipos produtivos e adaptados aos diferentes sistemas de produção.

Prayaga e Henshall (2005) destacaram a importância de realizar estudos com características indicativas de adaptabilidade em bovinos de corte, como a contagem de carrapatos, com a finalidade de avaliar a adequação dos mesmos aos ambientes tropicais. Assim, o objetivo com este estudo foi estimar parâmetros genéticos para contagem de carrapatos em animais cruzados Nelore x Hereford em quatro estados pertencentes às regiões centro-oeste, sudeste e sul do Brasil e verificar a ocorrência de possível interação genótipo x ambiente nessas regiões.

### **Material e Métodos**

O conjunto de dados analisado é proveniente de 18 fazendas distribuídas nos estados de MS (4), SP (1), PR (5) e RS (8), e foi obtido junto ao Programa de Melhoramento Genético da Conexão Delta G. Esta, é uma associação de pecuaristas especializada em bovinos de corte das raças Hereford, Braford e Nelore, criados a pasto em sistema de produção de ciclo curto, em que os animais iniciam a reprodução e são abatidos rapidamente, ou vendidos como reprodutores jovens.

Foram utilizados dados de 6.156 animais cruzados Nelore x Hereford, nascidos entre 2001 e 2007, filhos de 386 touros e 5.205 vacas. O arquivo de pedigree foi composto por 15.471 animais. A contagem de carrapatos (CC) foi realizada entre os anos de 2002 e 2009, enquanto que a idade dos animais na época da observação variou de 330 a 720 dias.

A metodologia utilizada foi proposta por Cardoso et al. (2000), que consiste na contagem de fêmeas do carrapato (*Rhipicephalus (Boophilus) microplus*), por infestações naturais, a partir de 4 mm de diâmetro, na região compreendida entre as faces internas dos membros posteriores (região entre pernas). Os dados foram transformados para  $LCC = \log_{10}(CC+1)$ , sendo CC o número de carrapatos por animal, devido à característica estudada não se ajustar a uma distribuição normal de probabilidade. A colheita dos dados foi realizada quando a infestação por carrapatos apresentou uma carga mediana, suficiente para diferenciar indivíduos sensíveis e resistentes, não devendo ser antecipada, para que não houvesse confundimento entre a resistência do animal ou a baixa exposição ao parasita, ou adiada a ponto de acarretar perdas produtivas. A época de contagem de carrapatos foi particular a cada região, observando-se a dinâmica populacional desse parasita assim como sua infestação a campo.



As fazendas foram separadas em dois grupos de acordo com a similaridade das informações geoclimáticas dos municípios onde estas se localizam e também pelo nível médio de infestação por carrapatos dentro de fazenda, este representado pela contagem de carrapatos média da fazenda. Com esta finalidade, foi realizada análise de agrupamento hierárquico por meio do procedimento CLUSTER (SAS, 2008), utilizando-se o método de Ward. Os dados geoclimáticos utilizados foram: temperaturas mínimas e máximas médias anuais, precipitação, latitude e longitude. Foram obtidos, dois grupos distintos, sendo que o grupo A ficou composto por oito fazendas pertencentes ao estado do Rio Grande do Sul e três fazendas localizadas na região sul do estado do Paraná, totalizando 3.189 informações, enquanto que, o grupo B ficou composto por quatro fazendas pertencentes ao estado de Mato Grosso do Sul, uma fazenda pertencente ao estado de São Paulo e duas pertencentes a região norte do estado do Paraná, totalizando 2.967.

Segundo a classificação de Köeppen, o clima nas fazendas amostradas no grupo A define-se como subtropical (Cfa), que apresentam verões quentes, invernos mais rigorosos e chuvas distribuídas durante o ano com períodos de seca esporádicos, e apresentam temperaturas médias anuais de 20°C e 18°C. O clima no grupo B é definido como tropical (Cwa) com chuvas concentradas no verão, inverno seco e temperatura média anual de 23°C.

Os grupos de contemporâneos (GC) foram definidos por: estação de nascimento (primavera: setembro a novembro, verão: dezembro a fevereiro, outono: março a maio e inverno: junho a agosto), ano de nascimento, rebanho na avaliação, sexo, grupo de manejo, estação e ano da época de contagem (primavera, verão, outono e inverno). O cálculo das heterozigoses foi efetuado de acordo com a fórmula:

$$H = 1 - \sum_{i=1}^2 p_{t_i} p_{v_i}$$

em que  $p_{t_i}$  é a fração da composição racial do  $t$ -ésimo touro para a raça  $i$ , em que  $i = 1$  (Nelore), 2 (Hereford); e  $p_{v_i}$  é a fração racial da  $v$ -ésima vaca para a raça  $i$ ,  $i = 1$  ou 2.

Foi criada a variável grupo genético (GG) composta pela concatenação da composição racial da mãe e do animal de acordo com a proporção de genes Nelore de cada um, formando-se assim 23 GG (Tabela 1). Foram incluídos no modelo os

efeitos fixos de GC e GG como classificatórios, as covariáveis idade do animal na data da contagem (efeito linear) e o efeito linear da heterozigose individual (variando de 0 a 1) e o efeito genético aditivo como aleatório.

**Tabela 1.** Distribuição do número de animais conforme composição racial das mães e dos animais expressa em proporção de genes Nelore para os dois grupos regionais

		Grupo A						Grupo B					
Animais													
Mães	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	
0	1.063	68	95	81	0	0	0	1	0	0	0	0	
1/4	0	87	416	0	5	0	0	40	131	0	0	0	
3/8	0	5	517	17	0	4	0	4	584	22	0	3	
1/2	0	137	288	369	0	15	0	76	630	416	0	77	
5/8	0	0	0	4	0	0	0	0	39	13	0	0	
3/4	0	0	3	3	12	0	0	0	526	12	18	0	
Nelore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	307	54	14	

Os registros dos animais pertencentes aos GC com menos de 3 observações foram excluídos, assim como GC sem variabilidade e também compostos por animais de um único GG. Um total de 35 touros apresentaram filhos tanto no grupo A como no B e a estrutura geral dos dados é mostrada na Tabela 2.

**Tabela 2.** Número de animais com observações para contagem de carrapato (CC), desvios padrão (DP), médias (MED), mínimo (MIN) e máximo (MAX)

<b>GRUPOS</b>	<b>N</b>	<b>DP</b>	<b>MED</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>
<b>GRUPO A</b>					
CC	3.189	11,11	10,98	0	70
LCC*		0,48	0,80	0	1,85
<b>GRUPO B</b>					
CC	2.967	12,72	12,68	0	96
LCC*		0,44	0,94	0	1,98
<b>TOTAL</b>					
CC	6.156	11,99	11,28	0	96
LCC*		0,46	0,87	0	1,98

\*LCC contagem de carrapato transformada =  $\log_{10}(CC+1)$

Os componentes de (co)variância foram estimados por máxima verossimilhança restrita utilizando modelo animal em análise bi-característica, em que considerou-se CC de cada grupo (A e B) como uma característica diferente, utilizando-se o programa computacional Wombat (Meyer, 2007). O modelo estatístico utilizado para as análises foi:

$$y = Xb + Za + e;$$

em que:  $y$  = vetor de observações;  $X$  = matriz de incidência dos efeitos fixos;  $b$  = vetor dos efeitos fixos (GC, GG, heterozigose, idade do animal);  $Z$  = matriz de incidência do efeito genético aditivo direto;  $a$  = vetor do efeito genético aditivo direto e  $e$  = vetor de efeitos residuais, aleatórios, associados às observações. Para este modelo, assumiram-se as seguintes pressuposições:

$$\begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} \sim N(0, V), V = \begin{bmatrix} A_A \otimes A & 0 \\ 0 & R \otimes I \end{bmatrix}$$

em que  $A_A$  e  $R$  são, respectivamente, as matrizes de (co)variâncias genética aditiva e residual para as características;  $A$  é a matriz do numerador dos coeficientes

de parentesco entre os animais;  $I$  é uma matriz identidade e  $\otimes$  é o operador produto direto entre matrizes. Com a utilização do procedimento MIXED (SAS, 1996) foi realizada uma análise de variância para verificar a influência dos efeitos considerados no modelo sobre a característica contagem de carrapatos transformada.

A constatação de uma possível interação genótipo x ambiente foi avaliada primeiramente pela correlação genética para característica contagem de carrapatos entre os grupos A e B. De acordo com Robertson (1959) correlações genéticas inferiores a 0,80 são indicativas da existência de interação genótipo x ambiente. Avaliou-se também, pela correlação de rank (Spearman) entre os valores genéticos preditos pelo modelo bi-característica para os grupos A e B, e ainda, pela comparação do percentual de animais coincidentemente selecionados, segundo os seus valores genéticos preditos, quando aplicadas diferentes intensidades de seleção.

Foi realizada uma análise unicaracterística assumindo o mesmo modelo descrito acima, porém, desconsiderando a separação por região, com a finalidade de comparar os parâmetros obtidos por todo conjunto de dados com aqueles observados quando utilizada a análise bi-características.

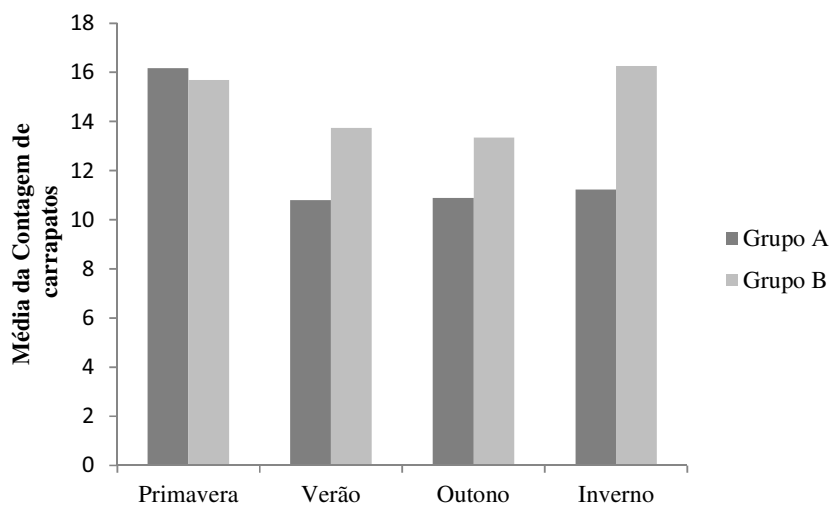
## **Resultados e Discussão**

A partir da análise de variância observou-se que, dos efeitos avaliados no modelo (GC, GG, heterozigose e idade do animal no momento da contagem), apenas os GC e GG tiveram influência significativa ( $P < 0,01$ ) sobre a contagem de carrapatos transformada, indicando serem importantes fontes de variação para esta característica. Mesmo não sendo significativos na análise realizada, os efeitos de idade e heterozigose foram incluídos no modelo para estimação de parâmetros genéticos, pois, na presença do efeito aleatório genético aditivo, os mesmos podem se tornar significativos.

A maior média de infestação por carrapato ocorreu durante o período da primavera para o grupo A e no inverno para o grupo B. Enquanto que o outono foi o período de menor média de contagem de carrapatos para ambos os grupos (Figura 1). É possível notar que a mesma tendência na distribuição da média de contagem de carrapatos por estação foi apresentada para os dois grupos (A e B), observando-

se as maiores médias de contagens durante os períodos de primavera e inverno e médias mais baixas durante os períodos de verão e outono. Segundo Silva et al. (2010) os resultados encontrados na literatura quanto à época do ano de maior infestação por carrapatos no Brasil são muito variáveis.

Assim como o observado no presente estudo, Guaragna et al. (1992), reportaram picos de infestações no inverno e na primavera com diminuição no verão e outono em trabalho com tourinhos Holandeses e Mantiqueira. Fraga et al. (2003), em estudo com bovinos da raça Caracu criados nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, encontraram o pico de infestação de carrapatos no verão, observando queda pronunciada na primavera. Silva et al. (2010), trabalhando durante 17 meses com fêmeas de quatro grupos genéticos distintos (Nelore, Angus x Nelore, Simental x Nelore e Canchim (5/8 Charolais + 3/8 Zebu) x Nelore) no estado de São Paulo, verificaram pico de infestação durante o inverno e outono, enquanto que as menores observações se deram durante a primavera e verão do seu primeiro e segundo ano de avaliação, respectivamente.



**Figura 1.** Médias de contagem de carrapatos (CC) infestantes no animal em função das estações do ano

Um ponto importante a ser destacado é o fato do ciclo de vida dos carrapatos ocorrer em duas fases, uma livre, que ocorre no solo e na vegetação, e outra parasitária, que se desenvolve no corpo do bovino. Dessa forma a contagem de

carrapatos é influenciada pelas diferenças climáticas regionais o que justificaria as diferenças encontradas, entre os grupos A e B, quanto a estação do ano de maior infestação. Além disso, alguns estudos (Rocha, 1999; Kasai et al., 2000 e Martins et al., 2002) demonstraram que os carrapatos podem apresentar de 3 a 4 gerações ao ano, dependendo das condições climáticas nas diferentes regiões do país. Provavelmente as condições climáticas encontradas no grupo A, durante o período de amostragem, tenham favorecido uma maior infestação na primavera, possivelmente com temperaturas em elevação precocemente, a partir do mês agosto, favorecendo assim a fase de vida parasitária e culminando com um pico antecipado. Diferenças quanto às épocas de maior e menor contagem de carrapatos entre os grupos A e B eram esperadas, pois, além das diferenças de cada fazenda, o desenvolvimento do carrapato é altamente dependente das condições de temperatura e umidade ao longo do ano, que se apresentam de forma diferenciada nos dois grupos.

As soluções de mínimos quadrados obtidas com o modelo animal, para o efeito classificatório de GG, mostraram que os grupos formados por animais com maior proporção de genes Nelore, em sua composição racial, apresentaram menor contagem de carrapatos (Tabela 3). Estes resultados estão de acordo com aqueles reportados por Wambura et al. (1998), Santos Jr et al. (2000), Prayaga (2003), Prayaga & Henshall (2005), Burrow (2006), Silva et al. (2007) e Silva et al. (2010) que encontraram menor infestação de carrapatos em animais com maior proporção de genes zebuínos, quando comparado com os animais com maior proporção de genes de raças de origem européia.

**Tabela 3.** Soluções de mínimos quadrados para efeito de Grupo Genético na contagem de carrapatos transformados

Grupo A							Grupo B					
Mães	Animais						Animais					
	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4
0	0,09	0,04	0,13	0,02	-0,12	-	-	0,07	-	-	-	-
1/4	-	0,05	0,06	0	-	-	-	0,14	0,09	-0,09	-	-
3/8	-	0,26	0,05	-0,04	-	-0,18	-	-	0,08	-0,01	-	-0,55
1/2	-	0,05	0	-0,03	-	-0,16	-	0,11	0,04	-0,02	-	-0,22
5/8	-	-	-	-0,21	-	-	-	-	0,14	-0,02	-	-
3/4	-	-	-0,02	-	-0,07	-	-	-	0,10	0,06	-0,04	-
Nelore	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,15	-0,21

A forte reação inflamatória provocada pela alimentação da larva *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* no momento da sua fixação, que leva os animais a um processo de autolimpeza por lambedura mais eficiente contribuindo diretamente para uma menor infestação, ou ainda o fato dos zebuínos estarem expostos ao parasita no decorrer de seu processo evolutivo explicaria a sua superioridade, quando comparado aos animais taurinos, quanto à resistência ao carrapato.

Considerando a alta incidência de carrapatos um fator limitante para produção de carne bovina nos trópicos, a resistência inerente aos zebuínos é uma das muitas razões para sua disseminação nessas áreas (Albuquerque et al., 2006). Prayaga et al. (2003) sugeriram que quanto mais inóspito é o ambiente, mais necessário se torna a utilização de animais com maior porcentagem de genes de raças zebuínas, o que garante melhor adaptação, principalmente, a parasitas externos como carrapato e a mosca do chifre.

Os valores encontrados na expressão para a heterose individual, baseados nas estimativas dos coeficientes de regressão da CC sobre a heterozigose, foram de -0,20 para o grupo A e de -0,18 para o grupo B, ou seja, estima-se uma diminuição de 0,20 (0,18) carrapatos a cada aumento de 1% de heterozigose para o grupo A (grupo B). Os valores observados são indicativos de que, com o aumento da heterozigose individual, ocorra uma diminuição na infestação de carrapatos.

Valores negativos para a heterose são desejáveis no caso de características adaptativas como a contagem de carrapatos. Trabalhando com rebanhos de diferentes composições genéticas, Prayaga (2003) também observou valores de heterose negativos para populações F1 de cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus* para a característica contagem de carrapatos, destacando assim a importância dos cruzamentos a fim de explorar as ações gênicas não aditivas.

Não foi observado efeito da idade do animal, para a avaliação da característica contagem de carrapato, nos dois grupos avaliados. Assim como o resultado observado no presente estudo, Seifert (1971) e Madalena et al. (1985) também não encontraram efeito significativo da idade sobre a característica contagem de carrapato. Já Fraga et al. (2003) também encontraram efeito quadrático da idade dos animais sobre a infestação por carrapatos. A pequena diferença de idade entre os animais avaliados pode ser a causa da ausência de efeito deste fator na avaliação desta característica.

As estimativas de herdabilidade para a característica resistência à infestação por carrapatos foram similares e baixas para os grupos A e B, respectivamente (Tabela 4). Tais resultados sugerem que as variações nessa característica são mais influenciadas por diferenças ambientais e, em consequência, esta característica não deve responder rapidamente à seleção.

**Tabela 4.** Estimativas de herdabilidade (diagonal principal), correlação genética (acima da diagonal) correlação fenotípica (abaixo da diagonal) para a contagem de carrapatos.

<b>REGIÕES</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>A</b>	<b>0,12 ± 0,04</b>	0,84 ± 0,27
<b>B</b>	0,10 ± 0,04	<b>0,11 ± 0,04</b>

Estimativas de herdabilidade para contagem de carrapatos próximas às encontradas neste trabalho foram reportadas por Silva (2006) (0,12), Prayaga e Henshall (2005) (0,13) e Budeli et al. (2009) (0,17), trabalhando com dados transformados em rebanhos com animais sob infestação natural. Os autores concluíram que a seleção para resistência a carrapato é possível, embora o progresso genético seja lento. Valores mais elevados (0,22 a 0,49), obtidos com



dados de contagem transformados, e com diferentes raças européias e zebuínas, foram estimados por Conceição Jr. (1997), Cardoso (2000), Burrow (2001) e Fraga et al. (2003). Alguns fatores como a população estudada, os diferentes grupos genéticos avaliados, a estrutura de dados, o modelo utilizado no desenvolvimento das análises, bem como as diferentes épocas do ano em que os trabalhos foram realizados, podem justificar essa grande variação nas estimativas de herdabilidade para a característica avaliada.

A estimativa de correlação fenotípica para a característica em estudo entre os grupos A e B foi baixa, indicando que existe uma baixa associação entre a contagem de carrapatos nos dois grupos avaliados. Apesar das marcadas diferenças climáticas, a estimativa de correlação genética da contagem de carrapatos nos dois grupos foi de 0,84 que corresponde, segundo critério de Robertson (1959), a ausência de interação genótipo x ambiente, ou seja, nos dois ambientes esta característica seria influenciada da mesma maneira pelo mesmo grupo de genes. Foi também observada a correlação de rank (Spearman) entre os valores genéticos preditos pelo modelo bi-características para as regiões A e B, e foi encontrado o valor de 0,99 indicando que não houveram mudanças expressivas na classificação dos animais ou nos valores genéticos dos mesmos quando avaliados considerando diferenças entre grupos. Além disso, um alto percentual de animais em comum foi observado quando utilizado o modelo bicaracterística para as regiões A e B (Tabela 5).

**Tabela 5.** Percentual de animais em comum quando diferentes proporções de indivíduos selecionados (b) são praticadas utilizando-se os valores genéticos preditos pelo modelo bicaracterística para as regiões A e B

	<b>b%</b>					
	<b>1%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
<b>Percentual de animais em comum</b>	84,44	92,17	94,16	95,46	96,67	97,87

b(%): proporção de animais selecionados

Falconer e Mackay (1996) destacam que correlações genéticas que apresentem valores menores que um podem ser um indicativo da ocorrência de interação genótipo x ambiente, entretanto é necessário identificar se a interação observada afeta a seleção dos animais nas diferentes regiões. Dessa forma, devido às altas correlações de rank observadas, bem como as pequenas diferenças na porcentagem de animais em comum selecionados para diferentes regiões, é possível sugerir que não foi verificada a ocorrência de interação genótipo x ambiente na população em estudo para a característica contagem de carrapatos. Porém, faz-se necessário uma ressalva devido ao pequeno número de animais que estavam representados nos dois ambientes, apenas 35 touros, o que provavelmente pode ter influenciado o resultado obtido na análise de interação genótipo x ambiente.

Teixeira et al. (2006), observaram a existência de interação genótipo x ambiente para as características peso à desmama e ao sobreano em animais Hereford, Nelore e seus cruzamentos, salientando a importância de se acrescentar esse efeito nas avaliações de peso em rebanhos cruzados. Para a característica contagem de carrapatos não foram encontrados trabalhos na literatura com a avaliação de uma possível interação genótipo x ambiente, entretanto outras importantes características tanto em gado de corte (peso, acabamento de carcaça) como em gado leite (produção de leite, gordura, proteína, contagem de células somáticas), têm sido avaliadas para o efeito de interação genótipo x ambiente (Calus et al., 2002; Ibi et al., 2005; Calus et al., 2006; Nauta et al., 2006 e Pegollo et al., 2011) e, embora nem sempre se encontre a existência de interação, todos os autores sugerem a necessidade de verificar a influência de tal efeito.

Por meio de uma análise unicaracterística, considerando-se os animais dos grupos A e B como uma única amostra, observou-se que, tanto os parâmetros genéticos como a estimativa de heterose obtidos, foram muito semelhantes aos observados quando cada grupo foi analisado separadamente.

### **Conclusões**

A diminuição do grau de infestação por carrapatos está diretamente relacionada ao aumento da proporção de genes *Bos indicus* em animais cruzados. As estimativas de variação genética para o grau de infestação por carrapatos sugerem a possibilidade de seleção dos animais para resistência ao carrapato, entretanto o progresso genético esperado deve ser lento. Com a população avaliada não foi observada interação genótipo x ambiente para a característica contagem de carrapatos.

### Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, L.G., MERCADANTE, M.E.Z.; ELER, J.P.. Recent Studies on the genetic basis for selection of *Bos indicus* for beef production. In: 8th WORLD CONGRESS ON GENETIC APPLIED AND LIVESTOCK PRODUCTION, 2006, Belo Horizonte, **Anais**. Belo Horizonte: 8th WCGALP, 2006, cd-rom.
- BUDELI, M.A., NEPHAWE, K.A., NORRIS, D.; SELAPA, N.W.; BERGH, L.; MAIWASHE, A. Genetic parameter estimates for tick resistance in Bonsmara cattle. **South African Journal of Animal Science**, v.39, p. 321-329, 2009.
- BURROW H.M. Variances and covariances between productive and adaptive traits and temperament in a composite breed of tropical beef cattle. **Livestock Production Science**,v.70, p. 213-233, 2001.
- BURROW H.M. Utilization of diverse breed resources for tropical beef production. In: 8th WORLD CONGRESS ON GENETIC APPLIED AND LIVESTOCK PRODUCTION, 2006, Belo Horizonte, **Anais**. Belo Horizonte: 8th WCGALP, 2006, cd-rom.
- CALUS, M.P.L.; GROEN, A.F.; de JONG, G. Genotype x Environment Interaction for Protein Yield in Dutch Dairy Cattle as Quantified by Different Models. **Journal of Dairy Science**, v.85, p. 3115-3123, 2002.
- CALUS, M.P.L; JANSS, L.L.G; VEERKAMP, R.F. Genotype by Environmental Interaction for Somatic Cell Score Across Bulk Milk Somatic Cell Count and Days in Milk. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.4846-4857, 2006.
- CARDOSO, V.; FRIES, L.A.; ALBUQUERQUE, L.G. Comparação de diferentes métodos de avaliação da resistência genética de bezerros F1 Angus X Nelore desmamados ao carrapato *Boophilus microplus*. In: III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal , Belo Horizonte, MG, 2000. **Anais**. III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal, Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 2000, p. 460-463.
- CONCEIÇÃO JR, V. **Estudo das relações entre a resistência genética a carrapato e características produtivas na espécie bovina**. 1997. 106p. Tese - Doutorado - Escola de Veterinária - UFMG, Belo Horizonte.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Edinburgh, UK: Longman Group, 1996, p.464.

- FRAGA, A.B.; ALENCAR, M.M., FIGUEIREDO, L.A., et al. Análise de fatores genéticos e ambientais que afetam a infestação de fêmeas bovinas da raça Caracu por carrapato (*Boophilus microplus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p. 578-1586, 2003.
- GUARAGNA, G. P.; CARVALHO, J.B.P; GAMBINI, L.B.; BARBOSA, M.I.A. Resistência comparativa de tourinhos das raças Holandesa e Mantiqueira à infestação artificial de carrapato (*Boophilus microplus*, CANESTRINI). Boletim da Industria Animal, v.49, n.2, p-73-82, 1992.
- IBI, T.; HIROOKA, H.; KAHN, A.K.; SASAE, Y.; SASAKI, Y. Genotype x Environment interaction effects on carcass traits in Japanese Black cattle. **Journal of Animal Science**, v.83, p.1503-1510, 2005.
- JONSSON, N.N. The productivity effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation on cattle, with particular reference to *Bos indicus* and their crosses. **Veterinary Parasitology**, v.137, p.1-10, 2006.
- KASAI,N.; LABRUNA, M.B.; PIRES, A.V.; LOUVANDINI, H.; ABDALLA, A.L. E GENNARI, S.G. Dinamica populacional de *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) em bovinos leiteiros mantidos em manejo de pastejo rotativo de capim - elefante. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária**, v. 5, 2000.
- MADALENA, F. E.; TEODORO, R.L.; LEMOS, A.M.;OLIVEIRA, G.P. Causes of variations of field burdens of cattle ticks (*B.*) *microplus*. Revista Brasileira de Genética, v.3, n.2, p.361-375, 1985.
- MARTINS, J.R.; EVANS, D.E.; CERESÉR, V.H. AND CORRÊA B.L. Partial strategic tick control within a herd of European breed cattle, in the state of Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Experimental & Applied Acarology**, v. 27, n. 3, p. 241-251, 2002.
- MEYER, K. WOMBAT – A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by REML. Journal of Zhejiang University SCIENCE B, v.8,p.815-821, 2007.
- NAUTA, W.J.; VEERKAMP, R.F.; BRASCAMP, E.W.; BOVENHUIS, H. Genotype by Environment Interaction for Milk Productions Traits Between Organic and Conventional Dairy Cattle Production in The Netherlands. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p. 2729-2737, 2006.
- PEGOLO, N.T.; ALBUQUERQUE, L.G.; LÔBO, R.B.; OLIVEIRA, H.N. Effects of sex and age on genotype x environmental interactions for beef cattle body weight

- studied using reaction norm models. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 3410-3425, 2011.
- PRAYAGA K.C. Evaluation of beef cattle genotypes and estimation of direct and maternal genetic effects in a tropical environment. 2. Adaptive and temperament traits. **Australian Journal of Agricultural Research**, .54, p.1027–1038, 2003.
- PRAYAGA, K.C., HENSHALL, J.M.. Adaptability in tropical beef cattle: genetic parameters of growth, adaptive and temperament traits in a crossbred population. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 45, p. 971–983, 2005.
- ROBERTSON, A. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. **Biometrics**, v.15, n.3, p. 469 – 485, 1959.
- ROCHA, C.M.B.M. **Aspectos relevantes da biologia do Boophilus microplus (Cannestrini, 1887)**. Lavras: Editora UFLA, 1999. 20p. (Boletim técnico n°32). Disponível em: <http://www.editora.ufla.br>. Acesso em: abril de 2011.
- SANTOS JR., J.C.B.; FURLONG, J.; DAEMON, E. Controle do carrapato *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) em sistemas de produção de leite da microrregião fisiográfica fluminense do grande rio. **Ciência Rural**, v.30, p.305-311, 2000.
- SAS INSTITUTE. Advanced general linear models with a emphasis on mixed models. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1996. 614p.
- SEEBECK, R.M., SPRINGELL, P.H., O'KELLY, J.C. Alterations in host metabolism by the specific and anorectic effects of the cattle tick (*Boophilus microplus*). I. Food intake and body weight growth. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 24, p.373–380, 1971.
- SEIFERT, G. M. Ecto and endoparasitic effects on the growth rates of Zebu crossbred and British cattle in the field. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.22, p. 839-850, 1971.
- SILVA, A.M. **Estudo de infestações de fêmeas bovinas de corte pelo *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, *Haematobia irritans* e *Dermatobia hominis***. 2006. 144p. Tese – Doutorado–Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- SILVA, A.M.; ALENCAR, M.M.; REGITANO, L.A.C. et al. Artificial infestation of *Boophilus microplus* in beef cattle heifers of four genetic groups. **Genetics and Molecular Biology**, v.30, n.4, p.1150-1155, 2007.

- SILVA, A.M.; ALENCAR, M.M.; REGITANO, L.C.A.; OLIVEIRA, M.C.S. Infestação natural de fêmeas bovinas de corte por ectoparasitas na Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.1477-1482, 2010.
- TEIXEIRA, R.A.; ALBUQUERQUE, L.G.; ALENCAR, M.M.; DIAS, L.T. Interação genótipo-ambiente em cruzamentos de bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p.1677-1683, 2006.
- UTECH, K. B. W.; WHARTON, R. H.; KERR, J. D. Resistance to *Boophilus microplus* (Canestrini) in different Breed of Cattle. **Australian Journal Agriculture Research**, v.29, p.885-895, 1978.
- VERÍSSIMO, C.J.; SILVA, R.G.; OLIVEIRA, A.A.D. et al. Resistência e suscetibilidade de bovinos leiteiros mestiços ao carrapato *Boophilus microplus*. **Boletim Indústria Animal**, v.54, p.1-10, 1997.
- WAMBURA, P.N.; GWAKISA, P.S.; SILAYO, R.S.; et al. Breed-associated resistance to tick infestation in *Bos indicus* and their crosses with *Bos taurus*. **Veterinary Parasitology**, 77:63-70, 1998.

### **CAPÍTULO 3 – Modelos lineares e Poisson para análise genética de resistência ao carrapato em bovinos cruzados Hereford x Nelore**

**Resumo:** A resistência bovina ao carrapato é medida pela contagem do número de fêmeas adultas no animal. Frequentemente, o modelo utilizado para análise genética de resistência bovina ao carrapato necessita da aplicação de transformação logarítmica das observações de contagem. Nosso objetivo com esse estudo foi avaliar a habilidade preditiva e o ajuste de diferentes modelos para a avaliação da característica. Foram avaliados três modelos: linear com a utilização da transformação logarítmica das observações (MLOG); linear sem a transformação das observações (MLIN) e o linear generalizado Poisson com adição de um termo residual (MPOI). Todos os modelos incluíram os efeitos classificatórios de grupo de contemporâneos (GC) e grupo genético (GG), as covariáveis idade do animal na época da contagem e heterozigose individual além do efeito genético aditivo como aleatório. A habilidade de predição dos modelos foi comparada por validação cruzada. O modelo MPOI apresentou uma leve superioridade quanto à qualidade de ajuste e habilidade preditiva do modelo, enquanto que as correlações entre as contagens de carrapato observadas e preditas foram praticamente iguais em todos os modelos. A maior correlação de rank entre os valores genéticos foi observada entre os modelos MLOG e MPOI. Para a prática de seleção para animais resistentes ao carrapato tanto o MPOI quanto o modelo MLOG podem ser utilizados.

**Palavras-chave:** comparação de modelos, validação cruzada, modelos lineares generalizados



## Introdução

Predominantemente encontrado em regiões tropicais como Brasil, África e Austrália, o carrapato *Rhipicephallus (Boophilus) microplus* é o parasita que merece maior atenção e destaque na cadeia produtiva bovina. Causador de vultosas perdas diretas e indiretas pode levar a um prejuízo que chega aos dois milhões de dólares anuais no Brasil (Grisi et al., 2002). Nos Estados Unidos, no ano de 1906, o gasto com o controle de carrapatos chegou a margem dos 130,5 milhões de dólares, o que levou o país a criar um efetivo programa de erradicação deste parasita. Ainda nos dias de hoje, o controle para prevenção de uma reentrada do *R. (B.) microplus* em seu território, através da divisa com México, tem um custo de quatro milhões de dólares anuais (Guerrero, 2011).

O método usual para o controle do carrapato é o tratamento químico, como pulverizações ou banhos com acaricidas, no entanto, o uso indiscriminado dos mesmos tem levado à seleção de parasitas cada vez mais resistentes aos diferentes princípios ativos das formulações. Além disso, tais produtos podem deixar resíduos na carne e no leite.

Uma opção aos tratamentos químicos é a utilização de animais resistentes ao carrapato. Segundo Martinez et al. (2004) essa é a medida mais importante para a redução no custo de controle dos carrapatos, por ser mais barata, permanente e não requerer gasto adicional para se produzir determinada quantidade de produto. Em geral, muitos trabalhos de pesquisa mostram que os animais *Bos indicus* são mais resistentes ao carrapato quando comparados aos *Bos taurus* (Oliveira e Alencar, 1987; Prayaga e Henshall, 2005; Silva et al., 2010). Entretanto, quando analisadas as características produtivas, os animais *Bos taurus*, em condições ambientais propícias, são mais vantajosos. Dessa forma, utilizar animais cruzados visando combinar a adaptabilidade dos animais zebuínos e a produtividade dos taurinos parece uma excelente estratégia de produção para as regiões tropicais. Segundo Nari (1995), a utilização de animais cruzados zebu x taurino diminui notadamente a dependência dos acaricidas e a incidência de doenças por eles transmitidas.

Estudos prévios mostram diferentes níveis de resistência bovina ao carrapato, com estimativas de herdabilidade variando de 0,05 a 0,42, para esta característica

(Burrow, 2001; Prayaga & Henshall, 2005; Budeli et al., 2009), sugerindo assim a possibilidade de se obter ganhos genéticos por seleção para a mesma.

Frequentemente, os modelos aplicados para estimação de componentes de variância e parâmetros genéticos para características como a contagem de carrapatos são lineares, após a transformação (logarítmica) das observações, na tentativa de obter uma distribuição Normal, geralmente pressuposta a estes modelos. No entanto, não foram encontradas na literatura, para esta característica, metodologias de avaliação genética cujas transformações direta dos dados não fossem necessárias, tal como os modelos lineares generalizados mistos. Segundo Hall (2000), o modelo Poisson fornece uma estrutura padrão para análise de dados de contagem.

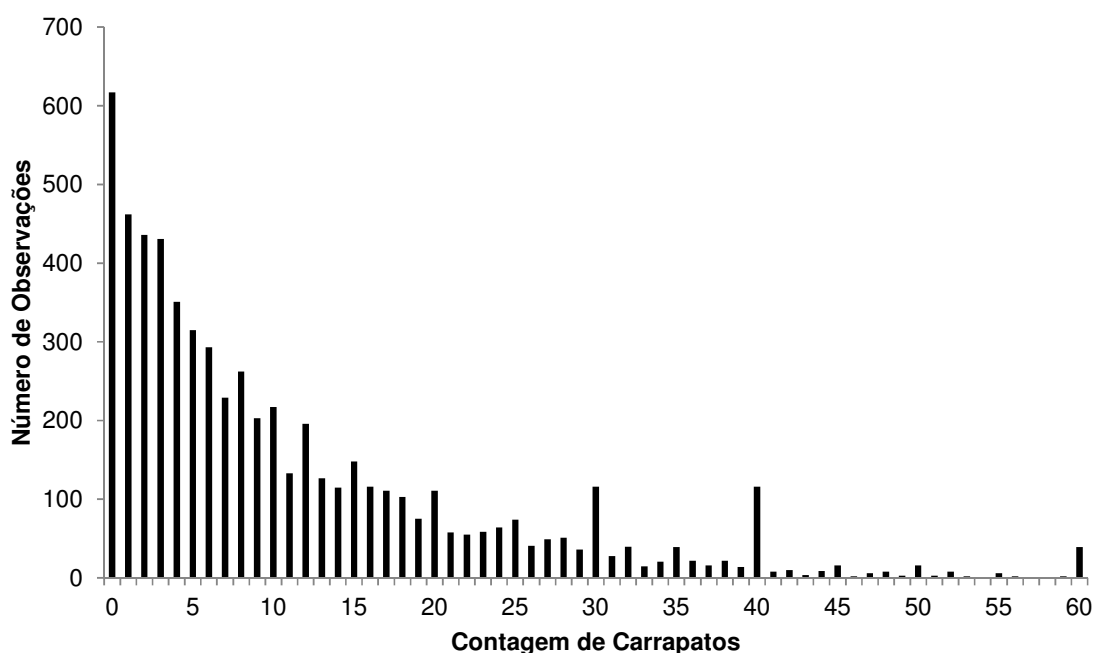
Assim, objetivou-se com este estudo avaliar os modelos lineares com e sem transformação logarítmica das observações e um modelo linear generalizado misto assumindo distribuição Poisson com a adição de um termo residual, para estimar parâmetros genéticos para a característica contagem de carrapatos, buscando o modelo mais adequado para avaliação genética desta característica.

## **Material e Métodos**

### ***Dados***

Foram analisados dados de 6.156 animais cruzados Nelore x Hereford obtidos junto ao Programa de Melhoramento Genético da raça Braford conduzido pela Conexão Delta G, uma associação de pecuaristas especializada em bovinos de corte das raças Hereford, Braford e Nelore, criados a pasto em sistema de produção de ciclo curto, em que os animais iniciam a reprodução e são abatidos rapidamente, ou vendidos como reprodutores jovens. Os arquivos utilizados continham informações de animais nascidos entre 2001 e 2007, filhos de 386 touros e 5.205 vacas. Os dados de contagem de carrapatos (CC) foram colhidos aproximadamente ao sobreano (330 a 720 dias de idade) utilizando a metodologia proposta por Cardoso et al. (2000), que consiste na contagem de fêmeas do carrapato a partir de 4 mm de diâmetro, na região compreendida entre as faces internas dos membros posteriores (região entre pernas). Os grupos de contemporâneos (GC) foram definidos por: estação de nascimento (primavera: setembro a novembro, verão: dezembro a fevereiro, outono: março a maio e inverno: junho a agosto), ano de

nascimento, rebanho na avaliação, sexo, grupo de manejo, estação (primavera, verão, outono e inverno) e ano da contagem. Foi criada a variável grupo genético (GG) composta pela concatenação da composição racial da vaca e do animal de acordo com a proporção esperada de genes Nelore de cada um, formando-se assim 23 GG. O arquivo de pedigree incluiu 15.471 animais e a distribuição da variável contagem de carrapatos pode ser observada na Figura 1. Os registros dos animais pertencentes aos GC com menos de 3 observações, assim como compostos por animais de um único grupo genético foram excluídos.



**Figura 1.** Distribuição do número de informações da variável contagem de carrapatos nos rebanhos avaliados

### **Modelos**

Foram avaliados três modelos, sendo dois lineares e um linear generalizado. Primeiramente foi utilizado o modelo linear com os dados sem transformação (MLIN), ou seja, sem que houvesse a tentativa de normalização por transformação logarítmica. Para o segundo modelo linear (MLOG) foi feita a transformação logarítmica das observações (TCC), em que  $TCC = \log_{10}(CC+1)$ . Por fim, foi

realizada uma análise considerando um modelo linear generalizado misto com distribuição Poisson (MPOI) para os dados de contagem de carrapatos.

O enfoque geral de modelos lineares generalizados mistos apresentados por Hadfield (2010), está fundamentado na utilização de um preditor linear ( $\eta_{ijkl}$ ), sendo que para os modelos lineares com dados reais e transformados, tem-se respectivamente,  $\eta_{ijkl} = CC_{ijkl}$  e  $\eta_{ijkl} = TCC_{ijkl}$ . Porém, ao assumir que  $CC_{ijkl} \sim Poisson(\lambda_{ijkl})$ , é necessário usar o conceito de função de ligação, sendo a mais usual a logarítmica, fazendo  $\eta_{ijkl} = \ln(\lambda_{ijkl})$ . Uma vez apresentadas as definições de preditores lineares para cada uma das análises consideradas, o seguinte modelo misto foi considerado

$$\eta_{ijkl} = \beta_0 + GC_i + GG_j + b_1 A_k + b_2 H_k + \alpha_k + e,$$

em que:  $\eta_{ijkl}$  são os referidos preditores lineares,  $\beta_0$  o intercepto,  $GC_i$  o efeito sistemático do i-ésimo grupo contemporâneo,  $GG_j$  o efeito sistemático do j-ésimo grupo genético,  $b_1$  o efeito linear da idade A do animal k no momento da contagem,  $b_2$  o efeito linear da heterozigose H do animal k e  $\alpha_k$  o efeito aleatório genético aditivo do k-ésimo animal. Para o efeito aleatório genético aditivo foi assumida distribuição Normal

$$(\alpha | \sigma_\alpha^2) \sim N[0, \mathbf{A}\sigma_\alpha^2]$$

em que  $\alpha$  é o vetor do efeito genético aditivo,  $\sigma_\alpha^2$  é a variância do efeito genético aditivo e  $\mathbf{A}$  é a matriz do numerador dos coeficientes de parentesco.

### ***Inferência Bayesiana***

As análises foram realizadas pelo método Bayesiano utilizando-se o pacote MCMCglmm (Hadfield, 2010), que encontra-se disponível em linguagem R (R Development Core Team, 2011).

Seguindo o teorema de Bayes, a densidade a posteriori do conjunto de parâmetros de interesse ( $\theta$ ) é dada por:  $p(\theta | y) \propto p(y | \theta)p(\theta)$ , sendo  $p(y | \theta)$  a função de verossimilhança (que representa a distribuição conjunta dos dados) e  $p(\theta)$  o conjunto de distribuições a priori para os parâmetros a serem estimados,

sendo estas últimas uma forma de se incorporar informações prévias a respeito dos parâmetros de interesse por meio da especificação de distribuições de probabilidades para os mesmos.

Tendo em vista os três diferentes enfoques para a distribuição dos dados fenotípicos de contagem de carrapato, Normal, transformação logarítmica e Poisson, assumiram-se as seguintes funções de verossimilhança:

$$p\{CC|\eta\} = \prod_{ijkl} N(CC_{ijkl} | \eta_{ijkl}, \sigma_e^2), \quad p\{TCC|\eta\} = \prod_{ijkl} N(TCC_{ijkl} | \eta_{ijkl}, \sigma_e^2) \quad e$$

$$p\{CC|\lambda\} = \prod_{ijkl} \frac{\lambda_{ijkl}^{CC_{ijkl}} \exp\{-\lambda_{ijkl}\}}{CC_{ijkl}}.$$

No âmbito do presente trabalho,  $\theta = \{\beta_0, GC_i, GG_j, b_1, b_2, \alpha_k, \sigma_\alpha^2 \text{ e } \sigma_e^2\}$ , sendo que para os parâmetros  $\beta_0$ ,  $GC_i$ ,  $GG_j$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  foram utilizadas distribuições de probabilidade não informativas, correspondentes a utilização de constantes, sendo portanto, o conhecimento prévio a respeito destes parâmetros insignificantes. Para os parâmetros  $\alpha$ ,  $\sigma_\alpha^2$  e  $\sigma_e^2$  foram consideradas, respectivamente, as seguintes distribuições a priori:  $N(\alpha|0, \mathbf{A}\sigma_\alpha^2)$ ,  $\Gamma^{-1}(\sigma_\alpha^2 | \nu_\alpha, S_\alpha)$  e  $\Gamma^{-1}(\sigma_e^2 | \nu_e, S_e)$  em que  $\Gamma^{-1}$  denota a distribuição Gama-Inversa. Dessa forma, a definição geral das distribuições a priori foi  $p(\theta) \propto p(\alpha | \sigma_\alpha^2) p(\sigma_\alpha^2) p(\sigma_e^2)$ .

Para cada modelo, foi gerada uma cadeia de 1.000.000 de amostras. Após o descarte das primeiras 200.000 amostras, procedeu-se um intervalo de descarte amostral de 100, restando 8.000 amostras baseadas nas quais as inferências foram realizadas. O diagnóstico de convergência foi realizado com o auxílio do pacote *boa* (Smith, 2007), disponível disponível em linguagem R (R Development Core Team, 2011). A convergência foi monitorada pela inspeção gráfica das amostras  $\times$  iterações e também pelos critérios propostos por Heidelberger e Welch (1983), Geweke (1992) e Raftery e Lewis (1992).

## Comparação de modelos

Os modelos foram comparados utilizando-se os seguintes critérios:

**1. Critério de Informação da Deviance (DIC)**, apresentado por Spiegelhalter et al. (2002):

$$DIC = \bar{D}(\theta) + p_D = 2\bar{D}(\theta) - D(\bar{\theta})$$

em que  $\bar{D}(\theta) = E_{\theta|y}[D(\theta)]$  (esperança a posteriori da deviance bayesiana) e  $D(\theta) = -2\log p(y|\theta)$ , representa a qualidade de ajuste do modelo. O número efetivo de parâmetros representa a penalização para o incremento da complexidade do modelo:  $p_D = \bar{D}(\theta) - D(\bar{\theta})$ , em que  $\theta$  é o vetor de parâmetros do modelo e  $D(\bar{\theta})$  é a deviance bayesiana avaliada em função das médias a posteriori dos parâmetros. Modelos que apresentam menores DIC indicam uma melhor qualidade de ajuste combinada com menor grau de complexidade.

O modelo MLOG utiliza a variável resposta na escala logarítmica, logo o DIC associado ao mesmo não pode ser comparado aos DIC dos outros dois modelos. Portanto tal critério foi utilizado somente para a comparação entre os modelos MLIN e MPOI.

**2. Quadrado médio do erro (QME):**

$$QME = n^{-1} \sum_{ijkl} (y_{ijkl} - \hat{y}_{ijkl})^2$$

em que  $\hat{y}_{ijkl}$  é a função da esperança condicional avaliada em função das médias a posteriori dos parâmetros,  $y_{ijkl}$  é o valor da observação (CC) correspondente e  $n$  é o número de observações. As funções da esperança condicional para os modelos lineares e Poisson foram  $\hat{y}_{ijkl} = \hat{\eta}_{ijkl}$  e  $\hat{y}_{ijkl} = \exp(\hat{\eta}_{ijkl}) \int \exp(e_{ijkl}) N(e_{ijkl} | 0, \hat{\sigma}_e^2)$   $\partial e_{ijkl} = \exp\left(\hat{\eta}_{ijkl} + \frac{1}{2}\hat{\sigma}_e^2\right)$ , respectivamente. Para o modelo MLOG,  $\hat{y}_{ijkl}$  foi novamente transformado para a escala original (CC) por  $\hat{y}_{ijkl} = 10^{\hat{\eta}_{ijkl}} - 1$  e somente depois foram realizados os demais cálculos.

### 3. Correlações de Pearson, Spearman e Percentual de animais em comum:

Adicionalmente, foram obtidas as correlações de Pearson entre  $\hat{y}_{ijkl}$  e  $y_{ijkl}$ , para os três modelos. Os modelos foram comparados também pela correlação de rank entre os valores genéticos dos animais, preditos pelos diferentes modelos bem como pelo percentual de animais em comum, entre os modelos, quando diferentes proporções de indivíduos são selecionados. Para isto, foram utilizadas as médias a posteriori para estes efeitos.

### 4. Validação cruzada

Para avaliar a habilidade de predição dos modelos foi realizada uma validação cruzada em que os dados foram divididos em dois conjuntos. Os animais jovens (2.053 observações), representando um terço dos dados, foram utilizados como conjunto de validação. Estes foram amostrados aleatoriamente a partir do conjunto de dados total de modo a garantir que seus pais (touros) tivessem filhos com dados tanto no conjunto de treinamento quanto no conjunto de validação. Esta amostragem foi realizada com o auxílio do pacote caret do programa R (Kuhn, 2008). Os dois terços restantes, nos quais estavam incluídos também os pais dos animais do conjunto de validação, foram utilizados como conjunto de treinamento do modelo. O quadrado médio do erro de predição (QMEP) foi utilizado para comparação dos modelos e definido como

$$QMEP = n^{-1} \sum_{l=1}^n (y_{ijkl} - \hat{y}_{ijkl})^2$$

em que  $\hat{y}_{ijkl}$  é a função da esperança condicional avaliada em função das médias a posteriori dos parâmetros, e  $l$  ( $l = 1, 2, \dots, 2.053$ ) representa as observações pertencentes ao conjunto de validação.

## Resultados e Discussão

O período de burn-in utilizado foi adequado e maior que o valor mínimo sugerido pelo teste de Raftery e Lewis (Tabela I). Os erros de Monte Carlo foram praticamente nulos, indicando que o tamanho final da cadeia é satisfatório para que sejam feitas as devidas inferências. Os valores resultantes do teste z-escore de Geweke (Tabela I) mostram a convergência do modelo, reportando o valor máximo de 1,71, sendo que todos os parâmetros, para cada um dos modelos, passaram no teste de estacionariedade de Heidelberg e Welch.

**Tabela I.** Testes de convergência e erro de Monte Carlo do amostrador de Gibbs

	MC <sub>ep</sub>	Burn-in	Z
<b><i>MLIN</i></b>			
Variância genético-aditiva	0,10	24.000	-0,60
Variância residual	0,09	9.000	0,65
<b><i>MLOG</i></b>			
Variância genético-aditiva	0,00	21.000	-1,49
Variância residual	0,00	9.000	1,71
<b><i>MPOI</i></b>			
Variância genético-aditiva	0,00	18.000	-0,99
Variância residual	0,00	9.000	0,88

MC<sub>ep</sub>: erro padrão de Monte Carlo; Burn-in: período de burn-in sugerido pelo teste de Raftery e Lewis; Z: z-score pelo teste de Geweke, MLIN: modelo Linear, MLOG: modelo Linear Transformado e MPOI: modelo Poisson

### ***Estimativas dos componentes de variância e herdabilidade***

Para o modelo MPOI os componentes de variância estão na escala log ( $\lambda$ ), enquanto que, para os modelos MLIN e MLOG os componentes de variância estão na escala observada (CC e TCC), tornando imprópria uma comparação direta entre os mesmos (Tabela II). No entanto, segundo Peñagaricano et al. (2010), uma comparação mais apropriada pode ser feita por meio de razões entre as variâncias, como a estimativa de herdabilidade, por exemplo. É possível observar, para os três modelos avaliados, que a variância residual estimada foi marcadamente maior que a variância genética aditiva, sugerindo que a variação nessa característica é



principalmente influenciada por diferenças ambientais. As estimativas de herdabilidade encontradas foram de baixa magnitude independentemente do modelo utilizado, concordando com as encontradas na literatura quando estimadas pela metodologia da máxima verossimilhança restrita e utilizando a transformação logarítmica nos dados observados (Prayaga e Henshal, 2005; Silva, 2006; Budeli et al., 2009).

**Tabela II.** Médias, desvios padrão e intervalos de credibilidade a posteriori dos componentes de variância e parâmetros genéticos para contagem de carrapatos nos diferentes modelos.

	<i>MLIN</i>	<i>MLOG</i>	<i>MPOI</i>
$\sigma_a^2$	<b>6,18(1,59)</b>	<b>0,01 (0,00)</b>	<b>0,10(0,03)</b>
<i>IC95</i>	3,91– 9,99	0,00 – 0,02	0,05 – 0,15
$\sigma_e^2$	<b>75,46(1,86)</b>	<b>0,11(0,00)</b>	<b>0,62(0,03)</b>
<i>IC95</i>	71,78 – 78,99	0,09 – 0,11	0,56 – 0,67
$h^2$	<b>0,08(0,02)</b>	<b>0,10(0,02)</b>	<b>0,14(0,04)</b>
<i>IC95</i>	0,05 – 0,12	0,05 – 0,15	0,07 – 0,21

$\sigma_a^2$  = variância aditiva;  $\sigma_e^2$  = variância residual;  $h^2$  = herdabilidade; *IC95* = intervalo de credibilidade de 95%, *MLIN*: modelo Linear, *MLOG*: modelo Linear Transformado e *MPOI*: modelo Poisson

Todavia, também foram encontradas na literatura estimativas de herdabilidade de média a alta magnitude para a característica contagem de carrapatos, por autores que utilizaram a metodologia da máxima verossimilhança restrita. Fraga et al. (2003), estudando a infestação por carrapatos em fêmeas da raça Caracu, encontraram estimativa de herdabilidade moderada para a característica (0,22), levando em consideração medidas tomadas durante o período de dois anos de amostragens. Já Burrow (2001), em pesquisa com animais cruzados, reportaram uma alta estimativa de herdabilidade para contagem de carrapatos (0,42).

As estimativas de herdabilidade encontradas por este estudo sugerem que há a possibilidade de seleção para característica, porém espera-se que o progresso genético seja lento.

### **Qualidade de ajuste dos modelos**

O modelo MPOI apresentou DIC destacadamente menor do que o modelo MLIN (Tabela III), sugerindo assim o modelo MPOI como o de melhor ajuste para a análise da característica contagem de carrapatos. Entretanto, não é possível utilizar o DIC para comparações entre modelos em que se tem transformação direta dos dados, como o modelo linear com transformação logarítmica.

**Tabela III.** Critério de Informação da Deviance (DIC), quadrado médio do erro (QME) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores observados e preditos para característica contagem de carrapatos.

	<i>MLIN</i>	<i>MLOG</i>	<i>MPOI</i>
DIC	52.128	-	33.377
QME	67,42	70,26	65,36
$R^2$	0,51	0,50	0,53

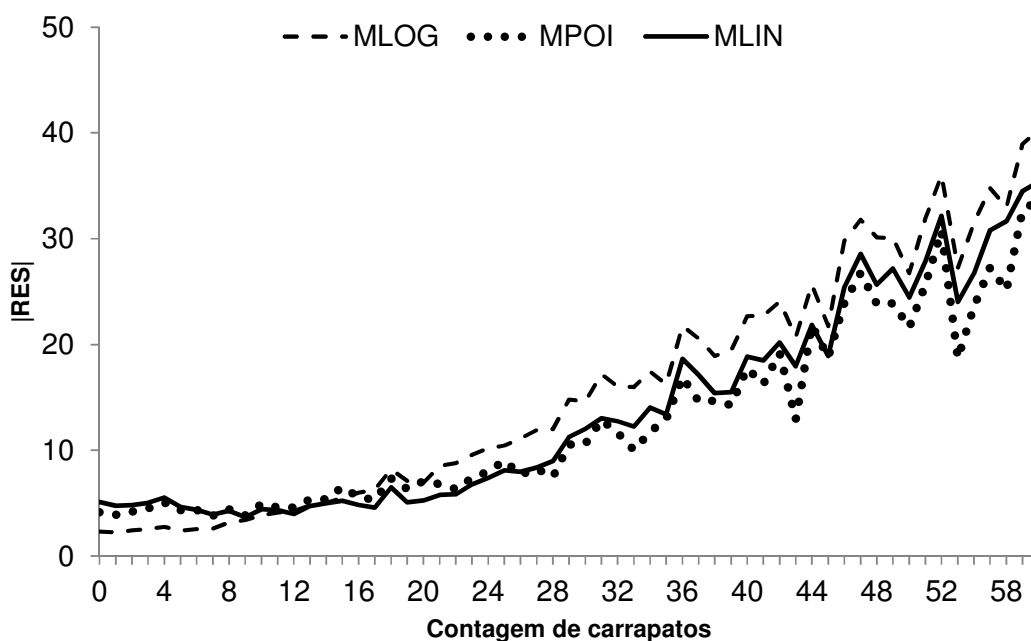
MLIN: modelo Linear, MLOG: modelo Linear Transformado e MPOI: modelo Poisson

Assim, pela análise do QME (Tabela III), em que é possível comparar os três modelos, observa-se uma discreta superioridade do modelo MPOI, enquanto que, os coeficientes de determinação entre as contagens de carrapato observadas e preditas foram muito semelhantes para todos os modelos. O tempo gasto por iteração na realização das análises foi muito semelhante entre os modelos, sendo que, para o modelo MPOI este foi 5% maior quando comparado aos modelos MLIN e MLOG.

Na Figura 2 é possível observar onde ocorreram as maiores falhas de ajuste, esta dada pelo valor absoluto dos resíduos, quando utilizados os modelos MLIN, MLOG e MPOI. Tanto o modelo MPOI como o MLIN apresentaram uma maior deficiência de ajuste para valores baixos de contagem de carrapatos, diferente do modelo MLOG que devido a transformação aplicada nos dados de contagem de carrapato apresentou melhor ajuste nos valores mais baixos e pior para valores

intermediários e altos, ocorrendo assim maior incremento no quadrado médio do erro para este modelo.

Penagaricaño et al. (2010) concluíram que a melhor performance do modelo Poisson, quando comparado aos modelos lineares, seja, possivelmente, devido à inclusão do termo residual em sua modelagem, que consegue capturar uma possível dispersão proveniente dos dados amostrados, levando a um melhor ajuste deste modelo para análises com dados de contagem.



**Figura 2.** Média do valor absoluto dos resíduos ( $|RES|$ ) para os modelos Linear (MLIN), Linear com transformação Logaritmica (MLOG) e Poisson (MPOI) de acordo com a contagem de carrapatos

### ***Predição de valores genéticos***

As correlações de rank entre os valores genéticos preditos mostraram diferenças entre os modelos no que diz respeito à classificação dos animais (Tabela IV). A maior correlação foi observada entre os modelos MLOG e MPOI (0,983), mostrando alta associação linear entre as classificações dos animais para os dois modelos; dessa forma pode se esperar pouca diferença entre estes.

**Tabela IV.** Correlação de rank (Spearman) entre os valores genéticos preditos

<b>Modelo</b>	<b><i>MLIN</i></b>	<b><i>MLOG</i></b>	<b><i>MPOI</i></b>
<b><i>MLIN</i></b>	1	0,864	0,890
<b><i>MLOG</i></b>	-	1	0,983
<b><i>MPOI</i></b>	-	-	1

MLIN: modelo Linear, MLOG: modelo Linear Transformado e MPOI: modelo Poisson

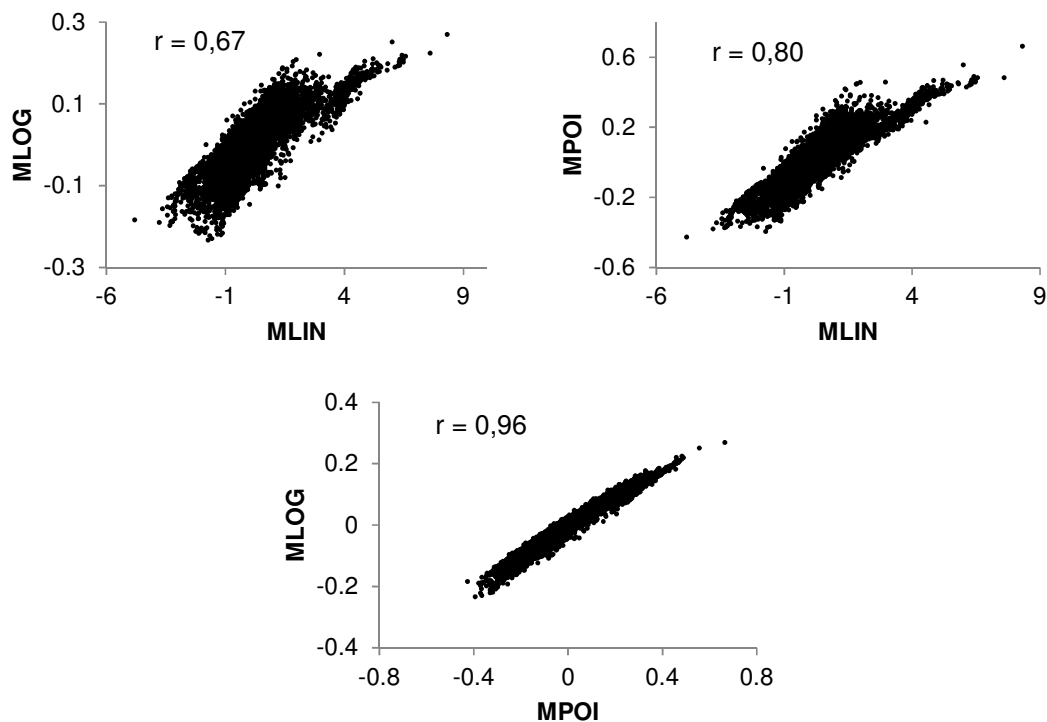
Embora o modelo MLIN tenha apresentado uma correlação alta com os demais modelos, esta foi menor que a obtida entre os valores genéticos preditos utilizando MLOG e MPOI, evidenciando assim uma alteração significativa nas classificações dos animais. Como esperado, a medida que a intensidade de seleção diminui, maior é a coincidência dos animais selecionados (Tabela V). Entretanto, a coincidência é baixa quando comparados os modelos MLIN-MLOG e MLIN-MPOI, exceto sobre baixa intensidade de seleção. Por outro lado, maior coincidência foi observada entre os modelos MLOG-MPOI concordando com a maior correlação de rank encontrada entre os mesmos.

**Tabela V.** Percentual de animais em comum quando diferentes proporções de indivíduos são selecionados utilizando-se os valores genéticos preditos com os diferentes modelos

b (%)	Modelos		
	MLIN-MLOG	MLIN-MPOI	MLOG-MPOI
	Percentual de animais em comum		
1	20	41	69
5	45	55	82
10	54	64	85
20	67	74	89
40	79	84	93
60	88	90	96

b(%): proporção de animais selecionados, MLIN: modelo Linear, MLOG: modelo Linear Transformado e MPOI: modelo Poisson

A Figura 3 mostra o grau de associação entre os efeitos genéticos preditos (correlação de Pearson) pelos modelos MLIN, MLOG e MPOI. Como esperado, observou-se uma maior associação entre os valores genéticos preditos com os modelos MLOG e MPOI.



**Figura 3.** Associação (correlação de Pearson) entre os valores genéticos preditos pelos modelos MLIN, MLOG e MPOI

#### ***Habilidade preditiva dos modelos na validação cruzada***

Por meio da validação cruzada foram obtidos os valores de 90,19, 96,16 e 86,73 para o quadrado médio do erro de predição para os modelos MLIN, MLOG e MPOI, respectivamente. Com esses valores foi possível observar uma discreta superioridade do modelo MPOI com adição do termo residual, quanto à habilidade em prever futuro desempenho fenotípico da progênie dos animais. Frequentemente,

modelos lineares com transformações diretas dos dados (logarítmica, Box-Cox) são utilizados para estudos de estimação de componentes de variância e parâmetros genéticos para resistência a carrapato (Fraga et al., 2003; Prayaga e Henshal, 2005; Budeli et al., 2009; Silva et al., 2010), dado que a distribuição dos dados de contagem não se adequa às pressuposições dos modelos lineares podendo levar a previsões errôneas. Entretanto, não foram encontrados trabalhos na literatura que avaliem o desempenho de modelos lineares generalizados e sua comparação com os modelos tradicionalmente utilizados, para a característica contagem de carrapatos.

Em outras características avaliadas por contagem, como, o número de ocorrências de casos de mastite durante o período de lactação ou número de manchas pretas em ovinos lanados, a escolha de modelos por validação cruzada mostrou que modelos lineares generalizados, como Poisson com resíduo ou Poisson com inflação de zeros, podem acomodar melhor uma possível dispersão dos dados de contagem, apresentando melhor performance tanto no ajuste quanto na habilidade preditiva (Naya et al., 2008; Penagaricaño et al., 2010; Vazquez et al., 2011).

A utilização do modelo Poisson com resíduo parece ser uma boa opção para avaliação genética dos animais para contagem de carrapatos, por ser o modelo que proporcionou melhor ajuste e habilidade preditiva, mesmo que as diferenças com os demais modelos tenham sido discretas. Porém, se levarmos em conta a real necessidade da avaliação genética para resistência a carrapato, que não é prever as observações fenotípicas, mas sim estimar da forma mais acurada possível os valores genéticos com o objetivo de selecionar animais mais resistentes como pais da próxima geração, o modelo Linear Transformado apresenta resultados competitivos por sua alta correlação de rank com o modelo Poisson e principalmente pela simplicidade de implementação.

## **Conclusões**

A característica contagem de carrapatos em bovinos cruzados apresenta de baixa a média herdabilidade para os rebanhos estudados, devendo responder à seleção à longo prazo. O modelo Poisson com resíduo apresentou um melhor ajuste quando comparado aos modelos lineares com ou sem transformação logarítmica das observações. Os efeitos aleatórios preditos pelos modelos Poisson e Linear com transformação Logarítmica foram altamente correlacionados e a validação cruzada mostrou melhor habilidade do modelo Poisson em prever observações futuras. Para efeito de seleção genética de animais resistentes ao carrapato tanto o modelo Poisson como o modelo Linear transformado poderiam ser empregados.

### Referências Bibliográficas

- BUDELI, M.A.; NEPHAWA, K.A.; NORRIS, D.; SELAPA, N.W.; BERGH, L.; MAIWASHE, A. Genetic parameter estimates for tick resistance in Bonsmara cattle. *South African Journal of Animal Science*, 2009.
- BURROW, H.M. Variances and covariances between productive and adaptive traits and temperament in a composite breed of tropical beef cattle. *Livestock Production Science*, v. 70, p. 213 – 233, 2001.
- CARDOSO, V.; FRIES, L.A.; ALBUQUERQUE, L.G. Comparação de diferentes métodos de avaliação da resistência genética de bezerros F1 Angus X Nelore desmamados ao carrapato *Boophilus microplus*. In: III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal, Belo Horizonte, MG, 2000. Anais. III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal, Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 2000, p. 460-463.
- FRAGA, A.B.; ALENCAR, M.M., FIGUEIREDO, L.A., RAZOOK, A.G.; CYRILLO, J.N.S.G. Análise de fatores genéticos e ambientais que afetam a infestação de fêmeas bovinas da raça Caracu por carrapato (*Boophilus microplus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, p. 578-1586, 2003.
- GEWEKE, J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments. In: BERNARDO, J.M.; BERGER, J.O.; DAVID, A.P.; SMITH, A.F.M. (Ed.). *Bayesian statistics*. New York: Oxford University, 1992. Cap.4, p.625-631.
- GUERRERO, F.D. Cattle Tick Genome Sequencing and Transcriptome Analysis. USDA. Disponível em: [http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn\\_no=421301](http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn_no=421301). Acesso em :Outubro 2011.
- GRISI, L.; MASSARD, C.L.; MOYA BORJA, G.E.; PEREIRA, J.B. Impacto econômico das principais ectoparasitoses em bovinos no Brasil. *A Hora Veterinária*, n. 125, p.8-10, 2002.
- HADFIELD, J. MCMC Methods for Multi-Response Generalized Linear Mixed Models: The MCMCglmm R Package. *J. Stat. Softw.*, v.33, p.1–22, 2010.
- HALL, D.B. Zero-Inflated Poisson and Binomial Regression with Random Effects: A Case Study. *Biometrics*, v.56, p. 1030 –1039, 2000.



- HEIDELBERGER, P.; WELCH, P.D. Simulation run length control in the presence of an initial transient. *Operations Research* Landing, v.31, p.1109-1144, 1983.
- KUHN, M. Building Predictive Models in R Using the caret Package. *J. Stat. Softw.*, v 28, p.1-26, 2008.
- MARTINEZ, M.L.; SILVA, M.V.G.B.; MACHADO, M.A. ET AL. A biologia molecular como aliada no combate aos carrapatos. (Compact Disc) IN: Simpósio Nacional da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, 5., Pirassununga, 2004. Anais. Pirassununga:SBMA, 2004.
- NAYA, H.; URIOSTE J.I.; CHANG, Y.; RODRIGUES-MOTTA, M.; KREMER, R.; GIANOLA, D. A comparison between Poisson and zero-inflated Poisson regression models with an application to number of black spots in Corriedale sheep. *Genetic Selection Evolution*, V.40, p.379 – 394, 2008.
- NARI, A . Strategies for the control of one-host ticks and relationship with tick-borne diseases in South América. *Veterinary Parasitology*, v.57, p.153-165,1995.
- OLIVEIRA, G.P.; ALENCAR, M.M. Resistência de bovinos ao carrapato *Boophilus microplus*. I Infestação Artificial. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.22, n.4, p.433-438, 1987.
- PEÑAGARICANO, F.; URIOSTE, J.I.; NAYA, H.; de LOS CAMPOS, G.; GIANOLA, D. Assessment of Poisson, Probit and linear models for genetic analysis of presence and number of black spots in Corriedale sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, v.128, p. 105 -113, 2010.
- PRAYAGA, K.C.; HENSHALL, J.M. Adaptability in tropical beef cattle: genetic parameters of growth, adaptive and temperament traits in a crossbred population. *Australian Journal of Experimental Agricultural*, v.45, p.971–983, 2005.
- R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (available at: <http://www.R-project.org>; last accessed November 2011).
- RAFTERY A.E.; LEWIS S.M. Comment: one long run with diagnostics: implementation strategies for Markov Chain Monte Carlo. *Stat. Sci.*, 7, 493–497, 1992.
- SILVA, A.M. Estudo de infestações de fêmeas bovinas de corte pelo *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*, *Haematobia irritans* e *Dermatobia hominis*. 2006. 144p. Tese – Doutorado–Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

- SILVA, A.M., ALENCAR, M.M., REGITANO, L.C.A.; OLIVEIRA, M.C.S. Infestação natural de fêmeas bovinas de corte por ectoparasitas na Região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, p.1477-1482, 2010.
- SMITH B.J. Boa: An R Package for MCMC Output Convergence Assessment and Posterior Inference. *J. Stat. Softw.*, 21, 1–37, 2007.
- SPIEGELHALTER, D.; BEST, N.; CARLIN, B.; Van der LINDE, A. Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal Royal Statistical Society, Series B*, v.64, p.583-639, 2002.
- SORENSEN D.; GIANOLA D. Likelihood, Bayesian, and MCMC Methods in Quantitative Genetics. Springer, New York, NY, USA, 2002.
- VAZQUEZ, A.I.; PEREZ-CABAL, M.A.; HERINGSTAD, B.; RODRIGUES-MOTTA, M.; ROSA, G.J.M.; GIANOLA, D.; WEIGEL, K.A. Predictive ability of alternative models for genetic analysis of clinical mastitis. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, p. 1-9 , 2011.