

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE VETERINÁRIA**  
Programa de Pós-graduação em Zootecnia

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA  
AVALIAÇÃO REPRODUTIVA DE TOUROS  
GIROLANDO**

**VANESSA AMORIM TEIXEIRA**

**Belo Horizonte**  
**Escola de Veterinária – UFMG**  
**2018**

VANESSA AMORIM TEIXEIRA

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA AVALIAÇÃO  
REPRODUTIVA DE TOUROS GIROLANDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós –  
Graduação em Zootecnia da Escola de  
Veterinária da Universidade Federal de Minas  
Gerais, como requisito parcial para obtenção do  
grau de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal  
Prof<sup>ª</sup>.Orientadora: Sandra Gesteira Coelho  
Coorientadores: D.Sc. Thierry Ribeiro Tomich e  
D.Sc. Mariana Magalhães Campos

**Belo Horizonte**  
**Escola de Veterinária – UFMG**  
**2018**

T266t Teixeira, Vanessa Amorim, 1989-  
Termografia infravermelha na avaliação reprodutiva de touros Girolando / Vanessa Amorim Teixeira. – 2018.  
74 p. : il.

Orientadora: Sandra Gesteira Coelho  
Coorientadores: Thierry Ribeiro Tomich, Mariana Magalhães Campos  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária  
Inclui bibliografia

I. Bovino de leite – Reprodução – Teses. 2. Termografia – Teses. 3. Sêmen – Análise – Teses. 4. Produção animal – Teses. I. Coelho, Sandra Gesteira. II. Tomich, Thierry Ribeiro. III. Campos, Mariana Magalhães. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. V. Título.

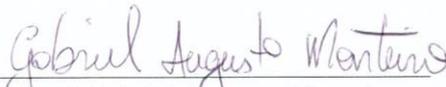
CDD – 636.214 089 26

Dissertação defendida e aprovada em 28 de Fevereiro de 2018 pela comissão examinadora constituída por:



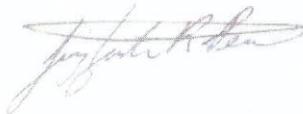
---

Prof.ª Sandra Gesteira Coelho  
Orientadora  
(Escola de Veterinária da UFMG)



---

Prof. Gabriel Augusto Monteiro  
(Escola de Veterinária da UFMG)



---

Prof. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira  
(EMBRAPA Gado de Leite)

*Ando devagar porque já tive pressa  
Levo esse sorriso porque já chorei demais  
Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe  
Só levo a certeza de que muito pouco eu sei  
Eu nada sei.  
Conhecer as manhas e as manhãs,  
O sabor das massas e das maçãs,  
É preciso amor pra poder pulsar,  
É preciso paz pra poder sorrir,  
É preciso a chuva para florir  
Penso que cumprir a vida seja simplesmente  
Compreender a marcha e ir tocando em frente  
Como um velho boiadeiro levando a boiada  
Eu vou tocando os dias pela longa estrada eu vou  
Estrada eu sou.  
Todo mundo ama um dia todo mundo chora,  
Um dia a gente chega, no outro vai embora  
Cada um de nós compõe a sua história  
Cada ser em si carrega o dom de ser capaz  
De ser feliz.*

*(Renato Teixeira, Tocando em frente).*

*A Deus, pela presença constante em minha vida, aos meus familiares e amigos que me apoiaram e  
incentivaram em todos os momentos.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que me iluminou e me deu forças nos momentos em que mais precisei para vencer os obstáculos surgidos durante essa caminhada.

Aos meus pais Luciano e Marlene, que são meu porto seguro e minha vida, tudo que sou e que conquistei devo a eles, e faço por eles.

À toda minha família, principalmente meus avós Olga e Daniel, tios principalmente Eliana e Breno e primos, pelo amor, presença e apoio incondicional em todos os momentos de minha vida.

Aos meus avós Elvira e José Amorim que já estão ao lado de Deus, sempre cuidando de mim dos céus.

À minha orientadora professora Sandra Gesteira Coelho, pela oportunidade, confiança, atenção e orientações fundamentais. Obrigada pela paciência, amizade e disponibilidade.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo suporte financeiro para realização desta pesquisa e concessão da bolsa de mestrado.

À Embrapa Gado de Leite - CNPGL, pelo suporte financeiro e pela estrutura para a execução experimental e análises.

Aos Funcionários do Campo Experimental José Henrique Bruschi pelo acolhimento, ajuda e amizade, a todos, que se tornaram minha segunda família.

À Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, pela confiança e oportunidade de trabalharmos mais uma vez juntos.

Aos pesquisadores Mariana Magalhães Campos, Fernanda Samarini e em especial á Luiz Gustavo Ribeiro Pereira e Thierry Ribeiro Tomich pela amizade, oportunidade, paciência e principalmente pela confiança, muito obrigada.

Aos Mestres e hoje amigos José Avelino, Rogério Carvalho de Souza, Rafahel Carvalho de Souza, Alex Matos Teixeira, Ronaldo Braga Reis, Lúcio Carlos Gonçalves e Ângela Maria Quintão Lanna pela amizade, experiência, paciência e todos os conselhos em todos os momentos da minha caminhada.

Aos grandes amigos da vida, pelo convívio, amizade e descontração durante esta caminhada. Em especial aos amigos Khristininha, Camila, Thiago, Joelma, Tânia, Samara, Paulo, Naty, Paty, Victor e Hilton pelo grande apoio durante todo o momento, enfim a todos os colegas da Pós-Graduação.

Aos novos colegas de Embrapa: Raquel, Juliane, Marina, Cassia, Ed, Polinart, Getúlio, Aloma, Tom, Karina e Maria enfim todos que passaram de uma forma especial na minha vida.

Ao colegiado da Pós-graduação em Zootecnia e á Escola de Veterinária da UFMG, por todo apoio, acolhida e disponibilidade.

À banca examinadora pela valiosa contribuição e disponibilidade.

Finalmente, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho os meus sinceros agradecimentos. Muito obrigada e que Deus retribua e abençoe a todos.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Girolando na cadeia produtiva do leite .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Girolando e cruzamentos .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Teste de progênie e critérios de seleção de touros.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.2 Classificação andrológica por pontos.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.3 Avaliação morfológica de tipo para características funcionais .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.4 Avaliação do temperamento.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.5 Índice final de classificação de touros.....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Espermatogênese, termorregulação testicular e efeitos do aumento da temperatura testicular em relação a qualidade espermática .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4.1 Espermatogênese .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4.2 Termorregulação testicular.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4.3 Elevação da temperatura testicular .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Termografia infravermelho .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5.1 Termografia infravermelho na medicina veterinária e na produção animal.....</b>	<b>35</b>
<b>3.5.2 Termografia infravermelho na reprodução.....</b>	<b>36</b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>38</b>
<b>5. ARTIGO.....</b>	<b>53</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>15</b>

---

**LISTA DE TABELAS DISSERTAÇÃO:**

---

Tabela 1. Número de rebanhos e de lactações, médias de produção de leite em 305 dias e total das três primeiras lactações, duração da lactação, intervalo de partos de vacas Girolando no período de 2000 a 2015.....	19
Tabela 2. Classificação andrológica por pontos para touros taurinos baseada na circunferência escrotal e características físicas e morfológicas do sêmen.....	26

---

---

**LISTA DE TABELAS ARTIGO:**

---

Tabela 1. Médias de idade (em dias), peso corporal, morfologia e temperamento e de avaliação do exame andrológico de touros da raça Girolando de composição racial.....	63
Tabela 2. Temperaturas do ar, retal, ocular e escrotal e suas diferenças em touros Girolando de composição racial.....	64
Tabela 3. Correlações de spearman ( $\rho$ ), nível de significância (valor $\rho$ ) e número de observações (N) entre ambiente e animal com indicadores de qualidade espermática de touros Girolando.....	65
Tabela 4. Correlações de Spearman ( $\rho$ ), nível de significância (valor $\rho$ ) e número de observações (n) entre variáveis morfológicas com indicadores de condição climática, temperatura do animal e temperaturas termográficas em touros Girolando.....	66
Tabela 5. Coeficiente de correlação de postos de Spearman ( $\rho$ ), valor de significância (P-value) e número de observações (N) para temperaturas termográficas em touros Girolando .....	66
Tabela 6. Temperaturas máximas das linhas 1 (dorsal) e 2 (ventral) escrotal e suas diferenças em touros Girolando de acordo com a composição racial.....	67

---

---

**LISTA DE GRÁFICOS E FIGURAS DA DISSERTAÇÃO:**

---

Quadro 1. Cruzamentos da Raça Girolando .....	20
---	----

---

---

**LISTA DE GRÁFICOS E FIGURAS DO ARTIGO:**

---

Figura 1. Imagens Termográficas da região ocular .....	60
Figura 2. Imagem Termográfica da região escrotal.....	60

---

---

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

---

kg: quilograma

CAP: Classificação andrológica por pontos

TIV: Termografia infravermelho

Nº: Número

Cm<sup>3</sup>: Centímetro cúbico

Cm: Centímetro

IP: Intervalo entre partos

PS: Puro sintético

PTA: *Predicted transmitting ability*

EEC: Escore de condição corporal

EPM: Erro padrão da média

GMD: Ganho médio diário

MG: Minas Gerais

mL: Mililitro

°C: Graus Celsius

%: Porcentagem

ITEMP: Índice de temperamento

IFCT: Índice final de classificação de touros

DNA: Acido desoxirribonucleico

ITU: Índice de temperatura e umidade

HZ: Holandês Zebu

ROS: Espécies reativas de oxigênio

CMT: *California Mastitis Test*

CEUA: Comissão de Ética no Uso de Animais

INMET: Instituto nacional de meteorologia

UR: Umidade Relativa

---

---

MAPA: Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CE: Circunferência escrotal

CBRA: Colégio Brasileiro de reprodução Animal

µl: Microlitro

mm: Milímetro

T°C: Temperatura em graus Celsius

Δ: Diferença

CONS: Consistência

TURB: Turbilhonamento

VIG: Vigor

MOT: Motilidade

DMAI: Defeitos espermáticos maiores

DMEN: Defeitos espermáticos menores

DTOT: Defeitos espermáticos totais

CMIL: Concentração espermática

TAR: Temperatura do ar

TRET: Temperatura retal

OMAX: Temperatura termográfica máxima do olho

OMIN: Temperatura termográfica mínima do olho

OMED: Temperatura termográfica média do olho

L1MAX: Temperatura da linha um (dorsal) máxima

L1MIN: Temperatura da linha um (dorsal) mínima

L1MED: Temperatura da linha um (dorsal) média

L2MAX: Temperatura da linha dois (ventral) máxima

L2MIN: Temperatura da linha dois (ventral) mínima

L2MED: Temperatura da linha dois (ventral) média

DIF L1-L2: Diferença da linha dorsal para a ventral

IDD: Idade em dias

ZTN: Zona termo neutra

ATP: Adenosina trifosfato

---

## RESUMO

Objetivou-se avaliar a qualidade do sêmen de touros Girolando de diferentes composições raciais e correlaciona-la à termografia infravermelha. Foram avaliados 64 touros 3/4 Holandês + 1/4 Gir (3/4 HOL) e 64 touros 5/8 Holandês + 3/8 Gir (5/8 HOL) com  $28,1 \pm 6,61$  meses de idade e  $579 \pm 125$  kg de peso vivo. A classificação andrológica por pontos considerou índices de pontuação para motilidade, vigor, morfologia espermática, circunferência escrotal e idade. A termografia infravermelha foi realizada na região ocular e escrotal. Para avaliação da capacidade de termorregulação dos touros foi calculada a diferença ( $\Delta$ ) entre a temperatura ambiente e a temperatura retal e da  $T^{\circ}\text{C}$  do ambiente, temperaturas máximas do olho e escroto e  $\Delta$  das temperaturas da linha mais dorsal e ventral do escroto (DIF L1 – L2). A avaliação do efeito da composição genética foi realizada utilizando-se modelo linear misto, considerando efeito fixo da composição genética e efeito aleatório o ano de avaliação. Utilizou-se o coeficiente de correlação de postos de Spearman para associar os dados de termografia aos parâmetros reprodutivos. A significância do efeito de composição genética foi considerada adotando-se  $\alpha$  igual a 0,05. Verificou-se que a capacidade de termorregulação interfere na eficiência reprodutiva dos touros Girolando, independente da composição racial (DIF L1 – L2,  $P < 0,0001$ , para ambos grupos raciais), entretanto nas condições ambientais ocorridas durante a execução deste experimento, a composição racial foi mais importante para a definição da qualidade de sêmen do que a capacidade de regulação da temperatura do escroto. A composição racial influenciou mais os defeitos maiores (DMAI) ( $P < 0,0001$  para o 5/8 HOL quando comparado aos 3/4 HOL) e as temperaturas retal e escrotal os defeitos menores (DMEN) ( $P < 0,0001$ ) dos espermatozóides. Touros 3/4 HOL apresentam características reprodutivas e morfologia corporal superiores em relação aos touros 5/8 HOL, que por sua vez apresentaram maior capacidade de termorregulação da temperatura escrotal. Os resultados indicam que a termografia por infravermelho pode ser usada como método alternativo não invasivo e complementar na avaliação reprodutiva de touros, apresentando relação com a concentração espermática e características morfológicas dos espermatozóides.

**Palavras chave:** Termografia infravermelho, gado de leite, touros, qualidade de sêmen

## ABSTRACT

The objective was to evaluate the semen quality of Girolando bulls from different racial compositions and to correlate it with infrared thermography. A total of 64 bulls 3/4 Dutch + 1/4 Gir (3/4 HOL) and 64 bulls 5/8 Dutch + 3/8 Gir (5/8 HOL) were evaluated, with  $28.1 \pm 6.61$  months of age and  $579 \pm 125$  kg live weight. The andrological classification by points considered scoring indices for motility, vigor, sperm morphology, scrotal circumference and age. Infrared thermography was performed in the ocular and scrotal anatomical regions. For the evaluation of the thermoregulation capacity of the bulls, the difference ( $\Delta$ ) between the ambient temperature and the rectal temperature and the  $T^{\circ}$  of the environment, maximum temperatures of the eye and scrotum, and difference in the temperatures of the most dorsal and ventral line of the scrotum (DIF L1 - L2). The evaluation of the effect of the genetic composition was performed using a linear mixed model, considering the fixed effect of the genetic composition and the random effect of the year of evaluation. The Spearman rank correlation coefficient was used to associate the thermography data with the reproductive parameters. The significance of the effect of genetic composition was considered adopting  $\alpha$  equal to 0.05. It was verified that thermoregulation capacity interferes in the reproductive efficiency of the Girolando bulls, regardless of the racial composition (DIF L1 - L2,  $P < 0.0001$ , for both racial groups), however in the environmental conditions occurred during the execution of this experiment, the composition racial relationship was more important for the definition of semen quality than the ability to regulate the temperature of the scrotum. Racial composition more strongly influenced the major defects (DMAI) ( $P < 0.0001$  for 5/8 HOL when compared to 3/4 HOL) and rectal and minor scrotal temperatures (DMEN) ( $P < 0.0001$ ) of spermatozoa. Bulls 3/4 HOL have superior reproductive characteristics and body morphology in relation to 5/8 HOL bulls, which in turn presented a greater thermoregulation capacity of the scrotal temperature. The results indicate that infrared thermography can be used as an alternative non - invasive and complementary method in the reproductive evaluation of bulls, with relation to sperm concentration and morphological characteristics of spermatozoa.

Key words: Infrared thermography, milk cattle, bulls, semen quality

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas - DESA, no ano de 2016 a população mundial atingiu a marca dos 7,3 bilhões de habitantes, com projeções para 9,7 bilhões de habitantes no ano de 2050. O crescimento da população associado a mudanças nos hábitos de consumo alimentar, melhoria no poder aquisitivo, condições de saúde e bem-estar das pessoas, tem promovido aumento no consumo per capita de alimentos de origem animal. De modo geral, garantir alimentos saudáveis e de qualidade a toda essa população, de forma sustentável é um dos grandes desafios desse século. Com foco no cenário mundial, o Brasil terá papel fundamental na produção de alimentos e no combate à fome, com condições reais de obter o crescimento agrícola e pecuário de forma sustentável.

O leite, por ser um alimento de elevada densidade nutricional, econômica e ser importante social e economicamente, é considerado produto com grande possibilidade de expansão no país. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) prevê para a próxima década o crescimento de 2,1 a 3,0% ao ano na produção de leite no Brasil, chegando ao final da projeção 2017 - 2027, com produção correspondente a 43 a 48 bilhões de litros de leite (MAPA, 2017). No ranking mundial para produção de leite de vaca, o Brasil ocupa a quinta posição, segundo o Serviço Nacional de Estatísticas Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-NASS, 2016), atrás da União Europeia, Estados Unidos, Índia e China, com crescimento de 2,7% e produção de 34,9 bilhões litros em 2017 (IBGE, 2017).

Recursos genéticos adaptados ao ambiente tropical garantem produção com melhor custo benefício (Santana et al., 2014; Paranhos da Costa et al., 2015). O cruzamento entre o Holandês como raça de origem Europeia e o Gir como raça de origem Zebu (*Bos taurus taurus* x *Bos indicus indicus*) para a produção leiteira é alternativa relevante para o desenvolvimento do setor lácteo em ambiente tropical, contribuindo com aproximadamente 80% do leite produzido no Brasil (Canazacayo et al., 2016; FAO, 2017). O Girolando é caracterizado pelo alto potencial de adaptabilidade às adversidades climáticas. Na busca de animais mais produtivos e, ao mesmo tempo, mais longevos e adaptados aos extremos climáticos e parasitários; os programas de melhoramento genético têm intensificado os testes de progênie para

validação do potencial produtivo e reprodutivos dos touros da raça Girolando. A fertilidade do touro é um dos principais critérios avaliados e ponderados para se alcançar índices produtivos ideais; principalmente no Brasil onde 90% das fêmeas em idade reprodutiva são acasaladas pelo sistema de monta natural (Associação Brasileira de Inseminação Artificial – ASBIA, 2017).

Atualmente, a raça Girolando é a que mais cresce na produção de sêmen no Brasil chegando à marca de 641.360 doses produzidas no ano de 2015, o que representa aumento de mais que 70% em relação ao ano de 2013. Ressalta-se ainda o incremento na produtividade do leite produzido por vacas do controle leiteiro oficial da Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, já que no ano 2000 a produção média era 3.703 kg de leite/lactação e em 2015 esta produção foi de 5.220 kg de leite/lactação, o que representa aumento de 41%, na produção de leite (Silva et al., 2016).

Obter bons índices reprodutivos se torna um ponto estratégico para a lucratividade na bovinocultura, principalmente em ambiente tropical, onde o desafio com o estresse térmico é elevado. O impacto de um reprodutor no desempenho reprodutivo do rebanho é de extrema importância, de modo que a proporção touro:vaca pode variar de 1:20 à 1:100 o que implica na relevância da fertilidade do touro na rentabilidade do sistema produtivo que este esteja envolvido (Franco et al., 2006). Neste contexto, quando se utiliza machos com potencial reprodutivo elevado e alto valor genético, pode-se reduzir o número de touros em serviço e acelerar o ganho genético do rebanho (Fordyce et al., 2002).

Para ampliar a capacidade reprodutiva, seja para inseminação artificial ou monta natural, os reprodutores devem produzir espermatozóides morfologicamente normais, e em grande quantidade (Kastelic, 2014). Para que ocorra uma espermatogênese eficaz a temperatura dos testículos tem que estar de 2 e 6°C abaixo da temperatura corporal (Kastelic, 2014a). Diversos fatores podem influenciar a termorregulação testicular e escrotal, dentre eles a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar. Segundo Brito et al. (2004) os efeitos da elevação da temperatura testicular apresentam reflexos diretos na queda da produção e qualidade espermática, como também na fertilidade dos touros, acarretando em perda econômica que implica em menor taxa de prenhez consequentemente, menor taxa de parto. São poucos os trabalhos que avaliam a influência do clima sobre a fertilidade de touros Girolando em países de clima tropical (Ruediger et al., 2016).

Neste contexto torna-se importante estudar a correlação entre termografia superficial escrotal, características do sêmen e fatores climáticos em touros Girolando. A termografia infravermelho (TIV) é um método indireto não invasivo que vem sendo utilizado como tecnologia auxiliar para a mensuração da temperatura na superfície escrotal. Essa técnica mostra-se como alternativa promissora para avaliar a capacidade de termorregulação testicular dos touros criados em ambiente tropical possibilitando identificar animais mais adaptados.

Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade reprodutiva dos touros Girolando e correlacionar com as temperaturas termográficas da superfície do escroto de touros desta raça com diferentes participações de Gir e Holandês na sua formação e avaliar o uso da termografia por infravermelho como ferramenta auxiliar para seleção de touros Girolando.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade reprodutiva dos touros Girolando de diferentes composições raciais e correlaciona-la com as temperaturas termográficas da superfície do escroto, aferindo, assim, o uso da termografia por infravermelho como método auxiliar para pré-seleção dos touros desta raça.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a qualidade do sêmen dos touros girolando de diferentes composições raciais;
- Comparar os diferentes grupos raciais de touros Girolando quanto a qualidade reprodutiva;
- Comparar a  $\Delta$  dos dados das temperaturas termográficas com as temperaturas de superfície do escroto e correlacionar com aspectos reprodutivos.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Girolando na cadeia produtiva do leite

Nas últimas três décadas a produção mundial de leite aumentou mais de 50%, passando de 500 milhões de toneladas em 1983 para 769 milhões de toneladas em 2013 (FAO, 2017). Em 2010 o volume produzido foi de 29 bilhões de litros/ano. Em 2015 esse número passou para mais de 35 bilhões de litros/ano; o que representa aumento de 21% da produção. Este crescimento foi interrompido em 2016, com queda de 4,9%. A tendência é que a produção cresça em torno de 4% devido ao aumento no consumo de produtos de origem animal. O Brasil ocupa no cenário mundial a quinta posição em volume de leite produzido (Vilela et al., 2017).

Os índices de produtividade nacionais são relativamente baixos. Enquanto, de acordo com Serviço Nacional de Estatísticas Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-NASS, 2016), a produtividade média de uma vaca nos EUA ultrapassa os 10,4 mil litros de leite por ano, conforme o IBGE (2016), a média brasileira é de 1.609 litros/vaca/ano; fato que indica uma oportunidade para ampla expansão da produção leiteira no país e no ambiente tropical como um todo.

Nesse sentido, os produtores nacionais têm optado por utilizar animais adaptados às adversidades climáticas e zootécnicas observadas em países localizados nas zonas tropicais e subtropicais. Dentre as adversidades, destacam-se o estresse térmico e a elevada ocorrência de endo e ectoparasitas. Essas são algumas das principais limitações da produção das raças taurinas nas condições tropicais, que são menos impactantes para sistemas que utilizam animais oriundos dos cruzamentos com raças zebuínas (Ruas, 2014), sendo uma das estratégias desenvolvidas para contornar esta situação o desenvolvimento de raças leiteiras adaptadas às condições tropicais de produção.

A raça Girolando foi criada com objetivo de formação de um grupamento étnico capaz de produzir leite de modo sustentável nas regiões tropicais. Esses animais são oriundos do acasalamento das raças Gir (*Bos taurus indicus*) e Holandês (*Bos taurus taurus*), adicionando e perdendo características de ambas raças (Madalena et al., 2012). A utilização de cruzamentos é um método empregado para melhorar eficiência produtiva e amenizar problemas sanitários associados às condições climáticas. Nesse caso, é possível a introdução de genes favoráveis, com a remoção da depressão da

consanguinidade, mantendo-se as interações gênicas responsáveis pela heterose (Paranhos da Costa et al., 2000). No Brasil, mais de 74% das vacas ordenhadas são Girolando (Canazacayo, 2016).

No ano de 2000, considerando as três primeiras lactações de 31.552 vacas Girolando controladas em 778 rebanhos participantes do serviço de controle leiteiro, a média de leite/lactação encerrada era 3.703 kg. Já em 2015, a produção e duração da lactação foram de 5.204 kg de leite e 283 dias, respectivamente, representando o incremento de 41%, na produtividade (Tabela 1) (Silva et al., 2016).

Tabela 1. Número de rebanhos e de lactações, médias de produção de leite em 305 dias e total das três primeiras lactações, duração da lactação, intervalo de partos de vacas Girolando no período de 2000 a 2015

Ano	Nº rebanhos	Nº lactações	Produção de leite (kg)		Duração da lactação (dias)	IP <sup>1</sup> (dias)
			305 dias	Total		
2000	48	643	3.703 ± 1.837	4.132 ± 2.486	277 ± 106	426 ± 91
2001	64	1.162	3.575 ± 1.671	3.796 ± 1.929	257 ± 97	426 ± 88
2002	77	1.397	3.615 ± 1.582	3.842 ± 1.872	263 ± 93	436 ± 95
2003	85	1.775	3.608 ± 1.635	3.859 ± 1.913	268 ± 97	436 ± 98
2004	103	1.911	3.844 ± 1.758	4.135 ± 2.083	273 ± 98	438 ± 91
2005	119	2.081	3.778 ± 1.759	4.087 ± 2.116	267 ± 102	444 ± 93
2006	135	2.169	3.913 ± 1.819	4.354 ± 2.215	271 ± 101	440 ± 89
2007	134	2.094	4.257 ± 2.010	4.616 ± 2.452	278 ± 89	440 ± 86
2008	139	2.408	4.424 ± 2.052	4.913 ± 2.693	292 ± 97	430 ± 89
2009	191	3.228	4.562 ± 2.141	5.052 ± 2.745	285 ± 99	426 ± 92
2010	213	4.366	4.655 ± 2.272	5.191 ± 3.018	278 ± 109	436 ± 101
2011	266	5.158	4.976 ± 2.210	5.623 ± 2.925	294 ± 116	432 ± 98
2012	278	6.312	5.217 ± 2.173	5.985 ± 2.998	303 ± 114	424 ± 86
2013	401	9.463	5.168 ± 2.481	5.821 ± 3.238	294 ± 102	436 ± 95
2014	388	10.300	5.220 ± 2.506	5.761 ± 3.117	285 ± 94	426 ± 96
2015	290	2.869	4.003 ± 2.370	4.124 ± 2.530	241 ± 68	419 ± 95
Geral	778	57.336	4.692 ± 2.297	5.204 ± 2.929	283 ± 103	429 ± 93

\* Incluídas apenas as lactações encerradas até outubro de 2015. <sup>1</sup>Intervalos de partos. Adaptado de Silva et al. (2016).

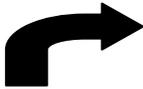
### 3.2 Girolando e cruzamentos

No Brasil os primeiros cruzamentos da raça Holandês com a raça Gir foram realizados nos anos de 1940 objetivando produtos com alta produtividade vinda da raça Holandês e rusticidade da raça Gir. Os produtos desse cruzamento apresentavam boa produção, fertilidade e vigor. Desta forma, esse cruzamento se difundiu rapidamente no Brasil e em países de clima tropical (Silva et al., 2016).

A raça Girolando admite várias composições genéticas das raças formadoras da sua composição, do 1/4 HOL (Holandês) + 3/4 GIR (1/4 HOL) até 7/8 HOL + 1/8 GIR (7/8 HOL). Para a formação da raça os acasalamentos buscam a fixação do padrão racial na composição genética de 5/8 HOL + 3/8 GIR (5/8 HOL). Os animais provenientes dos acasalamentos entre indivíduos 5/8 HOL são considerados como Puro Sintético (PS).

Os principais acasalamentos e cruzamentos praticados são: 1/2 HOL + 1/2 GIR, 3/4 HOL (1/2 HOL) + 1/4 GIR, 5/8 e/ou PS (Cembranelli et al., 2017). Segundo a Associação Brasileira de Inseminação Artificial – ASBIA, 2017, a utilização de cruzamentos com sêmen de touros 3/4 HOL + 1/4 GIR (3/4 HOL), 5/8 HOL e/ou PS passou a ser uma estratégia para obter os principais componentes raciais da raça (Quadro 1).

Atualmente, a raça Girolando é a que mais cresce na produção de sêmen alcançando à marca de 641.360 doses produzidas em 2015, o que representa aumento de mais que 70% em relação ao ano de 2013 (Associação Brasileira de Inseminação Artificial – ASBIA, 2017).

		MÃE							
		Holandês	7/8	3/4	5/8 ou PS	1/2	3/8	1/4	Gir
PAI	Holandês	X	X	7/8 (87.5%)	X	3/4 (75%)	5/8 (62.5%)	5/8 (62.5%)	1/2 (50%)
	3/4	7/8 (87.5%)	13/16 (81.25%)	3/4 (75%)	X	5/8 (62.5%)	5/8 (56.25%)	1/2 (50%)	3/8 (37.5%)
	5/8 ou PS	13/16 (81.25%)	3/4 (75%)	5/8 (68.75%)	PS (62.5%)	5/8 (56.25%)	1/2 (50%)	7/16 (43.75%)	5/16 (31.25%)
	Gir	1/2 (50%)	7/16 (43.75%)	3/8 (37,5%)	X	1/4 (25%)	X	X	X

Quadro 1. Cruzamentos da raça Girolando

Adaptado por: Cembranelli et al. (2017).

### **3.3 Teste de progênie e critérios de seleção de touros**

Objetivando animais mais produtivos, longevos e adaptados aos diversos sistemas de produção; os programas de melhoramento genético têm intensificado os testes de progênie para validação dos potenciais produtivo e reprodutivo dos touros. Um dos principais critérios utilizados é a fertilidade que é avaliada e ponderada para se alcançar índices produtivos superiores. Esse critério é importante no Brasil onde se estima que cerca de 90% das fêmeas em idade reprodutiva são acasaladas por monta natural (Associação Brasileira de Inseminação Artificial – ASBIA, 2017).

A base do teste de Progênie é o controle leiteiro e o uso da inseminação artificial nos rebanhos da raça.

A prova neste teste tem como objetivos avaliar a fertilidade, o temperamento, morfologia e outras avaliações complementares. O período entre a distribuição do sêmen avaliado até a divulgação dos primeiros resultados do teste de progênie de um determinado grupo de touros é, em média, seis anos. Esse período é determinado pelo período de distribuição e utilização do sêmen pelos criadores nos rebanhos colaboradores, tempo de gestação das fêmeas, idade ao primeiro parto, período de lactação das filhas dos touros e tempo para análise dos dados de controle leiteiro e de genealogia (Silva et al., 2016).

#### **3.3.1 Avaliação andrológica**

As características de eficiência reprodutiva dos machos associadas à genética são importantes para auxiliar na identificação dos animais aptos à reprodução e geneticamente superiores (Ruediger et al., 2016). A fertilidade dos touros é um dos principais critérios avaliados para se alcançar os índices produtivos e reprodutivos ideais, assim, a avaliação dos aspectos qualitativos e quantitativos do sêmen dos bovinos por meio da realização do exame andrológico torna-se, importante para validar os índices reprodutivos por meio da fertilidade (Associação Brasileira de Inseminação Artificial – ASBIA, 2017).

O exame andrológico abrange a avaliação do sistema reprodutor masculino de forma completa, contemplando desde o exame clínico geral do touro e mensuração da circunferência escrotal, até a avaliação dos aspectos físicos e morfológicos do sêmen e o

comportamento sexual ou libido do macho (Colégio Brasileiro de Reprodução Animal - CBRA, 2013; Fonseca, 2000).

A medida do perímetro escrotal ou circunferência escrotal (CE) está altamente associada à produção espermática, tamanho e peso dos testículos (Barth, 2007; Aguiar et al., 2012). Os trabalhos de melhoramento genético têm utilizado a mensuração da CE como ferramenta de seleção por esta ser uma característica de alta repetibilidade, herdabilidade e correlação genética favorável com características reprodutivas das filhas (menor idade a puberdade), podendo atingir melhores índices de fertilidade do rebanho (Corbet et al., 2013). Estudos de Gressler et al. (2000) utilizando reprodutores nelore, apontou que aqueles que possuíam maior perímetro escrotal, aos 12 meses de idade, obtiveram correlação genética favorável com a menor idade ao primeiro parto de suas progênies.

Nos aspectos físicos do sêmen as variáveis avaliadas são a motilidade, vigor, volume, concentração espermática e turbilhonamento; já as características morfológicas contemplam as anormalidades da estrutura dos espermatozoides (CBRA, 2013), sendo agrupadas em defeitos espermáticos maiores, que estão associados às doenças testiculares ou do epidídimo, defeitos menores, que relacionam-se a problemas de menor impacto na avaliação geral da fertilidade e defeitos totais (Blom, 1973). Proporcionalmente, motilidade, vigor e turbilhonamento (aspectos físicos do sêmen) são prejudicados quanto maior forem os defeitos espermáticos (Arruda et al., 2015).

A motilidade é um parâmetro que expressa movimentação dos espermatozoides, dada em porcentagem. É uma avaliação subjetiva, se avaliada por microscópio, sendo susceptível à variação de acordo com o avaliador. A motilidade tem correlação direta com a fertilidade (Sullivan, 1970; Ruediger et al., 2016). Para sêmen fresco e congelado os valores mínimos de motilidade aceitos pelo Colégio Brasileiro de Reprodução Animal são respectivamente de 60% e 30% (CBRA, 2013). A motilidade é suscetível às variações climáticas, sendo necessário proteger o sêmen de agentes variantes que possam prejudicar a avaliação (Hafez, 2004).

O vigor espermático é avaliado com a utilização de escala que varia de 0 a 5, representado a magnitude de deslocamento constante e retilíneo do espermatozoide no campo do microscópio (Mies Filho, 1987). A intensidade do vigor influencia na motilidade progressiva dos espermatozoides (Chacur, 1999).

O volume do ejaculado varia devido às diferentes técnicas praticadas para coleta do sêmen. A amplitude de variação do volume pode ser de 2 a 6 mL, utilizando-se do método de colheita de vagina artificial, até 25 mL na técnica de eletroejaculação, em reprodutores *Bos taurus indicus*. Tal variação está associada a fatores do próprio animal como respostas aos estímulos elétricos e contração do epidídimo (Ruediger et al. 2016).

A concentração espermática é a quantidade de espermatozoides presentes no ejaculado por milímetro cúbico ( $\text{mm}^3$ ) (Mies Filho, 1987). Fonseca et al. (2003) utilizando reprodutores *Bos taurus indicus*, relataram valores de concentração normal variando de 200 mil a 1,2 milhão de espermatozoides/mL, e 800 mil a 1,2 milhão de espermatozoides/mL respectivamente para as técnicas de eletroejaculação e vagina artificial. Essa variação pode ser atribuída a diversos fatores distintos que vão desde os métodos de colheita, variações climáticas, manejo nutricional, estações do ano, composições raciais, indivíduo entre outros fatores (Dede, 1983).

A avaliação do turbilhonamento é composta pelos aspectos físicos do sêmen: volume, concentração, motilidade e vigor. Considera-se nota de 0 a 5 (Fonseca et al., 1989). O turbilhonamento pode sofrer variações caso uma das quatro características citadas anteriormente estejam alteradas como, por exemplo, excesso de estímulo para liberação de secreções que acarretaram em uma diluição dos espermatozoides, diminuindo, assim, o turbilhonamento (CBRA, 2013).

Dentre as características de morfologia espermática, os defeitos espermáticos totais representam a soma de defeitos maiores e menores. Segundo os critérios do Colégio Brasileiro de Reprodução Animal (CBRA, 2013), os defeitos espermáticos totais e maiores, não podem ultrapassar 30% e 10%, respectivamente, no total de espermatozoides do ejaculado. Caso contrário, a eficiência reprodutiva na monta natural poderá ser comprometida (Fonseca et al., 1991).

Os defeitos maiores são qualquer tipo de anormalidade relacionada a prejuízos na fertilidade ou com uma condição patológica do epidídimo e testículo (Arruda et al., 2015). Sendo em maioria originados durante o processo de espermatogênese, dentro dos testículos, caracterizados principalmente por: 1) alterações no acrossomo (touro com espermatozoides que possuam alterações de acrossomo apresentam índices de fertilidade próximos da esterilidade, pelo fato do acrossomo à zona pelúcida (Barth e Oko, 1989)); 2) presença de gota citoplasmática proximal (alta porcentagem dessa

característica no ejaculado está associada à anormalidade da espermatogênese e a distúrbios da função epididimária, com redução da fertilidade. Níveis entre 5 e 10% de gotas proximais estão relacionados a sêmen com baixa fertilidade, e acima de 15% à queda da taxa de fertilização que prejudicam o desenvolvimento embrionário (Amaral et al., 2009)); 3) patologias de cabeça, sendo elas: subdesenvolvimento da cabeça, cauda enrolada na cabeça, cabeça piriforme, isolada, pequena ou destacada anormal, defeitos de contorno, estreitamento de base e presença de vacúolos (as patologias de cabeça espermática estão relacionadas a alterações transitórias ou permanentes na espermiogênese, podendo apresentar consequências de redução da fertilidade (subfertilidade), e menor desenvolvimento embrionário. Geralmente são oriundas de lesões testiculares, estresse calórico, febre, desbalanceamento nutricional (acima de 15% de proteína bruta na dieta), doenças sistêmicas, utilização constante e interrompida de corticoides, hipoplasias, anormalidades na condensação da cromatina espermática e distúrbios de origem genética (Chenoweth, 2005; Amaral et al., 2009)); 4) alterações de peça intermediária (os defeitos dessa característica influenciam diretamente na produção de energia (ATP), essencial para que o batimento flagelar, implicando em consequências diretas na motilidade e vigor (Amaral et al., 2009)) e patologias de cauda fortemente dobrada, enrolada ou com gota citoplasmática distal, essas anormalidades acontecem geralmente durante a maturação espermática, no trânsito pelo epidídimo, podendo estar presente em processos degenerativos ou na imaturidade sexual (Arruda et al., 2015)).

Os defeitos menores ocorrem durante a passagem pelo epidídimo, ejaculação e manipulação do sêmen, sendo estes aparentemente de menor importância compostos em sua maioria por defeitos de cabeça delgada ou pequena normal, cabeça gigante, curta e achatada, cabeça destacada normal, acrossomo destacado, inserção abaxial, gota citoplasmática distal cauda dobrada, enrolada e enrolada na extremidade (Fonseca et al., 1991; Arruda et al., 2015).

Trabalhos com touros *Bos taurus indicus* de morfologia espermática, nas variedades padrão e mocho, obtiveram médias de 5,06% e 5,32% para os defeitos maiores; 9,91% e 8,36% para os defeitos menores; e, para os defeitos totais, 14,76% e 13,82%, respectivamente (Chacur et al., 2006). De modo geral segundo Rodriguez-Martinez (2005), a relação entre fertilidade e morfologia espermática varia de baixa (0,06) até alta (0,86) correlação. Assim os defeitos espermáticos tem relação direta

com os índices reprodutivos, quanto menor a proporção de defeitos espermáticos maior será os índices reprodutivos do touro, sendo os defeitos maiores os que mais impactam na fertilidade (Arruda et al., 2015).

### 3.3.2 Classificação andrológica por pontos

Semelhante à metodologia Breeding Soundness Evaluation (BSE) proposta por Chenoweth e Ball, (1980) para seleção reprodutiva de touros *Bos taurus taurus*, a classificação andrológica por pontos (CAP) é um critério de avaliação de circunferência escrotal, idade e os aspectos físico-morfológicos do sêmen por pontuação. A característica de CE tem peso máximo de 40 pontos, motilidade 20 pontos e morfologia espermática 40 pontos, sendo classificados posteriormente em três níveis: satisfatório (de 60 a 100 pontos), questionável (de 30 a 59 pontos) e insatisfatório (menor que 30 pontos).

Segundo Vale Filho (1988) para touros *Bos taurus indicus* criados no Brasil deve-se dobrar a idade para os mesmos valores de CE propostos para touros *Bos taurus taurus*. A razão para essa modificação está associada aos diversos planos nutricionais trabalhados dentro dos sistemas de produção brasileiros, e pelo fato de reprodutores *Bos taurus indicus* serem mais tardios em relação ao desenvolvimento testicular, quando comparados aos taurinos. Segundo Fonseca, (2000), touros que estão em manejo de exposições, julgamentos e sistemas intensivos de produção, por exemplo, por receberem dietas mais energéticas e proteicas apresentam ganho de peso maior, que por sua vez influencia diretamente o desenvolvimento testicular. Portanto, a CAP, neste caso não é indicada. Para classificação de reprodutores provenientes do cruzamento entre *Bos taurus taurus* e *Bos taurus indicus*, como exemplo, touros da raça Girolando, o CBRA (2013), recomenda a metodologia utilizada por Chenoweth e Ball, (1980) apresentada na tabela 2.

A classificação dos animais de acordo com seus resultados no exame andrológico, associando a CAP, possibilita a separação dos animais aptos e inaptos para a reprodução, permitindo a seleção de animais de maior fertilidade tanto para a monta natural quanto para a inseminação artificial (Silva et al., 2016).

A importância deste método está na capacidade de estabelecer critérios e parâmetros para avaliar o potencial reprodutivo dos touros, abrangendo desde perímetro

escrotal e características físicas e morfológicas do sêmen à idade dos touros. De acordo com Vale Filho (1988), a aplicação desses conhecimentos permitem a seleção de reprodutores precoces e auxilia na caracterização dos estágios do desenvolvimento sexual nos bovinos, maximizando assim a utilização de reprodutores geneticamente superiores.

Tabela 2. Classificação andrológica por pontos para touros taurinos baseada na circunferência escrotal e características físicas e morfológicas do sêmen

Parâmetros	Classificação			
	Excelente	Bom	Regular	Fraco
<b>Motilidade espermática</b>				
Vigor (1 a 5)	5	4-5	4	0-3
Individual (%)	> 70	60-70	50-60	< 50
Total de pontos	20	12	10	3
<b>Morfologia espermática</b>				
Defeitos maiores (%)	< 10	10-19	20-29	> 29
Total de defeitos (%)	< 25	26-39	40-59	> 59
Total de pontos	40	25	10	3
<b>Circunferência escrotal (cm)</b>				
<b>Idade (meses)</b>				
12-14	> 34	30-32	30	< 30
15-20	> 36	31-36	31	< 31
21-30	> 38	32-38	32	< 32
> 30	> 39	34-39	34	< 34
Total de pontos	40	24	10	10

Fonte: Chenoweth e Ball (1980), modificada por Vale Filho (1988).

### 3.3.3 Avaliação morfológica de tipo para características funcionais

As características funcionais são avaliadas visualmente por três avaliadores e é considerada a média das avaliações, juntamente com as porcentagens de peso estabelecidas para cada categoria (Menezes e Ledic, 2010). Para touros da raça

Girolando, conforme Cembranelli et al., (2017), avalia-se: o conjunto conformação e capacidade (20%); que engloba a profundidade corporal, masculinidade, comprimento corporal, força dorso lombar, altura na garupa e caracterização racial; o conjunto força leiteira (20%); onde se caracteriza a forma leiteira, perímetro torácico e amplitude peitoral; o conjunto aprumos (25%); em que se avalia as pernas vistas por trás, pernas vistas lateral, ângulos, regularidade de cascos e membros anteriores; o conjunto garupa (10%); onde avalia-se o ângulo, largura e comprimento da garupa; e por fim o conjunto do aparelho reprodutor (25%); englobando a bolsa escrotal, conjunto umbigo bainha e prepúcio.

Segundo Cembranelli et al., (2017), a eficiência reprodutiva é um dos fatores determinantes para melhorar os índices zootécnicos da pecuária leiteira, melhorando a taxa de prenhez, a produção de bezerras para reposição dos rebanhos e consequentemente melhorando a produção de leite. Destaca-se então a importância do touro na melhoria da eficiência reprodutiva, podendo-se aplicar nele maior intensidade de seleção que nas fêmeas. Adicionalmente, ressalta-se ao fato de que um único reprodutor pode acasalar com várias matrizes Franco et al. (2006).

Assim, a avaliação para as características funcionais se torna importante, principalmente do aparelho reprodutor por este estar associado à longevidade reprodutiva dos touros no rebanho, como também a capacidade de transmissão de suas características para a progênie. Como exemplo, os testículos mais longos, comumente encontrados nos zebuínos, apresentam maior superfície de contato com o meio ambiente, o que facilitaria a termorregulação (Turner, 1980), entretanto por estarem mais próximos do solo, estão mais sujeitos a lesões diminuindo assim a vida útil do touro, este tem que ter bom aparelho locomotor para poder caminhar confortavelmente e poder desempenhar seu papel de reprodutor (Menezes e Ledic, 2010).

### **3.3.4 Avaliação do temperamento**

O temperamento reflete consequências diretas sobre a eficiência produtiva e reprodutiva, por possuir herdabilidade distinta para as variadas raças de bovinos leiteiros. O temperamento tem implicações diretas nas rotinas e práticas de manejo como também na relação com o estresse que interfere na espermatogênese segundo os estudos de Stewart et al. (2008). Por essa razão, a partir do ano de 2014 o temperamento

passou a ser incluído como um dos critérios avaliados durante o teste dos touros Girolando (Silva et al., 2016).

Por ser característica complexa, são utilizados indicadores de temperamento que tornam possível a obtenção de um índice completo dos touros. As notas obtidas pelos animais nos quatro parâmetros avaliados são somadas e obtêm-se o índice de temperamento (ITEMP), que é utilizado para a classificação dos touros, como se segue:  $ITEMP = \text{Tempo de entrada} + \text{Escore de reatividade no tronco} + \text{Velocidade de fuga} + \text{Escore de temperamento}$ . Quanto maior o valor de ITEMP pior o temperamento do touro (Paranhos da Costa et al., 2015).

### **3.3.5 Índice final de classificação de touros**

O Índice final de classificação de touros (IFCT) é a classificação dos animais de acordo com a pontuação obtida, em que é utilizada uma escala de 0 até 100 pontos; em que a classificação andrológica por pontos tem peso 60%, a avaliação morfológica de tipo funcional peso 30% e avaliação de temperamento peso 10%. São Considerados aprovados os animais que obtêm pontuação igual ou superior a 60 pontos, sêmen viável após criopreservação e descongelamento, e que foram aprovados no teste de capacidade de serviço. Três exames andrológicos/touros são realizados, sendo utilizado o melhor resultado de cada reprodutor para sua avaliação (Silva et al., 2016).

## **3.4 Espermatogênese, termorregulação testicular e efeitos do aumento da temperatura testicular em relação a qualidade espermática**

### **3.4.1 Espermatogênese**

O sêmen é uma suspensão celular líquida contendo os gametas masculinos (espermatozoides) e produtos ou secreções dos órgãos anexos do aparelho reprodutor masculino (Barth e Oko, 1989; Hafez, 2004). A formação dos espermatozoides ocorre no testículo, mais precisamente dentro dos túbulos seminíferos em um processo conhecido como espermatogênese, que me bovinos, dura em média 60 dias (Arruda et al., 2015).

Este processo de produção dos gametas masculinos pode ser dividido em três secções: sendo a primeira a espermatocitogênese, caracterizada por mitose de células germinativas e tronco com propósito final de produção de espermatócitos primários (esse processo dura em média 45 dias no touro segundo estudos de Garner e Hafez (2004)); a segunda fase meiótica, tem como função dobrar o número de cromossomos, que por sua vez desempenham papel de recombinação e de desmembrar o material genético (recombinação gênica); a terceira é conhecida por espermiogênese e nesta fase ocorre modificações morfológicas que convertem espermátide em espermatozóide (Russell et al., 1990; Johnson et al., 2000).

Resumidamente, as fases acontecem nesta ordem: as espermátides (células haploides resultantes da meiose de espermatócitos), são produzidas ao final desse processo e liberadas durante a espermiacção dentro dos túbulos seminíferos como gametas haploides imaturas (Youngquist e Walter, 2006). As espermatogônias transformam-se em espermatócito primário sofrendo a meiose I e reduzindo o conteúdo de DNA (ácido desoxirribonucleico), o espermatócito secundário sofre meiose II, as espermátides são diferenciadas em espermatozoides (Hafez, 2004; Ruediger et al., 2016).

Os gametas considerados “maduros” são carregados e alojados na cauda do epidídimo. No touro esse tempo desprendido para o transporte pelo epidídimo é de sete dias em média (Aruuda et al., 2015). Entretanto esse tempo varia conforme as contrações realizadas pelo ducto deferente (três vezes por minuto), assim o tempo de transito pode ser menor (entre 10 e 20%), se a frequência de ejaculados for maior (Garner e Hafez, 2004).

### **3.4.2 Termorregulação testicular**

Para que haja espermatogênese eficiente, os testículos devem permanecer entre 2 e 6°C abaixo da temperatura corporal (Kastelic, 2014a; Brito et al., 2004). Portanto a termorregulação testicular relaciona-se diretamente com o sistema de manutenção e troca de temperatura fisiológica dos testículos (Rodrigues, 2004). Esse mecanismo se baseia principalmente na troca de calor por contracorrente, regulação do fluxo sanguíneo, posição dos testículos e sudorese (Kastelic, 2014). Estudos de Gabaldi e Wolf (2002) relataram que qualquer aumento da temperatura testicular, seja este de

qualquer origem, diminui a qualidade do sêmen (por aumentar a proporção de defeitos espermáticos e diminuir a produção de testosterona).

A posição extra cavitária e pendular dos testículos e outros componentes anatômicos como a pele, o cordão espermático, a túnica dartos, o músculo cremaster, o cone vascular e as glândulas sudoríparas, facilitam a dissipação do calor e permitem que os testículos sejam afastados da cavidade abdominal (Kastelic, 2014b).

As variações anatômicas da epiderme e derme que compõe a pele do escroto são importantes para efetivação dos mecanismos de troca de calor, principalmente por apresentar espessura mais fina, relativamente com poucos pelos e gordura subcutânea, rica em glândulas sudoríparas e com extensa irrigação sanguínea (Dahl e Herrick, 1959; Moreira, 2016). Estudo apontou que ao aumentar a espessura da pele do escroto diminui-se proporcionalmente a quantidade de espermatozoides morfologia de cabeça normal (Siddiqui et al., 2008).

A malha venosa e o comprimento do cordão espermático são mecanismos importantes de troca de temperatura, proporcionando maior superfície de contato favorecendo o resfriamento da temperatura testicular. O comprimento do cordão espermático é importante por propiciar o distanciamento dos testículos em relação ao corpo (Kastelic, 2014a). Em touros *Bos taurus indicus* o escroto é menos penduloso que *Bos taurus taurus* e mestiços devido à tendência de ter menor comprimento do cordão espermático, também com o aumento da idade o escroto se torna mais penduloso (Brito et al., 2004).

A túnica dartos é uma camada de musculatura lisa, localizada abaixo da pele do escroto. Em resposta a temperaturas externas, por meio da expansão ou contração da pele do escroto, essa fina camada muscular pode contrair, reduzindo a superfície disponível para perda de calor, aumentando assim a temperatura dos testículos. Inversamente, a expansão aumenta a superfície disponível para a troca de calor, promovendo o arrefecimento dos testículos (Setchell, 1978; Moreira, 2016).

A túnica dartos atua em conjunto com o músculo cremaster, contraindo-se para aproximar os testículos da cavidade abdominal, para aquecê-los, ou relaxando e afastando os testículos do corpo para resfriá-los (Setchell, 1978).

A artéria testicular em conjunto com as veias que compõem o plexo pampiniforme forma o cone vascular (Kastelic, 1997). Seu mecanismo de troca de calor em contracorrente auxilia na termorregulação, principalmente pela área,

comprimento e volume da artéria, em contato com as veias e suas trocas em relação à distância entre o sangue arterial e venoso (Brito et al., 2012).

A distância entre o sangue arterial (oxigenado) e venoso (rico em gás carbônico) é o principal fator que influencia na  $\Delta$  de temperatura promovida pelas trocas de calor por contracorrente (Cook et al., 1994). Estudos de Johnston et al. (1963) e Brito et al. (2004) demonstram que morfologia do cone vascular de animais zebuínos, por facilitar a transferência de calor entre artéria e veias, pode contribuir para a maior resistência dessas raças aos extremos climáticos. Adicionalmente, de acordo com Blazquez et al. (1988), a quantidade de glândulas sudoríparas é maior na pele do escroto quando comparada a outras regiões do corpo dos reprodutores, sendo que tal fato auxilia na troca de calor no escroto por aumento da sudorese.

### **3.4.3 Elevação da temperatura testicular**

Em áreas de clima quente, como em regiões tropicais, o aumento da temperatura em poucas horas, pode diminuir a fertilidade do touro, por promover o aumento da temperatura testicular. Para que a espermatogênese ocorra de forma fisiológica e sem prejuízos na produção e qualidade espermática, a temperatura testicular deve estar entre 33°C a 34,5°C (Barth e Bowman, 1994).

A elevação da temperatura testicular aumenta o metabolismo e a demanda de oxigênio para os tecidos, contudo, o fluxo sanguíneo permanece constante, gerando hipóxia no parênquima testicular. A hipóxia e o estresse oxidativo têm a capacidade de desencadear a apoptose e a morte celular em vários tipos de células, entre elas os espermatozoides (Paul et al., 2009; Moreira, 2016). Neste quadro pode ocorrer produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) da mesma forma que acontece em casos de lesões de isquemia/reperfusão (Wilhelm Filho et al., 2004; Nichi et al., 2006). O excesso de ROS causa danos à qualidade do sêmen, interferindo na capacidade fecundante dos espermatozoides (Maia e Bicudo, 2009; Andrade et al., 2010).

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi criado para relacionar a temperatura ambiente com a umidade, criando assim um valor de temperatura efetiva (Armstrong, 1994). O ITU tem a sua escala de 0-100 e acima de 68, vacas em lactação, já estão em estresse térmico (Bernabucci et al., 2010). Azevedo et al. (2005)

trabalhando com diferentes cruzamentos Holandês x Gir, encontraram valores críticos superiores de ITU de 79, 77 e 76 para animais  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  e  $\frac{7}{8}$  Holandês x Zebu (HZ) respectivamente. Malama et al. (2013) verificaram em carneiros que variações no ITU podem modificar a temperatura escrotal de superfície, prejudicando a estabilização da cromatina dos espermatozoides.

A temperatura ambiente pode interferir de forma leve a temperatura superficial do escroto e dos cordões espermáticos; de forma média na região dos testículos e de forma alta a região da cauda do epidídimo. O aumento momentâneo da temperatura ambiente leva a uma resposta compensatória cerca de três horas depois do aumento da temperatura, retornando a temperatura inicial após 23 horas (Chacur et al., 2016). A umidade relativa do ar diminui a temperatura superficial escrotal, sendo que depois que a pele do escroto encontra-se seca, ainda são gastos aproximadamente 30 minutos para que assim a temperatura se estabilize, retornando aos valores aferidos antes da exposição ao ambiente com alta umidade relativa do ar (Kastelic et al., 1996a).

A elevação da temperatura testicular pode causar diversos danos, um dos principais é a patologia de degeneração testicular, ela corresponde a alterações no parênquima testicular por perda da termorregulação. A perda da termorregulação pode estar associada a diversos fatores, entre eles o aumento da temperatura ambiental, dermatites, hidrocele, inflamações, traumas testiculares entre outros. Esta degeneração resulta em diminuição da fertilidade por levar a uma redução na produção dos espermatozoides e da qualidade espermática (Garcia, 2017).

Fernandes et al. (2008) observaram uma redução na qualidade do sêmen com aumento de defeitos espermáticos a partir de duas semanas após insulação escrotal (aumento da temperatura escrotal) em bovinos. Entre as células germinativas, os tipos mais vulneráveis ao calor são os espermatócitos e as espermátides. As espermatogônias são mais resistentes ao estresse térmico do que as outras células da linhagem germinativa, por essa razão o epitélio seminífero pode se regenerar, dentro de dois meses aproximadamente, tempo aproximado da espermatogênese (Turner, 2007).

### **3.5 Termografia infravermelho**

A termografia por infravermelho (TIV) é um método não invasivo e indireto que possui várias aplicações na medicina veterinária, produção animal e também nas pesquisas científicas. Métodos invasivos podem produzir falsos resultados por desencadarem respostas ansiogênicas (Stewart et al., 2008; Roberto e Souza, 2014; Alves et al., 2016), assim a TIV pode ser uma opção que respeita as condições de bem estar animal.

O princípio da termografia é fundamentado nas bases de que todos os corpos formados de matéria, ou massa, que possuam temperatura acima de zero emitem radiação infravermelha que pode ser mensurada e correlacionada com a temperatura corporal (Knizkova et al., 2007). A porção do espectro eletromagnético que se estende de aproximadamente 0,1 a 100 mm (espectro visível e infravermelho) é denominada radiação térmica (Incropera e DeWitt, 2008).

A radiação é uma forma de perda de calor por raios infravermelhos envolvendo a transferência de calor de um objeto para outro sem contato físico. A emissividade da pele é um fator importante na determinação da sua temperatura e, através da avaliação da temperatura superficial, é possível adquirir conhecimentos sobre o estado físico e saudável dos seres vivos, principalmente humanos e animais (Chiu et al., 2005, Bouzida et al., 2009).

As câmaras térmicas recolhem a radiação infravermelha emitida pela superfície, convertem-na em sinais radiométricos e criam uma imagem térmica que representa a distribuição de temperatura superficial do corpo (Incropera e DeWitt, 2008; DiGiacomo et al., 2014). Neste sistema, cada cor capturada no termograma expressa uma faixa de temperatura específica, relacionada à escala definida (Eddy et al., 2001; Ludwing, 2013). Os dados obtidos por digitalização são processados por computador, proporcionando análise detalhada do campo de temperatura (Da Cruz Junior, 2011). Os softwares das câmeras termográficas permitem análise de dados de qualquer área do termograma (Godyn et al., 2013).

Em animais homeotérmicos, a termorregulação é uma característica chave na manutenção da homeostase. A capacidade de termorregulação está fortemente relacionada com o equilíbrio energético (Aksit et al., 2006). No caso de mudanças térmicas, os mecanismos fisiológicos são aumentados, aumentando assim as taxas de gasto energético (Shinder et al., 2007, Stewart et al., 2017). A termometria cutânea é um método de avaliação do sistema vascular da pele, microcirculação, onde as emissões

infravermelhas do animal estão diretamente relacionadas à perfusão e metabolismo dos tecidos. Variações na temperatura da superfície do tecido geralmente são resultados de mudanças na vascularização da área avaliada, por exemplo, calor e edema são observados quando há inflamação, por serem fatores que interferem na circulação sanguínea normal e conseqüentemente na emissão de radiação infravermelha da área afetada (Stelletta et al., 2012; Roberto e Souza, 2014).

O fluxo de sangue, por sua vez, é regulado pelo sistema nervoso autônomo (Stewart et al., 2008) que pode causar mudanças na temperatura da pele do animal, alterando a quantidade de calor irradiado da termorregulação (Martello et al., 2016). A temperatura medida nas extremidades do corpo prediz a dissipação de calor de forma mais eficiente que medidas do centro, que, por sua vez, é um melhor indicador da produção de calor (DiGiacomo et al., 2014). A TIV permite a visualização da distribuição de temperatura, e pode detectar mudanças no fluxo de sangue periférico das mudanças resultantes na perda de calor e; portanto, têm sido útil para avaliar a presença de doença, edema e estresse em animais (Nascimento et al., 2014).

A termografia permite avaliar o impacto dos fatores ambientais e pode direcionar a tomada de decisão, promovendo a saúde e o bem-estar animal, além de seu meio diagnóstico subclínico e clínico eficiente, permitindo o entendimento do prognóstico na biomedicina. A TIV tem cada vez mais ganhado importância por ser uma técnica não invasiva e segura tanto para o animal quanto para o aplicador, que é capaz de detectar mudanças de temperatura corporal de forma eficiente (Roberto e Souza, 2014; Rekant et al., 2016).

Uma das vantagens dessa técnica reside no fato de não haver necessidade de se conter o animal, ou de usar sedativos, nem do contato físico direto já que o termograma é capturado à distância, isso gera menor alteração fisiológica e maior confiabilidade dos dados gerados; além de ser equipamento leve, portátil e de fácil manuseio (Godyn et al., 2013). Entretanto, alguns fatores devem ser levados em consideração para que essa técnica seja utilizada com êxito; como o cuidado com as condições climáticas para termografias à radiação solar, ou em condições de alta umidade, precipitação e vento; que pode promover perda de calor por convecção; ou quando as superfícies visualizadas estiverem sujas; esses fatores podem alterar os valores de emissividade e condutividade e assim alterar os valores das temperaturas (Mcmanus et al., 2016; Daltro et al., 2017). A distância entre o objeto de captura de imagem e o termógrafo deve ser parametrizado

intra e inter avaliações; o animal deve estar em repouso nos momentos que antecedem a aferição da temperatura (Nogueira et al., 2013) e o animal deve estar habituado ao ambiente e ao examinador (Silva et al., 2014).

### **3.5.1 Termografia infravermelho na medicina veterinária e na produção animal**

Estudos em bovinos mostraram que a TIV pode detectar alterações térmicas antes dos sinais clínicos (Schaefer et al., 2004), além de permitir a identificação de lesões de pele (Poikalainen et al., 2012), doença respiratória bovina (Schaefer et al., 2012), estresse térmico em vacas lactantes (Daltro et al., 2017), diarreia neonatal de bezerro (Lowe et al., 2016) e doença respiratória em bezerros (Schaefer et al., 2007; Schaefer et al., 2011). Outros estudos têm investigado a termografia como solução não invasiva para a detecção de mastite (Berry et al., 2003; Polat et al., 2010). Pezeshki et al. (2011) relataram aumento de 2 a 3 graus célsius na temperatura de superfície do úbere de vacas em lactação após inoculação com *Escherichia coli*. em diversas partes do úbere. Martins et al. (2013) e Bastos et al. (2015) relataram que o diagnóstico de mastite subclínica, com o uso da termografia equivale ao uso do CMT (California Mastitis Test), e concluíram também que a temperatura na pele do úbere durante o pico de lactação é maior, devido à mudança no metabolismo nessa área específica (Stelletta et al., 2012).

A termografia também foi empregada para o diagnóstico de febre aftosa (Rainwater-Lovett et al., 2009), na avaliação de comportamento, bem - estar animal e conforto térmico (Stewart et al., 2005; Kotrba et al., 2007; McCafferty et al., 2011; Salles et al., 2016), produção de gás metano por vacas leiteiras e identificação de animais com melhor eficiência alimentar (Montanholi et al., 2010; DiGiacomo et al., 2014), claudicação (Alsaad e Büscher, 2012), laminite e dermatite digital (Alsaad et al., 2014), estresse (Stewart et al., 2008) e dor (Stewart et al., 2009).

O estudo conduzido por Schaefer et al. (2012) foi a primeira demonstração de sistema automático, pelo qual as imagens termográficas foram capturadas toda vez que o animal visitava um bebedouro. As doenças mencionadas acima estão todas associadas com resposta inflamatória localizada (por exemplo, trato respiratório, intestinos) e durante o seu início, os animais utilizam outros mecanismos para perda de calor (por exemplo, calor irradiado) para manter a temperatura corporal normal.

### 3.5.2 Termografia infravermelho na reprodução

A termografia por infravermelho da superfície do corpo vem sendo indicada em áreas da pecuária e produção animal por ser um procedimento mais fácil do que os métodos de abordagem tradicionais utilizados para medir a temperatura e produção de calor (Church et al., 2014; Roberto e Souza, 2014; Martello et al., 2016). As mudanças na temperatura superficial do corpo dos animais provêm do metabolismo e de fontes externas, estando relacionada a vários processos fisiológicos, associados, inclusive, com a reprodução como descrito no trabalho de Islam, (2011); que avaliou a correlação da temperatura com o estro, variações ovarianas durante o ciclo (Talukder et al., 2014) e por fim no diagnóstico de prenhes (Cilulko et al., 2013).

Em fêmeas, bovinas (Osawa et al., 2004) e suínas (Simões et al., 2014), a mudança de temperatura no corpo e na vagina foi estudada para determinar a relação entre estes valores e a ovulação, sendo indicada como técnica promissora na previsão da ovulação (Scolari et al., 2009). Na detecção do cio, o uso da termografia pode melhorar as taxas de prenhes em cio regulares ou silenciosos, uma vez que a temperatura aumenta nos três dias que antecedem a ovulação (Talukder et al., 2014). Em outro estudo com gado Holandês na Austrália, Talukder et al. (2014), observaram que houve redução na temperatura termográfica da vulva e focinho acerca de 48 horas antes da ovulação que pode estar relacionada à regressão do corpo lúteo, e aumento da temperatura 24 horas antes da ovulação que equivaleria ao estro.

A termografia do escroto foi eficaz na caracterização da temperatura da superfície deste órgão em pequenos ruminantes (Ramires Neto et al., 2011). Em trabalhos realizados no Brasil, em touros da raça Nelore, foram avaliados a relação dos fatores climáticos com a temperatura da superfície do escroto e qualidade de sêmen com a utilização da termografia infravermelho (Ruediger et al., 2016). No inverno, houve correlação positiva ( $P < 0,05$ ) para motilidade espermática x temperaturas do escroto e concentração espermática x temperaturas do escroto. No verão, houve correlação negativa ( $P < 0,05$ ) entre temperatura ambiente x concentração espermática. A conclusão do trabalho foi que a temperatura e umidade do ar influenciaram a qualidade do sêmen e a termografia pode complementar a avaliação reprodutiva dos touros (Ruediger et al., 2016).

Nos trabalhos de Kastelic et al. (1996a) avaliando alterações na temperatura ambiental e sua relação com a termografia do escroto, concluíram que o ritmo circadiano da superfície escrotal não influenciou nos resultados da termografia, podendo assim realizar o procedimento termográfico a qualquer momento.

Souza et al. (2014) encontraram uma variação de temperatura do escroto de 4,04°C, onde a temperatura do cordão espermático foi 36,91±1,56°C e a temperatura da cauda dos epidídimos de 32, 87 ± 1,88°C. Nos estudos de Souza et al. (2015) encontraram valores significativos ( $P < 0,05$ ) da temperatura retal (38,85 ± 0,62°C) com a temperatura ambiente ( $r = 0,25$ ) e umidade relativa do ar ( $r = -0,32$ ). Chacur et al. (2015) também encontrou valores significativos em seus trabalhos avaliando a temperatura retal versus a temperatura do cordão espermático ( $r = 0,51$ ), temperatura do terço dorsal, médio e ventral dos testículos ( $r = 0,43$ ; 0,37 e 0,33, respectivamente) e temperatura das cauda dos epidídimos ( $r = 0,32$ ).

Os efeitos do método de colheita foram avaliados. Em reprodutores *Bos taurus taurus*, por eletroejaculação, a temperatura da cauda do epidídimo aumentou ( $P < 0,05$ ), devido à contração da cauda do epidídimo (Kastelic et al., 1996). No Brasil, reprodutores *Bos taurus indicus*, por eletroejaculação, não ocorreu aumento de temperatura ( $P > 0,05$ ), devido à padronização dos estímulos elétricos do aparelho de eletroejaculação. Os autores concluíram que a termografia pode ser executada antes ou depois da colheita de sêmen por eletroejaculador automático (Chacur et al., 2015).

No trabalho de Souza et al. (2017) foram avaliadas a temperatura termográfica da superfície do escroto e suas  $\Delta$  antes e após a coleta de sêmen e a relação com a qualidade do sêmen em touros Nelore. Foram encontradas correlações ( $P < 0,05$ ) entre temperatura do terço dorsal dos testículos e defeitos totais ( $r = 0,30$ ); temperatura do terço ventral dos testículos e defeitos menores ( $r = 0,30$ ), defeitos maiores ( $r = 0,28$ ) e defeitos totais ( $r = 0,37$ ); temperatura retal e temperatura do terço dorsal dos testículos ( $r = 0,43$ ) e temperatura do terço ventral dos testículos ( $r = 0,33$ ). Os autores concluíram que a termografia infravermelha, proporcionou mensurações precisas da temperatura do escroto podendo ser empregada para detectar alterações na termorregulação. Chacur et al. (2015) e Chacur et al. (2017) consideraram a TIV como método prático e rápida para ser utilizada na rotina de campo em exames andrológicos de touros.

A vascularização sanguínea no escroto colabora para a termorregulação e pode alterar devido ao aumento da temperatura ambiente, facilitando a perda de calor por

radiação (Brito et al., 2004; Ruediger et al., 2016). A termografia infravermelha foi utilizada para avaliar os efeitos ambientais sobre a qualidade do sêmen em touros da raça Braford em ambiente subtropical. Observou-se que esta técnica pode ser utilizada para avaliar efeitos sobre os aspectos físico-quantitativos, mas não sobre a qualidade morfológica dos espermatozoides (Menegassi et al., 2014; Menegassi et al., 2015).

Não obstante de todas as aplicações e estudos disponíveis, ainda existe deficiência de métodos eficazes que associem de forma precisa as temperaturas da pele aos processos fisiológicos, patológicos, clínicos e subclínicos com a termografia, uma vez que a temperatura da superfície corporal está diretamente associada ao metabolismo individual e as condições climáticas (Brioschi, 2011).

#### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUIAR, G. F. M.; BATISTA, B. L.; RODRIGUES, J. L. et al. Determination of trace elements in bovine semen samples by inductively coupled plasma mass spectrometry and data mining techniques for identification of bovine class. *J. Dairy Sci.*, v.95, p.7066-7073, 2012.

AKSIT, M.; YALÇIN, S.; ÖZKAN, S. et al. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of broilers. *Poul. Sci.*, v.85, p.1867-1874, 2006.

ALSAAOD, M.; BÜSCHER, W. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.95, p.735-742, 2012.

ALSAAOD, M.; SYRING, C.; DIETRICH, J. et al. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. *The Vet. J.*, v.199, p.281-285, 2014.

ALVES, M. B. R.; DE ANDRADE, A. F. C.; DE ARRUDA, R. P. et al. Recovery of normal testicular temperature after scrotal heat stress in rams assessed by infrared thermography and its effects on seminal characteristics and testosterone blood serum concentration. *Theriogenology*, v.86, p.795-805, 2016.

AMARAL, T. B.; SERENO, J. R. B.; PELLEGRIN, A. O. (Ed). Fertilidade, funcionalidade e genética de touros zebuínos: dados eletrônicos. Corumbá, MS:

Embrapa Pantanal; Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 216p. Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/download/1541/t> . Acesso em: 17 fev. 2018.

ANDRADE, E. R.; MELO-STERZA, F. A.; SENEDA, M. M. et al. Consequências da produção das espécies reativas de oxigênio na reprodução e principais mecanismos antioxidantes. *Rev. Bras. Rep. Ani.*, Belo Horizonte, v.34, p.79-85, 2010.

ARMSTRONG, D. V. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.*, v.77, p.2044-2050, 1994.

ARRUDA, R. P.; CELEGHINI, E. C. C.; GARCIA, A. R. et al. Morfologia espermática de touros: interpretação e impacto na fertilidade. *Arq. Bras. Reprod. Ani.*, v.39, p.47-60, 2015.

ARRUDA, R. P.; CELEGHINI, E. C. C.; GARCIA, A. R. et al. Morfologia espermática de touros: interpretação e impacto na fertilidade. *Rev. Bras. Rep. Ani.*, Belo Horizonte, v.39, p.47-60, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL – ASBIA. Acasalamento de fêmeas no Brasil. Disponível em: <http://www.asbia.org.br/novo/imprensa/upload/index/mercado>. Acesso em: 24 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL – ASBIA. Mercado brasileiro de sêmen cresce 4,7 %. Disponível em: <http://www.asbia.org.br/novo/imprensa/upload/index/mercado>. Acesso em: 24 mar. 2017.

AZEVEDO, M.; PIRES, M. F. A.; SATURNINO, H. M. et al. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  e  $\frac{7}{8}$  Holandês – zebu em lactação. *Rev. Bras. Zootec.*, v.34, p.2000-2008, 2005.

BARTH A. D.; BOWMAN P. The sequential appearance of sperm abnormalities after scrotal insulation or dexamethasone treatment in bulls. *Canad. Vet. J. Sci.*, Ottawa, v.35, p.93-102, 1994.

- BARTH, A. D. Evaluation of potential breeding soundness of the bull. Current therapy in large animal. *Theriogenology*, Stoneham v.2, p.228-240, 2007.
- BARTH, A. D.; OKO, R. J. Abnormal morphology of bovine spermatozoa. Ames: Iowa State University Press, 1989. 285p.
- BARTH, A. D.; OKO, R. J. Abnormal morphology of bovine spermatozoa. Ames, IA: Iowa State University Press, p.302, 1989.
- BASTOS, G. P.; CHACUR, M. G. M.; VIVIAN, D. S. et al. Temperaturas da superfície da glândula mamária em vacas da raça Holandesa negativas ao California Mastitis Test (CMT). *In: Cong. Bras. Rep. Ani.*, v.21, p.51, 2015.
- BERNABUCCI, U.; LACETERA, N.; BAUMGARD, L. H. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, v.4, p.1167-1183, 2010.
- BERRY, R. J.; KENNEDY, A. D.; SCOTT S. L. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Canad. Vet. J. Sci.*, v.83, p.687-93, 2003.
- BLAZQUEZ, N.; MALLARD, G. J.; WEDD, S. R. Sweat glands of the scrotum of the bull. *J. Repr. Fertility*, Cambridge, v.83, p.673-677, 1988.
- BLOM, E. The ultrastructure of some characteristic sperm defects and a proposal for a new classification of the bull spermogram. *Nord. Vet. Med.*, v.25, p.383-381, 1973.
- BOUZIDA N.; BENDADA A.; MALDAGUE X. P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *J. of Thermal Biol.*, v.34, p.120-126, 2009.
- BRIOSCHI, M. L. Metodologia de normalização de análise do campo de temperaturas em imagem infravermelha humana. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.115, 2011.
- BRITO, L. F. C.; BARTH, A. D.; WILDE, R. E. et al. Testicular vascular cone development and its association with scrotal temperature, semen quality, and sperm production in beef bulls. *Animal Reprod. Sci.*, Amsterdam, v.134, p.135-140, 2012.

BRITO, L. F. C.; SILVA, A. E.; BARBOSA, R. T. et al. Testicular thermoregulation in *Bos indicus*, crossbred and *Bos taurus* bulls: relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. *Theriogenology*, Stoneham, v.61, p.511-528, 2004.

CANAZA-CAYO, A. W.; COBUCCI, J. A.; LOPES, P. S. et al. Genetic trend estimates for milk yield production and fertility traits of the Girolando cattle in Brazil. *Live. Sci*, v.190, p.113-122, 2016.

CEMBRANELLI, M. A. R.; GONÇALVES, G. S.; PAIVA, L. DE C. et al. Programa de melhoramento genético da raça Girolando - 5ª Prova de Pré-Seleção de Touros-Abril/2017. Juiz de Fora; Embrapa Gado de Leite (INFOTECA – E), p.32; doc 199; 2017.

CHACUR, M. G. M. Estresse térmico em touros Bufalinos *Bubalus Bubalis* avaliações das características fisiológicas da reprodução. Tese de Doutorado - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

CHACUR, M. G. M. Termografia por infravermelho na reprodução de bubalinos. *Rev. Bras. Rep. Ani.*, v.41, p.180-187, 2017.

CHACUR, M. G. M.; MARTINEZ, A. I. S.; MACHADO NETO, N. B. Perfil em SDS - PAGE do plasma seminal e sua relação com a qualidade do sêmen de touros da raça Nelore *Bos taurus indicus*. *Vet. Not.* v.12, p.87- 93, 2006.

CHACUR, M. G. M.; SOUZA, C. D.; ANDRADE, I. B. et al. Aplicações da termografia por infravermelho na reprodução animal e bem-estar em animais domésticos e silvestres. *Rev. Bras. Reprod. Ani.*, v.40, p. 88-94, 2016.

CHACUR, M. G. M.; SOUZA, C. D.; RUEDIGER, F. R. et al. Efeito da colheita de sêmen por eletroejaculação na temperatura da bolsa escrotal em touros Nelore, *Bos taurus indicus*. In: *Cong. Bras. Reprod. Ani.*, v.21. p.85, Resumo, 2015.

CHENOWETH, P. J. Genetic sperm defects. *Theriog.*, v.64, p.457-468, 2005.

CHENOWETH, P. J.; BALL, L. Breeding soundness evaluation in bulls. In: MORROW, D. A. (Ed.). *Current therapy in theriogenology*. Philadelphia: WB Saunders, p. 330-339, 1980.

- CHIU W. T.; LIN P. W.; CHIOU H. Y. et al. Infrared thermography to mass-screen suspected SARS patients with fever. *Asia Pacif. J. Pub. Health*, v.17, p.26–28, 2005.
- CHURCH, J. S.; HEGADOREN, P. R.; PAETKAU, M. J. et al. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Res. in Vet. Sci.*, v.96, p.220–226, 2014.
- CILULKO, J.; JANISZEWSKI, P.; BOGDASZEWSKI, M. et al. Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *Europ. J. Wild. Res.*, v.59, p.17-23, 2013.
- COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL - CBRA. Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal. 3. ed. Belo Horizonte, p.87, 2013.
- COOK, R. B.; COULTER, G. H.; KASTELIC, J. P. The testicular vascular cone, scrotal thermoregulation, and their relationship to sperm production and seminal quality in beef bulls. *Theriogenology*, v.41, p.653, 1994.
- CORBET, N. J.; BURNS, B. M.; JOHNSTON, D. J. et al. Male traits and herd reproductive capability in tropical beef cattle. 2. Genetic parameters of bull traits. *Ani. Prod. Sci.*, Sydney, v.53, p.101-113, 2013.
- DA CRUZ JÚNIOR, C. A. Tolerância ao calor em ovinos reprodutores criados no Distrito Federal. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Tese de doutorado, p.99, 2011.
- DA CRUZ JÚNIOR, C. A.; LUCCI, C. M.; PERIPOLLIA, V. et al. Laser and thermographic infrared temperatures associated with heat tolerance in adult rams. *Rum. Res.*, v.132, p.86–91, 2015.
- DAHL, E. V.; HERRICK, J. F. A vascular mechanism for maintaining testicular temperature by counter-current exchange. *Surgery, Gynec. and Obstet.*, Chicago, v.108, p.697, 1959.
- DALTRO, D. D. S.; FISCHER, V.; ALFONZO, E. P. M. et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. *Rev. Bras. Zootec.*, v.46, p.374-383, 2017.

DEDE, T. I.; AKPOKODJE, J. U.; ODITI, P. I. Seminal characteristics and libido of Holtstein/Friesien bulls raised in a tropical environment. *Trop. Vet.*, v.1, p.77-84, 1983.

DEPARTAMENTO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ASSUNTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS (United Nations Department of Economic and Social Affairs – DESA). Assessment of the status of implementation of the programme of Action of the International Conference on Population and Development: Framework of Actions for the Follow-up to the programme of Action of the International Conference on Population and Development (ICPD) Beyond 2016. Report of the Secretary-General; Fortyseventh session 7-11 April 2016 Item 3 of the provisional agenda. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division  
Disponível em:  
<<http://www.un.org/en/development/desa/population/commission/previous/sessions/2016/index.html>>. Acesso em 15 de abr. de 2017.

DIGIACOMO, K. L.; MARETT, L. C.; WALES, W. J. et al. Thermoregulatory differences in lactating dairy cattle classed as efficient or inefficient based on residual feed intake. *Animal Prod. Sci.*, v.54, p.1877-1881, 2014.

EDDY, A. L.; VAN HOOGMOED, L. M.; SNYDER, J. R. The role of thermography in the management of equine lameness. *The Vet. J.*, v.162, p.172-181, Nov. 2001.

FERNANDES, C. E.; DODE, M. A. N.; PEREIRA, D. et al. Effects of scrotal insulation in Nellore bulls (*Bos taurus indicus*) on seminal quality and its relationship with in vitro fertilizing ability. *Theriog.*, v.70, p.1560-1568, 2008.

FONSECA, V. O. O touro no contexto da eficiência reprodutiva do rebanho. *Inf. Agro.*, Belo Horizonte, v.21, p.48-63, 2000.

FONSECA, V. O.; BERGMANN, J. A. G.; FRANCO, C. S. Manejo reprodutivo em gado de corte. In: MARQUES, D. C. Criação de bovinos. Ed. Atual, v.7, Belo Horizonte, p.286-295, 2003.

FONSECA, V. O.; COSTA E SILVA, E. V.; HERMANY, A. Classificação andrológica de touros zebus (*Bos taurus indicus*) com base na biometria testicular e características morfológicas do sêmen. Uma nova preposição. *Rev. Bras. Reprod. Ani.*, Belo Horizonte, v.1, p.187, 1989.

FONSECA, V. O.; CRUELLE, G. A.; COSTA e SILVA, E. V. Procedimentos para exame andrológico e avaliação do sêmen. Belo Horizonte: *Col. Bras. Reprod. Ani.*, p.79, 1991.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION - FAO Statistical Pocketbook. Rome, 2017. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0hUKEwiWz8aQ07\\_RAhWKF5AKHSULAn8QFggkMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fai4691e.pdf&usg=AFQjCNGdthXk87uaTwNIU3kS2MliDJjp1g&sig2=N96ZfKkZgcDv7WvxCcNZng&cad=rja](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0hUKEwiWz8aQ07_RAhWKF5AKHSULAn8QFggkMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fai4691e.pdf&usg=AFQjCNGdthXk87uaTwNIU3kS2MliDJjp1g&sig2=N96ZfKkZgcDv7WvxCcNZng&cad=rja)>. Acesso em: 13 jan. 2017.

FORDYCE, G.; FITZPATRICK, L. A.; COOPER, N. J. et al. Bull selection and use in northern Australia: 5. Social behaviour and management. *Ani. Reprod. Sci.*, v.71, p.81-99, 2002.

FRANCO, C. S.; FONSECA, V. O.; GASTE, L. Potencial reprodutivo de touros Nelore acasalados coletivamente na proporção de um touro para 100 vacas. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.58, p.1156-1161, 2006.

GABALDI, S. H.; WOLF, A. A importância da termorregulação testicular na qualidade do sêmen em touros. *Rev. Ciên. Agr. Saúde*, Andradina, v.2, p.66-70, 2002.

GARCIA, A. R. Degeneração testicular: um problema superado ou ainda um dilema? *Rev. Bras. Reprod. Ani.*, v.41, p.33-39, 2017.

GARNER, D. L.; HAFEZ, E. S. E. Espermatozóides e plasma seminal. In: Hafez, E. S. E.; HAFEZ, B. (Ed). *Reprod. Ani.*, 7.ed. Barueri:Manole, p.97-110, 2004.

GODYN, D.; HERBUR, E.; WALCZAK, J. Infrared thermography as a method for evaluating the welfare of animals subjected to invasive procedures - a Review. *Annals Ani. Sci.*, v.13, p.423-434, 2013.

GRESSLER, S. L.; BERGMANN, J. A. G.; PEREIRA, C. S. et al. Estudo das associações genéticas entre perímetro escrotal e características reprodutivas de fêmeas Nelore. *Rev. Bras. Zootec.*, v.29, p.427-437, 2000.

HAFEZ, E. S. E.; HAFEZ, B. Reprodução animal. São Paulo, ed Manole, v.7, p.3-12, 2004.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 6. ed., Rio de Janeiro: LTC, p.643. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2015. Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária (2015). Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=3006>>. Acesso em: 8 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2016. Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária (2016). Disponível em: <http://imprensa.ibge.gov.br/estatistica/media/producao?view=noticia&id=1&busca>. Acesso em: 8 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2017. Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária (2017). Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/abate-leite-couro-ovos\\_201701caderno.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201701caderno.pdf). Acesso em 20 de out. de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET. Disponível em: <Http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> Acesso em: 8 de ago. 2017.

ISLAM, R. Synchronization of Estrus in Cattle. *A Review. Vet. Word.*, v.4, p.136-141, 2011.

JOHNSON, L.; VARNER, D. D.; ROBERTS, M. E. et al. Efficiency of spermatogenesis: a comparative approach. *Ani. Reprod. Sci.*, v.60, p.471-480, 2000.

JOHNSTON, J. E.; NAELAPAA, H.; FRYE, J. B. Physiological responses of Holstein, Brown Swiss and Red Sindhi crossbreed bulls exposed to high temperatures and humidities. *J. Ani. Sci.*, v.22, p.432-436, 1963.

KASTELIC, J. P. Thermoregulation of the testes. In: HOPPER, R. M. (Ed.). *Bovine Reproduction*, Hoboken: Wiley-Blackwell. p.26-29, 2014a.

KASTELIC, J. P. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology*, v.81, p. 18–23, 2014.

KASTELIC, J. P. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology*, Stoneham, v.81, p.18-23, 2014b.

KASTELIC, J. P.; COOK, R. B.; COULTER, G. H. Contribution of the scrotum, testes and testicular artery to scrotal/testicular thermoregulation in bulls at two ambient temperatures. *Ani. Rep. Sci.*, v.45, p.255-261, 1997.

KASTELIC, J. P.; COOK, R. B.; COULTER, G. H. et al. Environmental factors affecting measurement of bovine scrotal surface temperature with infrared thermography. *Anim Reprod Sci*, v.41, p.153-159, 1996a.

KASTELIC, J. P.; COOK, R. B.; COULTER, G. H. et al. Insulating the scrotal neck affects semen quality and scrotal/testicular temperatures in the bull. *Theriog.* v.45, p.935-942, 1996.

KNIZKOVA, I.; KUNC, P.; GÜRDIL, K. A. G.; et al. Applications of infrared thermography in animal production. *Anadolu J. Agri. Sci.* v.22, p.329-336, 2007.

KOTRBA, R.; KNIZKOVA, I.; KUNC, P. et al. Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infra-red thermography. *J. Thermal Biol.*, v.32, p.355-359, 2007.

LOWE, G. L.; SCHAEFER, A. L.; WAAS, J. R. et al. Brief communication: The use of infrared thermography and feeding behaviour for early disease detection in New Zealand dairy calves. p.177–179 in *Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod.*, Adelaide, Australia, 2016.

LUDWIG, N. Thermal imaging in biological applications. In: LUZI, F. et al. (Ed.). *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Bras.: Fond. Iniz. Zooprof. Zootec.*, p.27-40, 2013.

MADALENA, F. E. A contribuição da F1 de gado de leite e as estratégias de sua utilização. *Simpósio brasileiro de melhoramento animal*, v.9, 2012.

MAIA, M. S.; BICUDO, S. D. Radicais livres, antioxidantes e função espermática em mamíferos: uma revisão. *Rev. Bras. Reprod. Ani.*, Belo Horizonte, v.33, p.183-193, 2009.

MALAMA, E.; BOLLWEIN, H.; TAITZOGLOU, I. A. et al. Chromatin integrity of ram spermatozoa. Relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. *Theriogenology*, v.80, p.533–541, 2013.

MARTELLO, L. S.; SILVA, S. L.; GOMES, R. C. et al. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int J Biometeorol*, v.60, p.173–181, 2016.

MARTINS, R. F. S.; PAIM, T.; DALLAGO, S. L. B. et al. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. *Res. in Vet. Sci.*, v.94, p.722-724, 2013.

MCCAFFERTY, D. J; GILBERT, C.; THOMPSON, D. et al. Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. *Comp. Bioc. Phy.*, v.158, p.337-345, 2011.

MCMANUS, C.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V. et al. Infrared thermography in animal production: an overview. *Comput. Elect. in Agri.*, v.123, p.10–16, 2016.

MENEGASSI, S. R. O.; BARCELLOS, J. O. J.; DIAS, E. A. et al. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int. J. Biomet.*, v.59, p.357–364, 2015.

MENEGASSI, S. R. O.; BARCELLOS, J. O. J.; DIAS, E. A. et al. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int. J. Biomet.*, v.59, p.357-364, 2014.

MENEZES, C. R. A.; LEDIC, I. L. Girolando edição de ouro. Uberaba, Minas Gerais, Mundo Rural, 254p., 2010.

MIES FILHO, A. Reprodução dos animais. Ed. Porto Alegre- RS, v.6, 1987.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Assessoria de Gestão Estratégica. Valor Bruto da Produção. Jan 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em 8 ago. 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. 2017. Projeções do Agronegócio 2017: Brasil 2016/17 a 2026/27/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2017). 96p. Disponível

em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf/view>. Acesso em 20 de Nov. de 2017.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; PALME, R. et al. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal*, v.4, p.692-701, 2010.

MOREIRA, G. M. Termografia infravermelho do escroto e classificação andrológica por pontos em touros Girolando. 58 p. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) – Setor produção de ruminantes, Universidade Federal de Lavras, MG, 2016.

NASCIMENTO, G. R.; NAAS, I. A.; BARACHO, M. S. et al. Infrared Thermography In The Estimation Of Thermal Comfort Of Broilers [termografia Infravermelho Na Estimativa De Conforto Térmico De Frangos De Corte]. *Rev. Bras. Eng. Agri. Amb.*, v.18, p.658-663, 2014.

NICHI, M.; BOLS, P. E. J.; ZÜGE, R. M. et al. Seasonal variation in semen quality in *Bos indicus* and *Bos taurus* bulls raised under tropical conditions. *Theriogenology*, v.66, p.822–828, 2006.

NOGUEIRA, F. R. B.; SOUZA, B. B.; CARVALHO, M. G. X. et al. Termografia infravermelha: uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico e prognóstico de mastite em ovelha. *Rev. Bras. Med. Vet.*, v.35, p.289-297, 2013.

OSAWA, T.; TANAKA, M.; MORIMATSU, M. et al. Use of infrared thermography to detect the change in the body surface temperature with estrus in the cow. *Proc. From Soc. Theriog. An. Conf.* 2004.

PARANHOS DA COSTA, M. J. R. Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. *Na. Etolog.*, v.18, p.26- 42, 2000.

PARANHOS DA COSTA, M. J. R.; SANT'ANNA, A. C.; SILVA, L. C. M. Temperamento de bovinos Gir e Girolando: efeitos genéticos e de manejo. *Inf. Agro.*,v.36, p.100-107, 2015.

PAUL, C.; TENG, S.; SAUNDERS, P. T. K. A single, mild, transient scrotal heat stress causes hypoxia and oxidative stress in mouse testes, which induces germ cell death. *Biol. of Reprod.*, v.80, p.913–919, 2009.

PEZESHKI, A.; STORDEUR, P.; WALLEMACQ, H. et al. Variation of inflammatory dynamics and mediators in primiparous cows after intramammary challenge with *Escherichia coli*. *Vet. Res.*, v.42, p.15, 2011.

POIKLAINEN, V.; PRAKS, J.; VEERMAE, I. et al. Infrared temperature patterns of cows body as an indicator for health control at precision cattle farming. *Agro. Res.*, v.1, p.187-194, 2012.

POLAT, B.; COLAK, A.; CENGIZ, M. et al. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* v.93, p.3525–3532, 2010.

RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J. M.; PACKER, C. et al. Detection of foot-and mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *The Vet. J.*, v.180, p.317-324, 2009.

RAMIRES NETO, C.; RODELLO, L.; BICUDO, S.D. et al. Scrotal thermography in prepubertal ovines submitted to heat stress. *Vet. Zootec.* v.18, p.1017–1019, 2011.

REKANT, S. I.; LYONS, M. A.; PACHECO, J. M. et al. Veterinary applications of infrared thermography. *American J. Vet. Res.*, v.77, p.98-107, 2016.

ROBERTO, J. V. B.; DE SOUZA, B. B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. *J. Animal Behav. Biomet.*, v.2, p.73-84, 2014.

RODRIGUES, A. L. R. Avaliação do testículo e da cauda do epidídimo de carneiros na pré-puberdade, na maturidade sexual, no criptorquidismo e na insulação escrotal: concentração de testosterona plasmática e tecidual, histamina, fator de necrose tumoral- $\alpha$  e óxido nítrico. Tese (Doutorado), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2004.

RODRIGUEZ-MARTINEZ H. Methods for sperm evaluation and their relationship to fertility. In: *Cong. Bras. Reprod. Ani.*, Goiânia, GO. Anais... Belo Horizonte, MG: CBRA, 2005. 8p. Resumo. CD-ROM, 2005.

RUAS, J. R. M.; DA SILVA, E. A.; QUEIROZ, D. S. et al. Características produtivas da lactação de quatro grupos genéticos F1 Holandês x Zebu. *Rev. Bras. Ciên. Vet.*, v.21, 2014.

RUEDIGER, F. R.; CHACUR, M. G. M.; ALVES, F. C. P. E. et al. Digital infrared thermography of the scrotum, semen quality, serum testosterone levels in Nellore bulls (*Bos taurus indicus*) and their correlation with climatic factors. *Semina: Ciên. Agr.*, v.37, 2016.

RUSSELL, L. D.; ETTLIN, R. A.; SINHA HIKIM, A. P. et al. Histological and histopathological evaluation of the testis. *Clearwater: Cache River Press*, 1990, 284p.

SALLES, M. S. V.; DA SILVA, S. C.; SALLES, F. A. et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. *J. of thermal bio.*, v.62, p.63-69, 2016.

SANTANA, M. L.; PEREIRA, R. J.; BIGNARDI, A. B. et al. History, structure, and genetic diversity of Brazilian Gir cattle. *Liv. Sci.*, v. 163, p. 26-33, 2014.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; BENCH, C. et al. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Res.in Vet. Sci.*, v.93, p.928-935, 2011.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; BENCH, C. et al. The noninvasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Res. in Vet. Sci.*, v.93, p.928-935, 2012.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; CHURCH, J. S. et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Vet. Sci.* v.83, p.376-384, 2007.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; TESSARO, S.V. et al. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Canadian J. Animal Sci.*, v.84, p.73-80, 2004.

- SCOLARI, S.; EVANS, R.; KNOX, R. et al. Determination of the relationship between vulvar skin temperatures and time of ovulation in swine using digital infrared thermography. In: *Rep. Fert. Develop.* v.22, p.178, Resumo, 2009.
- SETCHELL, B. P. The scrotum and thermoregulation. In: SETCHELL, B. P. (Ed.). *The Mammalian Testis*. Ithaca: Cornell University Press. p.90-108, 1978.
- SHINDER, D.; RUSAL, M.; TANNY, J. Thermoregulatory response of chicks (*Gallus domesticus*) to low ambient temperatures at an early age. *Poul. Sci.*, v.86, p.2200-2209, 2007.
- SIDDIQUI, M. A. R.; BHATTACHARJEE, J.; DAS, Z. C. et al. Crossbred bull selection for bigger scrotum and shorter age at puberty with potentials for better quality semen. *Reprod. in Dom. Ani.*, Berlin, v.43, p.74-79, 2008.
- SILVA, E. M. N. Avaliação da adaptabilidade de caprinos leiteiros com auxílio da precisão termográfica no semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Med. Vet.*, v.36, p.231-237, 2014.
- SILVA, M. V. G. B.; MARTINS, M. F.; CEMBRANELLI, M. DE A. R. et al. Programa de melhoramento genético da raça girolando – 4ª Prova de Pré-Seleção de Touros - Junho/2016. Juiz de Fora; Embrapa Gado de Leite (INFOTECA – E), p.72; doc. 189; 2016.
- SIMÕES, V. G.; LYAZRHI, F.; PICARD-HAGEN, N. et al. Variations in the vulvar temperature of sows during proestrus and estrus as determined by infrared thermography and its relation to ovulation. *Theriog.* v.82, p.1080-1085, 2014.
- SOUZA, C. D.; CHACUR, M. G. M.; RUEDIGER, F. R. et al. Scrotal surface temperature before and after semen collection with digital infrared thermography in Nelore bulls (*Bos taurus indicus*). *Ani. Reprod.*, v.14, p.284, 2017.
- SOUZA, C. D.; CHACUR, M. G. M.; RUEDIGER, F. R. et al. Termogramas por infravermelho da bolsa escrotal e características do sêmen em touros Nelore, *Bos taurus indicus*. In: Congresso Brasileiro De Reprodução Animal. Anais... Belo Horizonte; Colégio Brasileiro de Reprodução Animal, p.82, 2015.

SOUZA, C. D.; CHACUR, M. G. M.; RUEDIGER, F. R. et al. Termorregulação escrotal em touros nelore (*Bos taurus indicus*). *Colloquium Agrariae*, v.10, p. 101-106, 2014.

STELLETTA, C.; GIANESELLA, M.; VENCATO, J. et al. Thermographic applications in veterinary medicine. In *Infrared thermography*. InTech, 2012.

STEWART, M., WILSON, M. T., SCHAEFER, A. L., et al. The use of infrared thermography and accelerometers for remote monitoring of dairy cow health and welfare. *J. Dairy Sci.*, v.100, p.3893-3901, 2017.

STEWART, M.; STAFFORD, K. J.; DOWLING, S. K. et al. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Phy. Beh.*, v.93, p.789-797, 2008.

STEWART, M.; STOOKEY, J. M.; STAFFORD, K. J. et al. Effects of local anesthetic and a non-steroidal anti-inflammatory drug on pain responses of dairy calves to hot-iron dehorning. *J. Dairy Sci.*, v.92, p.1512-1519, 2009.

STEWART, M.; WEBSTER, J. R.; SCHAEFER, A. L. et al. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Ani. Wel.*, v.14, p.319-325, 2005.

SULLIVAN, J. J. Sperm numbers required for optimum breeding efficiency in cattle. Technical conference on artificial insemination and reproduction. Chicago, NAAB, p.36-43, 1970.

TALUKDER, S.; KERRISK, K. L.; INGENHOFF, L. et al. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. *Theriogenology*, v.81, p.925-935, 2014.

TURNER, J. Genetic and biological aspects of zebu adaptability. *J. Anim. Sci.*, v.50, p.1201-1205, 1980.

TURNER, R. M. O. Pathogenesis, diagnosis, and management of testicular degeneration in stallions. *Cli. Tech. Eq. Pract.*, v.6, p.278-284, 2007.

USDA-NASS (United States Department of Agriculture-National Agricultural Statistics Service). Florida livestock, dairy and poultry summary 2016. USDA-NASS,

Washington, DC. Disponível em: <[https://www.nass.usda.gov/Charts\\_and\\_Maps/Milk\\_Production\\_and\\_Milk\\_Cows/cowrates.php](https://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/Milk_Production_and_Milk_Cows/cowrates.php)>. Acesso em: 8 ago. 2017.

VALE FILHO, V. R. Desenvolvimento testicular em touros: aspectos clínicos. In: VII Congresso brasileiro de reprodução animal. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: CBRA, p.418-438, 1988.

VILELA, D.; RESENDE, J. C.; LEITE, J. B.; et al. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. *Rev. Pol. Agrí.*, p.5-27, 2017.

WILHELM FILHO, D.; TORRES, M. A.; BORDIN, A. L. et al. Spermatic cord torsion, reactive oxygen and nitrogen species and ischemia-reperfusion injury. *Molec. Aspec. of Med.*, v.25, p.199-210, 2004.

YOUNGQUIST, R. S.; WALTER R. T. Current Therapy in Large Animal Theriogenology-E-Book. *Elsevier Heal. Sci.*, 2006.

## **5. ARTIGO**

### **Qualidade do sêmen de touros Girolando de diferentes composições raciais e sua correlação com a termografia infravermelho**

#### **Destaques**

Touros 3/4 Hol + 1/4 Gir apresentam características reprodutivas e morfológicas superiores em relação aos touros 5/8 Hol + 3/8 Gir.

Reprodutores 5/8 Hol + 3/8 Gir apresentaram maior capacidade de termorregulação da temperatura escrotal.

A composição racial influencia mais a qualidade do sêmen que a capacidade de termorregulação escrotal.

A composição racial influenciou mais a ocorrência de defeitos maiores e a temperatura superficial do escroto a de defeitos menores dos espermatozoides.

As temperaturas obtidas pela TIV correlacionaram-se com a concentração espermática e com as características morfológicas dos espermatozoides.

## RESUMO

Objetivou-se avaliar a qualidade do sêmen de touros Girolando de diferentes composições raciais e correlaciona-la à termografia infravermelha. Foram avaliados 64 touros 3/4 Holandês + 1/4 Gir (3/4 HOL) e 64 touros 5/8 Holandês + 3/8 Gir (5/8 HOL) com  $28,1 \pm 6,61$  meses de idade e  $579 \pm 125$  kg de peso vivo. A classificação andrológica por pontos considerou índices de pontuação para motilidade, vigor, morfologia espermática, circunferência escrotal e idade. A termografia infravermelha foi realizada nas regiões anatômicas ocular e escrotal. Para avaliação da capacidade de termorregulação dos touros foi calculada a  $\Delta$  entre a temperatura ambiente e a temperatura retal e da T°C do ambiente, temperaturas máximas do olho e escroto e  $\Delta$  das temperaturas da linha mais dorsal e ventral do escroto (DIF L1 – L2). A avaliação do efeito da composição genética foi realizada utilizando-se modelo linear misto, considerando efeito fixo da composição genética e efeito aleatório de ano de avaliação. Utilizou-se o coeficiente de correlação de postos de Spearman para associar os dados de termografia aos parâmetros reprodutivos. A significância do efeito de composição genética foi considerada adotando-se  $\alpha$  igual a 0,05. Verificou-se que capacidade de termorregulação interfere na eficiência reprodutiva dos touros Girolando, independente da composição racial (DIF L1 – L2,  $P < 0,0001$ , para ambos grupos raciais), entretanto nas condições ambientais ocorridas durante a execução deste experimento, a composição racial foi mais importante para a definição da qualidade de sêmen do que a capacidade de regulação da temperatura do escroto. A composição racial influenciou mais os defeitos maiores (DMAI) ( $P < 0,0001$  para o 5/8 HOL quando comparado aos 3/4 HOL) e as temperaturas retal e escrotal os defeitos menores (DMEN) ( $P < 0,0001$ ) dos espermatozoides. Touros 3/4 HOL apresentam características reprodutivas e morfologia corporal superiores em relação aos touros 5/8 HOL, que por sua vez apresentaram maior capacidade de termorregulação da temperatura escrotal. A TIV pode ser usada como método não invasivo e complementar na avaliação reprodutiva de touros, apresentando relação com a concentração espermática e características morfológicas dos espermatozoides.

PALAVRAS CHAVE: Gir, Holandês, Gado de Leite, Morfologia, Reprodução, Cruzamentos.

## 1. INTRODUÇÃO

Diferentes composições raciais são utilizadas nos sistemas de produção de leite do Brasil, país que, segundo o USDA (2017) detém a quinta posição mundial entre os maiores produtores de leite bovino e seus derivados. Em decorrência à sua maior adaptabilidade em ambiente tropical e ao potencial produtivo, estimativa apresentada pela FAO (2017) aponta que os cruzamentos entre bovinos das raças Holandês e Gir, formadoras da raça Girolando, contribuem em cerca de 80% do leite produzido no Brasil, conferindo retorno econômico aos sistemas produtivos com gado de leite no país.

O programa de melhoramento da raça Girolando tem intensificado os testes de progênie para validação do potencial reprodutivo e produtivo dos touros, incentivando a comercialização de sêmen. Atualmente, a raça Girolando é a que mais cresce na produção de sêmen no Brasil atingindo à marca de 641.360 doses produzidas no ano de 2015. Adicionalmente, o uso de cruzamentos com sêmen de touros  $3/4$  HOL +  $1/4$  GIR ( $3/4$  HOL) e  $5/8$  HOL +  $3/8$  GIR ( $5/8$  HOL) passou a ser uma estratégia para obter as principais composições raciais da raça (Silva et al., 2016). No entanto, a proporção de taurinos nos grupamentos raciais  $3/4$  HOL e  $5/8$  HOL, respectivamente, 75% e 62,5% pode representar um dos principais fatores responsáveis pelas diferenças reprodutivas e produtivas observadas nos touros Girolando.

Obter bons índices reprodutivos se torna um ponto estratégico para a lucratividade na bovinocultura, principalmente em ambiente tropical, onde o desafio com o estresse térmico é elevado. Destaca-se então a importância do touro na melhoria da eficiência reprodutiva, podendo-se aplicar nele maior intensidade de seleção que nas fêmeas. Adicionalmente, ressalta-se ao fato de que um único reprodutor pode acasalar com várias matrizes (Franco et al., 2006).

Para ampliar a capacidade reprodutiva, os reprodutores devem produzir espermatozóides morfologicamente normais, e em grande quantidade. Para que ocorra uma espermatogênese eficaz a temperatura dos testículos tem que estar de 2 e 6°C abaixo da temperatura corporal (Kastelic, 2014a). Diversos fatores podem influenciar a

termorregulação testicular e escrotal, dentre eles a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar. Segundo Brito et al. (2004) os efeitos da elevação da temperatura testicular apresentam reflexos diretos na queda da produção e qualidade espermática, como também na fertilidade dos touros, acarretando em perda econômica que implica em menor taxa de prenhez consequentemente, menor taxa de parto.

A termografia infravermelho é um método indireto não invasivo que pode auxiliar a mensuração da temperatura na superfície escrotal em touros (Brito et al., 2002). É uma alternativa promissora para avaliar a capacidade de termorregulação testicular dos touros criados em ambiente tropical e, assim, pode ser utilizada para a identificação de animais adaptados para reprodução nos trópicos. Entretanto, ainda existe a carência de métodos precisos para associar a termografia aos fenômenos fisiológicos ou patológicos da reprodução, já que a temperatura da superfície corporal é dependente de condições ambientais e do metabolismo individual (Brioschi, 2011).

Este trabalho foi desenvolvido baseando-se nas seguintes hipóteses: *i*) touros de diferentes composições genéticas da raça Girolando apresentam características de qualidade de sêmen distintas, *ii*) há possibilidade do emprego da termografia como método não invasivo auxiliar para a avaliação da capacidade reprodutiva de touros.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Local Experimental**

O estudo foi realizado entre os meses de fevereiro e abril de 2016 e 2017, no programa de seleção dos touros girolando (pré - teste), no Centro de Performance Girolando, no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (29°56'9"S; 56°55'25"O), no município de Uberaba, MG. Todos os procedimentos foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite (Protocolo CEUA – EGL n° 2400161017).

Os dados da temperatura e da umidade relativa do ar foram coletados por estação meteorológica automática OMM: 83577 situada nas dependências da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) em Uberaba, MG, e foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As temperaturas em graus Celsius e umidades relativas do ar (UR) mínima, média e máxima para os anos de

2016 e 2017 foram 14.6; 25.7 e 33.6 °C e 27.0%; 70.2% e 99.0% e 19.2; 25.6 e 33.4 °C e 39.0%; 69.0% e 96.0%, respectivamente.

## **2.2 Manejo e seleção dos animais**

Os touros foram oriundos de rebanhos associados ao programa de melhoramento da raça Girolando. Nos dois anos foram mantidos durante a estação chuvosa (de setembro a março) em pastagens de braquiária (*Urochloa brizantha* cv. MG-5 Vitória) e durante a estação seca (de abril a agosto) foram alimentados com silagem de milho e concentrado a base de fubá de milho, farelo de soja e núcleo mineral vitamínico; na proporção volumoso/concentrado (70:30). Todos os animais foram mantidos sob as mesmas condições de alimentação e manejo, com acesso livre a suplemento mineral (PSAI Extra Fator P<sup>®</sup>, Premix, Ribeirão Preto, SP, Brasil) e água.

Em cada ano foram avaliados 64 touros de composição genética 3/4 HOL e 64 touros 5/8 HOL, totalizando 128 animais, com 28,1±6,61 meses de idade e 579±125 kg de peso vivo.

## **2.3 Parâmetros espermáticos**

Os parâmetros reprodutivos foram avaliados três vezes durante o período do pré – teste.

A circunferência escrotal (CE) foi avaliada seguindo os procedimentos de Kastelic e Thundathil, (2008), sendo realizadas duas medições consecutivas, utilizando fita para medição de perímetro escrotal (Walmur, Pouso Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil), considerando-se o valor final a média dos valores obtidos.

Para a avaliação da qualidade do sêmen adotou-se os procedimentos descritos no Manual para Exame Andrológico e Avaliação de Sêmen Animal do Colégio Brasileiro de Reprodução Animal (CBRA, 2013). As amostras foram obtidas por estimulação artificial via eletroejaculador Autojac-Neovet (Autojac<sup>®</sup>, Neovet, Campinas, SP). Foram realizadas três coletas mensais durante o período de três meses de prova de cada ano. A motilidade espermática (MOT) foi examinada em microscópio de campo claro (LEICA CME, Buffalo, NY, EUA) com ampliação de 100 em alíquota de 5 µL de sêmen colocada em escorregador aquecido (37°C) e coberta com lamínula. O índice de MOT

foi avaliado como a porcentagem de movimento de esperma (0 a 100%). O vigor espermático (VIG) foi avaliado utilizando escala de 0 a 5 baseado no movimento progressivo do esperma, em que 0 = nenhum, 1 = muito fraco, 2 = fraco, 3 = intermediário, 4 = forte e 5 = muito forte. O turbilhonamento (TURB) foi avaliado colocando-se uma gota de sêmen, recém-colhido, sobre uma lâmina previamente aquecida a 37°C e levando-a ao microscópio convencional (LEICA CME, Buffalo, NY, EUA), com aumento de 100 vezes. A interpretação de TURB seguiu o modelo de Fonseca et al. (1991). A concentração espermática (CMIL) foi mensurada segundo Mies Filho, (1987) pela contagem dos espermatozoides, que representa o número de espermatozoides por milímetro cúbico ( $\text{mm}^3$ ). Cada amostra de sêmen foi também diluída em solução salina tamponada-formaldeído (1:10) e a morfologia espermática foi analisada utilizando-se microscópio de contraste (MEIJI TECHNO, Chikumazawa, Japão). Os defeitos maiores do esperma (DMAI) foram considerados como: defeito do acrossoma, cabeça anormal, cabeça dobrada, gota citoplasmática proximal, defeito de peça central, cauda acessória e cauda dobrada. Os defeitos menores do esperma (DMEN) incluíram gota citoplasmática distal, inserção abaxial, cauda dobrada e cabeça destacada. Os defeitos totais (DTOT) foram considerados em 200 espermatozóides de cada animal e a classificação espermática foi descrita baseada em Barth (2007).

#### **2.4 Classificação Andrológica por Pontos**

A classificação andrológica por pontos (CAP) dos touros foi realizada seguindo as recomendações de Chenoweth e Ball (1980), modificada por Vale Filho (1988) que estabeleceram índices de pontuação para MOT, VIG, DMAI, DMEN, DTOT e CE. Após atribuir as pontuações, os animais tiveram o desempenho classificado como: satisfatório (60 - 100 pontos), questionável (30 - 59 pontos) ou insatisfatório (< 30 pontos).

#### **2.5 Morfologia corporal**

Avaliou-se na prova de morfologia corporal (MORF): conformação e capacidade corporal (20%), contemplando a profundidade corporal, masculinidade, comprimento corporal, força dorso lombar, altura na garupa e caracterização racial; força leiteira

(20%), caracterizando a forma leiteira, perímetro torácico e amplitude peitoral; aprumos (25%); avaliando as pernas vistas por trás, pernas vistas lateral, ângulos, regularidade de cascos e membros anteriores; garupa (10%); envolvendo o ângulo, largura e comprimento da garupa; e por fim o conjunto do aparelho reprodutor (25%); englobando a bolsa escrotal, conjunto umbigo bainha e prepúcio. Foi considerado o valor médio de três avaliadores, conforme descrito por Menezes e Ledic, (2010).

## **2.6 Temperamento**

Foi gerado índice de temperamento (TEMP) adotando os procedimentos para avaliação descritos por Paranhos da Costa et al. (2015), sendo gerados dados de tempo de entrada, escore de reatividade no tronco, velocidade de fuga e escore de temperamento.

## **2.7 Índice final de classificação de touros**

Foi individualmente atribuído aos touros o índice final de classificação de touros (IFCT), considerando a escala de 0 a 100 pontos, com pesos de 60% para a classificação andrológica, 30% para a avaliação morfológica de tipo funcional e 10% para a avaliação de temperamento, sendo este último corrigido para base 100 (Silva et al., 2016).

## **2.8 Termografia Infravermelha**

Foi utilizado o dispositivo portátil FLIR T420 (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA) sendo avaliadas as regiões: ocular (Figura 1) e escrotal, (Figura 2). A câmera foi direcionada para a superfície caudal do escroto e padronizou-se em 1m a distância do termógrafo à região anatômica, 20°C de temperatura de reflectância e adotou-se 0.98 como valor de emissividade, conforme recomendação para imagem de tecidos biológicos (Menegassi et al., 2015 e Swertart et al., 2017). Os arquivos gerados foram interpretados com o software FLIR Tools 5.6 (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA). Foi utilizada a paleta *iron* e a ferramenta “medição de círculo” padronizada para 57 x 57 mm para a região ocular e a “medição em linhas”, para a região escrotal, obtendo-se os

valores médios, em *pixel*, de temperatura máxima, mínima e média das regiões delimitadas, nas porções dorsal (Linha 1) e ventral do escroto (Linha 2).

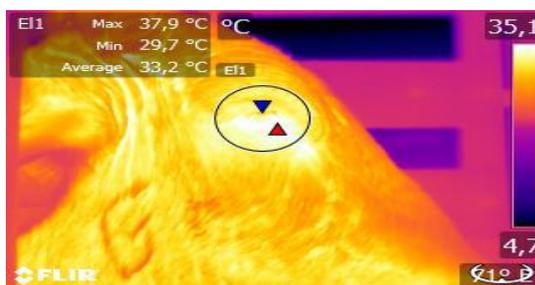


Figura 1. Região termográfica do ocular.

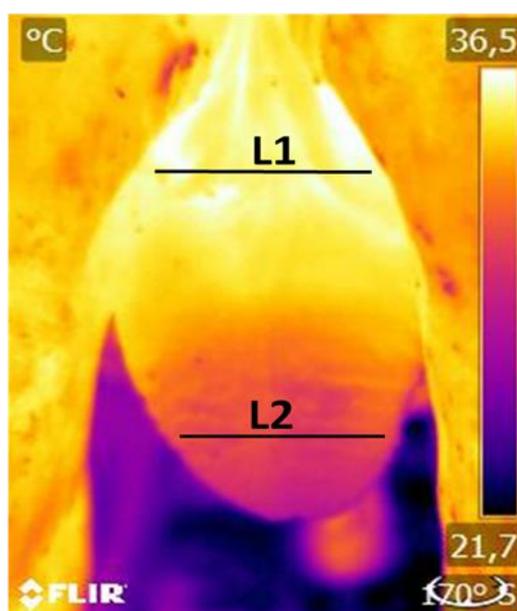


Figura 2. Região termográfica do escrotal. L1 (Linha 1 representando a região dorsal) e L2 (Linha 2 representando a região ventral).

Adicionalmente, nos períodos de coleta de dados de termografia, os touros foram pesados em balança eletrônica (Valfrant<sup>®</sup>, modelo VF – Premium, Votuporanga, SP) e a média de três pesagens foi utilizada.

## 2.9 Cálculos

A temperatura (C) e a umidade relativa (UR%) foram avaliadas durante o momento das capturas das imagens termográficas com o dispositivo psicrômetro de umidade sem fuso com termômetro intravermelho e Bluetooth (FLIR Commercial

Systems, Extech, modelo MO297, MeterLink™, Nashua, EUA). Esses dados foram utilizados para calcular o índice de temperatura e umidade (ITU) segundo a equação proposta por Thom (1958):

$$ITU = 0,8 \times T^{\circ}C + UR\% \times (T^{\circ}C - 14,4) + 46,4$$

A temperatura retal de todos os touros foi aferida com termômetro digital (Ombo Electronics, iColor®, modelo G-Tech, Shenzhen, China) com faixa de medição de 32.0°C a 43.9°C, sempre após a obtenção da imagem termográfica. Para avaliação da capacidade de termo regulação dos touros foi calculada a  $\Delta$  entre a temperatura ambiente e a temperatura retal e da °C ambiente e temperaturas máximas do olho e escroto.

## 2.10 Procedimentos estatísticos

A avaliação do efeito da composição racial foi realizada utilizando-se modelo linear misto, considerando como efeito fixo a composição racial e efeito aleatório o ano de avaliação, utilizando-se o procedimento GLIMMIX do SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA versão 9.4), segundo o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \varepsilon_{ij}$$

Em que,  $Y_{ij}$  é a variável dependente,  $\mu$  é a média geral,  $G_i$  é o efeito fixo da composição genética,  $A_j$  é o efeito aleatório de ano e  $\varepsilon_{ij}$  é o erro do modelo. A significância do efeito da composição racial (teste F) foi considerada adotando-se  $\alpha$  igual a 0,05.

Anteriormente ao estudo de correlação, foi verificada a distribuição dos dados pelo teste de Kolmogorov – Smirnov. Os parâmetros reprodutivos não apresentaram distribuição normal. Assim, utilizou-se o coeficiente de correlação de postos de Spearman para associar os dados de termografia aos parâmetros reprodutivos. Utilizou-se o procedimento CORR do SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA). Foram calculados os coeficientes de correlação de postos de Spearman ( $\rho$ ) adotando-se  $\alpha$  igual a 0,05.

## 3. RESULTADOS

Não houve variação ( $P > 0,3$ ) entre as composições raciais para a idade e para o peso corporal dos touros, sendo verificadas as médias gerais de 923 dias e 598,5 kg,

respectivamente. Os animais 3/4 HOL apresentaram médias superiores ( $P \leq 0,01$ ) em MORF, TEMP, CAP, IFCT e CE. Não foram verificadas variações ( $P \geq 0,05$ ) para TURB, VIG e MOT em relação às composições raciais. Já os animais 5/8 HOL apresentaram percentuais superiores ( $P < 0,001$ ) de DMAI e DTOT. Não houve  $\Delta$  entre as composições raciais para DMEN e CMIL (Tabela 1).

Não houve variação ( $P = 0,75$ ) na temperatura do ambiente durante a coleta dos dados de termografia para as diferentes composições raciais. Embora tenha sido verificada  $\Delta$  de apenas  $0,1^{\circ}\text{C}$  entre as composições raciais, a média de temperatura retal foi menor ( $P < 0,001$ ) para os animais 3/4 HOL quando comparado aos 5/8 HOL (Tabela 2). A média de temperatura ocular de  $33,6^{\circ}\text{C}$  não variou ( $P = 0,6$ ) entre as composições raciais dos touros. Os touros 3/4 HOL apresentaram, em média, a temperatura escrotal de  $0,8^{\circ}\text{C}$  mais elevada ( $P < 0,001$ ) em relação aos 5/8 HOL. Os resultados de  $\Delta$  na temperatura do “ar – retal” e “ar – ocular”, não apresentaram variação ( $P \geq 0,05$ ) em relação às composições raciais, já a  $\Delta$  da temperatura do ar - escrotal ( $P < 0,001$ ) foi superior para o grupo 5/8 HOL em 10,75% quando comparado aos 3/4 HOL. Foi observado  $\Delta$  entre temperatura “retal – escrotal” e “ocular – escrotal” ( $P < 0,001$ ), respectivamente superior em 9,81% e 10,62% comparando o grupo 5/8 HOL em relação ao 3/4 HOL. Não foi observada  $\Delta$  na temperatura “retal – ocular” ( $P = 0,059$ ) (Tabela 2).

A temperatura retal (TRET) apresentou correlação negativa ( $P \leq 0,05$ ) com o IFCT e positiva ( $P < 0,001$ ) com índices de alterações morfológica dos espermatozoides: DMAI, DMEN e DTOT (Tabela 3).

Observou-se que as temperaturas máximas, médias e mínimas do olho apresentaram correlação negativa, ( $P \leq 0,05$ ) com o IFCT, CAP, MOT, VIG, CMIL e TURB e correlação positiva ( $P < 0,001$ ) com os índices de morfologia espermática DMEN e DTOT (Tabela 3).

Para as temperaturas da linha dorsal (L1) ao escroto, as correlações foram positivas ( $P < 0,001$ ) com os DMAI e DTOT e negativas ( $P \leq 0,05$ ) com CAP, e para as temperaturas da linha ventral (L2) na superfície do testículo, as correlações foram positivas ( $P < 0,001$ ) com os DMEN e DTOT e negativas ( $P \leq 0,05$ ) com VIG, CMIL e TURB (Tabela 3).

Tabela 1. Médias de idade (em dias), peso corporal, morfologia, temperamento e avaliação do exame andrológico de touros da raça Girolando de acordo com a composição racial

Item <sup>1</sup>	Composição Racial		EPM	Valor <i>P</i>
	5/8 HOL	3/4 HOL		
Idade em dias	931	914	34,3	0,359
Peso corporal, kg	601	596	21,7	0,997
MORF, %	77,20	79,80	0,49	<b>&lt;0,001*</b>
TEMP, %	65,90	72,50	3,08	<b>&lt;0,001</b>
CAP, (0-100)	71,30	75,40	2,20	<b>0,013</b>
IFCT, (0-100)	71,90	76,40	0,76	<b>&lt;0,001</b>
CE, cm	35,20	36,70	0,26	<b>&lt;0,001</b>
TURB, (0-5)	1,72	1,87	0,11	0,236
VIG, (0-5)	3,55	3,55	0,27	0,523
MOT, (0-100)	65,60	66,80	4,22	0,926
DMAI, (0-100)	4,36	3,20	0,23	<b>&lt;0,001</b>
DMEN, (0-100)	8,92	7,47	1,37	0,064
DTOT, (0-100)	14,40	10,60	0,88	<b>&lt;0,001</b>
CMIL, (mil/mL)	463	505	29,6	<b>0,165</b>

<sup>1</sup> CAP (Classificação Andrológica por Pontos); CE (Circunferência escrotal); CMIL (Concentração de espermatozoides/ ml de ejaculado); DMAI (Defeitos Espermáticos Maiores); DMEN (Defeitos Espermáticos Menores); DTOT (Defeitos Espermáticos Totais); EPM (Erro Padrão da Média); IFCT (Índice Final de Classificação de Touros); MORF (Morfologia Corporal); MOT (Motilidade); TEMP (Temperamento); TURB (Turbilhonamento); VIG (Vigor); (\*) valores significativos em negrito.

Tabela 2. Temperaturas do ar, retal, ocular e escrotal e suas diferenças em touros Girolando de acordo com a composição racial

	Composição Racial		EPM	Valor <i>P</i>
	5/8 HOL	3/4 HOL		
Temperaturas absolutas, °C <sup>1</sup>				
Ar	21,2	21,1	4,02	0,755
Retal	39,0	38,9	0,03	<b>&lt;0,001*</b>
Ocular	33,6	33,6	1,64	0,637
Escrotal	28,8	29,6	1,69	<b>&lt;0,001</b>
Diferenças, °C			EPD	
Ar – retal	-17,8	-17,7	4,03	0,664
Ar – ocular	-12,4	-12,5	2,39	0,419
Ar – escrotal	-7,5	-8,4	2,33	<b>&lt;0,001</b>
Retal – escrotal	10,3	9,3	1,69	<b>&lt;0,001</b>
Ocular – escrotal	4,8	4,1	0,12	<b>&lt;0,001</b>
Retal – ocular	5,5	5,2	1,64	0,059

<sup>1</sup> T° C (Temperatura em graus Celsius) do ar, retal, ocular, escrotal; EPD (Erro Padrão da Diferença); EPM (Erro Padrão da Média); (\*) valores significativos em negrito.

Para as TAR, TRET e ITU as correlações foram positivas ( $P < 0,001$ ) com as temperaturas termográficas do OMED, L1MED e L2MED. Já com UR e a DIF L1-L2 as correlações apresentaram-se negativas ( $P < 0,001$ ) (Tabela 4).

Para as temperaturas da linha ventral (L2) na superfície do testículo, as correlações foram positivas ( $P < 0,0001$ ) com os DMEN e DTOT na avaliação geral e específica do grupamento racial 3/4 HOL. A  $\Delta$  das linhas dorsal e ventral (DIF L1-L2) apresentaram correlações negativas ( $P \leq 0,05$ ) com DMEN e DTOT (Tabela 5).

Observa-se na tabela 6 que houve variação entre as composições raciais ( $P < 0,0001$ ) para a temperatura superficial do escroto, das temperaturas das linhas (L1), linha mais dorsal e para (L2) mais ventral ao escroto. Também houve divergência entre as composições raciais para os valores da  $\Delta$  entre os polos dorsal e ventral do escroto (DIF L1-L2).

Tabela 3. Coeficiente de correlação de postos de Spearman ( $\rho$ ), valor de significância ( $P$ -value) e número de observações (N) para indicadores de condição climática, temperaturas do animal e indicadores de qualidade espermática em touros Girolando

		Índices		Motilidade			Morfologia espermática			CMIL
		IFCT	CAP	MOT	VIG	TURB	DMAI	DMEN	DTOT	
TRET	$\rho$	<b>-0,13*</b>	-0,07	-0,01	0,00	0,00	<b>0,14</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	-0,03
	$P$ -value	<0,001	0,18	0,89	0,91	0,93	<0,001	0,02	0,02	0,50
	N	379	381	379	379	379	379	379	379	379
OMAX	$\rho$	-0,09	<b>-0,13</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,19</b>	-0,09	-0,05	<b>0,23</b>	<b>0,14</b>	<b>-0,49</b>
	$P$ -value	0,07	<0,001	0,01	<0,001	0,09	0,34	<0,001	<0,001	<0,001
	N	382	379	382	382	382	382	382	382	382
OMIN	$\rho$	<b>-0,09</b>	<b>-0,15</b>	<b>-0,24</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,16</b>	0,00	<b>0,19</b>	<b>0,16</b>	<b>-0,45</b>
	$P$ -value	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,98	<0,001	<0,001	<0,001
	N	380	378	380	380	380	380	380	380	380
OMED	$\rho$	<b>-0,10</b>	<b>-0,15</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,13</b>	-0,06	<b>0,21</b>	<b>0,15</b>	<b>-0,54</b>
	$P$ -value	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	0,01	0,26	<0,001	<0,001	0,03
	N	381	378	381	381	381	381	381	381	381
L1MAX	$\rho$	-0,05	<b>-0,10</b>	0,03	-0,02	-0,01	<b>-0,15</b>	-0,03	<b>-0,11</b>	<b>-0,15</b>
	$P$ -value	0,33	0,05	0,59	0,72	0,08	<0,001	0,47	0,02	<0,001
	N	381	378	381	381	381	381	381	381	379
L1MIN	$\rho$	-0,03	-0,07	0,02	-0,03	-0,01	<b>-0,12</b>	0,00	-0,04	<b>-0,21</b>
	$P$ -value	0,50	0,19	0,74	0,57	0,90	0,03	0,98	0,33	<0,001
	N	380	378	380	380	380	380	380	380	380
L1MED	$\rho$	-0,07	<b>-0,11</b>	0,00	-0,05	-0,03	<b>-0,15</b>	0,00	-0,06	<b>-0,24</b>
	$P$ -value	0,20	0,03	0,99	0,35	0,59	<0,001	0,93	0,17	<0,001
	N	380	378	380	380	380	380	380	380	380
L2MAX	$\rho$	-0,02	-0,07	<b>-0,16</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,14</b>	-0,09	<b>0,14</b>	<b>0,22</b>	<b>-0,12</b>
	$P$ -value	0,74	0,16	<0,0001	<0,001	<0,001	0,09	<0,001	<0,001	0,02
	N	378	375	378	378	378	378	378	378	378
L2MIN	$\rho$	-0,02	-0,05	-0,11	<b>-0,14</b>	-0,03	-0,09	<b>0,12</b>	<b>0,21</b>	<b>-0,41</b>
	$P$ -value	0,95	0,32	0,03	<0,001	0,54	0,09	<0,001	<0,001	<0,001
	N	378	375	378	378	378	378	378	378	378
L2MED	$\rho$	-0,02	-0,08	<b>-0,16</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,11</b>	-0,08	<b>0,14</b>	<b>0,24</b>	<b>-0,44</b>
	$P$ -value	0,65	0,11	<0,001	<0,001	0,03	0,13	<0,001	<0,001	<0,001
	N	381	378	381	381	381	381	381	381	381

<sup>1</sup> CAP (Classificação Andrológica por Pontos); CE (Circunferência escrotal); CMIL (Concentração de espermatozoides/ ml de ejaculado); DMAI (Defeitos Espermáticos Maiores); DMEN (Defeitos Espermáticos Menores); DTOT (Defeitos Espermáticos Totais); EPM (Erro Padrão da Média); IFCT (Índice Final de Classificação de Touros); L1MAX. L1MED e L1MIN (Temperatura máxima, média e mínima da linha 1 respectivamente); L2MAX. L2MED e L2MIN (Temperatura máxima, média e mínima da linha 2 respectivamente); MORF (Morfologia Corporal); MOT (Motilidade); OMAX. OMED e OMIN (Temperatura máxima, média e mínima do olho respectivamente); TAR (Temperatura do ar); TEMP (Temperamento); TURB (Turbilhonamento); VIG (Vigor); (\*) valores significativos em negrito.

Tabela 4. Coeficiente de correlação de postos de Spearman ( $\rho$ ), valor de significância ( $P$ -value) e número de observações (N) para indicadores de condição climática, temperaturas do animal e temperaturas termográficas em touros Girolando

		OMED	L1 MED	L2 MED	DIF L1-L2
TAR <sup>1</sup>	$\rho$	<b>0,9148*</b>	<b>0,3553</b>	<b>0,7843</b>	<b>-0,6513</b>
	$P$ -value	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	N	381	381	381	377
UR	$\rho$	<b>-0,2119</b>	<b>-0,4281</b>	<b>-0,2153</b>	0,0265
	$P$ -value	<0,001	<0,0001	<0,0001	0,6083
	N	381	381	381	377
ITU	$\rho$	<b>0,9126</b>	<b>0,3497</b>	<b>0,7832</b>	<b>-0,6529</b>
	$P$ -value	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	N	381	381	381	377
TRET	$\rho$	<b>0,2809</b>	<b>0,3370</b>	<b>0,2129</b>	<b>-0,0776</b>
	$P$ -value	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	N	375	375	375	372

<sup>1</sup> DIF L1-L2 (Diferença das temperaturas termográficas da linha 1 e da linha 2); ITU (Índice de Temperatura e Umidade); DIF L1-L2 (Diferença das temperaturas termográficas da linha 1 e da linha 2); OMED (Temperatura termográfica média do olho); UR (Umidade Relativa do Ar); TAR (Temperatura do ar); TRET (Temperatura Retal);.

Tabela 5. Coeficiente de correlação de postos de Spearman ( $\rho$ ), valor de significância ( $P$ -value) e número de observações (N) para temperaturas termográficas em touros Girolando

		5/8 HOL			3/4 HOL			Geral		
		DMAI	DMEN	DTOT	DMAI	DMEN	DTOT	DMAI	DMEN	DTOT
L1MAX <sup>1</sup>	P	-0,09	-0,06	-0,08	-0,09	-0,01	-0,07	-0,10	-0,05	-0,09
	$P$ -value	0,26	0,41	0,31	0,18	0,87	0,34	0,06	0,38	0,09
	N	165	165	165	195	195	195	360	360	360
L2 MAX	P	-0,10	0,12	0,06	0,10	<b>0,39*</b>	<b>0,38</b>	-0,02	<b>0,25</b>	<b>0,20</b>
	$P$ -value	0,19	0,12	0,43	0,16	<,0001	<,0001	0,76	<,0001	0,0002
	N	164	164	164	193	193	193	357	357	357
DIF L1-L2	P	0,04	<b>-0,18</b>	-0,13	-0,11	<b>-0,38</b>	<b>-0,39</b>	-0,02	<b>-0,28</b>	<b>-0,25</b>
	$P$ -value	0,59	0,02	0,11	0,11	<,0001	<,0001	0,69	<,0001	<,0001
	N	163	163	163	193	193	193	356	356	356

<sup>1</sup>DIF L1-L2 (Diferenças entre a temperatura da linha 1 com a linha 2); DMAI (Defeitos Maiores); DMEN (Defeitos Menores); DTOT (Defeitos Totais); L1MAX (Temperatura máxima da linha 1); L2MAX (Temperatura máxima da linha 2); (\*) valores significativos em negrito.

Tabela 6. Temperaturas máximas das linhas 1 (dorsal) e 2 (ventral) escrotal e suas diferenças em touros Girolando de acordo com a composição racial

	Composição Racial		EPM	Valor <i>P</i>
	5/8 HOL	3/4 HOL		
Temperaturas absolutas, °C <sup>1</sup>				
L1MAX	35,89	36,15	0,09	<b>0,0403*</b>
L2 MAX	29,84	30,80	1,48	<b>&lt;0,0001</b>
DIF L1-L2	6,04	5,36	1,41	<b>&lt;0,0001</b>

<sup>1</sup> EPM (Erro Padrão da Média); DIF L1-L2 (Diferenças entre a temperatura da linha 1 com a linha 2); L1MAX (Temperatura máxima da linha 1); L2MAX (Temperatura máxima da linha 2); T° C (Temperatura em graus Celsius) escrotal; (\*) valores significativos em negrito.

#### 4. DISCUSSÃO

Não houve variação na idade e no peso dos touros em função dos grupos raciais, o que indica a igualdade das condições experimentais necessárias para comparação desses grupos quanto à qualidade do sêmen, uma vez que, conforme Mathevon et al. (1998), a idade e o peso dos animais, se relacionam com a maturidade sexual de touros, com reflexos sobre os parâmetros empregados para qualificação do sêmen.

Com os resultados obtidos nesse estudo, foi aceita a hipótese de que touros da raça Girolando com diferentes composições raciais apresentam qualificações distintas para MORF, TEMP e alguns parâmetros de qualidade do sêmen, como TURB e VIG. Neste caso, valores superiores em 9,5% e 9,1% foram encontrados no grupo 3/4 HOL para a avaliação de MORF e TEMP, respectivamente em relação ao grupamento racial 5/8 HOL. Esse fato pode ser atribuído ao maior percentual da raça Holandês na composição genética dos touros 3/4 HOL, uma vez que, conforme verificado por Garcia-Ruiz (2016), corresponde a uma raça que vem sendo selecionada por mais de cem anos para características funcionais, morfológicas e temperamento.

Os índices 5,4%; 5,9% e 4,1% superiores observados para o grupo genético dos touros 3/4 HOL em CAP, IFCT e CE, respectivamente, podem também estar associados à maior contribuição da raça Holandês na composição racial desse grupo de touros. Tem sido observado por Godfrey et al. (1990) menor produção de espermática, baixa qualidade do sêmen (maior incidência de defeitos espermáticos) e menor circunferência escrotal para touros zebuínos quando comparados aos taurinos, características que

compõem os índices supracitados. Neste caso, ainda tendo em conta a participação distinta das genéticas zebuína e taurina na composição dos grupos raciais avaliados e, como não houve variação na idade média para esses grupos, deve-se considerar que Brito et al. (2002) observaram que touros jovens *Bos taurus indicus* foram mais tardios para a maturação sexual em relação aos *Bos taurus taurus*, condição que pode impactar negativamente a CE e toda a avaliação andrológica de animais com idade similar aos utilizados no atual estudo.

Embora tenham sido verificados valores distintos de TRET para ambos os grupos genéticos, esses valores foram muito próximos e, independente do grupo, essas médias foram condizentes com a temperatura fisiológica de 38,0 à 39,3°C conforme descrito por Du Preez, (2000). Este fato aponta para a capacidade semelhante em relação à termorregulação interna dos dois grupos genéticos nas condições ambientais observadas durante a realização desse estudo, já que não houve variação para as médias de temperatura do ar durante as avaliações de termografia entre as composições raciais avaliadas. Esta consideração é ratificada pelos valores semelhantes observados entre as composições raciais para as médias de temperatura ocular e nas médias das  $\Delta$  entre temperatura do “ar – retal” e “ar – ocular” e pelos valores diferentes encontrados durante a avaliação da temperatura “ar – escrotal”. Neste contexto, estudos de Schaefer et al. (2012), Stewart et al. (2008) e Stewart et al. (2017) também verificaram que o valor da termografia de olho apresentou correlação positiva com a temperatura interna em bovinos. Segundo Muller (1982) a temperatura crítica superior da zona termo neutra (condição onde não há alterações fisiológicas significativas ou perda de energia para manutenção da temperatura interna em valor fisiológico), pode chegar a 25° C para bovinos da raça Holandês ou até 29° C para animais zebuínos, o que indica que as avaliações termográficas foram conduzidas sem estresse térmico para os touros e que o presente estudo foi conduzido em faixa de termoneutralidade para o desempenho dos touros, independente do grupo genético.

Apesar do estudo de termografia ter sido conduzido sem ocorrência de períodos de estresse térmico para os touros, as menores médias observadas na temperatura superficial do escroto, na  $\Delta$  entre a temperatura do “ar – escroto” e nas maiores médias das  $\Delta$  entre a temperatura “retal – escrotal” e “ocular – escrotal” para os touros 5/8 HOL indicam a maior capacidade de termorregulação escrotal em relação ao animais 3/4 HOL. Essa condição possivelmente se deve a maior participação da genética zebuína na

composição dos 5/8 HOL. Turner (1980) justificou a adaptabilidade dos zebuínos à maior superfície da pele em relação ao tamanho do corpo, e ao maior número de glândulas sudoríparas por área, condições que favorecem a dissipação de calor e contribuem para redução da temperatura superficial do corpo.

A qualidade seminal tem influência mais pronunciada *Bos taurus taurus* e mestiços comparados a *Bos taurus indicus* em animais expostos a estresse térmico (Brito et al., 2004). Contudo, como o atual estudo foi conduzido em temperaturas médias abaixo do limite necessário para promover estresse em bovinos das raças Holandês, Gir e seus cruzamentos. Porém,, os resultados obtidos na termografia indicam que sob condições climáticas extremas (ambiente com altas temperaturas e/ou índices de umidade) os touros 5/8 HOL poderiam apresentar maior habilidade para manter as condições fisiológicas de temperatura no testículo devido à sua maior capacidade em manter a temperatura mais baixa na superfície do corpo. Dessa forma, touros 5/8 HOL poderiam apresentar vantagens quanto à qualidade de sêmen quando comparados aos 3/4 HOL, se ambos grupamentos fossem mantidos em condições de estresse térmico. Esta informação é respaldada pelo trabalho de Johnston et al. (1963) que reportaram a diminuição da qualidade do sêmen em touros sob o estresse térmico. Também no estudo de Kastelic et al. (2014), que relataram que a  $\Delta$  entre a temperatura corporal (mais elevada) e testicular (mais baixa) favorece a espermatogênese. Brito et al. (2004), em seus trabalhos também demonstraram que touros taurinos reduzem mais rapidamente a qualidade de sêmen que os zebuínos quando ambos são submetidos a condições de temperatura e umidade elevadas.

Segundo Johnston et al. (1963), nos trópicos, a produção de esperma e a qualidade do sêmen diminuem durante a estação quente. Porém, as variações de produção espermática não podem ser atribuídas apenas à variação da temperatura ambiental e à capacidade dos animais se adaptarem às condições estressantes do clima, tendo em vista ser a composição racial um dos fatores responsáveis por essa característica.

Partindo do princípio que o atual estudo foi executado em condições climáticas não estressantes para os touros e que os DMAI, DMEN e DTOT foram superiores em 26,6%, 16,3% e 26,4% nos touros 5/8 HOL em relação aos 3/4 HOL, esses resultados apontam que a composição racial influenciou os parâmetros de qualidade do sêmen. Esses resultados podem ser atribuídos à maior participação da raça Holandês (Garcia-

Ruiz, 2016), na composição do 3/4 HOL. Segundo Arruda et al. (2015), os DMAI ocorrem durante o processo da espermiogênese, dentro dos testículos, atribuindo a estes defeitos os de cabeça, peça intermediária e cauda. Já os DMEN surgem após os espermatozoides terem deixado os testículos, conseqüentemente, durante sua passagem pelo epidídimo ou durante a ejaculação ou manipulação do sêmen.

No presente estudo, as correlações positivas dos valores de termografia de olho com a TRET ( $\rho = 0,2809$ ) e com TAR ( $\rho = 0,9148$ ) indicam que a temperatura superficial do olho é influenciada pela temperatura interna e à temperatura ambiente. Assim, temperaturas obtidas por termografia são menos sujeita ao controle homeostático pelo organismo animal e mais propícia a sofrer alterações da condição ambiental quando comparada à TRET.

Os valores de termografia do olho podem refletir melhor efeitos da temperatura ambiente sobre a capacidade reprodutiva dos touros e, nesse caso, as correlações negativas obtidas de termografia de olho com valores de IFCT, CAP, MOT, VIG, CMIL, TURB e DMAI indicam a viabilidade do emprego da termografia como metodologia indicativa da capacidade reprodutiva do tipo de animal estudado. Estudos de Schaefer et al. (2012) e Stewart et al. (2008) mostraram que a termografia do olho tem relação direta com a temperatura interna e estresse em bovinos, sendo que alta temperatura e estresse resultam em efeitos negativos para a espermatogênese normal, podendo gerar problemas reprodutivos em touros. Os parâmetros de cinética espermática (MOT, VIG e TURB) são prejudicados quando a proporção de defeitos espermáticos é maior. Menegassi et al. (2014) constataram redução da motilidade, turbilhonamento e vigor espermático, no entanto, as características morfológicas dos espermatozoides não foram alteradas em touros Braford (5/8 Hereford + 3/8 Nelore) com idade de aproximadamente 24 meses criados na região sul do Brasil.

Os resultados de Kastelic, Couter e Cook (1995) e Souza et al. (2014) em touros das raças Charolês, Angus, Hereford, Simental e Nelore para temperatura média na superfície escrotal no polo dorsal e ventral foram de 30,4°C e 28,8°C; 36,9°C e 32,8°C, respectivamente, com a média de 1,6°C a 4,1°C de diferença respectivamente, entre o polo ventral e dorsal do escroto. Estas médias foram consistentes com a variação de temperatura observadas no atual trabalho e de acordo com relatos de Kastelic (2014b). A  $\Delta$  de temperaturas entre os polos dorsal e ventral da superfície do testículo relaciona-

se à necessidade de resfriamento deste órgão que exige faixas de temperatura abaixo da faixa de temperatura interna do corpo.

As correlações negativas verificadas entre a  $\Delta$  “L1 – L2” com os DMEN e DTOT apontam que o uso desta  $\Delta$  de temperatura obtida na termografia pode ser útil para avaliar a capacidade de resfriamento do testículo e também pode ser indicativa de ocorrência de defeitos espermáticos em touros. Salienta-se o maior valor ( $P < 0,0001$ ) dessa  $\Delta$  “L1 – L2” observada para os touros 5/8 HOL, ratificando-se a maior capacidade desse grupamento em resfriar a superfície escrotal. A maior correlação observada entre “L1 – L2” e DMEN para os touros 3/4 HOL em relação à correlação obtida para os 5/8 HOL indicam a possibilidade de uso dessa  $\Delta$  de temperatura da superfície do escroto como indicação de ocorrência de defeitos espermáticos pela dificuldade de resfriamento do testículo.

## 5. CONCLUSÕES

A termografia por infravermelho pode ser usada como método alternativo não invasivo e complementar na avaliação reprodutiva de touros apresentando relação com a concentração espermática e características morfológicas dos espermatozóides.

Em ambiente de termoneutralidade os touros 5/8 HOL apresentaram características reprodutivas e de morfologia corporal inferiores aos 3/4 HOL superiores aos touros , entretanto obtiveram maior capacidade de termorregulação escrotal.

A temperatura retal foi positivamente correlacionada com defeitos espermáticos e menores parâmetros de cinética espermática, indicando que a capacidade de termorregulação interfere na eficiência reprodutiva dos touros Girolando, independente da composição racial.

A composição genética influenciou mais os DMAI e a temperatura retal e escrotal os DMEN dos espermatozóides.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), à Fundação de amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (Embrapa Gado de Leite) e à Associação Brasileira dos Criadores de Girolando pelo suporte concedido que possibilitou a realização deste estudo.

## 7. REFERÊNCIAS

ARRUDA, R. P.; CELEGHINI, E. C. C.; GARCIA, A. R. et al. Morfologia espermática de touros: interpretação e impacto na fertilidade. *Rev. Bras. Rep. Ani.*, Belo Horizonte, v.39, p.47-60, 2015.

BARTH, A. D. Evaluation of potential breeding soundness of the bull. Current therapy in large animal. *Theriogenology*, Stoneham v.2, p.228-240, 2007.

BRIOSCHI, M. L. Metodologia de normalização de análise do campo de temperaturas em imagem infravermelha humana. 115 p. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BRITO L. F. C.; BARTH, A. D.; WILDE, R. E. et al. Effect of age and genetic group on characteristics of the scrotum, testes and testicular vascular cones, and on sperm production and semen quality in AI bulls in Brazil. *Theriogenology*, v.58, p.1175–86, 2002.

BRITO, L. F. C.; SILVA, A. E.; BARBOSA, R. T. et al. Testicular thermoregulation in *Bos indicus*, crossbred and *Bos taurus* bulls: relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. *Theriogenology*, v.61, p.511-528, 2004.

CHENOWETH, P. J.; BALL, L. Breeding soundness evaluation in bulls. In: MORROW, D. A. (Ed.). *Current therapy in Theriogenology*, p.330-339, 1980.

COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL - CBRA. Manual para exame andrológico e avaliação de sêmen animal. 3. ed. Belo Horizonte, p.87, 2013.

DU PREEZ, J. H. Parameters for the determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South Africa. *J. Vet. Res.*, v.67, p.263 – 271, 2000.

FONSECA, V. O.; CRUELLELL, G. A.; COSTA e SILVA, E. V. Procedimentos para exame andrológico e avaliação do sêmen. Belo Horizonte: *Col. Bras. Reprod. Ani.*, p.79, 1991.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION - FAO Statistical Pocketbook. Rome, 2017. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0hUKEwiWz8aQ07\\_RAhWKF5AKHSULAn8QFggkMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fai4691e.pdf&usg=AFQjCNGdthXk87uaTwNIU3kS2MiIDJjp1g&sig2=N96ZfKkZgcDv7WvxCcNZng&cad=rja](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0hUKEwiWz8aQ07_RAhWKF5AKHSULAn8QFggkMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2Fai4691e.pdf&usg=AFQjCNGdthXk87uaTwNIU3kS2MiIDJjp1g&sig2=N96ZfKkZgcDv7WvxCcNZng&cad=rja)>. Acesso em: 13 jan. 2017.

FRANCO, C. S.; FONSECA, V. O.; GASTE, L. Potencial reprodutivo de touros Nelore acasalados coletivamente na proporção de um touro para 100 vacas. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.58, p.1156-1161, 2006.

GARCÍA-RUIZ, A.; COLE, J. B.; VANRADEN, P. M. et al. Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. *Proceed. Nat. Acad. Sci.*, 2016.

GODFREY, R. W.; LUNSTRA, D. D.; JENKINS, T. G. et al. Effect of season and location on semen quality and serum concentrations of luteinizing hormone and testosterone in Brahman and Hereford bulls. *J. Anim. Sci.*, v.68. p.734–749, 1990.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <Http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> Acesso em: 8 de ago. 2017.

JOHNSTON, J. E.; NAELAPAA, H.; FRYE, J. B. et al. Physiological responses of Holstein, Brown Swiss and Red Sindhi crossbreed bulls exposed to high temperatures and humidity. *J. Anim. Sci.*, v.22, p.432–436, 1963.

KASTELIC, J. P. Thermoregulation of the testes. In: HOPPER, R. M. (Ed.). *Bovine Reproduction*, Hoboken: Wiley-Blackwell. p.26-29, 2014a.

KASTELIC, J. P. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology*, v.81, p.18–23, 2014.

KASTELIC, J. P. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology*, v.81, p.18-23, 2014b.

KASTELIC, J. P.; COULTER, G. H.; COOK, R. B. Scrotal surface, subcutaneous, intratesticular and intraepididymal temperatures in bulls. *Theriogenology*, v.44, p.147-52, 1995.

KASTELIC, J. P.; THUNDATHIL, J. C. Breeding soundness evaluation and semen analysis for predicting bull fertility. *Reprod. Domestic Ani.*, Berlin, Suppl. 2, v.43, p.368-373, 2008.

MATHEVON, M.; BUHR, M. M.; DEKKERS, J. C. M. et al. Environmental, management, and genetic factors affecting semen production in Holstein bulls. *J. Dairy Sci.* v.81, p.3321-3330, 1998.

MENEGASSI, S. R. O.; BARCELLOS, J. O. J.; DIAS, E. A. et al. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int J Biometeorol*, v.59, p.357-364, 2015.

MENEGASSI, S. R. O.; BARCELLOS, J. O. J.; DIAS, E. A. et al. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int J Biometeorol*. v.59, p.357-364, 2014.

MENEZES, C. R. A.; LEDIC, I. L. Girolando edição de ouro. Uberaba, Minas Gerais, Mundo Rural, 254p., 2010.

MIES FILHO, A. Reprodução dos animais. Ed. Porto Alegre- RS, v.6, 1987.

MULLER, P.B. Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos. 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 158 p. p.70-76, 1982.

PARANHOS DA COSTA, M. J. R.; SANT'ANNA, A. C.; SILVA, L. C. M. Temperamento de bovinos Gir e Girolando: efeitos genéticos e de manejo. *Inf. Agro.*, Belo Horizonte, v.36, p.100-107, 2015.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; BENCH, C. et al. The noninvasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Res. in Vet. Sci.*, v.93, p.928-935, 2012.

SILVA, M. V. G. B.; MARTINS, M. F.; CEMBRANELLI, M. DE A. R. et al. Programa de melhoramento genético da raça girolando – 4ª Prova de Pré-Seleção de Touros - Junho/2016. Juiz de Fora; Embrapa Gado de Leite (INFOTECA – E), p.72; doc. 189; 2016.

SOUZA, C. D.; CHACUR, M. G. M.; RUEDIGER, F. R.; Termorregulação escrotal em touros nelore (*Bos taurus indicus*). *Colloq. Agr.*, v.10, p.101-106, 2014.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (SAS). SAS/STAT user's guide: statistics. v. 9.4. Cary, NC: Statistical Analysis System; 2011.

STEWART, M.; STAFFORD, K. J.; DOWLING, S. K. et al. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Phy. Beh.*, v.93, p.789-797, 2008.

STEWART, M.; WILSON, M. T.; SCHAEFER, A. L. et al. The use of infrared thermography and accelerometers for remote monitoring of dairy cow health and welfare. *J. Dairy Sci.*, v.100, p.3893-3901, 2017.

THOM, E. C. Cooling degrees days air conditioning, heating and ventilating. *Transactions of the ASAE*. v.55, p.65-72, 1958.

TURNER, J. Genetic and biological aspects of zebu adaptability. *J. Anim. Sci.*, v.50, p.1201–1205, 1980.

USDA-NASS (United States Department of Agriculture-National Agricultural Statistics Service). Florida livestock, dairy and poultry summary 2016. USDA-NASS, Washington, DC. Disponível em: <[https://www.nass.usda.gov/Charts\\_and\\_Maps/Milk\\_Production\\_and\\_Milk\\_Cows/cowrates.php](https://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/Milk_Production_and_Milk_Cows/cowrates.php)>. Acesso em: 8 ago. 2017.

VALE FILHO, V. R. Desenvolvimento testicular em touros: aspectos clínicos. In: VII Congresso brasileiro de reprodução animal. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: CBRA, p.418-438, 1988.

## 6. ANEXOS



## Comissão de Ética no Uso de Animais

Juiz de Fora, 17 de outubro de 2017

CEUA N [2400161017](#)

### COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE PROPOSTA À COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CPF: [012.301.246-59](#)

Título do projeto: [Qualidade do sêmen e termografia infravermelha em touros Girolando de diferentes composições raciais](#)

Responsável: [Mariana Magalhães Campos](#)

Telefone: [032 33117526](#)

e-mail: [mariana.campos@embrapa.br](mailto:mariana.campos@embrapa.br)

A Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite, terá o prazo máximo de 30 dias para emissão do parecer. Todo o processo poderá ser acompanhado no sistema (<http://www.cnpgl.embrapa.br/ceua/index.php>) por meio da sua senha de acesso.

Dra. Glaucyana Gouvêa dos Santos

Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais  
Embrapa Gado de Leite

Dra. Letícia Sayuri Suzuki

Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais  
Embrapa Gado de Leite

