

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CAMPUS DE BOTUCATU

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO E MEDIDAS DE  
EFICIÊNCIA DE BUBALINOS DE TRÊS GRUPOS GENÉTICOS SOB  
CONDIÇÕES TROPICAIS

DAIANE CRISTINA MARQUES DA SILVA

Tese apresentada ao Programa de Pós-  
graduação em Zootecnia – Área de  
Concentração: Nutrição e Produção  
Animal como parte das exigências  
para obtenção do título de Doutora.

BOTUCATU – SP  
Agosto – 2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CAMPUS DE BOTUCATU

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO E MEDIDAS DE  
EFICIÊNCIA DE BUBALINOS DE TRÊS GRUPOS GENÉTICOS SOB  
CONDIÇÕES TROPICAIS

DAIANE CRISTINA MARQUES DA SILVA

Zootecnista

Orientador: Prof. Associado III André Mendes Jorge

Coorientadores: Dr<sup>a</sup>. Caroline de Lima Francisco

Dr. André Michel de Castilhos

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia – Área de Concentração: Nutrição e Produção Animal como parte das exigências para obtenção do título de Doutora.

BOTUCATU - SP  
Agosto – 2019

S586t

Silva, Daiane Cristina Marques da

Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais / Daiane Cristina Marques da Silva. -- Botucatu, 2019

82 f. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu

Orientador: André Mendes Jorge

Coorientador: Caroline de Lima Francisco André Michel de Castilhos

1. Búfalos. 2. Confinamento. 3. Consumo Alimentar Residual. 4.

~~Eficiência Alimentar. 5. Termografia Infravermelho. I. Título.~~

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

### **Biografia da autora**

Daiane Cristina Marques da Silva nasceu em 09 de agosto de 1989 na cidade de Araraquara – SP, filha de Antonio Vicente Marques da Silva e Rosimeire Aparecida de Oliveira Marques da Silva. Graduou-se em Zootecnia pela Faculdade de Engenharia de Alimentos e Zootecnia de São Paulo – USP em 2012. Obteve o título de Mestre em Zootecnia pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP em 2015, onde foi bolsista pelo Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, ingressando no Doutorado em Zootecnia em 2016 na mesma instituição, onde foi bolsista pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sob orientação do Prof. Dr. Associado André Mendes Jorge e co-orientação da Dr<sup>a</sup>. Caroline de Lima Francisco e Dr. André Michel de Castilhos.

# Dedico

À Deus pelas benções concedidas, por me guiar, proteger e fazer seguir em frente.

À minha família, minha mãe Rosimeire, meu pai Antonio e meus irmãos Daniele e Danilo, pela educação, exemplo, apoio e amor incondicional em toda minha trajetória de vida.

Sem seus incentivos eu não poderia enfrentar esses desafios.

Aos meus avós Maria Aparecida e Valdemar, presentes sempre em minha vida, cuidando e me dedicando muito amor e carinho.

As minhas tias Maria do Carmo e Sol.

Ao meu amor Hugo.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por permitir que eu alcançasse mais essa etapa em minha trajetória.

À minha família pelo imensurável amor e apoio que, mesmo a distância não impede vocês de estarem sempre junto a mim. Todas minhas conquistas foram possíveis com o apoio e dedicação que nunca me faltou. A Família Buscapé é um dos meus maiores bens. Sou grata a Deus todos os dias, por ter colocado vocês em meu caminho, guiando meus passos e sempre me empurrando para frente. Obrigada Sol, pelo carinho e paciência, em muitas noites passadas em claro, estudando para que fosse possível estar onde estou hoje.

Ao Prof. Dr. André Mendes Jorge. Sem o senhor nada disso seria possível. Obrigada por acreditar em mim e permitir que eu fizesse parte deste maravilhoso grupo de pesquisa. Agradeço a amizade, conselhos e exemplo profissional.

Ao Professor Dr. Paulo Roberto de Lima Meirelles pelas conversas, ensinamentos e apoio incondicional;

Ao Grupo de Pesquisa Unesp Botucatu Búfalos, pelo apoio, força, e por permitir que eu fizesse parte de algo tão grande. Aos meus co-orientadores de pesquisa e de vida, Caroline e Michel, sou grata pela paciência, orientações e conselhos.

Aos funcionários do setor de Bubalinocultura Arivaldo Inácio Primo Júnior (Dinho), Wilson Bueno de Oliveira (Lipe) e Amarildo dos Santos Vieira (Liu) e aos demais funcionários da FMVZ por todo tipo de informação e experiência de vida concedida;

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Estado de São Paulo – FAPESP pelo auxílio financeiro, processo 2014/05473-7, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo auxílio financeiro (processo 141917/2016-4).

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

Às minhas amigas Brunna, Giovanna, Rafaela e Bruna. Grupo esse que só tem aumentado com a chegada do Benício e Laura.

Agradeço a República Saia de Baixo, por permitirem que eu fizesse parte desta família, obrigada pela amizade e imensas risadas.

## SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1.....	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	2
1. Introdução .....	2
2. Panorama da bubalinocultura .....	3
3. Particularidades dos bubalinos .....	4
3.1. Calor metabólico .....	8
3.2. Consumo alimentar e medidas de eficiência.....	11
3.2.1. Características do consumo alimentar dos bubalinos .....	11
3.2.2. Consumo alimentar residual .....	13
3.2.3. Ganho residual .....	16
3.2.4. Consumo e ganho residual .....	17
4. Termografia infravermelho.....	18
4.1. Termografia infravermelho e eficiência alimentar.....	23
5. Objetivos gerais .....	27
6. Referências Bibliográficas.....	27
 CAPÍTULO 2.....	 36
Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais.....	37
Resumo .....	38
Abstract.....	41
Introdução .....	43
Material e Métodos .....	44
Instalações, animais utilizados e período experimental.....	45
Dieta e manejo alimentar .....	46
Medidas de eficiência .....	47
Ultrassonografia.....	48
Termografia infravermelha.....	49
Delineamento e análise estatística .....	50

Resultados e Discussão.....	52
Conclusão .....	64
Referências Bibliográficas.....	65
CAPÍTULO 3.....	81
Implicações .....	82



**LISTA DE ABREVIATURAS**

- AOAC** – *Association of Official Analytical Chemists*
- CAR** – Consumo alimentar residual
- CEUA** – Câmara de Ética de Uso de Animais
- CGR** – Consumo e ganho residual
- CMS** – Consumo de matéria seca
- CPTB** – Centro de Pesquisas Tropicais em Bubalinos
- DP** – Desvio-padrão
- EE** – Extrato etéreo
- EPM** – Erro padrão da média
- FDA** – Fibra em detergente ácido
- FDN** – Fibra em detergente neutro
- FDN<sub>cp</sub>** – Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteínas
- FMVZ** – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
- GMD** – Ganho médio diário
- GR** – Ganho residual
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IC** – Incremento calórico
- MS** – Matéria seca
- MM** – Matéria mineral
- NRC** – Nutrient requirements of beef cattle
- PB** – Proteína bruta
- PV<sup>0,75</sup>** – Peso vivo metabólico
- RFID** – Radio Frequency Identification
- SAS** - *Statistical Analysis System*
- UNESP** – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

**LISTA DE TABELAS**

- Tabela 1.** Composição percentual dos ingredientes e características nutricionais da dieta..  
..... 72
- Tabela 2.** Estatística descritiva das características de desempenho e medidas termográficas de três grupos genéticos de bubalinos confinados... 73
- Tabela 3.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de acordo com a classe (alto ou baixo) e com o grupo genético (GG) de bubalinos confinados ..... 74
- Tabela 4.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das características de desempenho de acordo com os três grupos genéticos (GG) de bubalinos confinados. .... 75
- Tabela 5.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das características de desempenho de acordo com a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados.....76
- Tabela 6.** Coeficientes de Pearson entre as variáveis termográficas , temperatura retal e medidas de eficiência de três grupos genéticos de bubalinos confinados. .... 77
- Tabela 7.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com o grupo genético (GG) e a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados..... 78
- Tabela 8.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com os três grupos genéticos (GG) de bubalinos confinados. .... 79

**Tabela 9.** Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados.....80

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Análise das imagens termográficas das regiões da face (A), peito (B), patas dianteiras (C), costelas (D) e escroto (D) de bubalinos confinados sob condições tropicais. .....	50
---	----

## **CAPÍTULO 1**

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1. Introdução

O consumo de carne aumentará dois terços até o ano de 2050, especialmente nos países desenvolvidos. O aumento das exigências globais e a constante demanda garante ao setor da pecuária, participação ativa. Para que os bubalinos possam fornecer produtos em quantidade e qualidade, esse sistema precisa ser além de apenas uma produção estratégica, alternativa e subvalorizada (El DEBAKY et al, 2019).

A criação de bubalinos apresenta grande potencial econômico e crescentes números produtivos em regiões adversas onde alguns ruminantes não possuem capacidade máxima de produção (JORGE; ANDRIGUETTO, 2005), tornando-se uma forte opção econômica para pecuaristas que procuram maximizar suas produções (JORGE; FRANCISCO, 2011).

A produção de leite foi o objetivo inicial da produção animal, entretando, com o aumento da demanda por carne, os bubalinos começaram a apresentar seus altos índices produtivos, o que por sua vez trouxe foco a novas pesquisas (DEB et al., 2016).

Atualmente há um número significativo de rebanhos distribuídos em diferentes regiões do Brasil, mostrando que essa atividade possui características relevantes para a cadeia produtiva, abrindo campo para novas pesquisas que visam o crescimento da bubalinocultura do país (JORGE; FRANCISCO, 2011; IBGE 2017).

O desenvolvimento de um sistema produtivo depende do desempenho animal, sendo esse influenciado por fatores como oferta, qualidade da dieta disponível, consumo voluntário, digestibilidade e exigências nutricionais. Dessa forma, a nutrição se apresenta como um dos principais aspectos que influenciam o processo de crescimento e desenvolvimento animal (OWENS et al., 1993).

A permanência desse mercado perante aos mais diversos sistemas de produção hoje existentes, se faz com a interação desses fatores atrelados a resposta animal, possibilitando a seleção animal por meio de tecnologias alternativas que visam crescentes índices produtivos com redução de tempo e custo.

A utilização de novas técnicas que permitam identificar animais com menor relação de consumo e ganho, permitirá aumentar a rentabilidade dos sistemas. Assim, a seleção de animais mais eficientes é indispensável quando se espera maior produção em curto prazo.

As metodologias de predição da eficiência alimentar encontradas na literatura consideram a mensuração do consumo alimentar diário, entretanto, a determinação da ingestão individual é onerosa e demanda tempo. Assim, a procura por métodos de avaliações indiretas (não invasivas) torna-se fundamental aos pesquisadores e aos produtores, que visam à obtenção de resultados de forma rápida e precisa, com redução do custo e otimização do sistema produtivo.

A termografia infravermelho se apresenta como um método de análise alternativo que beneficia as tomadas de decisões dentro dos sistemas de produção, sendo essa uma técnica não invasiva, que garante prevenir respostas ansiogênicas perante a coleta de dados.

## **2. Panorama da bubalinocultura**

O efetivo mundial de bubalinos é de aproximadamente 201 milhões de animais, sendo os países asiáticos, Índia, Paquistão e China os detentores dos maiores rebanhos (113,4; 36,9 e 24 milhões, respectivamente) (ABIEC, 2018).

O rebanho bubalino presente no Brasil é de aproximadamente 1,38 milhão de bubalinos (IBGE, 2017), no qual a região Norte abrange maior porcentagem desses

animais (65,96%), e o restante estão distribuídos nas regiões Sudeste (13,38%), Nordeste (9,41%), Sul (7,49%) e Centro Oeste (3,76%). Mesmo com os altos índices, esse sistema produtivo ainda representa uma pequena parcela da produção nacional, correspondendo a 0,6% do total de bovinos do país (FAO, 2016).

É possível encontrar bubalinos praticamente em todas as regiões do mundo, devido a alta adaptabilidade e versatilidade na conversão de alimentos (SANTOS et al., 2016).

O Brasil apresenta características edafoclimáticas relevantes à produção de bubalinos, e uma ampla extensão territorial, tornando possível assegurar um crescimento no âmbito da cadeia da carne, integrando tanto fatores quantitativos como qualitativos para o desenvolvimento dessa espécie (JORGE; ANDRIGUETTO, 2005).

### **3. Particularidades dos bubalinos**

Os bubalinos são animais homeotérmicos, pois são capazes de manter a temperatura corpórea em uma faixa térmica específica, ocorrendo alterações fisiológicas e reduções produtivas e reprodutivas quando estiverem fora da homeostase, de tal modo que artifícios fisiológicos e comportamentais serão necessários para termorregulação animal (GARCIA, 2013; SEVEGNANI et al., 2016).

As raças de bubalinos oficialmente reconhecidas pela Associação Brasileira dos Criadores de Búfalos, são representadas pelo Murrah, Jafarabadi Mediterrâneo e Carabao (ABCB., 2019).

A realização de avaliações quanto a diversidade fenotípica entre os diferentes grupos genéticos de bubalinos permite identificar a adequação de cada raça (REZENDE et al., 2017), suas qualidades e limitações, assim como também determinar as melhores estratégias produtivas.



As análises do perímetro torácico e o comprimento do corpo de bubalinos apresentam relação com os limites de desenvolvimento do tecido muscular e ganho de peso (KOURY FILHO et al., 2010).

Búfalas Jafarabadi apresentam índices pélvicos transversais significativamente maiores que Murrah e Mediterrâneo, indicando ser uma raça com maior capacidade de desenvolvimento de tecido muscular em partes do corpo das quais cortes mais nobres são encontrados (REZENDE et al., 2017)

Independente da região do Brasil utilizada para produção de bubalinos, altas temperaturas e alta incidência de radiação solar podem predispor estresse térmico aos animais. Apesar de possuírem marcantes características como a rusticidade, precocidade, eficiência e capacidade de manter altos índices produtivos em ambientes adversos, os bubalinos são mais sensíveis ao calor quando comparados aos bovinos (PANTOJA et al., 2018).

Os bubalinos são mais adaptáveis a climas quentes e úmidos e solo lamacento por causa de suas características morfológicas, anatômicas e comportamentais. De modo que, quando exposto a excesso de calor utilizam de mecanismos como a chafurdação ou a procura por sombra para dissipar o excesso de calor. A temperatura climática ideal para crescimento e reprodução de búfalos varia de 13 a 18 ° C, com umidade relativa de 55 a 65% e um nível médio de insolação (EL DEBAKY et al., 2019).

O estresse pode ser definido como variações no ambiente que impossibilitam os animais de expressarem total potencial produtivo e reprodutivo, causados por enfermidades clínicas, formulações nutricionais imprecisas, inadequado manejo, negligências no transporte e estresse térmico (PORTO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018).

A ocorrência de estresse nos animais acarreta variados desequilíbrios fisiológicos e direcionamento da energia para manutenção, com o objetivo de retornar as condições de homeostase, reduzindo assim a energia utilizada para os processos produtivos. O animal apresentará alta taxa de produtividade quando o mínimo de energia adquirida for utilizado para o metabolismo basal, sendo que isso ocorrerá em condições de termoneutralidade (GARCIA, 2013, PANTOJA et al., 2018).

Fatores ambientais como radiação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento, influenciam o comportamento animal e intensificam as variações no balanço de energia térmica entre o meio interno (animal) e o meio externo, de modo que na ocorrência de estresse térmico, mecanismos termorregulatórios são desencadeados na tentativa de manter a estabilidade metabólica do animal perante as variações externas (SEJIAN et al., 2018).

Em condições de alta temperatura, os animais tendem a aumentar a taxa de dissipação de calor, podendo ocorrer de forma sensível ou latente. As formas sensíveis de transferência de calor ocorrem por condução, convecção e radiação, sendo dependentes do índice de temperatura entre o animal e o ambiente. Os fluxos de calor latente ocorrem por meios evaporativos, como a taxa respiratória e a sudorese (COLLIER E GEBREMEDHIN, 2015).

As características da superfície corporal dos animais são um dos principais fatores de influência para as trocas de calor por meio da radiação, sendo variável com a raça e faixa etária. A estrutura, densidade, diâmetro, espessura e coloração dos pelos e da pele dessa espécie também influenciam as trocas térmicas e afetam a transmissão e absorção solar (SALLES et al., 2017).

Bubalinos possuem uma epiderme mais espessa e altas concentrações de melanina, tornando-os suscetíveis a aumentos na temperatura corpórea quando

expostos a radiação solar direta, reduzindo a perda calor por condução e irradiação (DEBBARMA et al., 2018).

Altas concentrações de melanina garantem a coloração negra da pele e pelos, além de proteger a derme contra a intensa recepção e absorção de raios ultravioletas. Essa intensa pigmentação epidérmica possui baixa refletividade e absorve toda radiação, de modo que os longos e grossos pelos presentes principalmente nos bezerros formam uma camada de ar isolante e protetora que beneficia a dissipação reflectiva de calor (DEBBARMA et al., 2018).

Com o avanço da idade, o número de pelos por  $\text{cm}^2$  decresce, deixando os bubalinos adultos quase glabros e a ausência de pelos na pele escura, ocasiona a incidência direta e absorção dos raios infravermelhos (DAMASCENO et al., 2010).

A dissipação do calor por sudorese é ineficiente nos bubalinos, devido ao reduzido número de glândulas sudoríparas, sendo dez vezes menor quando comparados aos bovinos (BEATON, 1975). Entretanto, são mais volumosas e possuem maior capacidade secretora, de modo que a secreção fluidifica e garante aos bubalinos a reflexão da radiação incidente (DEBBARMA et al., 2018; GARCIA, 2013).

Uma das mais eficientes formas de perda de calor encontrado pelos bubalinos é a condução, no qual é necessário o contato entre superfícies com diferentes temperaturas. No fluxo de calor condutivo, a temperatura quente encontrada no núcleo corporal do animal flui para as superfícies do corpo, e encontra com a temperatura fria do ambiente, transferindo parte de sua energia, o que possibilita aos bubalinos retornarem a faixa de homeostase térmica (PORTO et al., 2018).

A análise da temperatura do corpo também pode ser usada como um indicador de estresse. O aumento na temperatura retal em 1°C é suficiente para reduzir o desempenho produtivo de diversas espécies (McDOWELL et al., 1976).

### **3.1. Calor metabólico**

A temperatura corpórea do animal é resultado do equilíbrio entre a produção de calor via metabolismo e a saída de calor por meios de mecanismos de dissipações (COLLIER E GEBREMEDHIN, 2015).

A resposta instantânea do estado de retenção ou dissipação de calor pelos animais caracteriza a análise da temperatura corpórea como um classificador da capacidade de adaptação do animal ao meio (MC MANUS et al., 2016).

Com a temperatura corpórea muito baixa os processos metabólicos ficam mais lentos, ocasionando decréscimo nos mecanismos produtivos e reprodutivos. Em contrapartida, em animais com temperaturas mais elevadas podem ocorrer desnaturação de proteínas (DAMASCENO et al., 2010; SEVEGNANI et al., 2016).

Neurosensores específicos presentes tanto na superfície quanto no interior do organismo animal detectam as variações de temperatura e possibilitam direcionar o fluxo de calor para o meio externo ou interno, dependendo da necessidade (MARTELLO et al., 2016; ZANINELLI et al., 2018).

A resposta biológica do animal ocorre na tentativa de normalizar o organismo ao desafio estressor imposto, de modo que o sistema nervoso autônomo regula a temperatura corpórea (GARCIA, 2013; MENDES e CAMPOS, 2016).

A ativação biológica meio a uma fonte de estresse também apresenta efeito direto na reprodução animal, reduzindo as concentrações do hormônio liberador de

gonadotrofinas (luteinizante), e as funções dos folículos ovarianos, corpo lúteo e testículo são comprometidas (GARCIA, 2013).

O redirecionamento do fluxo sanguíneo (vasodilatação) é um mecanismo alternativo utilizado na tentativa de dissipar o calor, de modo que o sangue é conduzido para as periferias e superfícies do corpo. Com o aumento da circulação sanguínea a temperatura corporal se eleva, facilitando as perdas de calor por mecanismos não evaporativos (MONTEIRO et al., 2016).

A necessidade de equilíbrio entre termogênese e termólise é de extrema importância, pois possibilita o animal direcionar os gastos energéticos unicamente para a manutenção, crescimento e produção, de modo que alterações fisiológicas, metabólicas ou aumento da frequência respiratória não sejam necessários para manter a homeostase (SALLES et al., 2017).

Animais alteram completamente o comportamento e consumo alimentar em meio ao estresse térmico ambiental, aumentando o consumo de água e reduzindo a ingestão de alimento, ocasionando o comprometimento do desempenho (SALLES et al., 2017).

O balanço energético é representado tanto por processos de trocas de energia térmica pela radiação, condução e convecção, como também pela produção de energia decorrente de processos metabólicos digestivos, como a oxidação dos alimentos (KLEIBER, 1961; COLLIER e GEBREMEDHIN, 2015; JOSET et al., 2018).

Os constituintes da dieta não são utilizados em sua totalidade, e dessa forma é possível observar perdas de energia nas formas de fezes, urina, gases e calor. A oxidação da energia ingerida resulta em moléculas de trifosfato de adenosina (ATP), sendo essa a única forma de energia que os animais conseguem utilizar para o

trabalho, integridade dos sistemas internos e contração muscular (ZANINELLI et al., 2018).

A oxidação incompleta de compostos proteicos ocasiona perdas de energia na forma de excreção de ácido úrico ou uréia. Como exemplo, a oxidação da glicose possui eficácia de aproximadamente 50%, sendo que o restante da energia se apresenta na forma de calor. O cálculo dessas perdas de energia subtraídas da quantidade de energia digestível da dieta determina o balanço de energia metabolizável (RESENDE et al., 2011; KOZLOSKI, 2017).

A concentração de energia metabolizável utilizada pelo animal, quando subtraída do calor proveniente do metabolismo digestivo, é classificado como energia líquida, representada pela parte da energia utilizada para reprodução e produção de produtos como leite, lã e carne (RESENDE et al., 2011). Assim, a maior eficiência na utilização da energia esta diretamente relacionada com a concentração de energia metabolizável presente na dieta.

O aumento na produção de calor proveniente da ingestão de alimento é representado pelo incremento calórico, constituído pelo calor procedente da fermentação, digestão e metabolismo dos nutrientes (KLEIBER, 1961).

Dietas ricas em fibras podem aumentar ainda mais o incremento calórico, tendo em vista a maior necessidade de ruminação e digestão. Em contrapartida, alimentos mais concentrados necessitam de menor ruminação e possuem maior taxa de passagem, utilizando menor quantidade de energia, oxigênio e produzindo menos gás carbônico. A formação de calor a partir de metabólitos absorvidos em uma dieta concentrada é altamente influenciada pelos produtos finais da fermentação microbiana ruminal (CONTE et al. 2018; MEDEIROS e ALBERTINI, 2015).

A dissipação do calor proveniente da ruminação e fermentação da dieta pode ocasionar o aumento da temperatura retal e frequência respiratória, sendo esses mecanismos utilizados pelos animais com o objetivo de perder calor interno acumulado (CARDOSO et al., 2016; SEVEGNANI et al., 2016; SALLES et al., 2017).

### **3.2. Consumo alimentar e medidas de eficiência**

#### **3.2.1. Características do consumo alimentar dos bubalinos**

Os bubalinos apresentam certas particularidades quanto ao hábito alimentar, como o aumento da ingestão de matéria seca nos horários mais frescos do dia (começo da manhã e final da tarde) e buscam por sombra ou locais para chafurdação nos horários mais quentes (JOSET et al., 2018; CRUZ-CRUZ et al., 2014). Dessa forma, menor tempo é utilizado para alimentação (PORTO et al., 2018).

O tipo da dieta causa variações no tempo de ingestão e ruminação dos animais (MACHADO et al., 2015; MENDES e CAMPOS, 2016; PORTO et al., 2018).

O consumo voluntário é um importante fator a ser considerado nas análises de custo, no qual aproximadamente 65% da alimentação é direcionada para manutenção do animal (NRC, 2000), sendo esse valor variável individualmente. Assim, o aprimoramento da eficiência alimentar pode aumentar a lucratividade da produção, reduzindo custos com alimentação.

A ingestão de alimento varia devido a fatores relacionados às características do alimento (umidade, processamento, conservação, composição, substâncias tóxicas, e palatabilidade), fatores anti-nutricionais (estado fisiológico, genética e idade), fatores ambientais (temperatura, pluviosidade) e fatores de manejo (disponibilidade de água e frequência de arraçãoamento) (ALLEN, 2014).

O crescimento animal, saúde e produção são características influenciadas diretamente pela ingestão alimentar, assim, o fornecimento e consumo da dieta devem ser levados em consideração quando se espera um rendimento de produção com baixo custo e alta eficiência na utilização dos nutrientes. Animais mais eficientes necessitam consumir menor quantidade de alimento para atingir o mesmo ganho que os demais, além de reduzirem desperdícios e excreções de nutrientes, sendo considerados mais lucrativos, com maior produção por unidade de área (MENDES e CAMPOS, 2016).

A eficiência alimentar é compreendida pela relação do que é produzido pelo animal (outputs), e a quantidade de alimento que foi necessária para esse fim (input). De modo geral, a avaliação pela eficiência alimentar é realizada por meio do consumo individual e concomitantemente o que foi produzido de produto final (THOMPSON et al., 2018).

Vários parâmetros possibilitam determinar a eficiência alimentar, como a conversão alimentar, eficiência alimentar, eficiência parcial de crescimento, taxa de crescimento relativo, taxa de Kleiber, consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR) e consumo e ganho residual (CGR) (SCHAEFER et al., 2018).

A conversão alimentar determina a quantidade de alimento ingerido necessário para o ganho em quilo ( $\text{kg IMS.kg GMD}^{-1}$ ), mas essa não considera o consumo utilizado para manutenção e requerimentos de crescimento (MENDES e CAMPOS, 2016).

Maiores taxas de conversão alimentar estão associadas a maiores pesos de animais maduros e, conseqüentemente, maiores requerimentos de alimento (ARCHER et al., 1999). Considerando que as necessidades energéticas basais representam 70-75% (FERRELL E JENKINS, 1985) da demanda total de energia do rebanho bovino, esse aumento pode reduzir drasticamente a eficiência da produção.



A elevada eficiência na conversão de alimentos de baixa qualidade em carne magra, atrelada ao maior volume corporal, garantem aos bubalinos menores gastos de energia e maiores atividades bacterianas estabelecendo a produção de bubalinos como uma alternativa viável dentro dos sistemas de produção (MACHADO et al., 2015; SHARMA et al., 2016; NEGESSE et al., 2016).

### **3.2.2. Consumo alimentar residual**

A utilização do alimento pelo animal envolve tanto fatores biológicos complexos, como também o porte corporal (frame) do animal pode influenciar a quantidade de alimento ingerido. A seleção da eficiência por meio da conversão alimentar pode gerar preferências na escolha de animais com maiores taxas de crescimento e elevado tamanho a maturidade (ARTHUR e HERD, 2008), tendo em vista que esse critério de avaliação não leva em consideração as diferenças nas exigências de manutenção e crescimento dos animais (MENDES e CAMPOS, 2016).

Koch et al. (1963) propôs o conceito de consumo alimentar residual – CAR (Residual Feed Intake - RFI), como critério de identificação e seleção de animais eficientes sem afetar o desempenho, carcaça ou qualidade da carne, de modo a superar as limitações dos métodos anteriormente utilizados.

O conceito consiste na diferença entre a ingestão de matéria seca (IMS) real e IMS predito, previsto a partir de dados de produção que utilizam fórmulas de padrões de alimentação (por exemplo, National Research Council, 1996), por modelos de previsão de ingestão de alimentos individuais (por exemplo, Cornell Value Discovery System, 2004) ou por regressão genética ou fenotípica usando dados reais de teste de alimentação (KENNEDY et al., 1993).

Esse critério de avaliação permite identificar animais com alta eficiência (CAR negativo), quando o consumo observado se apresenta menor que o predito (melhor aproveitamento do alimento para expressar o mesmo ganho de peso) ou baixa eficiência (CAR positivo), em que o consumo alimentar observado é maior que o predito. Essas classificações permitem ao CAR ser amplamente utilizado nos mais variados sistemas de produção animal (KOCH et al., 1963; BOSE et al., 2014; SHARMA et al., 2016).

O consumo alimentar residual permite a seleção de animais levando em consideração as diferenças no consumo, visto que, animais com menor ingestão e mesmo ganho apresentam menor incremento calórico e menor perda de energia, independentemente do peso corporal ou taxa de crescimento dos animais (STEYN et al., 2014).

Os processos metabólicos contribuem com cerca de dois terços para as variações do CAR, de modo que os principais mecanismos fisiológicos que influenciam sua variação estão relacionados com a resposta ao estresse, turnover proteico e metabolismo dos tecidos (37%), atividade locomotora (10%), digestibilidade dos alimentos (10%), incremento calórico (9%), composição corporal (5%) e padrões de alimentação (2%) (BASARAB et al., 2003; RICHARDSON & HERD, 2004; ARTHUR & HERD, 2008).

O comportamento alimentar contribui significativamente para a variação subjacente na eficiência alimentar, tendo em vista as diferenças fenotípicas observadas na ingestão de animais eficientes e menos eficientes (KELLY et al., 2010; FITZSIMONS et al., 2017).

A classificação dos animais pela eficiência apresenta correlação negativa quanto a alguns parâmetros metabólicos e sanguíneos. O IGF-1 secretado pelo fígado

influencia as concentrações de glicose, ação do hormônio do crescimento e regula a atividade celular e síntese muscular, assim animais mais eficientes depositam mais massa muscular (proteína) (SHARMA et al., 2016; MENDES e CAMPOS, 2016).

Sharma et al. (2016) afirmam que bezerros bubalinos Murrah, classificados como mais eficientes, exigiram menor quantidade de energia de manutenção e apresentaram menor consumo ( $1,9 \text{ kg MS.dia}^{-1}$ ) em comparação com bezerros de alto CAR ( $2,4 \text{ kg MS.dia}^{-1}$ ). Bose et al. (2014) relataram que animais com baixo CAR obtiveram menor IMS por quilo de peso vivo metabólico. A energia metabolizável de manutenção foi menor para os animais de baixo CAR ( $13,54 \text{ MJ.100kg}^{-1} \text{ PV}$ ) do que para animais de alto CAR ( $15,56 \text{ MJ.100kg}^{-1} \text{ PV}$ ), resultando na economia de aproximadamente 13,81 kg de alimento para o grupo mais eficiente.

Bubalinos machos demonstraram não haver diferenças quanto ao peso inicial, peso final e ganho médio diário (GMD). Entretanto, foram relatadas diferenças de consumo de  $1,12 \text{ kg MS.dia}^{-1}$ , sendo que animais mais eficientes apresentaram redução de 10,3% no consumo, melhor digestibilidade da MS e PB, e melhor aproveitamento da dieta oferecida (BOLÍVAR et al., 2014).

A seleção por meio da eficiência alimentar influencia diretamente as taxas de emissão de metano, pois animais com baixo CAR apresentam redução na ingestão de energia, e proporcionam menor suprimento de substrato para a fermentação ruminal e menor disponibilidade de hidrogênio para os organismos metanogênicos (NRC, 2000), contribuindo na redução da poluição ambiental e reduzindo os custos com a alimentação sem comprometer o desempenho (SHARMA et al., 2017).

Essa ferramenta ganha amplo espaço nas pesquisas de programas de melhoramento genético tanto na produção de bovinos, como na crescente produção de bubalinos (BOSE et al., 2014; PERKINS et al., 2014; SHARMA et al., 2014).

Sharma et al. (2017) analisaram a seleção de animais mais eficientes pelo CAR e a relação com emissões de metano em novilhas bubalinas Murrah. Além da redução no consumo, os animais de baixo CAR, também exigiram menos energia metabolizável (33%) para manutenção e perderam menos nitrogênio, pois foram mais eficientes em sua utilização durante o processo digestivo, resultando na redução de 30,8% de emissão de metano, sem haver diferenças no desempenho e digestibilidade aparente dos nutrientes entre os grupos.

### **3.2.3. Ganho residual**

Uma medida similar ao CAR estudada por Koch et al. (1963), conhecida como ganho residual – GR (Residual Gain), relaciona o crescimento mais acelerado encontrado nos animais mais eficientes. É calculada como o resíduo da equação de ajuste do GMD em função do peso vivo metabólico ( $PV^{0,75}$ ), em que a diferença entre ganho médio de peso observado é calculado pela regressão linear entre o tempo e o peso obtido do animal e o ganho médio de peso predito, calculado pela regressão múltipla do GMD observado em função do peso metabólico e CMS.

Assim como o CAR, as classes de GR também são estabelecidas em função do desvio padrão da média, visto que animais classificados como GR negativo, são menos eficientes (0,5 desvio padrão menor que a média), e GR positivo são mais eficientes (0,5 desvio padrão maior que a média) (KOCH, 1963; MENDES e CAMPOS, 2016).

É importante salientar que a variação entre a medida de eficiência CAR e GR esta associada ao rápido crescimento e ganho de peso do animal e não ao consumo de alimento (BERRY e CROWLEY, 2013).

### 3.2.4. Consumo e ganho residual

Além das medidas anteriormente estudadas, Berry e Crowley et al. (2012) elaboraram um índice de consumo e ganho residual – CGR, que visa identificar e classificar a eficiência alimentar em animais de rápido crescimento, que consomem menos que o esperado, e apresentam mesmo peso corporal final.

Essa medida de eficiência é determinada por meio da soma de  $-1 \cdot \text{CAR}$  e GR, em função do peso metabólico, o que torna a variável em questão independente dos pesos corporais dos animais. Assim, estabelecem-se as classes de eficiência, considerando 0,5 de desvio padrão acima ou abaixo da média (BERRY e CROWLEY, 2012).

O CGR apresentou uma correlação positiva com o GMD em estudo realizado por Berry e Crowley et al. (2012), trabalhando com bovinos confinados. Observou-se que animais eficientes (CGR positivo) apresentaram menor consumo ( $10,4 \text{ kg MS} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) e maior ganho de peso ( $1,81 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) quando comparados com animais menos eficientes ( $11$  e  $1,40 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ ), respectivamente.

Chaves et al. (2013) avaliaram a relação da IMS e nutrientes digestíveis totais com o CGR de bovinos e concluíram que animais mais eficientes reduzem aproximadamente 11,7% na IMS comparado a animais menos eficientes.

Para avaliar o desempenho de bovinos da raça Brahman, Favero et al. (2015) selecionaram os animais em classes de CGR e concluíram que é possível utilizar esse índice de seleção como um incremento nos programas de melhoramento genético e selecionar animais sem afetar o ganho de peso.

Nascimento et al. (2016) ao classificarem novilhos Nelore utilizando o CGR, também verificaram que animais eficientes (CGR positivo) reduziram o consumo e aumentaram o GMD em comparação aos menos eficientes (CGR negativo). Contudo,

o CGR é recentemente proposto para bovinos, sendo escassas as informações para bubalinos.

De acordo com as pesquisas, medidas de eficiência alimentar como CAR, GR e CGR são ferramentas de seleção que ajudarão na escolha de bubalinos mais eficientes (BOLÍVAR et al., 2014). Mas essas medidas demandam tempo, tanto para coleta de dados como para as avaliações, e necessitam de alto investimento financeiro inicial.

Apesar da considerável quantidade de pesquisas sobre os mais variados aspectos referentes a criação de bubalinos, ainda há grande escassez de conhecimentos quanto a ciência fundamental, da biotecnologia, detalhes de crescimento e desenvolvimento, eficiência alimentar e saúde animal, sendo essas características economicamente importantes para o desenvolvimento desse sistema (EL DEBAKY et al., 2019).

#### **4. Termografia Infravermelho**

As análises de parâmetros fisiológicos e metabólicos como temperatura retal, frequências respiratórias e coletas de sangue necessitam de mecanismos invasivos de verificação, podendo reproduzir resultados não confiáveis devido ao manuseio do animal (MC MANUS et al., 2016)

Termografia é uma técnica não invasiva que utiliza o infravermelho para medir alterações de temperaturas e faixas diferenciadas de produção de calor. Os raios infravermelhos são frequências eletromagnéticas irradiadas por um corpo, com intensidade dependente da faixa de temperatura analisada. Assim, observando as imagens obtidas por meio de um equipamento termográfico, é possível delimitar regiões quentes ou frias, em faixas de temperatura que podem variar de - 40 a 1500°C (ROBERTO e DE SOUZA et al., 2014).

A radiação infravermelha tem um comprimento de onda maior (1  $\mu\text{m}$  a 1.000  $\mu\text{m}$ ) do que a luz visível (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ). Para medir as temperaturas dos objetos na superfície da Terra na faixa de -10 a 50  $^{\circ}\text{C}$ , os comprimentos de onda mais apropriados estão em torno de 9-11  $\mu\text{m}$ , pois esta é a região de pico de emissão espectral (SPEAKMAN e WARD, 1998). Como esses comprimentos de onda estão na faixa de infravermelho do espectro eletromagnético, a medição da radiação emitida por esses objetos é chamada de termografia infravermelha.

As câmeras termográficas identificam o calor gerado e por meio de algoritmos, a imagem em escala de cinza é transformada em uma imagem colorida, tornando-se visível ao operador (LUDWIG, 2013).

Todo corpo possui uma capacidade de emitir e absorver calor, sendo essa chamada de emissividade, que compreende uma escala de zero para refletir completamente a 1,0 para absorção completa (BLAXTER, 1962) A emissividade espectral varia em função da temperatura e do acabamento superficial dos materiais em análise, sendo que tecidos animais e vegetais possuem os mesmos valores pois são muito semelhantes devido ao alto teor de água presente nos tecidos vivos. A emissividade da pele negra, branca ou queimada é a mesma e câmeras termográficas possuem a capacidade de ajustar o valor de emissividade, sendo considerada maior que 0,95 em tecidos biológicos (LUDWIG, 2013; SELLIER et al., 2014; MC MANUS et al., 2016; DALTRO et al., 2017).

A câmera termográfica capta a radiação emitida por toda região que possui temperatura acima do zero absoluto, e mede a radiação ( $\text{w}/\text{m}^2$ ) por meio da lei de Stefan Boltzmann (MC CAFFERTY, 2012) pela equação (1):

$$R = e' s' T^4$$

em que:  $R$  é a radiação,  $W/m^2$ ;  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície analisada;  $\sigma$  é  $5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$  (constante de Stefan Boltzmann) e  $T$  é a temperatura,  $^{\circ}K$ .

As primeiras câmeras de infravermelho foram desenvolvidas na Alemanha para uso militar no decorrer da segunda guerra mundial. Durante a revolução industrial a primeira indústria que introduziu as câmeras termográficas nos trabalhos foi a elétrica, que utilizam da termografia para visualização de pontos quentes de conexões elétricas em instalações e reparos (RICCA, 2013)

As câmeras termográficas também foram utilizadas nas investigações estruturais de camadas internas e estruturas de edifícios históricos, na localização do padrão de rachaduras, defeitos de superfície, deslocamento de pisos e também na identificação e monitoramento da infiltração de umidade em superfícies. Dentre os mais variados campos em que a termografia foi introduzida, as pesquisas arqueológicas também fizeram uso dessa metodologia (ROSINA, 2013).

No campo das aplicações biológicas, a termografia infravermelha pode ser utilizada na avaliação de variações na transpiração foliar, sendo que nas análises em escala de campo, oscilações nas condições ambientais (irradiação solar, vento, nuvens) devem ser consideradas, de modo que não interfiram ou acarretem viés aos resultados (LUDWIG, 2013).

Nas décadas de 50 e 60, alguns estudos já demonstraram que câmeras de infravermelho poderiam ser aplicadas em humanos, para detectar os estágios iniciais de determinados tipos de câncer, sendo que células cancerígenas possuem grande circulação sanguínea, alterando os processos de dissipação de calor na superfície analisada (RICCA, 2013).



Atualmente, um dos mais importantes fatores que introduziram a termografia infravermelho no âmbito zootécnico é sua capacidade de determinar medidas do real estado dos animais por meio de indicadores não invasivos, garantindo dados que não interfiram diretamente nos organismos, evitando reações precedentes ao estresse. A termografia possui variadas aplicações biológicas, com alto potencial no diagnóstico e prevenção de diversas enfermidades como a inflamação ou sinais patológicos subclínicos (MC MANUS et al., 2016).

A termorregulação é um dos principais mecanismos de rápida transferência de calor entre o meio interno e externo, e a temperatura dos tecidos biológicos pode ser afetada pelos processos fisiológicos por meio de mudanças no fluxo sanguíneo em determinada região. O calor produzido em um processo inflamatório é transferido para os tecidos adjacentes como a pele, mediante a dilatação dos vasos capilares (BATISTA et al., 2015).

Processos inflamatórios podem ser detectados em regiões com aumentos na temperatura da superfície de modo que tecidos inflamados apresentam alterações na vascularização da pele e fluxo sanguíneo ocasionando vasodilatação. A termometria permite avaliar essas alterações por meio das variações de temperatura no local afetado (MC MANUS et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2018).

O método de análise da termografia permite diagnosticar a ocorrência de laminites em vacas (ALSAAOD et al., 2014), detectar inflamações na glândula mamária (DALTRO, 2017), diagnosticar mastite subclínica por meio de análises de temperatura da superfície do úbere, sendo esse correspondente ao California Mastitis Test (CMT) (MARTINS et al., 2013; BASTOS et al., 2015), como também confirmam a correlação com as classes de contagem de células somáticas em amostras de leite (ZANINELLE et al., 2018).

Resultados positivos também foram encontrados na detecção precoce de animais infectados com o vírus da diarreia viral bovina e febre aftosa, por meio da temperatura ocular de bezerros bovinos, sendo que a termografia infravermelha possibilitou identificá-los dias antes de manifestarem sinais clínicos (LOWE et al., 2016).

A técnica de infravermelho das patas e circunferência ocular auxiliam no diagnóstico, prevenção e controle da febre aftosa, (RAINWATER-LOVETT et al., 2009; GLOSTER et al., 2011; REKANT et al., 2016), assim como permite a detecção de ectoparasitas e classificação dos graus de infestação de moscas do chifre, pois sua imagem térmica se evidencia do corpo mais quente do hospedeiro (DALL'CORTIVO et al., 2014).

Rekant et al. (2016) apresenta variados métodos de utilização da termografia infravermelha na determinação de doenças respiratórias, raiva, tuberculoses, laminites, e dilacerações teciduais.

A análise de temperatura da superfície corporal é considerada rápida e sem complexidade, em comparação a determinados métodos tradicionais utilizados para medir a temperatura e produção de calor que podem ocasionar alterações devido ao manuseio do animal, como a temperatura retal e frequência respiratória (CHURCH et al., 2014; ROBERTO E DE SOUZA, 2014; MARTELLO et al., 2016).

Processos fisiológicos e metabólicos estão associados as alterações de temperatura superficial do corpo dos animais, como descreve Talukder et al. (2014), que por meio da avaliação da temperatura da vulva determinaram a ocorrência de cio em vacas com aumento térmico três dias antecedentes a ovulação, podendo assim prever a ovulação (SIMÕES et al., 2014).

A concentração e circulação de sangue na região do escroto influenciam a termorregulação e podem variar com flutuações da temperatura ambiente. Pesquisas analisando imagens termográficas dessa determinada região apresentam correlação com a qualidade de sêmen de bovinos Nelore (RUEDIGER et al., 2016; SOUZA et al. (2017), em touros Braford (MENEGASSI et al., 2015) e em touros bubalinos (CHACUR, 2017).

A análise de animais por meio de equipamentos termográficos vem sendo cada vez mais realizadas com o objetivo de identificar possíveis correlações dentro do âmbito produtivo. É possível encontrar estudos de imagens termográficas nas mais diversas espécies que comprovam a versatilidade em identificar variações anormais de temperatura em pontos anatômicos dos animais (BARROS et al., 2016; MC MANUS et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2018).

#### **4.1. Termografia infravermelho e eficiência alimentar**

A aplicação da termografia infravermelho nas análises de temperatura vai além de apenas estudos de caráter reprodutivos e patogênicos. Estudos com comportamento, estresse animal, termorregulação e até mesmo na identificação da eficiência alimentar apresentam resultados positivos na utilização dessa técnica rápida e não invasiva (MOTANHOLI et al., 2009b; COSTA, 2013; MCCOARD et al., 2014; CHACUR, 2017).

Montanholi et al. (2009a) comprovou a efetividade de 59% na utilização da termografia infravermelho para seleção de animais com alta eficiência alimentar.

Sabe-se que os constituintes de uma dieta não são inteiramente utilizados pelo animal, resultando na produção de calor, gases (pronvenientes da digestão), fezes e urina (RESENDE et al., 2011). A produção de calor possui significativa relação com o

consumo de energia, sendo que a atividade metabólica advinda da digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes é proporcional a quantidade ingerida de alimento (KLEIBER, 1961).

A energia metabolizável ingerida pelo animal, que é convertida em produtos como carne, leite, lã e trabalho, é inversamente proporcional à porção de energia não aproveitada e, assim, perdida na forma de calor dissipado pela pele (radiação) (KLEIBER, 1961).

A produção de calor associa-se a procedimentos como mastigação, motilidade do trato digestivo, fermentação, processo de transformação e absorção dos nutrientes, homeostase térmica corporal, atividades de locomoção, respiração e circulação, de modo que animais com maior produção de calor podem ser considerados menos eficientes, apresentando maiores perdas de energia (MONTANHOLI et al., 2009a).

A classificação pelo CAR demonstrou que a temperatura corporal, obtida por meio de imagens termográficas retrata significativamente a eficiência alimentar dos animais (MONTANHOLI et al., 2008; MONTANHOLI et al., 2010).

Animais mais eficientes apresentam menor temperatura de superfície do corpo, devido as menores necessidades energéticas de manutenção associadas com a reduzida produção de calor (MONTANHOLI et al., 2007), e significativas reduções na ingestão de matéria seca (11,3%), devido a maior eficiência na utilização dos nutrientes da dieta (GUIMARÃES et al., 2017).

Montanholi et al. (2008) encontraram correlação significativa ( $r = 0,88$ ;  $P < 0,01$ ) entre a temperatura das patas e produção de calor, caracterizando a termografia infravermelha como técnica de alta capacidade de classificar a eficiência alimentar em bovinos.

Animais em homeostase térmica permitem a classificação quanto a eficiência alimentar de forma mais precisa e confiável, de modo que a termografia infravermelho detecta gastos energéticos provenientes apenas da ineficiência da digestão. Schaefer et al. (2018) caracterizou a eficiência de animais em homeostase térmica por meio de análises térmicas da circunferência ocular e face. Menores temperaturas e ganhos de peso superiores ( $0,3 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) foram encontradas em animais de baixo CAR.

A termografia infravermelho observada na pele do animal está direcionada as dissipações de calor (SCHARF et al., 2014) enquanto que análises da circunferência ocular refletem a temperatura corporal média dos animais (DUNBAR et al., 2009).

Análises realizadas na superfície da pele de várias partes do corpo de vacas resultaram em menores temperaturas do úbere e maiores temperaturas no pescoço e paleta em animais menos eficientes (DIGIACOMO et al., 2014). Montanholi et al. (2009a) observaram menores temperaturas da face ( $28,18$  vs.  $29,28$  °C) e focinho ( $30,08$  vs.  $31,28$  °C), e menor ingestão de matéria seca em animais de baixo CAR.

A análise da circunferência ocular apresenta resultados positivos na literatura, pois possui importante correlação com o estresse, possibilitando visualizar alterações na vascularização da borda da pálpebra e variações no fluxo sanguíneo. As oscilações térmicas nesse ponto anatômico são altamente correlacionadas com a temperatura retal e não sofrem efeitos da pelagem das espécies animais (GEORGE et al., 2014).

É importante ressaltar que a utilização da análise de infravermelho na determinação de eficiência, pode sofrer interferência de variáveis ambientais causando viés aos resultados, assim precauções na obtenção das imagens devem ser tomadas de modo que não permitam que a incidência de radiação solar ou vento interfiram na temperatura corporal (CHURCH et al., 2014).

Paim et al. (2018) determinaram a relação entre medidas de infravermelho e o desempenho de novilhas e suas relações com as variáveis ambientais. Na estação seca os animais apresentaram correlação positiva entre medidas termográficas e GMD, e na estação chuvosa com temperaturas mais amenas a correlação foi negativa. Quando o efeito da estação é desconsiderado, ocorreu correlação positiva com medidas de temperatura da barbela, olhos e região lateral do corpo.

A barbela é uma das regiões de alta importância na perda de calor por evaporação (BRO-JØRGENSEN, 2016; COSTA et al., 2018; PAIM et al., 2018), e é considerada um dos mais importantes pontos de determinação para tolerância ao calor (CARDOSO et al., 2016).

Marques da Silva et al. (2017) encontraram correlação na região do peito, sendo esse um local de grande deposição e reserva de gordura em bubalinos. Os animais de baixo CAR apresentaram menores temperaturas ( $29,14^{\circ}\text{C}$ ) comparados aos de alto ( $30,33^{\circ}\text{C}$ ) e médio CAR ( $29,97^{\circ}\text{C}$ ), evidenciando a relação entre eficiência alimentar e imagens térmicas da região do peito de bubalinos confinados.

Martello et al. (2016) observaram correlações inversas, sendo os animais eficientes apresentaram maiores temperaturas da frente, devido ao estresse calórico em que os animais foram submetidos e os mecanismos regulatórios de dissipação de calor utilizados para retornar a homeostase corporal.

Vários trabalhos apresentam relevantes associações entre imagens de infravermelho dos pontos anatômicos corporais e a produção de calor (MONTANHOLI et al., 2010; MARTELLO et al., 2016; MC MANUS et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2017; MARQUES DA SILVA, et al., 2017; SCHAEFER et al., 2018). A tecnologia de análise térmica pode representar um componente importante para avaliação da eficiência alimentar. Entretanto, estudos em diferentes regiões e as

respectivas interações com as medidas de eficiência alimentar, são de extrema importância, uma vez que os locais do corpo diferem quanto a dissipação de calor.

As pesquisas quanto a eficiência alimentar em bubalinos são raras, assim como as possíveis correlações existentes com medidas termográficas, tornando-se necessário a realização de estudos que permitam comprovar os resultados de predição da eficiência alimentar por meio da termografia infravermelho, e qual seria o melhor local anatômico de análise em bubalinos.

## 5. Objetivos gerais

Objetivou-se com este estudo correlacionar a análise de imagens de termografia infravermelho com medidas de eficiência alimentar animal, sendo essas determinadas por meio do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR) e pelo consumo ganho residual (CGR), e suas interações com medidas de desempenho em bubalinos confinados de diferentes grupos genéticos.

O Capítulo 2, intitulado **Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais** foi redigido de acordo com as normas para a publicação no periódico *Journal of Animal Science*. Hipotetiza-se que bubalinos com menores temperaturas térmicas nas determinadas regiões anatômicas (olhos, face, peito, pata, costelas e traseiro) sejam classificados como mais eficientes segundo cada critério de eficiência estudada (CAR, GR e CGR).

## 6. Referências Bibliográficas

ABCB – Associação Brasileira de Criadores de Búfalos. Disponível em: <<http://www.bufalo.com.br/noticias.html>>. Acesso em: 5 Janeiro. 2019.

ABIEC – Associação Brasileira de Importação e Exportação de Carne. **Perfil da Pecuária no Brasil. Relatório Anual**, 2018.

ALLEN, M. S. Drives and limits to feed intake in ruminants. **Animal Production**

**Science**, v. 54, n.10, p. 1513-1524, 2014.

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 Veterinary Journal**, v. 199, n. 2, p. 281-285, 2014.

ARCHER, J. A.; RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M.; ARHTUR, P. F. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural**, v. 50, n. 2, p. 147-161, 1999.

ARTHUR, J. P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 269-279, 2008.

BARBOSA NETO, J., E BASTIANETTO, E. Diferenças fisiológicas entre bubalinos e bovinos: interferência na produção. **Ciência Animal Brasileira**, 1. Recuperado de <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/7664>, 2009.

BARROS, D. V.; SILVA, L. K. X.; KAHWAGE, P. R.; et al. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 2, p. 422-430, 2016.

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: Congresso Brasileiro de Reprodução Animal. **Anais**, v.21, p.51, 2015.

BATISTA, J. N.; BORGES, L. D.; LIMA, L. A.; et al. Termorregulação em ruminantes. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v. 11, n. 2, p. 39-46, 2015.

BEATON, W. G. The husbandry and health of the domestic buffalo. **Tropical Animal Health and Production**, v. 7, n. 1, p. 40, 1975.

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 1, p. 109-115, 2012.

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.91, n.4, p.1594-1613, 2013.

BLAXTER K. L. The energy metabolism of ruminants. **Hutchinson Scientific and Technical**, London, UK, 1962.

BOLÍVAR, D. M.; CERÓN-MUÑOZ, M. F.; BARAHONA-ROSALES, R. Feed efficiency traits and productive performance in fifteen-month old buffaloes (*Bubalus bubalis*) from a dual-purpose system. **Livestock Research for Rural Development**, v. 26, n. 7, 2014.

BOSE, B. K. S.; KUNDU, S. S.; THO, N. T. B.; SHARMA, V. K.; SONTAKKE, U. B. Residual feed intake as a feed efficiency selection tool and its relationship with feed intake, performance and nutrient utilization in Murrah buffalo calves. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, n. 4, p. 615-621, 2014.



BRO-JØRGENSEN, J. Evolution of the ungulate dewlap: thermoregulation rather than sexual selection or predator deterrence. **Frontiers in Zoology**. v. 13, n. 1, p. 1-7, 2016.

CARDOSO, C.; LIMA, F.; FIORAVANTI, M.; et al. Heat Tolerance in Curraleiro Pedreiro, Pantaneiro and Nelore Cattle Using Thermographic Images. **Animals**. v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.

CHACUR, M. G. M. Termografia por infravermelho na reprodução de bubalinos. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 41, n. 1, p. 180-187, 2017.

CHAVES, A. S.; NASCIMENTO, M. L.; TULLIO, R. R. et al. Relationship of residual feed intake with heart rate and heat production in Nelore steers. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 10, p. 18-19, 2013.

CHURCH, J. S.; HEGADOREN, P. R.; PAETKAU, M. J. et al. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. **Research in Veterinary Science**. v. 96, n.1, p. 220-226, 2014.

COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 3, n. 1, p. 513-532, 2015.

CONTE, G.; CIAMPOLINI, R.; CASSANDRO, M.; et al. Feeding and nutrition management of heat-stressed dairy ruminants. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 3, p. 604-620, 2018.

COSTA, L. N. Infrared thermography for detection pre-slaughter stress and impaired meat quality, *in*: **Thermography. Current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**, p. 183-190, 2013.

COSTA, C. C. M.; MAIA, A. S. C.; NASCIMENTO, S. T.; NASCIMENTO, C. C. N. et al. Thermal balance of Nelore cattle. **International Journal of Biometeorology** v. 62, n. 5, p. 723-731, 2018.

CRUZ-CRUZ, L. A.; GUERRERO-LEGARRETA, I.; RAMIREZ-NECOECHEA, R.; et al. The behavior and productivity of water buffalo in different breeding systems: a review. **Veterinari Medicina**, v. 59, n. 4, p. 181-193, 2014.

DALL’CORTIVO, P.; DIAS, E.; SILVA, I. C. M.; et al. Automatic determination of horn fly (*Haematobia irritans*) infestation in livestock using infrared images. **Brazilian Society of Animal Science**, v. 51, 2014.

DALTRO, D. DOS S.; FISCHER, V.; ALFONZO, E. P. M.; et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 5, p. 374-383, 2017.

DAMASCENO, F. A.; VIANA, J. M.; TINÔCO, I. D. F. F.; et al. Adaptação de Bubalinos ao Ambiente Tropical. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.7, n. 5, p. 1370-1381, 2010.

DEB, G. K., NAHAR, T. N.; DURAN, P. G. Safe and sustainable traditional production: The water buffalo in Asia. **Frontiers Environmental Science**. v. 4, n. 38, p. 1-7, 2016.

DEBBARMA, D.; UPPAL, V.; BANSAL, N., GUPTA, A. Histomorphometrical Study on Regional Variation in Distribution of Sweat Glands in Buffalo Skin. **Dermatology Research and Practice**, p. 1–7, 2018.

DIGIACOMO, K. 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 Production Science**, v. 54, n. 10, p. 1877-1881, 2014.

DUNBAR, M. R.; JOHNSON, S. R.; RHYAN, J. C.; et al. Use of Infrared Thermography to Detect Thermographic Changes in Mule Deer (*Odocoileus hemionus*) Experimentally Infected with Foot-and-Mouth Disease. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**. v. 40, n. 2, p. 296–301, 2009

EL DEBAKY, H. A.; KUTCHY, N. A.; UL-HUSNA, A.; INDRIASTUTI, R.; AKHTER, S.; PURWANTARA, B.; MEMILI, E. Review: Potential of water buffalo in world agriculture: Challenges and opportunities. **Applied Animal Science**, v. 35, n. 2, p. 255–268, 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

FAVERO, R.; GOMES, R. C.; MIZUBUTI, I. Y.; et al. Implicações da seleção pelo consumo e ganho residual no desempenho e características de carcaça de bovinos da raça Brahman. **Anais. BeefExpo**, p. 39-45, 2015.

FERRELL, C. L. E JENKINS, T. G. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. **Journal of Animal Science**, v. 61, n. 3, p. 725–741, 1985.

FITZSIMONS, C., MCGEE M., KEOGH, K., et al. Molecular physiology of feed efficiency in beef cattle. In *Biology of domestic animals* (ed. CG Scanes and RA Hill), pp. 120–163, 2017.

GARCIA, A. R. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. **Pesquisa Brasileira de Reprodução Animal**. v. 37, n. 2, p. 121-130, 2013.

GEORGE, W. D.; GODFREY, R. W.; KETRING, R. C.; et al. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 4949-4955, 2014.

GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S.; et al. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. **BMC Veterinary Research** v. 7, n. 73, p. 1-10, 2011.

GUIMARÃES, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CANESIN, R. C.; et al. Phenotypic association between feed efficiency and feeding behavior, growth and carcass traits in Senepol cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 1, p. 47-55, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27/06/2018.

JORGE, A. M.; ANDRIGHETTO, C. Características de Carcaça de Bubalinos. **Anais do Zootec. Campo Grande - MS**, 2005.

JORGE, A. M.; FRANCISCO, C. L. Cadeia Produtiva da Carne de Búfalo – Visão da Universidade. **II Simpósio da Cadeia Produtiva da Bubalinocultura**, 2011.

JOSET, W. C. L.; RODRIGUES DA SILVA, J. A.; GODINHO, L. A. et al. Thermoregulatory responses of female buffaloes reared under direct sunlight and shaded areas in the dry season on Marajó Island, Brazil. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 40, n.1, p. 1-6, 2018.

KELLY, A. K., MCGEE M., CREWS, D. H., et al. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. **Journal of Animal Science** v. 88, p. 109-123, 2010.

KENNEDY, B.W., VANDER WERF, J.H.J. AND MEUWISSEN, T.H.E. Genetic and statistical properties of residual feed intake. **Journal of Animal Science**. v. 71, n. 12, p. 3239-3250, 1993.

KLEIBER, M. **The fire of life: an introduction to animal energetics**. New York: John Wiley & Sons. p. 454, 1961.

KOCH, R. M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.22, n.2, p.486-494, 1963.

KOURY FILHO, W.; ALBUQUERQUE, L.G. de; FORNI, S.; SILVA, J.A.I. de V.; YOKOO, M.J.; ALENCAR, M.M. de. Estimativas de parâmetros genéticos para os escores visuais e suas associações com peso corporal em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.1015-1022, 2010.

KOZLOSKI, G. M. **Bioquímica dos Ruminantes: metabolismo dos carboidratos e produção dos ácidos graxos voláteis**. 3ª ed, 2017.

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. **Proceedings N.Z. Society Animal Production**, p. 177-179, 2016.

LUDWIG, N. Thermal imaging in biological applications. In: **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**. p. 27-40, 2013.

MACHADO, E.; YOSHIMURA, E. H.; SANTOS, N. W.; et al. Nitrogen metabolism, digestive parameters, and protein requirements for the maintenance of buffalo growth. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 2, p. 361-366, 2015.

MARQUES DA SILVA, D. C.; FRANCISCO, C. L.; CASTILHO, A. M.; et al. Use of infrared thermography to evaluate the residual feed intake in water buffaloes. **Journal of Animal Science**, supl. Supplement 4, v. 95, pag. 72, 2017.

MARTELLO, L. S.; LUZ E SILVA, S.; COSTA GOMES, R.; 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. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 1, p. 173-181, 2016.

MARTINS, R.F.S.; PAIM, T.P.; CARDOSO, C.A.; et al. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. **Research Veterinary Science**. v. 94, n.3, p. 722-724, 2013.

MCDOWELL, R.E., HOOVEN, N.W., CAMOENS, J.K. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. **Journal of Dairy Science** v. 59, n. 5, p. 965-973, 1976.

MCCAFFERTY, D. J. Applications of thermal imaging in avian science. **Ibis**, v. 155, n. 1, p. 4-15, 2012.

MCCOARD, S. A.; HENDERSON, H.V.; KNOL, F. W. et al. Infrared thermal imaging as a method to study thermogenesis in the neonatal lamb. **Animal Production Science**, v. 54, n. 9, p. 1497-1501, 2014.

MCMANUS, C.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V.; et al. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

MEDEIROS, D. R.; ALBERTINI, T. Z. Partição de energia e sua determinação na nutrição de bovinos de corte, **Nutrição de Ruminantes**. cap. 2. p. 19-26, 2015.

MENDES, E. D. M.; CAMPOS, M. M. Eficiência alimentar em bovino de corte. **Informe Agropecuário**. v. 37, n. 292, p. 28-38, 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. **International Journal of Biometeorology** v. 59, n. 3, p. 357-364, 2015.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; MILLER, S. P.; et al. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers in three different sire breed. **Proceedings of the Canadian Nutrition Congress**, p. 36, 2007.

MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 469-475, 2008.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; PALME, R. et al. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, Cambridge, v. 4, n. 5, p. 692-701, 2009a.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S. et al. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 22-30, 2009b.

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, n. 5, p.692-701, 2010.

MONTEIRO, S. N.; AMARAL JÚNIOR, J. M.; SOUSA, M. A. P.; et al. Infrared

thermography in the assessment of thermal comfort of confined water buffaloes in the amazon biome. II SIGEE – Second International Symposium on Greenhouse Gases in Agriculture – **Proceedings**, p. 290-294, 2016.

NASCIMENTO, M. L.; SOUZA, A. R. D. L.; CHAVES, A. S. et al. Feed efficiency indexes and their relationships with carcass, non-carcass and meat quality traits in Nelore steers. **Meat Science** v. 116, p. 78-85, 2016.

NEGESSE, T.; DATT, C.; KUNDU, S. S. Variability in residual feed intake and nutrient utilization in Murrah buffalo heifers. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 8, p. 1577-1584, 2016.

NRC 1996 Nutrient Requirements of beef Cattle. 7th revised edition, National Academy Press, Washington, D.C.

OLIVEIRA, Z. B.; SILVA, C. M.; SOUZA, T. T. L.; BOTTEGA, E. L. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira no sul do Brasil. **Brasilian Journal of Biosystems Engineering**. v. 12, n. 2, p. 110-121, 2018.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSON, C. F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science** v. 71, p. 3138-3150, 1993.

PAIM, T. P.; GOULARD, R. O.; SILVA, D. A. L.; et al. Relationship of weight gain with infrared temperatures in Nelore and F1 (Nelore x Angus) heifers reared in two forage production systems. **Journal of Animal Science**. 2018.

PANTOJA, M. H. A.; SILVA, J. A. R.; DELGADO, M. L.; et al. Respostas fisiológicas e adaptabilidade de bubalinos ao clima equatorial amazônico. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**. v. 16, 2018.

PERKINS, S. D.; KEY, C. N.; GARRETT, C. F. et al. Residual feed intake studies in Angus-sired cattle reveal a potential role for hypothalamic gene expression in regulating feed efficiency. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 2, p. 549-560, 2014.

PORTO, S. L. B.; NEVES, K. A. L.; LIMA DA SILVA, A. S.; et al. Avaliação do comportamento de bovinos e bubalinos durante exposição feira agroindustrial do baixo Amazonas. **Agroecossistemas**. v. 10, n. 2, p. 11-24, 2018.

RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J. M.; PACKER, C.; et al. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. **The Veterinary Journal**. v. 180, n. 3, p. 317-324, 2009.

REKANT, D. I.; LYONS, M. A.; PACHECO, J. M.; et al. Veterinary applications of infrared thermography. **American Journal of Veterinary Research**. v. 77, n. 1, p. 98-107, 2016.

RESENDE, K. T.; TEIXEIRA, I. A. M. A.; FERNANDES, M. H. M. R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T. T.; PIREZ A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes 2<sup>a</sup> ed**, cap. 11, p. 323-344, 2011.

REZENDE, M. P. G. de, Ferraz, P. C., Carneiro, P. L. S., & Malhado, C. H. M. Phenotypic diversity in buffalo cows of the Jafarabadi, Murrah, and Mediterranean

- breeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 663–669, 2017.
- RICCA, R. The history of infrared thermography. In: **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**, p. 3-12, 2013.
- ROBERTO, J. V. B.; DE SOUZA, B. B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, p. 73-84, 2014.
- ROSINA, E. Infrared history and applications In: **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**, p. 13-26, 2013.
- 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: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 1, 2016.
- SALLES, M. S. V.; SILVA, S. C.; ROMA, L. C.; et al. Detection of heat produced during roughage digestion in ruminants by using infrared thermography. **Animal Production Science**. 2017.
- SANTOS, C. L. R.; SANTOS JÚNIOR, J. B.; CUNHA, M. C.; et al. Nível tecnológico e organizacional da cadeia produtiva da bubalinocultura de corte no estado do Maranhão. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 83, p. 1-8, 2016.
- SCHAEFER, A. L.; OMINSKI, K.; THOMPSON, S.; et al. Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. **Heliyon**, v. 4, n. 10, p. 1-22, 2018.
- SCHARF, B.; CARROLL, J. A.; RILEY, D. G. et al. Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) *Bos taurus* cattle during controlled heat challenge. **Journal of Animal Science**. v. 88, n. 7, p. 2321-2336, 2014.
- SEJIAN, V.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J. B.; et al. Review: Adaptation of animals to heat stress. **Animal**, p. 1-14, 2018.
- SELLIER, N.; GUETTIER, E.; STAUB, C. A review of methods to measure animal body temperature in precision farming. **American Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 2 n. 2, p.74-99, 2014.
- SEVEGNANI, K. B.; FERNANDES, D. P. B.; MODENESE-GORLA DA SILVA, S. H. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 1, p. 1-12, 2016.
- SHARMA, V. C.; MAHESH, M. S.; MOHINI, M.; et al. Nutrient utilisation and methane emissions in Sahiwal calves differing in residual feed intake. **Archives of Animal Nutrition**, v. 68, n. 5, p. 345-357, 2014.
- SHARMA, V. K.; KUNDU, S. S.; PRUSTY, S.; DATT, C., KUMAR, M. Nutrient utilisation, growth performance and blood metabolites in Murrah buffalo calves

(*Bubalus bubalis*) divergently selected for residual feed intake. **Archives of Animal Nutrition**, v. 70, n. 6 p. 455-469, 2016.

SHARMA, V. K.; KUNDU, S. S.; DATT, C. et al. Buffalo heifers selected for lower residual feed intake have lower feed intake, better dietary nitrogen utilisation and reduced enteric methane production. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 102, n. 2, p. 607-614, 2017.

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. **Theriogenology**. v. 82, n. 8, p. 1080-1085, 2014.

SOUZA, C. D.; CHACUR, M.G.M.; RUEDIGER, F.R.; et al. Temperatura por infravermelho do escroto e quadro seminal em touros adultos jovens e adultos maduros da raça nelore. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n. 1, p. 66-70, 2017.

SPEAKMAN, J. R., E WARD, S. Infrared thermography: principles and applications. **Zoology**, v. 101, p. 224-232, 1998

STEYN, Y.; VAN MARLE-KÖSTER, E.; THERON, H. E. Residual feed intake as selection tool in South African Bonsmara cattle. **Livestock Science**, v. 164, p. 35-38, 2014.

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, n. 7, p. 925-935, 2014.

TEIXEIRA, V. A.; TOMICH, T. R.; LANA, A. M. Q.; et al. Pecuária leiteira de precisão: utilização da termografia infravermelho na produção e reprodução animal. **Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2018.

THOMPSON, S.; SCHAEFER, A. L.; CROW, G. H.; et al. Relationship between residual feed intake and radiated heat loss using infrared thermography in young beef bulls. **Journal of Thermal Biology**, 2018.

VILLARES, J. B.; RAMOS, A. A.; ROCHA, G.P. As vias cutâneas e respiratórias na termólise de bubalinos sob extrema tensão térmica. In: RAMOS, A. de A.; VILLARES, J.B.; MOURA, J.C. de. **Bubalinos**. Fundação Cargill, p.55-68, 1979.

ZANINELLI, M.; REDAELLI, V.; LUZI, F.; et al. First Evaluation of Infrared Thermography as a Tool for the Monitoring of Udder Health Status in Farms of Dairy Cows. **Sensors**, v. 18, n. 3, p. 862, 2018.

## CAPÍTULO 2

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico *Journal of Animal Science*, excetuando-se o idioma.



**Termografia infravermelho e medidas de eficiência de bubalinos de três grupos genéticos sob condições tropicais<sup>1</sup>**

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processo 141917/2016-4), pela bolsa concedida e ao Projeto Temático Fapesp (processo 2014/05473-7).

## RESUMO

Objetivou-se com esse estudo avaliar a utilização da termografia infravermelho e a relação e interações entre medidas de eficiência e desempenho, de diferentes grupos genéticos de bubalinos na fase de crescimento em confinamento. Foram utilizados 75 bubalinos (*Bubalus bubalis*) machos não castrados de 3 diferentes grupos genéticos (Jafarabadi, Mediterrâneo e Murrah). De modo que 25 animais de cada raça ( $390 \pm 32$  dias de idade,  $310 \pm 61,27$  kg) foram alojados em baias coletivas e alimentados de forma *ad libitum*. Foram avaliadas: conversão alimentar (CA), eficiência alimentar (EA), consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR) e consumo ganho residual (CGR). Os animais foram classificados para cada medida de eficiência em três grupos: baixo ( $<0,5$  DP média), médio (dentro de  $\pm 0,5$  DP) e alto ( $> 0,5$  DP média), e em seguida, alto e baixo foram comparados utilizando Proc MIXED (SAS). As imagens de infravermelho foram coletadas nas regiões do olho, face, costelas, escroto, patas e peito. Significância foi considerada se  $P < 0,05$ . Houve interação entre os grupos genéticos para o CAR ( $P < 0,01$ ), permitindo classificar os bubalinos Jafarabadi de baixo CAR como mais eficientes, e uma tendência foi encontrada ( $P = 0,08$ ) para a classe alto CGR apresentando os melhores índices. As medidas de eficiência apresentaram efeito no qual animais de baixo CAR apresentaram maior IMS e maior EA ( $P < 0,01$ ), enquanto que animais das classes alto GR e alto CGR apresentaram os melhores índices de desempenho. Foi observada correlação entre os critérios de eficiência CAR e CGR para as temperaturas na região do peito (0,18 e -0,17, respectivamente). A menor temperatura encontrada nos olhos permitiu classificar os animais Jafarabadi como mais eficientes segundo o baixo CAR ( $P < 0,01$ ), enquanto que para a medida de eficiência CGR as medidas termográficas foram eficientes em classificar o grupo Jafarabadi do alto CGR com menores temperaturas no olho ( $P <$

0,01) e nariz ( $P = 0,03$ ). Houve efeito de grupo genético em determinadas regiões de análise da termografia infravermelho. A temperatura na região do peito permitiu classificar os animais de baixo CAR com menores temperaturas ( $30,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0,04$ ) e a região do nariz com menores temperaturas na classe alto CGR ( $26,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 0,04$ ). Portanto, a melhor região para análise de termografia para prever a eficiência alimentar segundo o CAR é o peito e para o CGR, a região do nariz de bubalinos confinados em condições tropicais.

**Palavras chave:** búfalos, confinamento, consumo alimentar residual, recria, termografia infravermelho.

**Infrared thermography and efficiency measures of water buffaloes from three genetic groups under tropical conditions<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Appreciation is expressed to National Council for Scientific and Technological Development – CNPq (process 141917/2016-4, research support) and the Thematic Project Fapesp (process 2014 / 05473-7).

## ABSTRACT

The aim of this study was evaluate the use of infrared thermography and the relation and interaction with efficiency measures and performance of different genetic groups of water buffaloes during the growth phase in feedlot. 75 male non-castrated water buffaloes (*Bubalus bubalis*) of 3 genetic groups (Jafarabadi, Mediterranean and Murrah) were used. Thus, 25 animals of each breed ( $390 \pm 32$  days of age,  $310 \pm 61.27$  kg) were allocated in collective pens and fed *ad libitum*. The following variables were evaluated: feed conversion (FC), feed efficiency (FE), residual feed intake (RFI), residual BW gain (RG) and residual intake and BW gain (RIG). The animals were classified for each measures of efficiency as Low ( $<0.5$  SD mean), Medium (within  $\pm 0.5$  SD), and High ( $>0.5$  SD mean) groups, and then High and Low groups were compared using Proc MIXED (SAS). Infrared thermography images were collected from regions of the eye, snout, face, ribs, scrotum, forelegs and breast. Significance was considered if  $P < 0.05$ . There was interaction between the genetic groups for RFI ( $P < 0.01$ ), classify low RFI Jafarabadi as more efficient and a trend was observed ( $P = 0.08$ ) for Jabarabadi high RIG with the best indexes. The efficiency measure had an effect in animals with low CAR presented higher DMI and higher FE ( $P < 0.01$ ), while animals from the high RG and high RIG presented the best performance index. Correlation between the RFI and RIG efficiency for temperatures in the breast (0.18 and -0.17, respectively) was observed. The lower temperature found in the eyes classify the Jafarabadi more efficient according to the Low CAR ( $P < 0.01$ ), while for the RIG efficiency measure the thermographic measurements were efficient in classifying the Jafarabadi group of the high RIG with lower temperatures presented in the eye ( $P < 0.01$ ) and snout ( $P = 0.03$ ). There was a genetic group effect in certain regions of infrared thermography analysis. When the temperatures were analyzed according to efficiency measures, the chest

region allowed to classify the animals of the low RFI class with lower temperatures (30.29 °C;  $P = 0.04$ ) and the nose region showed lower temperatures in the RIG class (26.23 °C,  $P = 0.04$ ). Therefore, the best region for thermography analysis to predict feed efficiency according to the RFI is the chest and the RIG, the nose region of buffaloes confined under tropical conditions.

**Key Words:** feedlot, growing phase, infrared thermography, residual feed intake, water buffaloes.

## INTRODUÇÃO

Com o objetivo de maximizar a eficiência produtiva de bubalinos, o desenvolvimento de alternativas tecnológicas que permitam identificar animais com alta eficiência alimentar ganham relevância dentro dos sistemas de produção.

A determinação da eficiência alimentar dos animais agrega informações aos programas de melhoramento genético e simultaneamente, intensifica a rentabilidade do produtor, tendo em vista que a alimentação é um dos maiores custos dentro do sistema produtivo (Mendes e Campos, 2016).

Nesse contexto, o conceito de consumo alimentar residual (CAR) e o ganho residual (GR) foram propostos por Koch et al. (1963) como medidas para identificação de animais com maior eficiência alimentar e rápido crescimento, respectivamente, sendo o consumo ganho residual (CGR) a combinação do CAR e GR (Berry e Crowley, 2012).

As variações individuais do CAR influenciadas por processos biológicos como digestão da dieta são discutidas em diversos trabalhos (Richardson e Herd, 2004; Herd e Arthur, 2009), entretanto, a utilização dessas metodologias de determinação da eficiência alimentar é possível apenas com a mensuração do consumo alimentar diário individual, sendo essa uma medida onerosa que demanda tempo.

Novas metodologias para predizer indiretamente a eficiência animal têm sido estudadas. Com isso, estudos com a termorregulação estão sendo relacionados à determinação da eficiência alimentar, pois estão associados ao metabolismo e gasto energético (Herd et al., 2009).

A termografia infravermelha mede de forma não invasiva a temperatura por meio da energia emitida pelas superfícies e a transforma em uma imagem visível. Essa

metodologia apresenta grande potencial nas análises de fisiologia animal, determinação de doenças ocasionadas por variações térmicas (Mc Manus et al., 2016; Zaninelle et al., 2018), determinação da eficiência alimentar, ganho médio diário, ingestão de matéria seca e emissão de metano (Montanholi et al., 2010; Martello et al., 2016; Sharma et al., 2017; Guimarães et al., 2017; Schaefer et al., 2018).

Animais mais eficientes apresentam menor temperatura superficial corporal e também produzem menos metano que animais menos eficientes (Montanholi et al., 2008; Sharma et al., 2017; Guimarães et al., 2017; Schaefer et al., 2018).

Com base na literatura citada sobre termografia infravermelho, a análise da temperatura corporal e as interações com as medidas de eficiência (CAR, GR e CGR) são raras para bubalinos, o que demonstra a relevância em pesquisar como essa espécie responde a perda de calor e se é possível medi-la com o uso de termografia infravermelho e correlaciona-la com medidas de eficiência alimentar.

Com isso, objetivou-se com este estudo correlacionar a análise de imagens de termografia infravermelho com medidas de eficiência alimentar animal, sendo essas determinadas por meio do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR) e pelo consumo ganho residual (CGR), e suas interações com medidas de desempenho em bubalinos confinados de diferentes grupos genéticos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os procedimentos com os animais foram conduzidos de acordo com os padrões éticos de pesquisa e experimentação animal, estabelecidos pela Comissão Ética em Uso de Animais da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, protocolo nº 05/2015-CEUA, campus de Botucatu.



### **Instalações, animais utilizados e período experimental**

O experimento foi desenvolvido no Centro de Pesquisas Tropicais em Bubalinos da Fazenda Experimental Edgárdia (CPTB), unidade pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, localizada em Botucatu (centro-oeste do Estado de São Paulo), altitude média de 786 metros, situada a 22°53’09” de latitude Sul e 48°26’42” de longitude Oeste.

Foram utilizados 75 machos bubalinos não-castrados (*Bubalus bubalis*) de três diferentes grupos genéticos: Jafarabadi, Mediterrâneo e Murrah, nascidos no ano de 2015, sendo que a fase de recria e terminação em confinamento foi de junho a dezembro de 2016. De modo que 25 animais de cada raça ( $390 \pm 32$  dias de idade,  $310,83 \pm 61,27$  kg de peso inicial), foram alojados e terminados em confinamento no período de junho a dezembro de 2016 em 3 baias coletivas de acordo com o grupo genético, com dimensão de 896 m<sup>2</sup> cada ( $35,84$  m<sup>2</sup>.animal<sup>-1</sup>), e passaram por um período de 28 dias de adaptação e 84 dias de coletas de dados.

Para determinar o consumo e o comportamento alimentar individual, cada baia dispunha de quatro cochos eletrônicos e um bebedouro munido de uma plataforma de pesagem do sistema Intergado® (Contagem, MG, Brasil), e o restante de terra batida, com sombreamento artificial de  $2,56$  m<sup>2</sup>.animal<sup>-1</sup>.

Antes do início do período de teste, cada animal foi equipado com um brinco de identificação por alta frequência (Allflex USA Inc., Dallas-Fort Worth, EUA), que permite identificar os animais no sistema de alimentação automatizado e seus respectivos eventos individuais de consumo da dieta registrados 24 horas por dia.

## **Dieta e manejo alimentar**

A dieta foi formulada à base de silagem de milho, milho moído, farelo de algodão, calcário calcítico, uréia, sulfato de amônia e suplemento mineral (Tabela 1).

Para estabelecimento das exigências e características nutricionais da dieta, utilizou-se o programa NRC (2000) nível 2, que se baseia em simulação ruminal para animais não castrados em crescimento.

Amostras da dieta fornecida e do que não foi consumido foram coletadas para análise bromatológica, pelo princípio de espectrometria de refletância no infravermelho próximo (NIRS) por meio do aparelho FOSS NIRS DS2500™ *Feed and Forage Analyzer*, (Foss NIRSystems, Inc., USA), visando obter os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM).

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e lignina foram determinados de acordo com a metodologia descrita por A.O.A.C. (2012) e Van Soest et al. (1991). Os valores de todas as análises foram corrigidos para 100% de matéria seca (MS), e o valor energético dos alimentos foi estimado segundo Weiss (1999). As análises foram efetuadas no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Júlio de Mesquita Filho (FMVZ – UNESP), campus de Botucatu.

Os animais receberam acesso *ad libitum* à dieta e água, sendo que o alimento foi ofertado duas vezes ao dia, às 8h (40% do total ofertado) e às 15h (60% do total ofertado). A ingestão diária foi ajustada para permitir sobras entre 5 e 10% da quantidade inicial ofertada.

### Medidas de Eficiência

O monitoramento diário do peso dos animais durante o experimento foi realizado pelo sistema de pesagem automático instalados à frente dos bebedouros e acoplados a um software de gerenciamento (Intergado®, MG, Brasil), e a cada 28 dias os animais foram submetidos a jejum de sólidos por 16 horas e conduzidos ao tronco de manejo para pesagem em balança eletrônica digital (AÇORES®, SP 25000/AP) com precisão de um quilo.

Para determinar o consumo alimentar residual (CAR) e o ganho residual (GR), foi utilizado um modelo derivado a partir de ajustes na IMS e GMD, respectivamente, sugerido por Koch et al. (1963).

O consumo voluntário individual diário registrado automaticamente pelo sistema Intergado®, e a determinação do CMS estimado a partir da regressão múltipla do peso vivo metabólico e ganho médio diário dentro de cada grupo genético, permitiram definir o CAR:

$$PV_{\text{metabólico}} = [(PV_{\text{final}} + PV_{\text{inicial}})/2]^{0,75}$$

$$CMSe = \beta_0 + \beta_1 * GMD + \beta_2 * PV^{0,75} + \epsilon_i(i. \epsilon., CAR)$$

em que:  $\beta_0$  é o intercepto,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os coeficientes de regressão do Ganho Médio Diário (GMD, kg/d) e do Peso Vivo metabólico ( $PV^{0,75}$ ), respectivamente, e  $\epsilon$  é o resíduo da equação (CAR).

O ganho médio diário estimado (GMDe), foi calculado por equações de regressão dentro dos grupos, possibilitando a determinação do GPR:

$$GMDe = \beta_0 + \beta_1 * CMS + \beta_2 * PV^{0,75} + \epsilon_i(i. \epsilon., CAR)$$

em que:  $\beta_0$  é o intercepto,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os coeficientes de regressão do Consumo de Matéria Seca (CMS kg/d) e do Peso Vivo metabólico ( $PV^{0,75}$ ), respectivamente, e  $\varepsilon$  é o resíduo da equação (CAR).

A soma do CAR com o GR resultou no consumo e ganho residual (CGR), em que cada um tem a mesma ponderação após transformação do CAR positivo em favorável pela multiplicação por menos um, conforme descrito por Berry e Crowley (2012).

Para as características de eficiência analisadas nesse estudo (CAR, CGR e GR), os animais foram classificados em três classes, sendo: alta ( $>$  média + 0,5 desvio padrão); média ( $- 0,5$  desvio padrão  $\leq$  média  $\leq$  + 0,5 desvio padrão); e baixa ( $<$  média - 0,5 desvio padrão).

### **Ultrassonografia**

A técnica de ultrassonografia foi utilizada para determinar a espessura da camada de gordura subcutânea obtida na altura da 12<sup>a</sup> costela (EGS) e a espessura de gordura sobre o *Biceps femoris* (EGP8) na região da garupa, obtidas conforme metodologia descrita por Herring et al. (1994). Para obtenção das imagens, utilizou-se o equipamento ALOKA 500V, com sonda linear de 17,2 cm e 3,5 MHz e guia acústica acoplada para melhor adaptação à anatomia do corpo do animal. As imagens obtidas foram armazenadas em microcomputador portátil e analisadas utilizando o programa Image J (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA). Tais medidas obtidas foram incorporadas ao modelo, mas quando se apresentaram não significativas ( $P > 0,05$ ), foram retiradas.

### **Termografia Infravermelha**

As imagens foram coletadas utilizando uma câmera termográfica infravermelha (Termovisor Testo 882, Testo, Inc, Lenzkirch, Alemanha) no momento em que os animais permaneciam no tronco de contenção, durante o período da manhã (aproximadamente as 7 horas) a cada intervalo de 28 dias.

Os dados de temperatura ambiente foram coletados como fator de ajuste, permitindo que variações térmicas no decorrer da captura das imagens possam ser ajustadas na câmera antes da retirada da foto. Também foram ajustados o foco, ângulo da máquina termográfica, e lonas foram posicionadas estrategicamente no lado direito dos animais, de modo que não ocorresse a incidência de qualquer claridade no animal que prejudique nas análises.

As capturas das imagens foram realizadas no período da manhã, do lado esquerdo dos animais após a permanência e adaptação no tronco de contenção, a uma distância de aproximadamente 1,5m de cada uma das localizações corporais estudadas, incluindo: olho, face, nariz, costelas, patas dianteiras esquerda, escroto, traseiro (Montanholi et al., 2009), e peito.

Para padronizar os procedimentos utilizados na coleta das imagens, foi utilizado o valor de 0,98 para emissividade, de acordo com a recomendação do fabricante da câmera para tecidos biológicos.

As imagens foram editadas e analisadas para determinação da temperatura (°C) de acordo com a paleta de cores (Hot/Cold) por meio do software que acompanha o equipamento (Testo imager software IRSoft, Lenzkirch, Alemanha), obtendo-se a temperatura representativa.

Para delimitar uma área constante de avaliação nas imagens, cada um dos locais foi analisado utilizando uma forma específica, determinando uma subárea

constante de modo que a a ferramenta retangular foi utilizada para obter as temperaturas médias no nariz, face, peito, costelas, pata, traseiro e escroto, e a ferramenta circular para obter a temperatura da circunferência ocular (Figura 1).

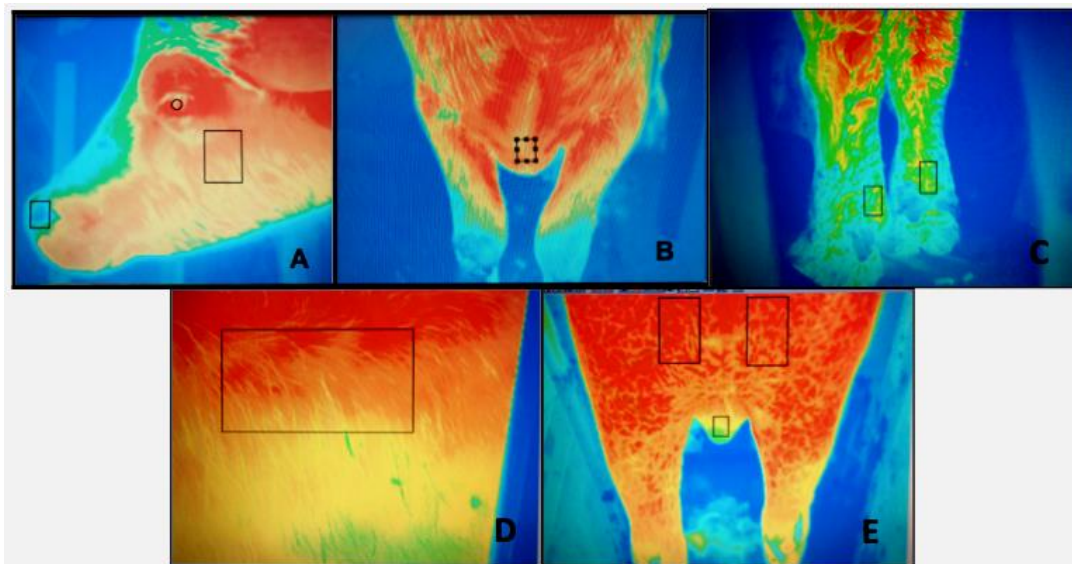


Figura 1. Análise das imagens termográficas nas regiões da face (A), peito (B), patas dianteiras (C), costelas (D) e escroto (E) de bubalinos confinados sob condições tropicais.

As coletas das imagens de infravermelho iniciaram após a aclimação dos animais as instalações e manejo, permitindo minimizar as respostas ao estresse, dentre outros fatores que possam interferir na temperatura dos animais e na interpretação dos dados. Além disso, a temperatura ambiente foi registrada constantemente durante todo período de coleta de dados, permitindo identificar variações bruscas (Hahn,1999).

### **Delineamento e Análise Estatística**

Os dados foram testados para distribuições normais utilizando o procedimento UNIVARIATE (SAS Inst. Inc., Cary, NC) e o teste de Shapiro-Wilk (W). Os dados supeitos (*outliers*) foram identificados pelo teste do desvio studentizado extremo (Rosner, 1983). O animal foi considerado a unidade experimental.

O procedimento REG (SAS Inst. Inc., Cary, NC) foi utilizado para verificar as variáveis independentes significativas para o cálculo do consumo alimentar residual (CAR) e do ganho residual (GR). O valor de  $P \leq 0,15$  foi estipulado para que a variável fosse considerada e incluída no cálculo do resíduo.

Para o CAR foram verificadas as variáveis independentes GG, GMD,  $PM^{0,75}$  e EGS avaliada no início do experimento. Para o GR foram verificadas as variáveis independentes GG, IMS,  $PM^{0,75}$  e EGS avaliada no início do experimento. Uma vez que foi encontrado efeito para os GG estudados ( $P \leq 0,10$ ), as equações do CAR e GR foram desenvolvidas para cada raça, bem como a classificação em alto ou baixo de acordo com a medida de eficiência.

Para a estatística descritiva foi utilizado o procedimento MEANS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED (SAS Inst. Inc., Cary, NC) com o comando Satterthwaite para ajuste dos graus de liberdade do denominador (DDF) para testes de efeito fixo. O modelo para características de desempenho, medidas de eficiência e avaliações de ultrassom incluiu o efeito do GG, classe de eficiência (alto e baixo) e sua interação resultante. A variável aleatória utilizada foi descrita como animal (GG).

O modelo utilizado para os dados de termografia incluiu o efeito do GG, da classe de eficiência (alto e baixo) e sua interação, bem como o dia de coleta como co-variável para anular a possível influência das variações nos diferentes dias de aferição. O termo dia foi usado para medidas repetidas no tempo, e a descrição animal foi utilizada como sujeito.

A estrutura de covariância utilizada foi a ante-dependente de primeira ordem (ante(1)), a qual forneceu o menor valor do critério de informação de Akaike (AIC). A variável aleatória utilizada foi animal (raca). Os resultados são reportados como médias

dos quadrados mínimos (LSMEANS) e separados utilizando LSD de acordo com o efeito observado.

Dados da temperatura retal, termografia e medidas de eficiência foram submetidas ao procedimento CORR (SAS Inst. Inc., Cary, NC) para analisar a correlação de Pearson entre as variáveis. Para todas as análises, considerou-se significância se  $P \leq 0,05$  e tendência foram discutidas se  $P > 0,05$  e  $P \leq 0,10$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores mínimos, máximos, médios e desvios padrão para as características de desempenho, eficiência, e medidas termográficas estão descritas na Tabela 2. A amplitude dos valores apresentados para as características de peso, ganho e consumo promoveram adequadas variações entre os animais, o que possibilitou a determinação de diferentes relações entre os critérios (CAR, GR e CGR) e a estratificação dos animais em classes para as medidas de eficiência.

A temperatura média do ambiente ( $19,73 \pm 2,40$  °C) e temperatura retal ( $38,89 \pm 0,58$  °C) caracterizam o estado e meio em que os animais se encontravam durante o período experimental.

Khongdee et al. (2013) relataram maior temperatura retal ( $39,14 \pm 0,07$  °C) em pesquisa realizada com bubalinos sob sistema de abrigo e sombra. Dessa forma é possível observar que os animais na presente pesquisa encontravam-se nos limites térmicos de temperatura ambiente para essa espécie (15 a 21°C) (Garcia, 2013 e Sevegnani et al., 2016). O limite térmico pode divergir dependendo da adaptação de cada animal e do tempo de exposição ao estresse térmico (Fuquay 1981; Hahn et al. 1997).

Em ambientes onde a temperatura do ar permanecem acima do limite crítico, os



mecanismos de termorregulação para perda de calor são ativados, visando manter a temperatura corporal (Fuquay, 1981).

As temperaturas encontradas apresentaram oscilações, classificando regiões com alta e baixa variação. De modo que a região do olho apresentou temperaturas mais altas e menor desvio padrão ( $33,38 \pm 1,07$  °C), e a região do nariz e pata apresentaram as temperaturas mais baixas (26,99 e 28,27 °C, respectivamente) e menor variação.

As temperaturas corporais mais próximas da superfície externa estão mais sujeitas à influências das temperaturas ambientais do que as temperaturas retais (Silva, 2000).

Recentes pesquisas reportam a capacidade das imagens termográficas em determinar a adaptação do animal ao ambiente, assim como os efeitos que as variações ambientais podem causar nas temperaturas superficiais dos animais, impossibilitando a obtenção de resultados precisos quanto a classificação para eficiência alimentar (Paim et al., 2013; Paim et al., 2014; Cardoso et al., 2015; McManus et al., 2015; McManus et al., 2016; Paim 2018).

A média encontrada nas regiões do olho e escroto foram menores que as descritas por Barros et al. (2014) em pesquisa realizada com bubalinos Murrah ( $36,1 \pm 0,8$  °C e  $33,3 \pm 1,1$  °C).

Na tabela 3 estão apresentadas as médias dos critérios de eficiência alimentar em função dos grupos genéticos e classes. Foi observado efeito de interação entre o grupo genético e as classes do critério de eficiência alimentar CAR, no qual bubalinos da raça Jafarabadi classificados como baixo CAR apresentaram os melhores índices de eficiência ( $-1,13$  kg.dia<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ).

Para a característica CGR observou-se tendência ( $P = 0,08$ ) na classe alto CGR em apresentar os melhores índices de eficiência para os grupos genéticos Jafarabadi e Murrah (1,25 e 0,91).

Não houve diferenças significativas entre os grupos genéticos e os critérios de eficiência avaliados (Tabela 4). As médias não apresentaram efeito significativo para o peso final, ingestão de matéria seca, EGS e peso inicial ( $P > 0,05$ ), confirmando a homogeneidade dos grupos genéticos (GG) no início do período experimental.

Uma padronização foi observada quando analisado os parâmetros de desempenho nos diferentes critérios de avaliação. As características de GMD, CA, EA e EGG foram as análises que apresentaram efeito nos três critérios de eficiência estudados (CAR, GR e CGR), de modo que para a medida de análise CAR, os animais Jafarabadi apresentaram maior GMD ( $1,78 \text{ kg.dia}^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ), maior EA ( $0,21 \text{ kg GMD.kg IMS}^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ), comparados aos demais grupos. Também foi encontrado menores valores de CA ( $4,95 \pm 0,54 \text{ kg IMS.kg GMD}^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ), e EGG ( $3,80 \text{ mm}$ ;  $P < 0,01$ ), quando comparados ao grupo genético Murrah e não diferindo do Mediterrâneo.

Em relação ao critério de avaliação GR, o grupo genético Jafarabadi também apresentou maiores índices de GMD ( $1,73 \text{ kg.dia}^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ), EA ( $0,20 \text{ kg GMD.kg IMS}^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ) e menor CA ( $5,19 \text{ kg IMS.kg GMD}^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ), quando comparados aos demais grupos genéticos. Os resultados encontrados para EGG foram menores ( $4,79 \text{ mm}$ ;  $P = 0,05$ ), quando comparados ao Murrah, entretanto não diferiram quando a deposição em bubalinos Mediterrâneo.

Os dados de CGR reportaram maiores médias de GMD ( $1,64 \text{ kg.dia}^{-1}$ ;  $P = 0,05$ ) e menor CA ( $5,09 \text{ kg IMS.kg GMD}^{-1}$ ;  $P = 0,04$ ), comparados ao grupo Murrah. Maior EA ( $0,20 \text{ kg GMD.kg IMS}^{-1}$ ;  $P = 0,01$ ) e menor EGG ( $3,44 \text{ mm}$ ;  $P < 0,01$ ), também foram encontradas no grupo Jafarabadi.

Segundo Bolívar et al. (2014), a deposição de músculo e gordura pode ser influenciada pela raça, período de engorda e concentração energética da dieta. Essas observações permitem inferir que no início da deposição de gordura, os animais do grupo genético Jafarabadi ainda encontravam-se na fase de crescimento muscular, além de serem animais jovens que não haviam atingido a maturidade, fato este que não constatou-se com os demais grupos genéticos, pois segundo Rezende et al. (2017), bubalinos Mediterrâneo e Murrah possuem menor porte.

No momento em que a deposição de tecido magro (músculo) chega ao máximo, o tecido com deposição predominante passa a ser o adiposo. Animais com diferente porte (crescimento ósseo ou altura da cernelha) naturalmente possuirão pesos distintos à maturidade (Berg e Butterfield, 1976; Owens et al., 1993; Owens et al. 1995), além de maior gasto energético e menor eficiência nessa fase da curva de crescimento.

As medidas de EGG, realizada por meio da ultrassonografia apresentaram efeito nos três critérios de eficiência (CAR, GR e CGR). Esses resultados não condizem com os relatados por Bolívar et al. (2014), que não encontraram significância para a classificação de CAR e a deposição de gordura para bubalinos Murrah.

Os animais Jafarabadi apresentaram melhor eficiência alimentar, com semelhante IMS aos demais grupos e maiores índices de desempenho. Cabe ressaltar que o desempenho demonstrado pelos grupos Mediterrâneo e Murrah foram considerados desejáveis, assim como correlatos de Jorge et al. (1997) e Jorge et al. (2006).

Quando analisados os animais de acordo com as classes (Tabela 5), os três critérios de eficiência estudados (CAR, GR e CGR) apresentaram significância ( $P < 0,05$ ), permitindo classificar com clareza os animais mais eficientes (baixo CAR, alto GR e alto CGR).

Os cálculos dos diferentes critérios de avaliação permitiram selecionar os animais de acordo com cada medida de análise para eficiência. Dessa forma, dos 75 bubalinos, 17 foram classificados como mais eficientes (baixo CAR) e 21 animais como alto CAR. Para os critérios GR e CGR foram classificados 18 e 17 bubalinos para as classes mais eficientes (alto GR e alto CGR, respectivamente) e 17 e 19 bubalinos para a classe baixo GR e baixo CGR, respectivamente.

A classe considerada baixo apresentou os melhores índices de eficiência para CAR (-0,81 vs. 0,53 kg.dia<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ), enquanto que para os parâmetros GR e CGR, a classe considerada alto foi a que apresentou os melhores índices (0,20 vs. -0,21 kg.dia<sup>-1</sup>; 0,96 vs. -0,69;  $P < 0,01$ , respectivamente).

A seleção de bubalinos pelo CAR, realizada por Sharma et al. (2017) e Negesse et al. (2016), encontraram variações no consumo residual de novilhas bubalinas Murrah, de -0,09 a 0,12 kg.dia<sup>-1</sup> e -0,11 a 0,14 kg.dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os animais da classe baixo CAR consumiram menos 1,25 kg MS/dia (7,67 vs. 8,92 kg/d;  $P < 0,01$ ), obtiveram maior EA (0,19 vs. 0,16 kg GMD/kg IMS;  $P < 0,01$ ) e não apresentaram diferenças para GMD, para o peso inicial e final. Isso já era esperado, pois o CAR é uma variável independente do tamanho e da taxa de crescimento e está associada ao melhor aproveitamento do alimento consumido (Kennedy et al., 1993).

Os resultados encontrados para característica de eficiência CAR correspondem com os dados encontrados na pesquisa realizada por Bolívar et al. (2014), que classificaram bubalinos Murrah mais eficientes por meio da determinação do CAR (-0,52 a 0,68 kg/dia). Os animais de baixo CAR apresentaram redução de IMS (0,580 kg.dia<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ) comparados aos animais do grupo alto CAR.

Os valores encontrados na pesquisa apresentaram maiores amplitudes que estudos realizados com bezerros bubalinos Murrah, no qual o CAR variou de -0,33 a

+0,28 kg.d<sup>-1</sup>, de modo que animais mais eficientes exigiram menor quantidade de energia de manutenção e apresentaram menor consumo (1,9 kg.dia<sup>-1</sup>) em comparação com bezerros de alto CAR (2,4 kg.dia<sup>-1</sup>) (Sharma et al., 2016).

A conversão alimentar apresentou tendência entre os grupos de CAR ( $P = 0,06$ ), no qual animais mais eficientes (baixo CAR) demonstraram os melhores índices (5,51 kg IMS.kg GMD<sup>-1</sup>), correspondendo com resultados encontrados por Montanholi et al (2009).

O CAR e GR, não apresentaram efeito para a análise de peso, tendo em vista que são resíduos de equações que levam em consideração para seus cálculos o PVmetabólico como variável independente, sendo essas as características menos correlacionadas fenotipicamente com os pesos (Koch et al., 1963).

Para a característica GR observou-se que os bubalinos alto GR, apresentaram maior GMD (1,67 vs 1,28 kg.d<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ), menor CA (5,08 vs 6,90 kg IMS.kg GMD<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ) e melhores índices de EA (0,20 vs. 0,15 kg GMD.kg IMS<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ), quando comparados com a classe baixo GR.

A característica CGR também foi eficaz em determinar a classe considerada alto CGR com os melhores índices de eficiência, apresentando menor CA (5,38 vs 6,65 kg IMS.kg GMD<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ) e melhor EA (0,19 vs. 0,16 kg GMD.kg IMS<sup>-1</sup>;  $P < 0,01$ ).

Ambos os critérios de avaliação utilizados nesse estudo foram capazes de classificar os animais quanto ao desempenho, e características de eficiência como também reduzir o consumo de alimento e custos de produção.

Os coeficientes de correlação entre as variáveis termográficas, temperatura retal e medidas de eficiência estão apresentados na Tabela 6. As medidas de temperatura retal apresentaram tendência de correlação fraca (0,15;  $P = 0,09$ ) com o critério de eficiência CAR. As correlações entre as temperaturas analisadas na região do peito demonstraram

efeito de correlação negativa para CGR (-0,17;  $P = 0,05$ ), resultando em animais mais eficientes (alto CGR) com as menores temperaturas nessa determinada região. A correlação encontrada para o critério de eficiência CAR (0,18;  $P < 0,05$ ), mostra que animais mais eficientes (baixo CAR) possuem menores temperaturas de superfície corporal nessa mesma região, quando comparados a animais menos eficientes (alto CAR).

Em contraste com os resultados encontrados na presente pesquisa, Montanholi et al. (2008) utilizaram a termografia para avaliar a produção de calor e encontraram forte relação entre a produção de calor e a temperatura dos pés ( $r = 0,88$ ,  $P < 0,001$ ). Em outro estudo, Montanholi et al. (2009) determinaram a relação entre o CAR, e a eficiência alimentar, no qual as temperaturas dos pés e da face eram os locais mais promissores para avaliar indiretamente a eficiência alimentar em bovinos.

Fatores como poeira, umidade, sujeira e lama podem ter influenciado a precisão das medidas de termografia infravermelho, principalmente em regiões como os pés. As regiões anatômicas estudadas foram avaliadas sem qualquer tratamento prévio ou limpeza, o que pode explicar a falta de correlação com algumas regiões anatômicas devido a sujeira dificultar a análise precisa.

As temperaturas obtidas nas regiões anatômicas dos bubalinos de acordo com a interação entre o grupo genético e as classes dos critérios de eficiência estão apresentadas na Tabela 7.

Analisando os animais nas referentes classes de CAR observou-se que apenas o grupo Jafarabadi pode ser classificado quanto a eficiência alimentar por meio de medidas de termografia realizadas na região do olho, de modo que os animais da classe baixo CAR apresentaram as menores temperaturas (32,39 °C,  $P = 0,01$ ).

A avaliação das medidas termográficas na região do olho e nariz também apresentaram efeito segundo o critério de avaliação CGR (32,54 °C,  $P < 0,01$  e 24,67 °C,  $P = 0,03$ , respectivamente), tornando possível classificar a eficiência alimentar grupo Jafarabadi de alto CGR apresentando as menores temperaturas.

A análise da temperatura realizada na região dos olhos possui uma vantagem, visto que esse ponto não é diretamente afetado pela cor da pelagem ou sujeiras presentes nos locais de análise. Portanto, a temperatura analisada nessa determinada região é um importante ponto anatômico para avaliação da resposta dos animais quanto a eficiência alimentar (Paim et al., 2018).

A determinação da eficiência alimentar entre os grupos genéticos utilizando as classes de GR não apresentaram efeito significativo de interação, sendo assim, não foi possível determinar as classes de GR dos animais por meio das análises termográficas.

Os efeitos de grupo genético e classe estão apresentados separadamente nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Foi encontrado efeito significativo entre os grupos genéticos (Tabela 8) para as temperaturas das regiões da face ( $P = 0,03$ ) e costela ( $P = 0,02$ ) no critério de avaliação CAR. Os bubalinos Mediterrâneos apresentaram as menores temperaturas (30,85 e 29,48 °C) quando comparados aos Murrah (32,03 e 30,93 °C), mas não diferiram quanto ao grupo Jafarabadi (30,94 e 30,62 °C) em ambas as regiões.

As análises realizadas nas regiões da face, costela, escroto e traseiro ( $P = 0,03$ ,  $P = 0,03$ ,  $P = 0,03$ , respectivamente) dos diferentes grupos genéticos, apresentaram efeito significativo quanto ao critério de avaliação GR. Bubalinos Mediterrâneos apresentaram temperaturas de 30,63 °C e 29,53 °C para face e costela respectivamente, não diferindo das temperaturas encontradas no grupo Jafarabadi (31,14 °C e 30,18 °C). A menor temperatura termográfica analisada na região do escroto foi

encontrada no grupo Jafarabadi (30,24 °C), divergindo dos outros dois grupos em análise. Entretanto, quando verificada a temperatura na região do traseiro, bubalinos Jafarabadi não diferenciaram dos Murrah.

A classificação dos grupos genéticos em CGR por meio da termografia permitiu observar menores temperaturas na região da face dos Mediterrâneos (30,90 °C) e dos Jafarabadi (30,95 °C), sendo que o mesmo comportamento foi observado para análise realizada na costela. Quando observadas as temperaturas do nariz, os bubalinos Jafarabadi (26,08 °C) não diferiram dos Murrah (26,61 °C).

Em estudos realizados com termografia infravermelho mostraram que a temperatura do olho, especificamente a temperatura da borda posterior da pálpebra inferior e do orifício lacrimal, pode ser um indicador de estresse (Cook et al. 2005; Pavlidis et al. 2002). Entretanto, não foram encontradas evidências de que a temperatura nessa região sofra alterações em resposta aos critérios de eficiência analisados (CAR, GR e CGR).

Muitos fatores estão envolvidos com as variações na temperatura de superfície corporal, tendo em vista que o fluxo sanguíneo pode alterar devido a qualquer tipo de estresse, assim como a quantidade de calor dissipado também pode sofrer alterações (Hsieh et al., 1990).

Mesmo com a aclimação dos bubalinos as instalações e ao manejo, os resultados encontrados podem ser decorrentes a resposta dos animais a um agente estressor como o manuseio. O estresse pode causar mudanças de temperatura devido a outros fatores não relacionados a traços de eficiência ou termorregulação. Montanholi et al. (2008) também não encontraram uma associação considerável entre as medidas termográficas do olho e as características de eficiência.



As análises de temperatura realizadas nas regiões das costelas e do traseiro podem ser influenciadas por fatores como a presença e comprimento de pelos, influenciando a dissipação de calor (Arkin et al., 1991). Tais características tanto quando a adaptação ou até mesmo a fisiologias dos animais podem ser os responsáveis pelas variações nas temperaturas termográficas encontradas no diferentes grupos genéticos em análise quanto aos diferentes critérios de avaliação da eficiência alimentar.

A espessura mais grossa da pele e altas concentrações de melanina tornam os bubalinos suscetíveis a aumentos na temperatura corpórea quando expostos a radiação solar direta, sendo considerados menos eficientes em dissipar o calor latente. A estrutura, densidade, diâmetro, espessura e coloração dos pelos e da pele também influenciam as trocas térmicas e afetam a emissão e incidência de calor (Salles et al., 2017).

A temperatura superficial analisada na área escrotal sofre efeitos não só da temperatura corporal interna, mas também da condição ambiental imposta ao animal, devido à posição extracavitária apresentada pelos testículos. O escroto também apresenta particularidades quanto ao seu mecanismo de termorregulação diferenciado, com pele escrotal fina, relativamente desprovida de pelos, e dotada de numerosos vasos sanguíneos subcutâneos, que promovem a perda de calor (Kastelic, 2014). Dessa forma, a termografia escrotal pode ser mais eficiente em complementar avaliações andrológicas (Luzi et al., 2013; Malama et al., 2013).

As temperaturas superficiais da área orbital, flanco e escroto sofrem interferência das variações climáticas, principalmente temperatura e umidade do ar, para touros bubalinos criados em clima tropical (Barros et al., 2016).

Segundo Kastelic (2013), a termografia é capaz de medir a temperatura superficial dos testículos e pode ser utilizada para avaliar o efeito de estresse térmico em touros bovinos.

Uma possível razão para a discrepância desses resultados pode estar relacionada com diferenças no ambiente climático entre esses estudos. Em um ambiente termoneutro, os animais não ativam as funções termorreguladoras e o calor dissipado pela radiação reflete o gasto de calor. Essa perda de calor nos permite inferir que animais mais eficientes para CAR têm menor temperatura de pele do que animais menos eficientes (alto CAR).

O CAR reflete os requerimentos basais de energia, e o insumo calórico utilizado para suprir esses requisitos resulta na produção de calor das funções metabólicas. Assim, o calor dissipado através da pele pode ser capturado pela termografia infravermelho e reflete o gasto energético das funções metabólicas, como a termorregulação. Portanto, o equilíbrio da temperatura corporal está diretamente relacionado com o gasto de energia para os requisitos de manutenção (Richardson et al. 2001; Castro Bulle et al. 2007).

Em um ambiente termoneutro, as temperaturas mais baixas da pele de animais mais eficientes refletem menor produção de calor para as necessidades de manutenção e menos calor sendo dissipado pela radiação do que em animais menos eficientes (Archer et al. 1999; Montanholi et al., 2008; Montanholi et al., 2009).

Na tabela 9 é possível verificar que a análise de termografia infravermelha realizada na região do peito de bubalinos foi capaz de classificar os animais quanto ao critério de eficiência alimentar CAR, sendo que bubalinos classificados como baixo CAR (mais eficientes) apresentaram menores temperaturas ( $30,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 0,04$ ), quando comparados aos animais alto CAR.

Em bovinos, a barbeta é conhecida como um importante órgão na troca de calor (Cardoso et al., 2016; Bro-Jørgensen, 2016), de modo que animais expostos a temperatura ambiente superior a 30 °C, tendem a realizarem troca de calor principalmente por evaporação cutânea (Costa et al., 2018).

O peito pode ser considerada uma região diferenciada em bubalinos, devido a proeminente deposição de gordura. Sugere-se que as temperaturas mais baixas encontradas nos animais de baixo CAR estariam ligadas a etapa da curva de crescimento, em que os animais apresentam menor deposição de proteína e maior deposição de gordura.

A análise de temperatura termográfica na região do nariz apresentou significância na classificação de eficiência CGR, no qual bubalinos mais eficientes apresentaram menores temperaturas (26,23 °C,  $P = 0,04$ ), quando comparados aos bubalinos da classe alto CGR.

Em pesquisa realizada por Paim et al. (2018) é possível verificar que a temperatura analisada na região do nariz é um dos principais pontos afetados pelas variáveis ambientais (umidade do ar, temperatura do globo negro e índice de temperatura). Portanto, a temperatura infravermelho do focinho está mais relacionada com as variações ambientais do que com a própria fisiologia animal.

Vários estudos (Herd et al. 2004; Nkrumah et al. 2007; Basarab et al. 2003) sobre o metabolismo energético de bovinos de corte demonstraram que bovinos mais eficientes com relação as características de CAR, GR e CGR estão relacionados com baixa produção de calor e menores exigências de manutenção. A atividade termorreguladora é responsável pelo gasto de energia e pode aumentar a exigência de manutenção. Uma das primeiras mudanças fisiológicas que ocorrem em bovinos em resposta ao estresse térmico é a mudança de temperatura da superfície do corpo. Essas

alterações ocorrem devido a ajustes circulatórios que permitem que o fluxo sanguíneo circule em vasos periféricos do corpo e permita a troca de calor entre o animal e o ambiente (Montanholi et al., 2008 e Montanholi et al. 2009).

A análise da temperatura superficial por meio da termografia infravermelho permite obter valores médios de temperatura para os diferentes pontos anatômicos, e também fornece uma área que pode ser facilmente afetada por variáveis externas como a temperatura ou radiação do ambiente e também fatores físicos e fisiológicos, incluindo algumas variações de temperatura oriundas da cor ou densidade de pelos.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com a pesquisa confirmam que há relação entre as imagens termográficas realizadas na região do peito e nariz, para determinar a eficiência alimentar por meio do CAR e CGR, respectivamente, de modo que animais com melhores índices de eficiência apresentaram menores temperaturas de superfície em ambas regiões.

A classe do grupo genético Jafarabadi determinada como baixo CAR apresentaram os melhores índices de eficiência alimentar, quando comparados aos demais grupos.

O método de análise de termografia infravermelha possui potencial para ser utilizado para classificação da eficiência alimentar de forma rápida e não invasiva de bubalinos confinados sob condições tropicais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC (2012). Official Methods of Analysis os AOAC International (19 ed.).
- Archer, J. A., E. C. Richardson, R. M. Herd, P. F. Arhtur. 1999. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. *Australian Journal of Agricultural*, 50(2):147-161.
- Arkin H., E. Kimmel, A. Berman, D. Broday. 1991 Heat transfer properties of dry and wet furs of dairy cows. *Trans ASAE* 34:2550–2558
- Barros, D. V., L. K. X. Silva, P. R. Kahwage, et al. 2016. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68(2):422-430.
- Basarab, J.A., M. A. Price, J. L. Aalhus, et al., 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83:189–204.
- Berg, R. T., & R. M. Butterfield. 1976. *New concepts of cattle growth*. Sydney University Press, University of Sydney.
- Berry, D.P., J. J. Crowley, 2012. Residual intake and gain; a new measure of efficiency in growing cattle. *Journal of Animal Science* 90:109-115.
- Birkett, S., K. de Lange, 2001. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. *Br. J. Nutr.* 86:647–659.
- Bolívar, D. M., M. F. Cerón-Muñoz, R. Barahona-Rosales. 2014 Feed efficiency traits and productive performance in fifteen-month old buffaloes (*Bubalus bubalis*) from a dual-purpose system. *Livestock Research for Rural Development*, 26(7).

- Bro-Jørgensen, J. 2016. Evolution of the ungulate dewlap: thermoregulation rather than sexual selection or predator deterrence. *Frontiers in Zoology*. 13(1):1-7.
- Cardoso, C., F. Lima, M. Fioravanti, et al. 2016. Heat Tolerance in Curraleiro Pe-Duro, Pantaneiro and Nelore Cattle Using Thermographic Images. *Animals*. 6(2):1-11.
- Castro Bulle, F.C.P., P. V. Paulino, A. C. Sanches, R. D. Sainz, 2007. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *J. Anim. Sci.* 85, 928–936.
- Cook N. J., J. S. Church, A. L. Schaefer, J. R. Webster, L. R. Matthews, J. M. Suttie, 2005. Stress and pain assessment of velvet antler removal from Elk (*Cervus elaphus canadensis*) and Reindeer (*Rangifer tarandus*). *Online J Vet Res* 9:13–25
- Costa, C. C. M., A. S. C. Maia, S. T. Nascimento, C. C. N. Nascimento. Et al. 2018. Thermal balance of Nelore cattle. *International Journal of Biometeorology*. 62(5):723-731.
- Fuquay J. W 1981. Heat stress as is affects animal production. *J Anim Sci* 52:164–174
- Garcia, A. R. 2013. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. *Pesquisa Brasileira de Reprodução Animal*. 37(2)121-130.
- Guimarães, A. L., M. E. Z. Mercadante, R. C. Canesin, et al. 2017. Phenotypic association between feed efficiency and feeding behavior, growth and carcass traits in Senepol cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(1)47-55.
- Hahn, G. L., A. M. Parkhurst, J. B. Gaughan, 1997. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. *Transactions of ASAE*. Paper, no. MC 97-121
- Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science*. 77 (Suppl. 2):10–20.

- Herd, R. M., J. A. Archer, P. F. Arthur. 2003. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. *Journal of Animal Science*, 81(E. Suppl. 1):E9–E17.
- Herd, R.M., P. F. Arthur. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87(E. Suppl.):E64–E71, 64–71.
- Herring, W.O., D.C. Miller, J.K. Bertrand, L. L. Benyshek, 1994. Evaluation of machine, technician, and interpreter effects on ultrasonic measures of backfat and longissimus muscle area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 72(9):2216-2226.
- Hsieh J. C., K. H. Chan, P. W. Lui, T. Y. Lee. 1990 Clinical application of infrared thermography in diagnosis and therapeutic assessment of vascular ischemic pain. *Acta Anaesthesiol Sin* 28:493–501.
- Jorge, A. M., C. A. A. Fontes, J. A. Freitas, J. E. Soreas, L. R. Rosales Rodriguez, A. C. Queiroz, F. D. Resende. 1997. Ganho de Peso e de Carcaça, Consumo e Conversão Alimentar de Bovinos e Bubalinos, Abatidos Em Dois Estágios de Maturidade. *R. Bras. Zootec.* 26(4):806-812.
- Jorge, A M., C. Andrighetto, D. D. Millen, M.G. Calixto, A.D.F. Vargas. 2006. Desempenho e Eficiência Biológica de Bubalinos de Três Grupos Genéticos Terminados em Confinamento e Abatidos em Diferentes Estágios de Maturidade. *R. Bras. Zootec.* 35(1), 252-257.
- Kastelic, J. P. 2013. Male involvement in fertility and factors affecting semen quality in bulls. *Anim. Front.*, 3:20-25.
- Kastelic, J. P. 2014. Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology*, 81:18-23.
- Kennedy, B W, J. H. Van Der Werf, T. H. Meuwissen. 1993. Genetic and statistical properties of residual feed intake. *Journal of animal science*, 71(12):3239-3250.

- Khongdee, T., S. Sripoon, C. Vajrabukka, 2013. Effects of high temperature and roof modification on physiological responses of swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. *International Journal of Biometeorology* 57:349–354.
- Kleiber, M. 1961. *The fire of life: an introduction to animal energetics*. New York: John Wiley & Sons. 454.
- Koch, R.M., L. A. Swiger, D. Chambers, et al. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 22(2):486-494.
- Luzi, F., M. Mitchell, L. N. Costa, V. Redaelli. 2013. *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine*. Brescia, Italy: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche.
- Malama, E., H. Bollwein, I. A. Taitzoglou, et al. 2013. Chromatin integrity of ram spermatozoa. Relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. *Theriogenology*, 80:533-541.
- Martello, L. S. et al. 2016. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *International Journal of Biometeorology*, 60(1):173-181.
- McManus, C., E. Bianchini, T. P. Paim, F. G. de Lima, J. Braccini Neto, M. Castanheira, G. I. F. Esteves, C. C. Cardoso, V. C. Dalcin, J. Neto, M. Castanheira, G. I. F. Esteves, C. C. Cardoso, and V. C. Dalcin. 2015. Infrared Thermography to Evaluate Heat Tolerance in Different Genetic Groups of Lambs. *Sensors (Basel)*. 15:17258–17273.
- McManus, C., C. B. Tanure, V. Peripolli, et al. Infrared thermography in animal production: An overview. 2016. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123:10-16.
- Mendes, E. D. M., M. M. Campos, 2016. Eficiência alimentar em bovino de corte. *Informe Agropecuário*, 37(292):28-38.
- Montanholi, Y. R. et al. 2009. On the determination of residual feed intake and



- associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livestock Science*, 25(1):22–30.
- Montanholi, Y. R., K. C. Swanson, R. Palme, et al. 2010. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal*, 4(5):692-701.
- Negesse, T., C. Datt, S. S. Kundu, 2016. Variability in residual feed intake and nutrient utilization in Murrah buffalo heifers. *Tropical Animal Health and Production*. 48(8):1577-1584.
- Nkrumah, J. D. et al 2007. Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultra- sound and carcass merit of beef cattle. *J Anim Sci* 85:2382–2390.
- NRC, 2000. *Nutrient Requirements of beef Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Owens, F.N., P. Dubeski, C. F. Hansont, 1993. Factors that Alter the Growth and Development of Ruminants. *J. Anim. Sci.* 71, 3138–3150.
- Owens, F.N., D. R. Gill, D. S. Secrist, S. W. Coleman, 1995. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 73(10), 3152-3172.
- Paim, T. P, B. O. Borges, P. M. T. Lima, E. F. Gomes, B. S. L. Dallago, R. Fadel, A. M. Menezes, H. Louvandini, M. E. A. Canozzi, J. O. J. Barcellos, C. McManus. 2013. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *International Journal of Biometeorology* 57:59-66.
- Paim, T. P., R. F. S. Martins, C. Cardoso, B. Dallago, H. Louvandini, and C. McManus. 2014. Thermal comfort index and infrared temperatures for lambs subjected to different environmental conditions. *Sci. Agric.* 71:356–361.

- Paim, T. P., R. O. Goulard, D. A. L. Silva, et al. 2018. Relationship of weight gain with infrared temperatures in Nelore and F1 (Nelore x Angus) heifers reared in two forage production systems. *Journal of Animal Science*.
- Pavlidis I, N. L. Eberhardt, J. A. Levine. 2002. Human behaviour: seeing through the face of deception. *Nature* 415:35.
- Rezende, M. P. G. de, P. C. Ferraz, P. L. S. Carneiro, C. H. M. Malhado, 2017. Phenotypic diversity in buffalo cows of the Jafarabadi, Murrah, and Mediterranean breeds. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52(8):663–669.
- Richardson, E.C., R. M. Herd, V. H. Oddy, J. M. Thompson, J. A. Archer, P. F. Arthur, 2001. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:1065–1072.
- Richardson, E.C.A., R. M. B. Herd. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle . 2 . Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agr.* 44(5):431-440.
- Rosner, B. 1983. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. *Technometrics*, 25(2):165–172.
- Salles, M. S. V., S. C. Silva, L. C. Roma, et al. 2017. Detection of heat produced during roughage digestion in ruminants by using infrared thermography. *Animal Production Science*.
- SAS – 1999. Institute Inc., Cary, NC, USA. SAS/STAT User’s guide. Cary: Statistical Analysis System Institute.
- Schaefer, A. L., K. Ominski, S. Thompson, et al. 2018. Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. *Heliyon*, 4(10), e00843.

- Sevegnani, K. B., D. P. B. Fernandes, S. H. Modenese-Gorla Da Silva, 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. 36:1-12,.
- Sharma, V. C., M. S. Mahesh, M. Mohini, C. Datt, V. M. Nampoothiria, 2014. Nutrient utilisation and methane emissions in Sahiwal calves differing in residual feed intake. *Archives of Animal Nutrition*, 68(5):345-357.
- Sharma, V. K., S. S. Kundu, S. Prusty, C. Datt, M. Kumar. 2016. Nutrient utilisation, growth performance and blood metabolites in Murrah buffalo calves (*Bubalus bubalis*) divergently selected for residual feed intake. *Archives of Animal Nutrition*, 70(6):455-469.
- Sharma, V. K., S. S. Kundu, C. Datt, et al. 2017. Buffalo heifers selected for lower residual feed intake have lower feed intake, better dietary nitrogen utilisation and reduced enteric methane production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(2):607-614.
- Silanikove N 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci* 67:1–18.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10):3583-3597.
- Weiss, W. P. 1999. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: *Cornell nutrition conference for feed manufacturers*, 61. Ithaca: Cornell University. p. 176-185.
- Zaninelli, M., V. Redaelli, F. Luzi, et al. 2018. First Evaluation of Infrared Thermography as a Tool for the Monitoring of Udder Health Status in Farms of Dairy Cows. *Sensors*, 18(3):862.

Tabela 1. Composição percentual dos ingredientes e características nutricionais da dieta.

Item	% Matéria Seca
<b>Ingredientes</b>	
Silagem de milho	30,08
Milho grão moído	53,19
Farelo de algodão, 28% PB	12,99
Uréia	0,76
Calcário calcítico	0,75
Suplemento mineral <sup>1</sup>	2,24
<b>Nutrientes <sup>2</sup></b>	
Proteína Bruta	14,90
NDT <sup>3</sup> , % MS	71,00
Energia metabolizável, Mcal/kg MS	2,72
Energia líquida para ganho, Mcal/kg MS	1,07
Fibra em detergente neutro	29,10
FDNef <sup>4</sup> , % MS	24,00
Cálcio, % MS	0,85
Fósforo % MS	0,45

<sup>1</sup> Composição do Suplemento Mineral (kg do produto) 180g Ca, 80g P, 5g Mg, 17g S, 140g Na, 215g Cl, 12mg Se, 650mg Cu, 826mg Fe, 2400mg Zn, 950mg Mn, 24mg I, 20mg Co, 67000 UI VitA, 9500 UI VitD, 950 UI VitE, 650mg monensina.

<sup>2</sup> Valores calculados pelo NRC (2000) nível 2.

<sup>3</sup> Nutrientes digestíveis totais.

<sup>4</sup> Fibra em detergente neutro fisicamente efetiva.

Tabela 2 – Estatística descritiva das características de desempenho e medidas termográficas de três grupos genéticos de bubalinos confinados.

Variáveis <sup>1</sup>	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Peso inicial, kg	310,83	61,27	182,98	439,17
Peso final, kg	433,22	69,18	299,50	566,50
Peso médio metabólico, kg	84,25	10,97	60,87	106,03
Ingestão de matéria seca, kg/d	8,36	1,28	5,86	10,90
Ganho médio diário, kg/d	1,46	0,32	0,62	2,18
Conversão alimentar, kg IMS/kg GMD	5,94	1,24	3,86	10,15
Eficiência alimentar, kg GMD/kg IMS	0,17	0,03	0,10	0,26
Consumo alimentar residual, kg/d	-0,00	0,55	-1,63	1,47
Ganho residual, kg/d	0,00	0,17	-0,45	0,35
Consumo ganho residual	0,00	0,67	-1,92	1,97
EGS, mm	5,67	1,58	2,44	9,75
EKG, mm	6,43	2,36	1,43	12,07
Temperatura ambiente, °C	19,73	2,40	16,00	24,00
Temperatura retal, °C	38,89	0,58	37,20	40,10
Termografia <sup>1</sup> , °C				
Peito	31,26	2,53	24,70	36,10
Olho	33,28	1,07	30,70	36,10
Face	31,44	1,58	27,40	34,40
Nariz	26,99	2,62	20,20	32,20
Costela	30,38	2,11	23,40	34,60
Pata	28,27	3,05	20,60	33,80
Escroto	31,38	2,14	23,90	35,60
Traseiro (coxão)	32,42	4,01	3,40	37,20

<sup>1</sup>EGS = espessura de gordura subcutânea mensurada pelo ultrassom no dia 0 do experimento; EKG = espessura de gordura da gordura mensurada pelo ultrassom no dia 0 do experimento.

<sup>2</sup>Medidas padronizadas e aferidas do lado esquerdo do animal para as variáveis: olho, face, costela, pata e traseiro

Tabela 3 - Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de acordo com a classe (alto ou baixo) e com o grupo genético (GG) de bubalinos confinados.

Variáveis	Jafarabadi		Mediterrâneo		Murrah		EPM			P-value		
	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	GG	Classe	GGxClasse	GG	Classe	GGxClasse
CAR, kg/dia	0,56 <sup>ab</sup>	-1,13 <sup>d</sup>	0,34 <sup>b</sup>	-0,55 <sup>c</sup>	0,68 <sup>a</sup>	-0,75 <sup>cd</sup>	0,13	0,11	0,18	0,21	<0,01	<0,01
GR, kg/dia	0,21	-0,18	0,22	-0,16	0,18	-0,30	0,04	0,03	0,05	0,06	<0,01	0,34
CGR, index	1,25 <sup>a</sup>	-0,63 <sup>c</sup>	0,72 <sup>b</sup>	-0,52 <sup>c</sup>	0,91 <sup>ab</sup>	-0,91 <sup>c</sup>	0,16	0,14	0,23	0,23	<0,01	0,08

Efeitos: GG = grupo genético (Jafarabadi, Mediterrâneo e Murrah); Classe = alto vs baixo, de acordo com a medida de eficiência; GGxClasse = respectivas interações. CAR = consumo alimentar residual; GR = ganho residual; CGR = consumo ganho residual. Significância se  $P < 0,05$  e tendência se  $P \leq 0,10$ .

Tabela 4 – Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das características de desempenho de acordo com os três grupos genéticos (GG) de bubalinos confinados.

Variáveis	Grupo genético			EPM	P-value <sup>1</sup>
	Jafarabadi	Mediterrâneo	Murrah		
CAR	-0,29	-0,10	-0,03	0,13	0,21
Peso inicial, kg	337,99	301,39	325,46	24,97	0,32
Peso final, kg	487,35	419,28	427,46	27,19	0,07
Ingestão de matéria seca, kg/d	8,78	8,13	7,99	0,53	0,39
Ganho médio diário, kg/d	1,78 <sup>a</sup>	1,40 <sup>b</sup>	1,21 <sup>b</sup>	0,13	<0,01
Conversão alimentar, kg IMS/kg GMD	4,95 <sup>b</sup>	5,97 <sup>b</sup>	6,94 <sup>a</sup>	0,54	<0,01
Eficiência alimentar, kg GMD/kg IMS	0,21 <sup>a</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,01	<0,01
EGS, mm	4,82	5,49	5,86	0,66	0,37
EKG, mm	3,80 <sup>b</sup>	5,86 <sup>ab</sup>	7,38 <sup>a</sup>	0,96	<0,01
GR	0,01	0,03	-0,06	0,04	0,06
Peso inicial, kg	336,09	316,19	311,79	26,01	0,66
Peso final, kg	481,06	436,84	417,79	29,70	0,14
Ingestão de matéria seca, kg/d	8,69	8,44	8,09	0,63	0,65
Ganho médio diário, kg/d	1,73 <sup>a</sup>	1,44 <sup>b</sup>	1,26 <sup>b</sup>	0,11	<0,01
Conversão alimentar, kg IMS/kg GMD	5,19 <sup>c</sup>	6,03 <sup>b</sup>	6,83 <sup>a</sup>	0,41	<0,01
Eficiência alimentar, kg GMD/kg IMS	0,20 <sup>a</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,01	<0,01
EGS, mm	4,94	5,55	6,28	0,69	0,19
EKG, mm	4,79 <sup>b</sup>	6,27 <sup>ab</sup>	7,73 <sup>a</sup>	1,09	0,05
CGR	0,31	0,10	-0,00	0,16	0,23
Peso inicial, kg	324,44	309,58	317,19	28,21	0,88
Peso final, kg	462,48	422,74	423,29	29,93	0,42
Ingestão de matéria seca, kg/d	8,26	8,10	8,03	0,57	0,93
Ganho médio diário, kg/d	1,64 <sup>a</sup>	1,35 <sup>ab</sup>	1,26 <sup>b</sup>	0,14	0,05
Conversão alimentar, kg IMS/kg GMD	5,09 <sup>b</sup>	6,22 <sup>ab</sup>	6,74 <sup>a</sup>	0,57	0,04
Eficiência alimentar, kg GMD/kg IMS	0,20 <sup>a</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,01	0,01
EGS, mm	4,54	5,38	6,06	0,65	0,11
EKG, mm	3,44 <sup>b</sup>	6,08 <sup>a</sup>	7,56 <sup>a</sup>	0,95	<0,01

CAR = consumo alimentar residual; GR = ganho residual; CGR = consumo ganho residual; EGS

= espessura de gordura subcutânea; EKG = espessura de gordura da garupa.

Efeitos: GG = grupo genético (Jafarabadi, Mediterrâneo e Murrah). Significância se  $P < 0,05$ .

Médias com letras sobrescrito diferentes entre si, indicam que há significância entre os valores.

Tabela 5 – Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das características de desempenho de acordo com a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados.

Variáveis	Classe		EPM	P-value <sup>1</sup>
	Alto	Baixo		
CAR	0,53	-0,81	0,11	<0,01
Peso inicial, kg	318,23	325,00	20,50	0,74
Peso final, kg	441,67	447,73	22,33	0,79
Ingestão de matéria seca, kg/d	8,92	7,67	0,44	<0,01
Ganho médio diário, kg/d	1,47	1,46	0,11	0,94
Conversão alimentar, kg IMS/kg GMD	6,40	5,51	0,45	0,06
Eficiência alimentar, kg GMD/kg IMS	0,16	0,19	0,01	0,01
EGS, mm	5,69	5,09	0,54	0,27
EGG, mm	5,91	5,45	0,79	0,56
GR	0,20	-0,21	0,03	<0,01
Peso inicial, kg	313,11	329,61	21,28	0,44
Peso final, kg	453,65	436,82	24,30	0,49
Ingestão de matéria seca, kg/d	8,43	8,38	0,51	0,92
Ganho médio diário, kg/d	1,67	1,28	0,09	<0,01
Conversão alimentar, kg IMS/kg GMD	5,08	6,90	0,34	<0,01
Eficiência alimentar, kg GMD/kg IMS	0,20	0,15	0,01	<0,01
EGS, mm	5,39	5,79	0,56	0,49
EGG, mm	6,27	6,27	0,89	0,99
CGR	0,96	-0,69	0,14	<0,01
Peso inicial, kg	319,49	314,65	23,15	0,84
Peso final, kg	444,94	427,39	24,56	0,48
Ingestão de matéria seca, kg/d	7,70	8,56	0,47	0,08
Ganho médio diário, kg/d	1,49	1,34	0,11	0,19
Conversão alimentar, kg IMS/kg GMD	5,38	6,65	0,47	0,01
Eficiência alimentar, kg GMD/kg IMS	0,19	0,16	0,01	<0,01
EGS, mm	5,22	5,43	0,53	0,70
EGG, mm	5,57	5,82	0,78	0,75

CAR = consumo alimentar residual; GR = ganho residual; CGR = consumo ganho residual; EGS

= espessura de gordura subcutânea; EGG = espessura de gordura da garupa.

Efeitos: Classe = alto vs baixo, de acordo com a medida de eficiência. Significância se  $P < 0,05$ .



Tabela 6 – Coeficientes de Pearson entre as variáveis termográficas , temperatura retal e medidas de eficiência de três grupos genéticos de bubalinos confinados.

Variáveis <sup>1</sup>	CAR	GR	CGR
Temperatura retal	0,15*	-0,07	-0,14
Peito	0,18**	-0,10	-0,17**
Olho	-0,02	-0,01	0,01
Face	0,04	0,10	-0,00
Nariz	0,07	-0,00	-0,06
Costela	-0,00	0,06	0,02
Pata	0,08	-0,05	-0,08
Escroto	-0,03	0,10	0,04
Traseiro (coxão)	0,02	-0,00	-0,02

Medidas padronizadas e aferidas do lado esquerdo do animal para as variáveis: olho, face, costela, pata e traseiro.

CAR = consumo alimentar residual; GR = ganho residual; CGR = consumo ganho residual.

Correlações parciais de Pearson significantes a \*\*  $p < 0,05$  e tendência se \* $p \leq 0,10$ .

Tabela 7 – Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com o grupo genético (GG) e a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados.

Variáveis	Jafarabadi		Mediterrâneo		Murrah		EPM			P-value				
	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Alto	Baixo	GG	Classe	GGxClasse	GG	Classe	GGxClasse		
CAR	Peito	31,10	29,67	31,42	30,34	31,71	30,86	0,63	0,52	0,89	0,41	0,04	0,91	
	Olho	33,51 <sup>ab</sup>	32,39 <sup>c</sup>	33,38 <sup>ab</sup>	33,23 <sup>ab</sup>	33,17 <sup>bc</sup>	33,87 <sup>a</sup>	0,26	0,22	0,37	0,16	0,38	0,01	
	Face	31,29	30,59	30,74	30,96	31,77	32,28	0,53	0,43	0,75	0,03	0,98	0,58	
	Nariz	27,10	24,91	26,78	27,25	26,70	26,83	0,54	0,44	0,76	0,23	0,24	0,07	
	Costela	30,79	30,45	29,61	29,35	30,76	31,09	0,61	0,50	0,86	0,02	0,86	0,82	
	Pata	27,32	27,75	28,48	27,29	28,66	28,56	0,65	0,53	0,91	0,25	0,59	0,44	
	Escroto	30,87	30,88	31,63	31,65	30,66	31,37	0,46	0,38	0,65	0,18	0,52	0,64	
	Traseiro (coxão)	32,61	31,68	32,72	32,40	32,69	32,30	0,42	0,35	0,60	0,65	0,13	0,78	
	GR	Peito	29,92	30,44	30,71	31,31	31,16	31,60	0,63	0,52	0,89	0,21	0,32	0,99
		Olho	33,05	33,46	32,95	32,80	33,75	33,23	0,28	0,23	0,39	0,06	0,70	0,29
Face		31,20	31,08	30,82	30,44	32,54	31,77	0,53	0,43	0,74	0,01	0,33	0,84	
Nariz		25,36	26,36	27,31	26,99	26,93	26,81	0,57	0,47	0,80	0,10	0,69	0,52	
Costela		30,70	29,65	29,53	29,52	31,42	30,71	0,64	0,52	0,90	0,04	0,27	0,71	
Pata		28,02	27,25	27,23	28,25	29,14	28,68	0,70	0,57	0,98	0,13	0,90	0,39	
Escroto		30,42	30,06	32,03	31,51	31,94	30,78	0,47	0,38	0,66	0,01	0,08	0,66	
Traseiro (coxão)		32,24	31,43	33,02	32,84	32,65	32,50	0,42	0,34	0,59	0,05	0,27	0,71	
CGR		Peito	29,59	31,09	30,49	31,62	31,18	31,65	0,68	0,56	0,96	0,36	0,08	0,76
		Olho	32,54 <sup>c</sup>	34,14 <sup>a</sup>	33,17 <sup>bc</sup>	33,03 <sup>c</sup>	33,86 <sup>ab</sup>	33,22 <sup>bc</sup>	0,27	0,23	0,39	0,19	0,23	<0,01
	Face	30,57	31,33	31,01	30,79	32,42	31,75	0,54	0,44	0,76	0,03	0,92	0,47	
	Nariz	24,67 <sup>b</sup>	27,49 <sup>a</sup>	27,47 <sup>a</sup>	27,36 <sup>a</sup>	26,56 <sup>a</sup>	26,66 <sup>a</sup>	0,52	0,43	0,74	0,05	0,04	0,03	
	Costela	30,45	30,22	29,41	29,86	31,52	30,70	0,66	0,54	0,92	0,04	0,72	0,53	
	Pata	27,77	26,94	27,50	28,46	28,98	28,76	0,71	0,58	0,99	0,12	0,95	0,45	
	Escroto	30,91	30,18	31,70	31,60	31,78	30,64	0,51	0,42	0,72	0,14	0,13	0,50	
	Traseiro (coxão)	31,75	32,47	32,48	32,93	32,66	32,76	0,47	0,39	0,66	0,45	0,28	0,82	

Efeitos: GG = grupo genético (Jafarabadi, Mediterrâneo e Murrah); Classe = alto vs baixo, de acordo com a medida de eficiência; GGxClasse = respectivas interações. Significância se  $P < 0,05$  e tendência se  $P \leq 0,10$ .

Tabela 8 – Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com os três grupos genéticos (GG) de bubalinos confinados.

Variáveis, °C	Grupo genético			EPM	P-value
	Jafarabadi	Mediterrâneo	Murrah		
CAR					
Face	30,94 <sup>ab</sup>	30,85 <sup>b</sup>	32,03 <sup>a</sup>	0,53	0,03
Costela	30,62 <sup>ab</sup>	29,48 <sup>b</sup>	30,93 <sup>a</sup>	0,61	0,02
GR					
Face	31,14 <sup>ab</sup>	30,63 <sup>b</sup>	32,15 <sup>a</sup>	0,53	0,01
Costela	30,18 <sup>ab</sup>	29,53 <sup>b</sup>	31,07 <sup>a</sup>	0,64	0,04
Escroto	30,24 <sup>b</sup>	31,77 <sup>a</sup>	31,36 <sup>a</sup>	0,47	0,01
Traseiro (coxão)	31,83 <sup>b</sup>	32,93 <sup>a</sup>	32,57 <sup>ab</sup>	0,42	0,05
CGR					
Face	30,95 <sup>ab</sup>	30,90 <sup>b</sup>	32,09 <sup>a</sup>	0,54	0,03
Nariz	26,08 <sup>b</sup>	27,42 <sup>a</sup>	26,61 <sup>ab</sup>	0,52	0,05
Costela	30,34 <sup>ab</sup>	29,63 <sup>b</sup>	31,11 <sup>a</sup>	0,66	0,04

Medidas padronizadas e aferidas do lado esquerdo do animal para as variáveis: olho, face, costela, pata e traseiro. Significância se  $P < 0,05$ . Letras sobrescritas diferentes entre si, indicam que há significância entre os valores.

Tabela 9 – Média, erro padrão da média (EPM) e probabilidades das medidas termográficas de acordo com a classe (alto ou baixo) do consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GR), consumo ganho residual (CGR) de bubalinos confinados.

Variáveis, °C	Classe		EPM	P-value
	Alto	Baixo		
CAR				
Peito	31,41	30,29	0,52	0,04
CGR				
Nariz	26,23	27,17	0,43	0,04

Significância se  $P < 0,05$ .

### **CAPÍTULO 3**

## IMPLICAÇÕES

Apesar da quantidade de pesquisas sendo realizadas com bubalinos, alguns conceitos básicos necessitam ser melhor discutidos como, específicos detalhes de crescimento, desenvolvimento, eficiência alimentar e saúde animal, que possibilitem melhor entendimento dessa espécie. Os bubalinos ainda estão em grande parte inexplorados de modo que ainda não foram estabelecidos programas de seleção e melhoramento genético.

Sendo assim a dificuldade de alcançar específicas literaturas acaba limitando as discussões científicas e impossibilitando aprofundar os resultados encontrados nessa pesquisa, tendo em vista que a captura das imagens termográficas esta sujeita a um grande número de variações provenientes a fatores externos e internos.

Entretanto mesmo com grandes variáveis foi possível verificar a existência de resultados favoráveis quanto a utilização da tecnologia de termografia infravermelho para prever a eficiência alimentar.

Nas condições em que a pesquisa foi realizada, os animais do grupo genético Jafarabadi apresentam os melhores índices de desempenho e eficiência alimentar.

Foi verificado que a metodologia de termografia infravermelho ainda possui algumas lacunas a serem discutidas, como algumas das variações que podem afetar a análise da temperatura corporal. Entretanto, nas condições em que os animais se apresentavam, foi possível prever a eficiência alimentar dos bubalinos por meio da análise de temperatura termográfica.