

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

**CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL E GANHO DE PESO RESIDUAL
EM NOVILHAS F1 GIROLANDO**

PAULO CAMPOS MARTINS

**Belo Horizonte
Escola de Veterinária - UFMG
2017**

PAULO CAMPOS MARTINS

**CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL E GANHO DE PESO RESIDUAL
EM NOVILHAS F1 GIROLANDO**

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

Área de concentração: Produção Animal
Prof. Orientador: Sandra Gesteira Coelho
Coorientadores: D.Sc. Mariana Magalhães Campos e D.Sc. Juliana Aparecida Mello Lima

Belo Horizonte
Escola de Veterinária da UFMG
2017

M386c Martins, Paulo Campos, 1987-
Consumo alimentar residual e ganho de peso residual em novilhas F1 Girolando /
Paulo Campos Martins. – 2017.
85 p. : il.

Orientadora: Sandra Gesteira Coelho
Coorientadores: Mariana Magalhães Campos, Juliana Aparecida Mello Lima
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária
Inclui bibliografia

1. Novilho – Alimentação e rações – Teses. 2. Novilho – Pesos e medidas – Teses.
3. Nutrição animal – Teses. 4. Produção animal – Teses. 5. Desempenho produtivo –
Teses. I. Coelho, Sandra Gesteira. II. Campos, Mariana Magalhães. III. Lima, Juliana
Aparecida Mello. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária.
V. Título.

CDD – 636.214 085

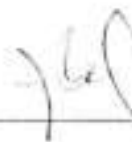
Dissertação defendida e aprovada em 27/04/2019 pela Comissão Examinadora composta por:



ProP. Sandra Gesteira Coelho
Orientador
(Escola de Veterinária da UFMG)



Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira
(Embrapa Gado de Leite)



Dr. Thierry Ribeiro Tomich
(Embrapa Gado de Leite)

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

Dedico.

AGRADECIMENTOS

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

A minha mãe, em nome de toda minha família, pelo amor, presença e apoio incondicional em todos os momentos de minha vida.

À Isabela, pela compreensão nos momentos de ausência e por estar sempre ao meu lado nos momentos que mais precisei, pela união e companheirismo.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro para realização desta pesquisa e concessão da bolsa de mestrado.

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

Aos Funcionários do Campo Experimental José Henrique Bruschi pelo acolhimento, ajuda e amizade. Aos pesquisadores Mariana Magalhães Campos, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, Thierry Ribeiro Tomich e Fernanda Samarini Machado pela amizade, oportunidade e confiança.

Ao Egleu pela colaboração e disponibilidade.

Ao Prof. Cristiano Gonzaga Jayme pela amizade, experiência, paciência e todos os conselhos.

Às minhas co-orientadoras Mariana Magalhães Campos e Juliana Aparecida Mello Lima por todas as sugestões e críticas para o enriquecimento deste trabalho.

Aos grandes amigos de Rio Pomba e os conquistados em Belo Horizonte, pelo convívio, amizade e descontração durante esta caminhada.

Em especial aos amigos Luciano e Juliana pelo grande apoio durante o período mais conturbado.

À todos os colegas da Pós-graduação.

Ao colegiado da Pós-graduação, por todo apoio e disponibilidade.

À Escola de Veterinária da UFMG e Pós Graduação em Zootecnia.

À banca examinadora pela valiosa contribuição e disponibilidade.

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

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Animais F1 Holandês x Gir.....	15
2.2 Eficiência Alimentar.....	16
2.3. Consumo alimentar residual.....	20
2.4. Consumo alimentar residual em bovinos leiteiros.....	22
2.5. Ganho de peso residual.....	24
2.6. Medidas de estrutura do corpo.....	25
2.7. Comportamento alimentar.....	27
2.8. Parâmetros de comportamento alimentar.....	28
2.9. Associação de eficiência alimentar e comportamento ingestivo.....	30
2.10. Comportamento ingestivo de água.....	32
2.11. Termografia por infravermelho.....	33
2.12. Associação de eficiência alimentar e termografia por infravermelho.....	34
3. OBJETIVO GERAL.....	37
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
ARTIGO CIENTÍFICO.....	36
ANEXOS.....	85

LISTA DE TABELA

Table 1. Ingredients and nutrient composition of TMR	68
Table2. Variables of feeding behavior and water intake.....	69
Table 3. Performance and feed efficiency indexes of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) groups from calculation of residual feed intake (RFI) and residual weight gain (RWG).....	72
Table4. Morphometric measurements of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) from calculation of residual feed intake (RFI) and residual weight gain (RWG).....	74
Table5. Feeding behavior of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) from calculation of residual feed intake (RFI) and residual weight gain (RWG).....	76
Table 6. Maximum temperature (°C) of different body sites of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) from calculation of residual feed intake (RFI) and residual gain (RWG) measured by infrared thermography.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais índices e respectivas fórmulas e definições de eficiência alimentar utilizadas para animais em crescimento.....	18
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Infrared thermography of body sites and shapes used to define body locations during image interpretation: eye (A), medial canthus (B), cheek (C), upper part of muzzle (D), right nose (E), nasolabial plate (F), right ribs (G), right flank (H), anus (I), vulva (J), and right front limb (K).....83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN: Balanço energético negativo
CAG: Consumo de água
CAR: Consumo alimentar residual
CMS: Consumo de matéria seca
CMSesp: Consumo de matéria seca esperado
CMSobs: Consumo de matéria seca observado
d: Dia
EA: Eficiência alimentar bruta
ECA: Eficiência de conversão alimentar
g: Gramas
GMD: Ganho médio diário
GMDesp: Ganho médio diário esperado
GPR: Ganho de peso residual
h: hora
IV: Inflavermelho
kg: Quilograma
L: Litros
Min: minutos
Min.: Minutos
MS: Matéria seca
NRC: *NutrientRequirementsCouncil*
PC: Profundidade do corpo
PV: Peso vivo
PVMMT: Peso vivo metabólico no meio do teste
PV^{0,75}: Peso vivo metabólico
RFID: *Radio FrequencyIdentification*
RK: Razão Kleiber
RTM: Ração total misturada
TAL: tempo de alimentação
TCR: Taxa relativa de crescimento
TIV: Termografia por inflavermelho

UR: Umidade relativa

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram avaliar os índices de eficiência alimentar (consumo alimentar residual (CAR) e o ganho de peso residual (GR) em novilhas leiteiras e seus efeitos na ingestão alimentar, desempenho, medidas do corpo e temperatura superficial do corpo. Novilhas Holandês× Gir ($\frac{1}{2}$ Holandês × $\frac{1}{2}$ Gir; n = 36) com idade inicial de $146,7 \pm 28,2$ dias (média \pm DP), peso corporal inicial de $152,3 \pm 21,7$ kg, foram classificados em dois grupos: alta eficiência (CAR alto, n = 12 e GR alto, n = 12) e baixa eficiência (CAR baixo, n = 12; e GR baixo, n = 12). Os animais foram distribuídos em 4 piquetes equipados com cochos e bebedouros eletrônicos e receberam ração total misturada (RTM, 75:25, silagem de milho: concentrado, 177,8 PB / kg e 430,6 g / kg NDT na matéria seca) *ad libitum*. A ingestão de matéria seca, a ingestão de água e o comportamento alimentar foram medidos diariamente, enquanto o peso corporal foi determinado semanalmente, as medidas do corpo foram tomadas a cada 15 dias e as temperaturas máximas da superfície corporal foram medidas em 12 regiões do corpo do animal no dia 68 do estudo. O teste de eficiência alimentar durou 113 dias. A média do grupo de alto CAR foi de 0,30 kg / d, enquanto a média do grupo de baixo CAR foi -0,27 kg / d. O grupo de baixo CAR consumiu 10,39% menos (0,53 kg MS / d) do que o grupo de baixo CAR, sem diferenças nas medidas GMD e corpo entre os dois grupos. Para os traços de comportamento de alimentação, o grupo de CAR alto apresentou menor taxa de alimentação por visita e por refeição em comparação com CAR baixo, e não houve diferenças na ingestão de água entre os dois grupos. O grupo CAR alto apresentou maior temperatura superficial máxima da parte superior do focinho e na região da costela direita em comparação com CAR baixo, e a diferença na temperatura máxima entre os flancos esquerdo e direito foi maior e negativa. A média grupo GR baixo foi de -0,09 kg / d enquanto o grupo GR alto apresentou uma média GR de 0,09 kg / d. O grupo GR alto apresentou um GMD de 0,95 kg / dia, enquanto o GR baixo apresentou GMD de 0,76 kg / dia. O grupo GR alto foi 2,15, 4,16, 2,72 e 2,75 cm maior em comparação com o grupo GR baixo para a altura da cernelha, circunferência do tórax, profundidade corporal e altura do quadril, respectivamente. Para os traços de comportamento de alimentação, o grupo GR alto apresentou maior frequência de refeição e duração média da refeição em comparação com GR baixo. Não houve diferença entre os grupos GR para a temperatura máxima da superfície corporal nos locais de animais avaliados. A divergência no CAR não afetou a taxa de crescimento e a

estrutura esquelética das novilhas Girolando F1. Para GR, o grupo GR alto apresentou maior taxa de crescimento e ganho de peso.

Palavras-chave: medidas do corpo, consumo alimentar residual, ganho residual, ingestão de água

ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate feed efficiency indexes (residual feed intake (**RFI**) and the residual body weight gain(**RG**)in dairy heifers and its effects on feed intake, performance, body measurements and surface body temperature. Holstein × Gyr heifers ($\frac{1}{2}$ Holstein × $\frac{1}{2}$ Gyr; n = 36) with initial age of 146.7 ± 28.2 days (mean \pm SD), initial body weight of 152.3 ± 21.7 kg, wereclassified into two groups: high efficiency (**HE**; RFI, n = 12; and RG, n = 12), and low efficiency (**LE**; RFI, n = 12; and RG, n = 12).Animals were distributed in 4 pens equipped with electronic feed and water bins and received a total mixed ratio (**TMR**; 75:25, corn silage: concentrate, 177.8 CP/kg and 430.6 g/kg NDF_{ap} on a dry matter basis) *ad libitum*.Dry matter intake, water intake and feeding behavior were measured daily, whereas the body weight was determined weekly, body measurements were taken every 15 d and maximum body surfacetemperatures were measured at 12 animalpositionssites on day 68 of the trial. The feed efficiency trial last for 113 days. RFI averagefrom LE group was 0.30 kg/d, whereas HE RFI average was -0.27 kg/d. The HE-RFI group consumed 10.39% less (0.53 kg DM/d) than LE-RFI, with no differences in ADGand body measures between both groups. For feeding behavior traits, HE-RFI group had lower feeding rate per bout and per meal compared to LE-RFI, and there were no differences in water intake between both groups. HE-RFI group had higher maximum surface temperature of the upper part of muzzle and in the right rib region compared to LE-RFI, and the difference in maximum temperature between the left and right flanks

was higher and negative. The RG average of LE group was -0.09 kg/d whereas HE group had an RG average of 0.09 kg/d. The HE-RG group had an ADG of 0.95 kg/day, while the LE-RG had an ADG of 0.76 kg/day. HE-RG group were 2.15, 4.16, 2.72 and 2.75 cm greater compared to LE-RG group for withers height, heart girth, body depth and hip height, respectively. For feeding behavior traits, HE-RG group had higher meal frequency and average meal duration compared to LE-RG. There was no difference between RG groups for maximum body surface temperature at the evaluated animal sites. The divergence in RFI did not affect the growth rate and skeletal structure of Gyrolando F1 heifers. For RG, HE group had higher growth rate and weight gain.

Key words: body measurements, residual feed intake, residual body weight gain, water intake

1. INTRODUÇÃO

O aumento dos custos de produção, o forte apelo socioambiental e a crescente competitividade são fatores que desafiam a pecuária leiteira. Assim, são desafios determinantes, aumentar a produtividade do rebanho, reduzir os custos de produção e os impactos negativos ao meio ambiente. Por meio de estratégias que aumentem a eficiência dos sistemas de produção. Estratégias de alimentação de rebanhos leiteiros devem então, estar associadas à redução no aporte de insumos externos e à maximização do uso dos insumos disponíveis no próprio sistema para suporte à produção de leite pretendida.

No que diz respeito à genética, animais mais adaptados às condições tropicais podem mostrar-se mais competitivos, dependendo do ambiente onde estão inseridos, com menores custos de produção, maior produtividade por área e por mão de obra. Assim, animais Girolando F1 oriundos do cruzamento entre a raça Holandês e Gir Leiteiro, apresentam potencial para o aumento da produtividade da pecuária leiteira nos trópicos. Ponto chave para a rentabilidade da atividade leiteira, já que o aumento da produção de leite dilui custos fixos da fazenda.

Os gastos com alimentação representam o principal custo da atividade pecuária. A seleção de animais mais eficientes no aproveitamento do alimento pode reduzir os custos com alimentação e a excreção de nutrientes.

Neste sentido, os programas de melhoramento genético têm contemplado características relacionadas à eficiência alimentar. Com a finalidade de identificar indivíduos mais eficientes, diferentes metodologias e índices têm sido utilizadas. No entanto, estudos relacionados à eficiência alimentar em bovinos leiteiros ainda são incipientes e limitados a animais taurinos criados em países de clima temperado. Dessa forma, estudos com eficiência alimentar de rebanhos leiteiros zebuínos e mestiços são desafios para a pesquisa agropecuária tropical.

A avaliação de eficiência alimentar na bovinocultura ainda é limitada em função da dificuldade e custos na mensuração da ingestão alimentar, além da grande heterogeneidade dos sistemas produtivos.

Com o avanço de tecnologias de precisão, cochos eletrônicos, equipados com tecnologia de identificação por rádio frequência (*Radio Frequency Identification* – RFID), permitem a mensuração direta do consumo individual de alimento (DeVries et al., 2003; Mendes et al., 2011; Chizzotti et al., 2015) contribuindo na determinação da

eficiência alimentar de bovinos. No entanto, tecnologias de mensuração indireta, como termografia por infravermelho (TIV) (Montanholi et al., 2008; Montanholi et al., 2010; Martello et al., 2015) e comportamento alimentar (Montanholi et al., 2010; Williams et al., 2011; Fitzsimons et al., 2014) tem se mostrado como parâmetros alternativos (Campos et al., 2016) e devem ser estudadas.

Esse trabalho de pesquisa objetiva avaliar o consumo alimentar residual e ganho de peso residual em novilhas F1 Girolando e as relações com consumo, desempenho, comportamento alimentar e de ingestão de água, características morfológicas e temperatura da superfície do corpo por termografia por infravermelho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Animais F1 Holandês x Gir

O Brasil possui em torno de dois terços de seu território situado na faixa tropical do planeta. Nessas regiões a temperatura média do ar situa-se, em geral, acima de 20 °C, e a temperatura máxima é superior a 30 °C, muitas vezes atingindo 35 °C a 38 °C (Pires et al., 2010).

As limitações do ambiente tropical à exploração da pecuária leiteira, a partir de genótipos especializados, obrigam o desenvolvimento de tecnologias e modelos competitivos de produção para aumento da eficiência do sistema de produção. Diferenças genéticas existentes entre as raças bovinas podem ser utilizadas com objetivo de ajustar o animal ao ambiente (Ruas et al., 2002). Assim, os cruzamentos entre raças europeias e zebuínas assumem potencial para melhorar a produção de leite e a eficiência reprodutiva (Teodoro et al., 2001).

No cruzamento, a obtenção de animais F1 tem como vantagem o aproveitamento dos valores genéticos aditivos das raças componentes e a retenção da heterose pelo uso otimizado de combinações das raças (Teodoro et al., 2001). A característica de alta produção de leite apresentada por raças taurinas especializadas, como a raça Holandês, somada a resistência e a rusticidade de raças zebuínas, gera animal mestiço mais adaptado à produção de leite em clima tropical comparado as raças puras (Costa et al., 2010). No Brasil, a maior parte da produção de leite é obtida com a utilização de animais mestiços zebuínos, sobretudo os Holandês x Gir (Facó et al., 2005).

Procura-se com o cruzamento explorar o vigor híbrido ou heterose (Madalena, 2012). Sendo, a heterose, fenômeno pelo qual os produtos de cruzamento apresentam desempenhos superiores ao desempenho médio dos pais (Teodoro et al., 2001). Possibilitando que característica como produção de leite, reprodução e adaptação ao meio, se manifestem com maior intensidade (Costa et al., 2010). A heterose apresenta-se mais intensa, quanto mais afastadas geneticamente forem as raças em relação a sua origem (Teodoro et al., 2001). Sabe-se então, que a heterose é máxima na primeira geração do cruzamento (Costa et al., 2010).

Ruas et al. (2010) afirmam que as vacas F1 Girolando apresentam maior flexibilidade, além de oferecer potencial vantagem econômica, considerando-se a maior tolerância a fatores adversos do clima e a ecto e endoparasitas (Ferreira et al., 2010), menores taxas de descarte e mortalidade, maior longevidade das vacas e menor custo operacional total. Além disso, estes animais são capazes de produzir bezerros de qualidade em sistemas de pastagens nas condições brasileiras, quando considerados o ganho médio diário e o peso ao desmame (Ruas et al., 2010). Assim, a diversificação dos produtos finais pode compensar oscilações nos preços de leite (Ferreira et al., 2010) e tornar o sistema de produção mais competitivo e sustentável.

Diversos estudos demonstram que animais cruzados obtêm melhor desempenho em relação aos animais puros, em razão da melhor adaptação ao ambiente e nutrição ao qual estão submetidos. Contudo, isso não elimina a necessidade, e muito menos diminui a importância da seleção como método de melhoramento genético a ser realizado concomitantemente (Campidelli e Josahkian, 2011).

Raças puras melhoradas são, na verdade, elementos fundamentais ao sucesso de qualquer programa de melhoramento. A seleção, além de fundamental para a melhoria das raças puras, tem de ser componente essencial em um programa de cruzamentos (Campidelli e Josahkian, 2011).

2.2 Eficiência Alimentar

O termo eficiência, no geral, se refere à capacidade em que os recursos são convertidos em resultados de maneira mais econômica possível (Paula et al., 2013). A eficiência alimentar, por sua vez, é interpretada como a capacidade de conversão do alimento ingerido em produtos comercializáveis (Almeida et al., 2004). E descreve unidades de saída (*outputs*) do produto (leite, carne) por unidade de entrada (*inputs*) de

alimentos. Sendo essas unidades, em geral, de massa, energia, proteína, ou valor econômico (VandeHaar et al., 2016).

Moore et al. (2009) afirmaram que a incorporação da eficiência alimentar em programas de melhoramento, permite gerar animais que consomem menos, mantendo os mesmos patamares de produção. E documenta na literatura estimativas de herdabilidade moderada para características de eficiência alimentar (Crowley et al., 2010; Williams et al., 2011; Grion et al., 2014) a baixa (Grion et al., 2014). Quanto mais eficiente é o animal, mais ele consegue produzir, com a mesma quantidade ou menos alimento. Resultando em menor necessidade de mão-de-obra, menor demanda por áreas de pastagens e menor consumo de alimentos (Gomes et al., 2012).

Por proporcionar melhor utilização de alimentos, a seleção de animais mais eficientes reflete em menor produção de esterco, menor emissão de gases de efeito estufa, como o metano e o óxido nitroso, e menor demanda por terras para a implantação de pastagens e lavouras. Portanto, com foco ambiental, o aumento da eficiência alimentar é uma das maneiras de diminuir o impacto causado pela pecuária. Pelo menor uso de recursos, espera-se que animais mais eficientes também sejam mais lucrativos, colaborando com a eficiência produtiva na atividade (Gomes et al., 2012). Na pecuária leiteira deve-se aumentar a quantidade de leite produzido por unidade de alimento ingerido e/ou por área (VandeHaar et al., 2016).

Eficiência alimentar não é um conceito novo, e sua importância já foi reconhecida na avicultura e suinocultura (Santana et al., 2012). O aumento da taxa de crescimento (GMD e PV metabólico) e a diminuição da ingestão de alimentos (CMS) são as principais medidas de resultado de um programa de seleção com objetivo de melhorar a eficiência alimentar (Grion et al., 2014), refletindo na diminuição dos custos de energia para manutenção da síntese de produto (carne ou leite) (Waghorn et al., 2012).

A quantidade necessária de energia para manutenção do animal, produção, ou ambos pode ser diferente do previsto para a média de um grupo ou população (Davis et al., 2014). Assim, a eficiência alimentar pode variar entre animais de raça, sexo, idades semelhantes e que consomem o mesmo alimento (Bonilha et al., 2015), mas apresentam diferenças nas exigências de manutenção. O aumento da ingestão, geralmente, demanda maior quantidade de energia gasta pelos animais para digerir os alimentos, em parte por causa do aumento no tamanho dos órgãos digestivos e aumento da energia despendida dentro dos próprios tecidos (Arthur e Herd, 2008).

Desta forma, com o objetivo de identificar o indivíduo com menor exigência energética compatível com sua produção, várias maneiras de medir a eficiência na utilização da dieta têm sido propostas ao longo do tempo (Tabela 1), na tentativa de quantificar a capacidade dos animais em converter o alimento ingerido em produto (Berry e Crowley, 2013; Grion et al., 2014; Bonilha et al., 2015). Entre as definições de eficiência alimentar, aquela mais adequada para sistemas de produção de leite ainda é incerta (Crowley et al., 2010). Sendo necessário melhor entendimento dos fatores que regulam a eficiência alimentar e seu potencial como preditores de bovinos mais eficientes (Montanholi et al., 2010).

Quadro 1. Principais índices e respectivas fórmulas e definições de eficiência alimentar utilizadas para animais em crescimento

Nome da medida	Definição	Fórmula
Eficiência alimentar bruta (EA)	Quantidade de peso vivo ganho com a ingestão de 1,0 kg de alimento (em base seca).	GMD/CMS
Eficiência de conversão alimentar (ECA)	Quantidade de alimento que deve ser ingerida para o ganho de 1,0 kg de peso vivo.	CMS/GMD
Consumo alimentar residual (CAR; kg)	CMS líquida das necessidades esperadas de alimentação para manutenção e crescimento fenotipicamente independente de GMD e PV dos animais.	CMSobs(kg) - CMSesp(kg), em que a CMSesp é obtido por regressão da CMS no período médio de ensaio com base no $PV^{0,75}$ e GMD
Ganho de peso residual (GPR; kg/d)	Resíduos da regressão de GMD na ingestão de ração e PV metabólico. Trata-se do GMD fenotipicamente independente do CMS e PV dos animais.	GMDobs(kg/dia) - GMDesp(kg/dia), em que a GMDesp é obtido por regressão da GMD no período médio de ensaio com base nos valores de CMS e $PV^{0,75}$ de cada indivíduo.
Taxa relativa de crescimento (TCR)	Potencial de crescimento relativo a maturidade. Valores maiores são favoráveis.	$100 \times ((\log PV \text{ final} - \log PV \text{ inicial}) \div \text{dias em teste})$, em que “log” refere-se ao logaritmo natural dos respectivos pesos vivo final e inicial no teste.

Independentemente dos parâmetros de eficiência alimentar já citados, o CMS individual e o registro de forma precisa não só da ingestão de alimento como também de todas as medidas de desempenho são fundamentais nos programas de seleção genética de bovinos mais eficientes no aproveitamento de nutrientes ingeridos (Berry e Crowley, 2013). Já aRKe a TRC são medidas indiretas de eficiência (Grion, 2012), que não utilizam informações da ingestão de alimentos (Crowley et al., 2010; Gomes et al., 2012) sendo classificadas como "características de crescimento comparativo" (Berry e Crowley, 2013). O fato destas duas medidas de eficiência não levarem em consideração a ingestão de alimento impede que ambas detectem diferenças na eficiência da utilização de energia entre indivíduos (Gomes et al., 2012). Porém, podem ser usadas como medidas de eficiência alimentar se todos os animais em teste forem alimentados com a mesma dieta (Berry e Crowley et al., 2013).

A seleção para maior eficiência alimentar em uma das fases pode levar a maior eficiência também nas outras fases do sistema produtivo (Gomes et al., 2012). Kelly et al. (2010a) estudando novilhos Limousin x Holandês Frisia, estimaram repetibilidade de 0,62 ($P < 0,001$) entre as fases de crescimento e CAR.

Provas de avaliações de ingestão e eficiência alimentar têm sido realizadas em indivíduos na fase pós-desmama, devido ao menor custo e maior facilidade de mensuração. Além disso, a eficiência alimentar deve ser considerada ao longo da vida de uma vaca, mesmo nas fases não produtivas. Incluindo todos os alimentos utilizados durante o crescimento até o período de vaca seca. Devendo considerar todos os produtos, incluindo leite, ganhos de tecido e feto. Perdas ou ganhos de tecido do corpo podem resultar em valores enganosos para a eficiência da alimentação se o único produto considerado for o leite (VandeHaar et al., 2016).

2.3. Consumo alimentar residual

Atualmente, o CAR tem sido a medida de eficiência alimentar mais estudada em bovinos nos trabalhos internacionais (Arthur e Herd, 2008; Lancaster et al., 2009; Montanholi et al., 2010) e mais recentemente nos trabalhos nacionais, restritos a raça Nelore (Santana et al., 2014; Martello et al., 2015). A utilização do CAR em estudos com bovinos leiteiros ainda são escassos e limitados a *Bostaurus*, criados em regiões de clima temperado (Williams et al., 2011; Gree et al., 2013; Davis et al., 2014; Fitzsimons et al., 2014).

O CAR é definido como a diferença entre o consumo observado (CMSobs) e o consumo estimado (CMSesp), baseado no PV metabólico do animal e GMD ou produção de leite. A estimativa do CMS pode ser predita a partir dos dados de peso e de produção, utilizando-se as normas e padrões de alimentação (por exemplo, NRC, 2001), ou por regressão, utilizando-se dados de alimentação real do ensaio, dentro de um grupo contemporâneo. Valores CMSesp são obtidos por regressão linear múltipla, em que, o CMSobs é a variável dependente e PV metabólico no meio do teste (PVMMT) e GMD como variáveis independentes [$\text{CMSobs} = \beta_0 + (\beta_1 \times \text{GMD}) + (\beta_2 \times \text{PVMMT})$] (Gomes et al., 2012; Martello et al., 2015). Na equação gerada, os termos β_0 , β_1 e β_2 são valores numéricos específicos para a população avaliada em uma determinada prova. Estabelecida a equação, o CMSesp é mensurado para cada animal, substituindo na equação os valores de GMD e PVMMT específico para o mesmo. Possibilitando, então, o cálculo do CAR a partir da diferença do CMSobs e CMSesp (Gomes et al., 2012).

O consumo de alimentos e a utilização pelo animal envolvem processos biológicos e vias complexas, além de interações com o meio ambiente. Indivíduos de mesmo peso vivo podem exigir diferentes quantidades de alimentos para o mesmo patamar de produção. A porção residual do consumo alimentar pode ser usada para identificar os animais que desviam do patamar esperado de consumo alimentar (Herd, 2009). Animais mais eficientes têm CAR negativo (consumo menor que o esperado) e os menos eficientes tem CAR positivo (consumo real maior que o esperado) (Campos et al., 2016).

Para realização dos cálculos de CMSobs, GMD e PVMMT, os dados de cada animal são dispostos em planilha, junto com a identificação de cada indivíduo (Gomes et al., 2012). O PVMMT, geralmente caracteriza o PV do animal e é calculado com base na média entre os pesos vivo inicial e final elevada à potência 0,75 (Gomes et al., 2012) ou a potência 0,73 (Arthur et al., 2001).

Animais com CAR maior do que 0,5 de desvio padrão são classificados como alto CAR, e com CAR abaixo de -0,5 desvio padrão são classificados como tendo baixo CAR (Martello et al., 2015).

O CAR por definição é fenotipicamente independente das características de produção usadas para calcular o consumo esperado da dieta (Arthur e Herd, 2008) e da diluição de manutenção (VandeHaar et al., 2016). O que permite, a comparação entre os indivíduos. Tais atributos sugerem que o CAR pode representar variação inerente a processos metabólicos básicos (Herd, 2009; Arthur e Herd, 2008). Contudo, Grion et al.

(2014) chamaram atenção que o fato de CAR e GPR serem fenotipicamente independentes, não garante baixas correlações genéticas.

A existência de variação genética no CAR oferece o potencial de seleção de animais que irão gerar progênes que consomem menos sem comprometer o desempenho, proporcionando oportunidade para reduzir a quantidade de alimento para produção animal (Herd, 2009). Ainda, o conceito de CAR também pode ser usado em estudos de nutrição para detectar diferenças na eficiência de utilização da dieta não revelada pela medição da média de ingestão de alimento diário, ganho médio diário ou conversão alimentar, presumivelmente por causa da correlação entre esses parâmetros (Herd, 2009).

Crowley et al. (2010) dividiram 2102 touros *Bos Taurus* uniformemente, dentro da raça, (Aberdeen Angus, Charolês, Hereford, Limousin e Simmental) em três grupos de CAR e GPR (alto, médio e baixo). Os touros no grupo de baixo CAR consumiram menos ração ($P < 0,001$) e foram em média 11 kg mais pesados ($P < 0,05$) no meio do teste em relação aos animais menos eficiente (maior CAR), adicionalmente, tiveram um maior ($P < 0,01$) GMD (1,67 versus 1,63 kg/d) do que o grupo alto CAR. Contudo os touros comeram 1,22 kg de MS/d a menos ($P < 0,001$) do que o grupo de CAR elevado.

Cinquenta novilhas Limousin × Holandês Frísia de oito a 11 meses de idade foram previamente selecionadas para baixo e alto CAR. Os 25 animais com maior média de CAR (0,47 kg/d) e os 25 com menor média de CAR (-0,53 kg/d) foram selecionados. A dieta do período de teste foi uma ração total misturada (RTM) composta de concentrado peletizado e silagem de milho (70:30), com base na MS. O GMD foi de $0,81 \pm 0,13$ kg/d, os animais apresentaram idade inicial de 495 ± 13 d, PC inicial médio de $418 \pm 31,5$ kg, GMD de $1,17 \pm 0,19$ kg, CMS de $10,81$ kg/d $\pm 1,02$) e EA de $0,11 \pm 0,02$ kg de ganho de peso vivo/Kg de CMS. A ingestão de alimentos residuais foi em média de $0,00 \pm 0,59$ kg de MS/d e variou de 1,63 a 1,24 kg de MS/d, representando diferença de 2,87 kg de MS de alimento/dia entre os animais de menor e maior eficiência (Kelly et al., 2010a).

Um total de 154 touros de corte cruzados foram testados durante quatro anos por 112 dias em cada teste realizado a cada ano. Com idade média no início do período de teste de 258 ± 51 dias e o peso corporal inicial e final foi de $311,9 \pm 59,2$ e $517,2 \pm 90,2$ kg, respectivamente (Montanholi et al., 2009). A comparação dos grupos de CAR revelou uma diferença de 2,24 kg (24,7%) de CMS diária entre alto e baixo CAR, o que representa aproximadamente 270 kg a menos de CMS por touro para baixo CAR em

comparação com o alto CAR, para um período de confinamento de 120 dias (Montanholi et al., 2009).

A limitação da introdução do CAR em programas de melhoramento genético é consequência da mensuração individual do consumo alimentar, que é onerosa e demorada, dificultando avaliações para eficiência alimentar com grande número de animais (Martello et al., 2015). Assim, torna-se interessante a busca por métodos que permitam selecionar animais mais eficientes, de forma rápida, consistente, acurada, não invasiva e com baixo custo para seleção de animais de melhor eficiência alimentar (Martello et al., 2015). Estudos de correlação de CAR com parâmetros comportamentais e temperatura da superfície corporal (mecanismo de perdas metabólicas), tornam-se relevantes e já vem sendo desenvolvidos com gado de corte (Montanholi et al., 2010).

Correlações genéticas positivas de baixas a moderada entre as características de carcaça e gordura (Basarab et al., 2003; Lancaster et al., 2009; Berry e Crowley et al., 2013) mostram que bovinos com baixo CAR têm composição corporal ligeiramente mais magra (Campos et al., 2016). Assim, os animais considerados mais eficientes em grupo contemporâneo, depositam proporcionalmente mais proteína do que gordura para o mesmo GMD, o que pode levar a problemas reprodutivos e de saúde das vacas. Isso pode resultar em longo prazo de seleção para animais de maturidade mais tardia, o que pode ter implicações para a eficiência de vacas (Berry e Crowley et al., 2013).

2.4. Consumo alimentar residual em bovinos leiteiros

A existência de variação genética substancial no CAR e a magnitude dessa variação são suficientemente para permitir que esta característica seja candidata a futuro índice de seleção em bovinos leiteiros (Williams et al., 2011).

Os impactos na seleção genética para menor CAR nas características produtivas, incluindo fertilidade, saúde, taxa de descarte, longevidade e balanço energético negativo (BEN) devem ser esclarecidas. Estudos do CAR em bovinos leiteiros servirão de auxílio na tomada de decisões para a seleção de animais eficientes como reprodutores e qual a melhor idade para a avaliação do CAR em fêmeas leiteiras.

VandeHaar et al. (2016) citaram que vacas que tem CAR negativo são mais eficientes em converter a energia bruta dos alimentos em energia líquida, ou apresentam menor exigência de manutenção com base no peso corporal, usando menos alimento do que o esperado. Provavelmente vacas com baixo CAR digerem e metabolizam os nutrientes mais eficientemente. Tais atributos levaram o CAR a receber considerável

atenção na pecuária leiteira atualmente como ferramenta para seleção de animais, podendo proporcionar maior rentabilidade se os animais selecionados também forem saudáveis, férteis e produtivos (VandeHaar et al., 2016).

A realização de teste para eficiência alimentar em vacas leiteiras tem sido limitada, provavelmente por se tratar de um teste oneroso e dispendioso (Williams et al., 2011). O maior consumo de ração, maiores necessidades de energia e as diferentes fases da lactação (vacas podem estar em balanço energético negativo), tornam mais difíceis à quantificação precisa do CAR em vacas lactantes. Assim o CAR é medido mais facilmente em novilhas (Davis et al., 2014). Os efeitos fenotípicos e as relações genéticas entre as características medidas durante o pós-desmame e testes em vacas mostram que a seleção para menor CAR pós desmame levará a uma redução da ingestão de ração das vacas secas e não prenhes, melhorando a eficiência alimentar do rebanho (Herd, 2009).

A estratégia de mensuração do CAR em novilhas em crescimento permite a realização de teste em maior número de animais. Outro potencial atrativo para realização do teste em animais jovens está nos problemas associados ao balanço energético negativo devido à mobilização do tecido corporal de vacas no início da lactação (Williams et al., 2011).

Novecentas e três bezerras Holandês Frísio, com idade entre cinco e sete meses, foram medidas para CAR em três grupos de aproximadamente 300 animais. Em cada teste para cada grupo as bezerras foram alojadas sob condições de confinamento por 85 a 95 dias e tiveram acesso *ad libitum* a feno de alfafa. As bezerras tiveram ingestão de MS de $8,3 \pm 1,37$ kg de MS/d durante o período de medição com ganho de peso corporal de $1,1 \pm 0,17$ kg/d. Em termos de conversão de energia alimentar para manutenção e crescimento, os 10% de bezerras mais eficientes consumiram 1,7 kg de MS a menos por dia, quando comparadas com as menos eficientes (maior CAR) para a mesma taxa de crescimento (Williams et al., 2011).

2.5. Ganho de peso residual

O ganho de peso residual (GPR), foi proposto inicialmente por Koch et al. (1963) concomitantemente ao CAR, porém, estimativas de parâmetros genéticos para essa característica só foram relatadas recentemente (Ceacero, 2015). Utiliza o mesmo conceito e a mesma metodologia empregados no CAR. A diferença é que, ao invés de se calcular o CMSesp, será calculado o ganho médio diário esperado (GMDesp),

utilizando-se regressão linear múltipla (Grion et al., 2014). No segundo componente da equação é utilizada a informação do GMD observada no teste. Assim, o ganho de peso é ajustado para PV metabólico e para a ingestão de alimentos. Isto significa que as diferenças entre indivíduos para GMD serão independentes de diferenças na quantidade de alimento ingerido e no peso vivo. Desta forma, a variação em GMD seria devido à variação na capacidade de conversão do alimento em peso vivo (Gomes et al., 2012). Ao contrário do CAR, onde os valores negativos indicam maior eficiência dos animais, valores maiores para GPR são os desejados.

O GPR, considerado parâmetro de eficiência líquida, foi moderadamente a fortemente correlacionado com outras medidas de eficiência, o que sugere que o uso de GPR como critério de seleção terá efeito desejado em outras medidas de eficiência alimentar. Tal como aECA, o GPR tem uma gama semelhante de correlações genéticas com outras medidas de eficiência, mas o fato do GPR ser geneticamente independente do consumo de alimentos e PV indica a sua adequação como critérios de seleção (Crowley et al., 2010).

Ceacero (2015) analisou 8078 animais da raça Nelore, nascidos de 1978 a 2013, filhos de 320 touros e 2078 matrizes e estimou herdabilidade de 0,19 para GPR. Já Santana et al. (2014) estimaram herdabilidade de maior magnitude (0,56) também para animais da raça Nelore.

2.6. Medidas de estrutura do corpo

Em bovinos leiteiros, por razões econômicas, os programas de melhoramento genético têm dado ênfase à seleção para as características relacionadas à produção. No entanto, quando a seleção é direcionada somente para as características produtivas, pode ocorrer efeito negativo no mérito genético dos animais para outras características (Silva et al., 2015). Os poucos estudos sobre as raças zebuínas de leite, realizados em regiões tropicais e subtropicais, não são suficientes para explicar como as características morfológicas relacionam-se geneticamente entre si e com a produção de leite (Lagrotta et al., 2010).

O que se busca são animais equilibrados com o ambiente em que estão sendo criados. Assim, torna-se evidente que não existe um biótipo mais eficiente para todos os sistemas de produção, mas tipos morfológicos mais eficientes para diferentes ambientes (Campidelli e Josahkian, 2011). Características morfológicas estão relacionadas à

longevidade, à funcionalidade e à produtividade nos rebanhos leiteiros. Desta forma, junto com a seleção de animais mais eficientes no aproveitamento dos nutrientes, a longevidade dos animais é uma característica altamente desejável, estando relacionada com a lucratividade do sistema (Esteves et al., 2004).

As avaliações genéticas e características mensuráveis, por modelos matemáticos, constituem-se em parte importante da seleção. Por outro lado, a avaliação de animais por avaliações visuais, também é considerada importante. Ganhos genéticos mais acentuados podem ser obtidos a partir do sinergismo entre as avaliações genéticas e as análises visuais (Euclides Filho, 1999).

As características funcionais influenciam diretamente longevidade dos animais e, conseqüentemente, na lucratividade dos rebanhos leiteiros (Berry et al., 2005). Quanto mais tempo as vacas permanecerem no rebanho, menor será o número de novilhas de reposição necessária à substituição das vacas descartadas por fatores não produtivos (descartes involuntários), como os relacionados a problemas de ligamentos de úbere, aprumos, doenças, infertilidade e baixa velocidade de ordenha. Com isso, aumenta-se o número de vacas em produção na idade adulta, e os custos de criação das novilhas são amortizados (Rennó et al., 2003). Em decorrência do decréscimo de descartes dessa natureza, elevam-se os relacionados à produção de leite (descartes voluntários), o que resulta em rebanho com animais de maior mérito genético para produção (Lagrotta et al., 2010). Características de tipo devem merecer atenção quando o objetivo é maximizar a vida produtiva do animal, evitando descarte precoce (Esteves et al., 2004).

Entre as características de tipo mais citadas, refere-se ao tamanho do animal, incluindo informações sobre peso corporal e estatura (Durães, 2001). Existe correlação positiva entre estas características, em que, o animal maior tende a ser mais pesado (Valente et al., 2001). A alta correlação observada entre tamanho e estatura de vaca (0,82) evidencia associação genética entre elas. Baixa correlação fenotípica entre produção de leite e tamanho do animal (0,01) não sugere que vacas mais pesadas sejam as mais produtivas (Esteves et al., 2004).

Vacas de maior estatura tem maior CMS e geralmente produzem mais. Entretanto o maior tamanho não está altamente associado à produção de leite. Vacas maiores ingerem maior quantidade de matéria seca para a manutenção. Portanto, quando a produção de leite é igual, as vacas menores são mais eficientes que as maiores (Valente et al., 2001).

Ceacero (2015) estimou expressiva herdabilidade para características de crescimento (altura e perímetro torácico), sendo que a altura apresentou 0,61 enquanto o perímetro torácico 0,31 de herdabilidade. Neste mesmo trabalho, o CMS foi altamente correlacionado geneticamente com altura e perímetro torácico (0,61 e 0,79, respectivamente), enquanto fenotipicamente, foi correlacionada de forma moderada (0,45 para altura e 0,55 para perímetro torácico). Desta forma, o aumento da taxa de crescimento e do tamanho corporal do animal refletem em maior consumo de alimento. Essa alta dependência do CMS com a taxa de crescimento e tamanho corporal pode ser eliminadas ou pelo menos reduzida com a utilização das medidas de CAR e de GPR. (Ceacero, 2015). O CAR apresentou estimativas de correlação genéticas baixas com tamanho corporal. A estimativa de correlação genética com altura foi próxima de zero (0,06) e perímetro torácico (0,14). Já o GPR apresentou baixa e moderada correlação com altura e perímetro torácico (0,25 e 0,34, respectivamente), ou seja, seleção de animais mais eficientes para GPR acarretará em aumento destas características. Em geral, as correlações fenotípicas entre as características de eficiência alimentar e as de crescimento e de carcaça foram baixas e próximas de zero.

2.7. Comportamento alimentar

O comportamento alimentar vem sendo avaliado para compreender mecanismos de controle da regulação da ingestão alimentar, examinar variação na eficiência da alimentação e prever estado de saúde dos animais (Mendes et al., 2011).

Para alcançar determinado patamar de consumo, compatível com as exigências nutricionais os ruminantes adaptam-se às diversas condições de alimentação, manejo e ambiente, modificando seus parâmetros de comportamento ingestivo. Assim, o monitoramento do consumo torna-se importante para avaliar a resposta do animal, possibilitando ajustes no manejo (Cavalcanti et al., 2008).

Tradicionalmente, o comportamento vem sendo monitorado por observação humana direta ou pela utilização de sistemas de gravação de vídeo *time-lapse*, de forma que esses sistemas são de trabalho intensivo, inviabilizando sua utilização em longos períodos de tempo (Bach et al., 2004). Além disso, a maioria das pesquisas tem sido realizada sob condições que não podem refletir o comportamento de animais alojados em grupos, tais como baias individuais, *tiestalls*, sem levar em conta a influência do ambiente social (Chizzotti et al, 2015), o que torna o comportamento alimentar difícil de ser quantificado de forma precisa e objetiva. O padrão de alimentação adotado para

obter a quantidade diária de alimento pode diferir substancialmente entre os animais quando mantidos no mesmo ambiente social (Nielsen, 1999).

Para que o comportamento animal seja utilizado no sistema de produção é necessário adotar métodos mais práticos e que demandem menos trabalho, tempo e mão de obra além de medidas consistentes e acuradas. Nesse contexto é importante adequar o intervalo de registros do comportamento alimentar de bovinos confinados, assim como o número de animais a serem avaliados, visando aplicabilidade da técnica nos sistemas de produção (Aldrighi, 2012).

O potencial da pesquisa com tecnologias de precisão tem motivado o desenvolvimento de dispositivos para monitoramento do comportamento animal (Chizzotti et al, 2015). O desenvolvimento da tecnologia RFID aplicada à alimentadores automáticos de gravação, permite a coleta de dados de comportamento de grandes grupos de animais com menos trabalho em comparação com os métodos tradicionais (Mendes et al., 2011).

Indicadores comportamentais, juntamente com a informação da taxa de crescimento podem ser usados para sugerir as prováveis causas do baixo desempenho (Frost et al., 1997). Estudos têm mostrado que dados de comportamento alimentar podem ser úteis como indicadores de características economicamente importantes, tais como o desempenho e a eficiência alimentar (Lancaster et al., 2009). Variação da produção de calor e, portanto, energia disponível para a manutenção e crescimento, também ocorre como resultado das diferenças no gasto de energia associados com atividade (Arthur e Herd, 2008).

2.8. Parâmetros de comportamento alimentar

Os parâmetros de comportamento alimentar descrevem o tempo de ingestão de alimentos. No curto prazo, um padrão de alimentação pode ser visto como tendo três parâmetros: frequência, tamanho e duração das refeições, servindo de base para outras medidas (Nielsen, 1999). A frequência de alimentação refere-se ao número de refeições que ocorrem ao longo de um dado período de tempo, dependendo do ciclo circadiano habitual específico da espécie (Nielsen, 1999), que para bovinos consiste em 24 horas.

A visita do animal no sistema de cochos eletrônicos é definida pelo início e fim da detecção da presença do animal por um sensor (Tolkamp et al., 2000; Chizzotti et al, 2015). A média de ingestão por visita e duração da visita são determinadas a partir dos valores médios do animal, calculado como a ingestão total e duração total da visita

dividida pelo número de visitas. Os intervalos entre as visitas são calculados para cada animal a partir do momento final de uma visita e o início da próxima (Tolkamp et al., 2000).

As medidas diárias incluem: ingestão de alimentos por dia (kg/dia) sendo produto do tamanho das refeições e frequência da refeição; e tempo de alimentação diária (min/dia), que por sua vez é o produto das frequências de refeições e a duração das refeições durante o período de mensuração de 24 horas (Tolkamp et al., 2000).

A ingestão diária de alimentos compreende o número de refeições consumidas diariamente, a duração de cada refeição e a taxa de alimentação. Ajustando o número de refeições diárias e o tamanho médio da refeição (comprimento x taxa de alimentação), o animal ruminante pode ajustar a ingestão diária de matéria seca (Grant e Albright, 2000)

A velocidade com que o alimento é ingerido é a taxa de consumo (g/min) (Nielsen, 1999) indica a quantidade de alimento consumido durante um período fixo de tempo (Bonilha et al., 2015). Sendo a taxa de alimentação a relação entre o tamanho da refeição (g/refeição) e duração da refeição (min/refeição) (Nielsen, 1999; Williams et al., 2011). A taxa de alimentação por visita é a proporção do CMS por visita e o tempo de alimentação por visita (Proudfoot et al., 2009). Já Burguer et al. (2000) definiram a relação entre CMS (g MS/dia) e tempo de alimentação (TAL - h/dia) como eficiência de alimentação e encontrou forte correlação negativa deste parâmetro com tempo de alimentação diária ($r=-0,86$; $P<0,0001$) em bovinos inteiros contemporâneos dos grupos genéticos Charolês x Nelore.

Fitzsimons et al. (2014) consideraram como eventos sem alimentação a soma do número de vezes que um animal consumiu menos de 100 g de ração por visita ao cocho. Sendo a soma do tempo de todos os eventos diário sem alimentação definido como duração total de eventos sem alimentação (min/d). A duração média de alimentação por evento foi o tempo médio registrado necessário para o consumo (min/evento com alimentação/d) (Fitzsimons et al., 2014).

Diversos parâmetros de comportamento alimentar tem sido estudados, objetivando analisar sua relação com CAR (Kelly et al., 2010a,b; McGee et al., 2014) Sendo, frequência de visitas ao cocho considerada quando um determinado animal é identificado entrando no cocho com consumo de alimento ou não. A duração da visita é o tempo durante a identificação de cada animal no cocho. Já a duração do consumo é caracterizada pelo tempo durante a identificação do animal em um cocho, consumindo alimentos. A taxa de consumo é calculada como CMS total por dia dividida pela

duração diária total (kg/min). O consumo de alimento / evento de alimentação foi calculado como a CMS total por dia dividido pelo número de eventos alimentares diários (kg/evento). Dados de refeições incluem três medições de comportamento: frequência das refeições (conjunto de visitas ao cocho em que o evento não alimentação foi menor do que o critério refeição), duração da refeição (tempo durante as leituras de *transponder* com o animal no cocho consumindo alimento por refeição) e média de CMS por refeição (soma dos eventos de consumo durante uma refeição).

2.9. Associação de eficiência alimentar e comportamento ingestivo

As características de comportamento alimentar estão potencialmente associadas com os custos energéticos de alimentação, que influenciam o desempenho produtivo dos animais. Conseqüentemente a eficiência alimentar pode ocorrer como resultado de diferenças no gasto de energia associados com certos comportamentos (Montanholi et al., 2010).

Variação da produção de calor e, portanto, energia disponível para a manutenção e crescimento, também ocorre como resultado das diferenças no gasto de energia associados com atividade (Arthur e Herd, 2008).

Embora as diferenças nos gastos de energia associados com variação no consumo alimentar e atividades físicas são responsáveis por algumas das variações no CAR, é possível que outros processos fisiológicos associados com o comportamento alimentar também possam influenciar o CAR (Lancaster et al., 2009). Desta forma, outro aspecto a ser considerado quando se analisa variáveis de comportamento de alimentação é a relação inversa entre os parâmetros relacionados às refeições (Nielsen, 1999). Frequência e duração das refeições podem estar relacionadas a processos fisiológicos envolvidos na regulação da ingestão de alimentos (Lancaster et al., 2009). Além disso, em conjunto com o tempo diário gasto no alimentador e o número de visitas diárias no alimentador não requer a medição real do consumo de alimento individual, o que pode representar uma vantagem em comparação com outras variáveis de comportamento alimentar (Montanholi et al., 2010). A utilização dessas características pode facilitar a seleção de animais já que os custos para medir características comportamentais podem ser menores do que os custos para medir o consumo de alimentos.

Variação na ingestão de alimentos, por si só é associada com a variação nas exigências de manutenção dos ruminantes. Como o aumento da ingestão de alimento, a

quantidade de energia gasta pelos animais para digerir os alimentos aumenta, em parte por causa do aumento no tamanho dos órgãos digestivos e aumento da energia despendida dentro dos próprios tecidos (Herd e Arthur, 2009).

Fitzsimons et al. (2014) submeteram 47 vacas multíparas com 166 ± 26 dias de gestação ao teste de CAR por um período de 80 dias. Sendo, 36 animais da raça Simental puros e 11 Simental x Holandês. Após o período de teste foi avaliado o comportamento alimentar e os autores observaram menor duração total de alimentação diária (171 min/d; $P < 0,001$) para vacas de baixo CAR comparado as vacas de médio e alto CAR (190 e 209 min/d, respectivamente). As vacas de alto CAR tiveram menor ($P < 0,001$) duração média do evento de alimentação e mais ($P < 0,05$) eventos alimentares por dia do que as vacas de médio e baixo CAR. Vacas de baixo CAR apresentaram menor taxa de ingestão ($P < 0,01$) e menor duração total e número de eventos diários não alimentares ($P < 0,001$). O CAR apresentou forte associação positiva com duração da alimentação diária total ($r = 0,51$, $P < 0,001$) e eventos alimentares diários totais ($r = 0,50$; $P < 0,001$) eo aumento de 1 kg de MS/dia no CAR aumenta ($P < 0,001$) 17,2 min/d na duração da alimentação e o aumento ($P < 0,001$) de cinco eventos alimentares diários.

No trabalho de Kelly et al. (2010b) os eventos alimentares apresentaram relação positiva com CMS ($r = 0,31$; $P < 0,05$), GMD ($r = 0,28$; $P = 0,07$), e CAR ($r = 0,24$; $P = 0,07$), mas não ($P > 0,10$) com EA. A taxa de consumo foi positivamente associada com CMS ($r = 0,43$; $P < 0,01$) e CAR ($r = 0,25$; $P = 0,07$), mas não ($P > 0,10$) com GMD ou EA. As características de comportamento de alimentação restantes (duração da alimentação, consumo de alimento / evento de alimentação, eventos não alimentares e duração da não alimentação) não foram relacionadas ($P > 0,10$) com a ingestão, desempenho ou características de eficiência alimentar (Kelly et al., 2010b).

Com intuito de entender os fatores que regulam a eficiência alimentar e seu potencial como preditores de eficiência alimentar em bovinos, Montanholi et al. (2010) avaliaram 91 novilhos *Bos taurus* de peso inicial $313 \pm 6,2$ kg divididos em três classes divergentes de CAR. Foram definidas seis características de comportamento alimentar: tempo gasto no alimentador por dia (min/dia), tempo por refeição (min/refeição), tamanho da refeição (kg MS/refeição), taxa de ingestão (g MS/min), número de refeições por dia (eventos/dia) e visitas diárias ao alimentador (eventos/dia).

Montanholi et al. (2010) observaram após o período de teste que novilhos mais eficientes (baixo CAR) tiveram menor tamanho da refeição, uma taxa de ingestão mais lenta e menor frequência de visitas diárias ao cocho ($P < 0,05$), comparados aos novilhos

de alto CAR. Em comparação com as outras características de comportamento alimentar, tamanho da refeição e taxa de ingestão apresentaram maior correlação positiva com CAR ($r=0,41$ e $0,44$ respectivamente; $P<0,01$). O tempo gasto no alimentador e visitas diárias ao alimentador foi positivamente correlacionado com CAR ($r=0,24$ e $0,35$ respectivamente; $P<0,01$). O tempo gasto no alimentador (min/dia) e tempo por refeição (min/refeição) foi moderadamente associado com GMD ($r=0,32$ para ambas; $P<0,01$), e tempo por refeição (min/refeição) teve correlação positiva com CMS ($r=0,22$; $P<0,05$) (Montanholi et al., 2010).

A taxa de ingestão de novilhas Holandês de alto CAR foi maior ($P<0,001$) comparada ao grupo de baixo CAR ($72\pm 1,7$ vs $61 \pm 2,1$ g/min, respectivamente). Já o tempo gasto em alimentadores não diferiu entre as novilhas de alto e baixo CAR, então a energia gasta com consumo de alimento poderia ser igual para ambos os grupos (Williams et al., 2011).

2.10. Comportamento ingestivo de água

Sabe-se que o consumo de água é uma das necessidades básicas vitais dos animais, porém, seu fornecimento é ainda negligenciado (Dereti et al., 2016). Cardot et al. (2008) alertam para o fato de que a ingestão de água por vacas leiteiras raramente é considerada como um fator potencialmente limitante para a produção de leite. Porém, a produção de leite é tão dependente de água quanto de alimento. Além de ser um dos pilares para garantir o bem-estar dos animais, a água está diretamente relacionada com a termorregulação, é necessária para manutenção dos ciclos vitais e compõe aproximadamente 87% do leite (Dereti et al., 2016).

Apesar de já haver conhecimento quanto à predição de ingestão de água, poucos estudos têm abordado o comportamento de ingestão do gado leiteiro de forma contínua e simultânea. Informações referentes a quantas vezes e quando as vacas leiteiras bebem ou a relação da quantidade de água ingerida e o comportamento das vacas são escassas (Cardot et al., 2008). Entre as variáveis de comportamento de ingestão de água, uma "visita" corresponde à identificação do animal no bebedouro (seja para beber água ou não). O consumo de água corresponde ao consumo efetivo de água, quando o animal é identificado presente no bebedouro (Cardot et al., 2008) e foi determinado por Huzzey et al. (2005) quando o animal tinha seu focinho ou língua em contato com a água. Uma nova frequência de consumo foi considerada por Cardot et al. (2008) quando houve pelo menos 4 min gastos sem consumo.

A medição do comportamento de ingestão de água das vacas é desafiadora porque o consumo de água por hora é de apenas 5,5-6,8 min por dia, podendo variar de 1,3 a 33,3 min (Huzzey et al., 2005) e consiste em 6,6-9,5 episódios (Huzzey et al., 2005; Cardot et al., 2008). Razões de consumo de água (CAG)/ kg de CMS foi de 4,1 L/kg de MS (Cardot et al., 2008). Assim, mesmo a menor imprecisão no algoritmo que classifica o comportamento de beber pode ter uma grande influência na qualidade geral das medidas de consumo. Não existe estudos relacionando a consumo de água com eficiência alimentar de bovinos.

2.11. Termografia por infravermelho

Todos os objetos sólidos emitem radiação eletromagnética invisíveis na faixa do infravermelho. Objetos aquecidos emitem radiação num comprimento de onda mais curto e com um número maior de emissões por unidade de tempo que objetos frios (Cunningham, 2004). Desta forma, a termometria cutânea é um método de diagnóstico que avalia a microcirculação da pele. Sendo que, a emissividade infravermelha do animal está diretamente relacionadas à perfusão e metabolismo dos tecidos.

Variações na temperatura da superfície geralmente são resultados de mudanças na circulação da área avaliada (Roberto e Souza, 2014). O fluxo de sangue, por sua vez, é regulado por controle do sistema nervoso autônomo (Stewart et al., 2008) e pode causar mudanças na temperatura da pele do animal, alterando a quantidade de calor irradiado (Martello et al., 2015). A temperatura medida nas extremidades do corpo prediz a dissipação de calor de forma mais eficiente que medidas do núcleo, que, por sua vez, é um melhor indicador da produção de calor (DiGiacomo et al., 2014).

Mudanças na temperatura superficial do corpo dos animais provêm do metabolismo e de fontes externas, estando relacionada a vários processos fisiológicos, associados, inclusive, com a eficiência alimentar (Montanholi et al., 2008). Uma vez ingerida, a energia alimentar produz calor em todos os estágios do processo metabólico. No final, toda a energia do alimento é convertida em calor, que se dissipa no ambiente e se irradia no espaço (Cunningham e Klein, 2008). O calor emitido por capilares superficiais, pode ser quantificado usando a termografia por infravermelho (TIV) (Stewart et al., 2008; Montanholi et al., 2010) e reflete o gasto energético das funções metabólicas, como termorregulação. Portanto, o equilíbrio da temperatura corporal está diretamente relacionado com o gasto de energia para manutenção (Martello et al., 2015).

A termografia por infravermelho da superfície do corpo vem sendo sugerida por ser um procedimento simples para medir a produção de calor, e um método não invasivo, não destrutivo, relativamente barato e facilmente obtido (Montanholi et al., 2008; Church et al., 2014; Martello et al., 2015). As imagens térmicas são obtidas utilizando câmera que mede a radiação infravermelha, como uma medida de temperatura e cada pixel na imagem é uma medida de temperatura (DiGiacomo et al., 2014).

Trabalhos de pesquisas com CAR tem sugerido menor temperatura das extremidades do corpo para os animais mais eficientes em comparação com novilhos menos eficientes (Montanholi et al. 2008; Montanholi et al., 2009; Montanholi et al., 2010; DiGiacomo et al., 2014). Espera-se então, menor incremento de calor com alimentação em animais que comem menos para o mesmo desempenho (Herd e Arthur, 2009). Além disso, as temperaturas das extremidades também são indicadores potenciais de outras características de desempenho produtivo (Montanholi et al., 2010). Contudo, variação da temperatura da pele segue padrões diferentes dependendo da região do corpo e estão sujeitos à influência das temperaturas ambientais, podendo mascarar quaisquer diferenças no estado térmico presente devido à eficiência. Além disso, são mais instáveis que as temperaturas internas corporais (Montanholi et al. 2008; DiGiacomo et al. 2014; Martello et al., 2015).

2.12. Associação de eficiência alimentar e termografia por infravermelho

A independência do CAR e produção permite representar variação inerente em processos metabólicos fundamentais (Herd e Arthur, 2009). Vários processos fisiológicos associados à eficiência alimentar podem estar relacionados com a temperatura superficial do corpo dos animais (Montanholi et al., 2008).

Os resultados de quanto da variação de CAR pode ser explicada pela TIV implicam papel importante na avaliação indireta das necessidades de energia basal que não são contabilizadas pelo PV e GMD. As medidas de TIV de diferentes locais do corpo explicaram diferentes proporções da variação total de CAR. Uma análise mais aprofundada demonstrou que 24% da variação de CAR foi explicada por TIV, onde os pés e bochecha foram os principais parâmetros para TIV. Demonstrando o potencial da aplicação de TIV na avaliação da eficiência alimentar. A temperatura dos pés e das bochechas mostraram ser mais promissora para avaliar indiretamente a eficiência alimentar em bovinos (Montanholi et al., 2009). Martello et al. (2015) observaram

maior temperatura superficial (T°C) da frente de um grupo de 18 animais da raça Nelore para TIV (P<0,01) classificados como baixo CAR em relação ao grupo de animais classificados como alto CAR. Os autores atribuíram a maior temperatura nos animais mais eficientes à maior eficiência dos mecanismos termorreguladores. Em ambiente tropical moderado com estresse leve, como foi a situação do estudo, era esperado que alguns animais ativassem mecanismo de termorregulação de troca de calor sensível e latente para atingir o equilíbrio da temperatura corporal. Essa hipótese foi sustentada por valores de temperatura retal mais baixa no grupo de baixo CAR. Ou seja, a temperatura da pele mais alta deste grupo sugere que o calor dissipado é capaz de manter a temperatura do núcleo do corpo, inferior do que o do grupo de alto CAR. Apesar do valor médio de temperatura retal não ter sido indicativo de estresse animal, os valores máximos de temperatura retal observado (39,8 °C) indicou valores de temperatura retal acima da condição fisiológica normal para bovinos.

Contudo, dados disponíveis na literatura internacional, sugerem menor incremento de calor com alimentação em animais que comem menos para o mesmo desempenho (Herd e Arthur, 2009).

No trabalho de DiGiacomo et al.(2014), cinquenta e quatro primíparas Holandês Frísio, previamente avaliadas para CAR (26 de alto CAR, 28 de baixo CAR) para medições em duas ocasiões da temperatura da superfície do corpo (uma vez durante a lactação e uma vez durante o período "seco") com termografia de infravermelho. As mensurações da temperatura superficial dos 54 animais foram realizadas num primeiro momento em um ambiente sem cobertura e em outro momento utilizou-se um subconjunto de 16 vacas (8 eficientes e 8 ineficientes) para outras imagens de IV em ambiente coberto (para eliminar as influências de ambientes externos). Foram avaliadas as T°C do focinho, olho, mandíbula, orelha, perna, garupa, ombro, pescoço, teta e úbere. Os autores demonstraram que vacas Holandês Frísio de menor eficiência para CAR apresentavam temperaturas mais altas da teta e do úbere, e tendência para maiores temperaturas de ombro e do pescoço em relação as vacas mais eficientes. Contudo, os autores não encontraram diferença na temperatura do núcleo do corpo entre os grupos divergentes para eficiência, indicando que, algumas das diferenças de eficiência podem ser atribuídas a diferenças na termorregulação e que a termografia de TIV é um método adequado para determinar estas diferenças de forma não invasiva. Durante o período seco a temperatura ambiente variou de 4,7 °C a 10,4 °C e a umidade relativa (UR) de 79-93%. Enquanto, durante a lactação, a temperatura ambiente variou de 15,0 °C a 19,6

°C, e a UR variou de 72% a 85%. A temperatura ambiente externa antes da coleta de imagens de TIV coberto (n=16 vacas) variou de 6 °C a 21 °C e UR variou de 26% a 94%.

Montanholi et al. (2010) analisaram imagens de TIV do olho, bochecha, focinho, costelas e garupa de 91 novilhos Piemontês ou filhos de vacas da raça Angus, Simental, Charolês e mestiças Angus x Simental de peso inicial $313 \pm 6,2$ kg selecionados para CAR. Novilhos mais eficientes tinham temperaturas mais baixas na superfície do focinho e da bochecha ($P < 0,05$) em comparação com novilhos menos eficientes. A correlação da temperatura superficial da garupa com CAR ($r = 0,26$) e a diferença numérica ($P < 0,1$) na temperatura no grupo de baixo CAR (33,7 °C) em relação ao grupo de alto CAR (34,6 °C) foi atribuída pelos autores a uma menor cobertura por pelos e maior uniforme desta região corporal nos animais.

Montanholi et al. (2009) investigaram três grupos de CAR com o objetivo principal de avaliar o potencial da termografia infravermelha como medida alternativa de eficiência. Para determinar a relação entre TIV com a variação na eficiência alimentar e CMS, mediram a temperatura da superfície corporal de 154 novilhos *Bostaurus* utilizando TIV. Para cada um dos locais do corpo termografados, foi utilizada uma forma específica para delimitar subárea constante e a temperatura média dentro dessas áreas definiu as características de TIV. Os novilhos mais eficientes para CAR tinham temperaturas mais baixas do olho, bochecha e pés que os menos eficientes. A temperatura ambiente variou de -3,8 a 12,5 °C durante os quatro anos no dia de coleta de dados de TIV, o que está próximo da faixa ótima para produção e termoneutralidade, conforme descrito por Hahn (1999). A temperatura dos pés e bochechas foi positivamente correlacionada com CMS (0,22 a 0,29) e com GMD (0,21 a 0,27). Observou-se tendência de correlação positiva ($P = 0,10$) entre EA e a temperatura das bochechas e dos pés. CMS apresentou correlação de 0,57 e 0,69 ($P = 0,05$) com CAR e GMD, respectivamente. Isto indica que determinadas áreas da superfície do corpo têm uma associação considerável com CAR.

DiGiacomo et al. (2014) observaram diferenças nas medidas de temperatura devido ao dia de medição (provavelmente devido a condições climáticas) durante as medidas de lactação e período seco, o que pode ter contribuído para a falta de diferenças. Como as condições de temperatura ambiente teriam grandes efeitos sobre os mecanismos termorreguladores do animal (isto é, se eles precisarem ganhar ou dissipar calor) isto pode mascarar quaisquer diferenças no estado térmico presente devido à

eficiência. Estudos com animais alojadas em condições climáticas controlados podem eliminar os efeitos do ambiente sobre o status térmico.

3. OBJETIVO GERAL

Avalia o consumo alimentar residual e ganho de peso residual em novilhas F1 Girolando e as relações com consumo, desempenho, comportamento alimentar e de ingestão de água, características morfológicas e temperatura da superfície do corpo por termografia por infravermelho.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a divergência para eficiência alimentar em novilhas F1 Girolando;
- Avaliar o consumo de matéria seca, desempenho e medidas morfológicas para novilhas F1 Girolando divergentes para CAR e GPR;
- Avaliar parâmetros de comportamento alimentar e de ingestão de água em novilhas F1 Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar;
- Avaliar parâmetros de termografia por infravermelho em diferentes regiões corporais de novilhas F1 Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldrighi J. Comportamento ingestivo e temperamento de Bovinos nelore: relação com eficiência Alimentar e aspectos metodológicos. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável). Instituto de Zootecnia, APTA/SAA. Nova Odessa – SP. 60 p. 2012.

Almeida, R.; Lanna, D. P. D.; Leme, P. R. Consumo alimentar residual: um novo parâmetro para avaliar a eficiência alimentar de bovinos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004. Campo Grande. Anais...Campo Grande: SBZ, 2004.

Arthur, P. F.; Archer, J. A.; Johnston, D. J.; Herd, R. M.; Richardson, E. C. ; Parnell, P. F. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.*, v.79, p.2805–2811, 2001.

Arthur, J. P. F.; Herd, R. M. Residual feed intake in beef. *R. Bras. Zootec.*, v.37(Suppl.), p.269–279, 2008.

Bach, A.; Iglesias, C.; Busto, I. A computerized system for monitoring feeding behavior and individual feed intake of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* v.87, p.4207–4209, 2004.

Basarab, J. A.; Price, M. A.; Aalhus, J. L.; Okine, E. K. ; Snelling, W. M.; Lyle, K. L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, v.83, p.189–204.2003.

Berry D. P.; Crowley, J. J. Cell biology symposium: genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v.91, p.1594–1613, 2013.

Berry, D. P.; Harris, B. L.; Winkelman, A. M.; Montgomerie, W. Phenotypic associations between traits other than production and longevity in New Zealand dairy cattle. *J Dairy Sci.*, v.88, p.2962–2974, 2005.

Berry, D.; Pryce, J. Feed efficiency in growing and mature animals. Proc. 10th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Vancouver, Canada. Am. Soc. Anim. Sci., Champaign, IL. 2014.

Bonilha, S. F. M.; Cyrillo, J. N. D. S. G.; dos Santos, G. P.; Branco, R. H.; Ribeiro, E. G.; Mercadante, M. E. Z. Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nelore males and females. *Tropical animal health and production*, v.47, p.1381-1389, 2015.

Burger, P. J.; Pereira, J. C.; Queiroz, A. C.; Silva, J. F. C.; Valadares Filho, S. C.; Cecon, P. R.; Casali, A. D. P. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Rev. Bras. Zootec.*, v.29, n.1, p.236-242, 2000.

Campidelli A.M.; Josahkian L.A.A. Importância das avaliações fenotípicas para o melhoramento genético animal. *Fazu em Revista*, v.8, p.147-151, 2011.

Campos, M. M.; Lima, J. A. M.; Leão, J. M.; Machado, F. S. Eficiência bioenergética em bovinos de leite. In: Vilela, D.; Ferreira, R. P.; Fernandes, E. N.; Juntolli, F. V. (Eds), *Pecuária de leite no Brasil: Cenários e avanços tecnológicos*. Embrapa, Brasília, DF, ed.1, p.359-373, 2016.

Cardot, V.; Le Roux, Y.; Jurjanz, S. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *J. Dairy Sci.*, v.91, p.2257-2264, 2008.

Cavalcanti, M. C. A.; Batista, A. M. V.; Guim, A.; Lira, M. A. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) e palma orelha-de-elefante (*Opuntia* sp.). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v.30, n.2, p. 173-179, 2008.

Ceacero, T. M. Correlação entre características de eficiência alimentar, de crescimento e de carcaça em bovinos nelore. 2015. Dissertação (Produção Animal Sustentável) - Nova Odessa, Instituto de Zootecnia. p.50.

Chizzotti, M. L.; Machado, F. S.; Valente, E. E. L.; Pereira, L. G. R.; Campos, M. M.; Tomich, T. R.; Coelho, S. G.; Ribas, M. N.; Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *J. Dairy. Sci.*, v.98, p.3438-3442, 2015.

Church, J. S.; Hegadoren, P. R.; Paetkau, M. J.; Miller, C. C.; Regev-Shoshani, G.; Schaefer, A. L.; Schwartzkopf-Genswein, K. S. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *R. Vet. Sci.*, v.96, p.220-226, 2014.

- Costa, M. D.; Ruas, J. R. M.; Rocha Jr., V. R.; Raidan, F. S. S.; Ferreira, J. J.; Silva, E. A. Importancia do rebanho F1 Holandês x Zebu para a pecuária de leite. In: Informe Agropecuário. Vacas F1 Holandês x Zebu: produção eficiente de leite. Belo Horizonte, v.31, n.258, p.40-50, 2010.
- Crowley, J. J.; McGee, M.; Kenny, D. A.; Crews Jr., D. H.; Evans, R. D.; Berry, D. P. Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance tested beef bulls. *J. Anim. Sci.*,v.88, p.885–894, 2010.
- Cunningham, J.G. Tratado de fisiologia veterinária. Rio de Janeiro: Guanabara 1722 Koogan, p.579, 2004.
- Cunningham, J.G.; Klein, B.G.; Tratado de Fisiologia Veterinária. 4ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Editora: Elsevier, 2008.
- Davis, S. R., K. A. Macdonald, G. C. Waghorn, e R. J. Spelman. 2014. Residual feed intake of lactating Holstein-Friesian cows predicted from high-density genotypes and phenotyping of growing heifers. *J. Dairy Sci.*, 97:1436–1445, 2014.
- Dereti, R. M.; Ribeiro, A. R. B.; Fischer, V. Bem estar animal em sistemas de produção de leite. In: Vilela, D.; Ferreira, R. P.; Fernandes, E. N.; Juntolli, F. V. (Eds), Pecuaria de leite no Brasil: Cenários e avanços tecnológicos. Embrapa, Brasília, DF, ed.1, p.265-284, 2016.
- DeVries, T. J.; von Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M.; Beauchemin. K. A. Technical note: Validation of a system for monitoring feeding behavior of dairy cows. *J. Dairy. Sci.*, v.86 p.3571-3574, 2003.
- DiGiacomo, K.;Marett, L. C.; Wales, W. J.; Hayes, B. J.;Dunshea, F. R.;Leury,B. J. Thermoregulatory differences in lactating dairy cattle classed as efficient or inefficient based on residual feed intake. *Animal Prod. Sci.*, v.54, p.1877-1881, 2014.
- Durães, M. C. Características de tipo. In: Valente, J.; Durães, M. C.; Martinez, M. L.; Teixeira, N. M. (Ed.). Melhoramento genético de bovinos de leite. Juiz de For a: Embrapa Gado de Leite. p.113-128, 2001.

Esteves, A. M.; Bergmann, J. A. G.; Durães, M. C.; Costa, C. N.; Silva, H. M. Genetic and phenotypic correlations between type traits and milk production in Holstein cattle. *Arq. Bras. de Med. Vet. e Zoot.* 56: 529-535, 2004.

Euclides Filho, K. Melhoramento genético animal no Brasil: fundamentos, história e importância. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1999. 63p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 75).

Facó, O. et al. Idade ao primeiro parto e intervalo de partos de cinco grupos genéticos Holandês x Gir no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v.34, n.6, p.1920-1926, 2005.

Ferreira, J. J.; Ruas, J. R. M.; Carvalho, B. C. DE; Silva, E. A.; Queiroz D. S.; Menezes A. C. Alimentação do rebanho F1: fator de menor custo na produção de leite. In: Informe Agropecuário. Vacas F1 Holandês x Zebu: produção eficiente de leite. Belo Horizonte, v.31, n.258, p.72-80, 2010.

Fitzsimons, C.; Kenny, D. A.; Fahey, A. G.; McGee. M. Feeding behavior, ruminal fermentation, and performance of pregnant beef cows differing in phenotypic residual feed intake offered grass silage. *J. Animal Sci.*, v.92 p.2170-2181, 2014.

Frost, A. R.; Schofield, C. P.; Beulah, S. A.; Mottram, T. T. ; Lines, J. A.; Wathes, C. M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Comput. Electron. Agric.*, v.17, p.139–159, 1997.

Gomes, R. C.; Santana, M. H. A.; Ferraz, J. B. S.; Leme, P. R.; Silva, S. L. Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte. Funpec-Editora, Ribeirão Preto, p 77, 2012.

Grant, R. J.; Albright, J. L. Feeding behaviour. In: Farm Animal Metabolism and Nutrition. J. P. F. D. Mello, ed. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK. p.365-382, 2000.

Green, T. C.; Jago, J. G.; Macdonald, K. A.; Waghorn, G. C. Relationships between residual feed intake, average daily gain and feeding behavior in growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.*, v.96, p.3098–3107, 2013.

Grion, A. L. Parâmetros Genéticos de Medidas Indicadoras de Eficiência Alimentar de Bovinos de Corte. 2012. Dissertação (Produção Animal Sustentável) - Nova Odessa, Instituto de Zootecnia. p.94, 2012.

Grion, A. L.; Mercadante, M. E. Z.; Cyrillo, J. N. S. G. ; Bonilha, S. F. M.; Magnani, E.; Branco, R. H. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. *J. Anim. Sci.*, v.92, p.955–965, 2014.

Herd, R. M.; Arthur, P. F. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, v.8, p.64-71. 2009.

Herd, R. M. Residual feed intake. In: Resource Allocation Theory Applied to Farm Animal Production, W.M. Rauw (ed.). CABI Publ., Wallingford, UK, pp. 2009.

Huzzey, J. M.; von Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M. Changes in feeding, drinking, and standing behavior of dairy cows during the transition period. *J. Dairy Sci.*, v.88, p.2454–2461, 2005.

Kelly, A. K.; McGee, M.; Crews Jr., D. H.; Fahey, A. G.; Wylie, A. R.; Kenny, D. A. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *J. Anim. Sci.*, v.88, p.109–123, 2010a.

Kelly A. K.; McGe, M.; Crews Jr, D. H.; Sweeney, T.; Boland, T. M.; Kenny, D. A. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. *J. Animal Sci.*, v.88, p.3214–3225, 2010b.

Koch, R. M.; Swiger, L. A.; Chambers, D.; Gregory, K. E. Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Animal Sci.*, v.22, p.486–494, 1963.

Lagrotta, M. R.; Euclides, R. F.; da Silva Verneque, R.; Júnior, M. L. S.; Pereira, R. J.; Torres, R. A. Relação entre características morfológicas e produção de leite em vacas da raça Gir. *Pesq. Agrop. Bras.*, v.45, p.423-429, 2010.

Lancaster, P. A.; Carstens, G. E.; Ribeiro, F. R. B.; Tedeschi, L. O.; Crews Jr., D. H. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. *J. Anim. Sci.*, v.87, p.1528–1539, 2009.

Madalena, F.E. A contribuição da F1 de gado de leite e estratégias de sua utilização. In: IX Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal. João Pessoa. PB, 2012.

Martello, L. S.; Silva, S. L.; Gomes, R. C.; Corte, R. R. P. S.; Leme, P. R. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int. J. Biometeorol.*, v.60, p.173–181, 2015.

McGee, M.; Ramirez, J. A.; Carstens, G. E.; Price, W. J.; Hall, J. B.; Hill, R. A. Relationships of feeding behaviors with efficiency in RFI-divergent Japanese Black cattle. *J. Anim. Sci.*, v.92, p.3580–3590, 2014.

Mendes, E. D. M., Carstens, G. E.; Tedeschi, L. O.; Pinchak, W. E.; Friend, T. H. Validation of a system for monitoring feeding behavior in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v.89, p.2904–2910, 2011.

Moore, S.S.; Mujibi, F.D.; Sherman, E.L. Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v.87, p.41–47, 2009.

Montanholi, Y. R.; Odongo, N. E.; Swanson, N. C.; Schenkel, F. S.; McBride, B. W.; Miller, S. P. 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*). *J. Thermal Bio.*, v.33, p.469–475, 2008.

Montanholi, Y.R.; Swanson, K. C.; Schenkel, F. S.; McBride, B. W.; Caldwell, T. R.; Miller, S. P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest. Sci.*, v.125, p.22–30, 2009.

Montanholi, Y. R.; Swanson, K. C.; Palme, R.; Schenkel, F. S.; McBride, B. W.; Lu, D.; Miller, S. P. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal*, v.4, p.692–701, 2010.

Nielsen, B. L. On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social restraint. *Appl. Anim. Behav.*, v.63, p.79–91, 1999.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. National Academic Press, Washington, D.C. 2001.

Paula, E. F. E.; Monteiro, A. L. G.; Souza, D. F.; Prado, O. R.; Nomura, T. M.; Stivari, T. S. S.; Silva, C. J. A.; Santana, M. H. A. Consumo alimentar residual e sua relação com medidas de desempenho e eficiência e características in vivo da carcaça de cordeiros. *Arq. bras. med. vet. Zootec.*, v.65, p.566-572, 2013.

Pires, M. F. A.; Azevedo, M.; Saturnino, H. M. Adaptação de animais mestiços em ambiente tropical. In: Informe Agropecuário. Vacas F1 Holandês x Zebu: produção eficiente de leite. Belo Horizonte, v.31, n.258, p.30-38, 2010.

Proudfoot, K. L.; Veira, D. M.; Weary, D. M.; von Keyserlingk, M. A. G. Competition at the feed bunk changes the feeding, standing, and social behavior of transition dairy cows. *J. DairySci.* v.92, p.3116–3123, 2009.

Rennó, F. P.; Araújo, C. V.; Pereira, J. C.; Freitas, M. S.; Torres, R. A.; Rennó, L. N.; Azevêdo, J. A. G.; Kaiser, F. R. Correlações genéticas e fenotípicas entre características de conformação e produção de leite em bovinos da raça Pardo-Suíça no Brasil. *Rev. Bras. Zootec.*, v.32, p.1419-1430, 2003.

Roberto J. V. B.; Souza B. B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. In: J. Animal Behav. and Biomet., v.2, p.73-84, 2014.

Ruas, J.R.M.; Marcatti Neto, A.; Amaral, R.; Borges, L.E. Programa de Bovinos da EPAMIG - pesquisas com animais F1: projetos e resultados preliminares. In: ENCONTRO DE PRODUTORES DE GADO LEITEIRO F1, 4., 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG - Escola de Veterinária, p.60-68. 2002.

Ruas, J. R. M.; Menezes, A. C.; Carvalho, B. C.; Queiroz, D. S.; Siva, E. A.; Ferreira, J. J. Sistema de produção de leite com vacas F1 Holandês x Zebu. In: Informe Agropecuário. Vacas F1 Holandês x Zebu: produção eficiente de leite. Belo Horizonte, v.31, n.258, p.63-71, 2010.

Santana, M. H. A.; Oliveira Junior, G. A.; Gomes, R. C.; Silva, S. L.; Leme, P. R.; Stella, T. R.; Mattos, E. C.; Rossi, Jr., P.; Baldi, F. S.; Eler, J. P.; Ferraz, J. B. S. Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nellore cattle. *Livestock Sci.*, v.167, p.80–85, 2014.

Santana, M. H. A.; Rossi Jr., P.; Almeida, R.; Cucco D. C. Feed efficiency and its correlations with carcass traits measured by ultrasound in Nelore bulls. *Livest. Sci.*, v.145, p.252–257, 2012.

Silva, R. P. A.; Thaler Neto, A.; Cobuci, J. A.; Valloto, A. A.; Horst, J. A.; & Ribas Neto, P. G; Correlações genéticas entre algumas características de tipo e intervalo de partos em vacas da raça Holandesa. *Arq. bras. med. vet. Zootec.*, v.67, p.166-172, 2015.

Stewart, M.; Stafford, K. J.; Dowling, S. K.; Schaefer, A. L.; Webster, J. R. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiol. Behav.* V.93, p.789–797, 2008.

Teodoro, R. L.; Martinez, M. L.; Pires, M. F. A.; Verneque, R. S. Cruzamentos. In: Valente, J.; Durães, M. C.; Martinez, M. L.; Teixeira, N. M. (Ed.). Melhoramento genético de bovinos de leite. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. p.113-128, 2001.

Tolkamp, B. J.; Schweitzer, D. P. N.; Kyriazakis, I. The biologically relevant unit for the analysis of short-term feeding behavior of dairy cows. *J. DairySci.*, 83:2057–2068, 2000.

Valente, J.; Durães, M. C.; Martinez, M. L. Seleção: resposta correlacionada. In: Valente, J.; Durães, M. C.; Martinez, M. L.; Teixeira, N. M. (Ed.). Melhoramento genético de bovinos de leite. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. p.113-128, 2001.

VandeHaar, M. J.; Armentano, L. E.; Weigel, K.; Spurlock, D. M.; Tempelman, R. J.; Veerkamp, R. Harnessing the physiology of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. *J. Dairy Sci.*, 99:4941–4954, 2016.

Waghorn, G. C.; Macdonald, K. A.; Williams, Y.; Davis, S. R.; Spelman, R. J. Measuring residual feed intake in dairy heifers fed an alfalfa (*Medicago sativa*) cube diet. *J. Dairy Sci.*, v.95, p.1462–1471, 2012.

Williams, Y. J.; Pryce, J. E.; Grainger, C.; Wales, W. J.; Linden, N.; Porker, M.; Hayes. B. J. Variation in residual feed intake in Holstein Friesian dairy heifers in Southern Australia. *J. Dairy Sci.*, v.94, p.4715–4725, 2011.

ARTIGO CIENTÍFICO

INTERPRETIVE SUMMARY

Grouping Gyrolando ($\frac{1}{2}$ Holstein \times $\frac{1}{2}$ Gyr) heifers according to different feed efficiency indexes and its effects: 1. Feeding behavior characteristics, infrared thermography and performance traits. *Martins et al.* The genetic selection for feed efficiency in cattle is still limited due to the difficulty and costs of measuring individual feed intake. In addition, the animal selection strategies should be concentrate on improving the feed efficiency without compromising performance. The advances in livestock precision technologies allowed the use of feeding behavior traits and water intake, obtained by electronic feed and water bins, and the use of body temperature, obtained by infrared thermography, as auxiliary parameters for identification of animals divergent for residual feed intake and residual body weight gain.

RUNNING HEAD: FEED EFFICIENCY, FEED BEHAVIOR AND
THERMOGRAPHY

Grouping Gyrolando heifers according to different feed efficiency indexes and its effects: 1. Feeding behavior characteristics, infrared thermography and performance traits

ABSTRACT

The objectives of this study were to evaluate feed efficiency indexes (residual feed intake (**RFI**) and the residual body weight gain (**RG**) in dairy heifers and its effects on feed intake, performance, body measurements and surface body temperature. Holstein \times Gyr heifers ($\frac{1}{2}$ Holstein \times $\frac{1}{2}$ Gyr; $n = 36$) with initial age of 146.7 ± 28.2 days (mean \pm SD), initial body weight of 152.3 ± 21.7 kg, were classified into two

groups: high efficiency (**HE**; RFI, n = 12; and RG, n = 12), and low efficiency (**LE**; RFI, n = 12; and RG, n = 12). Animals were distributed in 4 pens equipped with electronic feed and water bins and received a total mixed ratio (**TMR**; 75:25, corn silage: concentrate, 177.8 CP/kg and 430.6 g/kg NDF_{ap} on a dry matter basis) *ad libitum*. Dry matter intake, water intake and feeding behavior were measured daily, whereas the body weight was determined weekly, body measurements were taken every 15 d and maximum body surface temperatures were measured at 12 animal position sites on day 68 of the trial. The feed efficiency trial last for 113 days. RFI average from LE group was 0.30 kg/d, whereas HE RFI average was -0.27 kg/d. The HE-RFI group consumed 10.39% less (0.53 kg DM/d) than LE-RFI, with no differences in ADG and body measures between both groups. For feeding behavior traits, HE-RFI group had lower feeding rate per bout and per meal compared to LE-RFI, and there were no differences in water intake between both groups. HE-RFI group had higher maximum surface temperature of the upper part of muzzle and in the right rib region compared to LE-RFI, and the difference in maximum temperature between the left and right flanks was higher and negative. The RG average of LE group was -0.09 kg/d whereas HE group had an RG average of 0.09 kg/d. The HE-RG group had an ADG of 0.95 kg/day, while the LE-RG had an ADG of 0.76 kg/day. HE-RG group were 2.15, 4.16, 2.72 and 2.75 cm greater compared to LE-RG group for withers height, heart girth, body depth and hip height, respectively. For feeding behavior traits, HE-RG group had higher meal frequency and average meal duration compared to LE-RG. There was no difference between RG groups for maximum body surface temperature at the evaluated animal sites. The divergence in RFI did not affected the growth rate and skeletal structure of Gyrolando F1 heifers. For RG, HE group had higher growth rate and weight gain.

Key words:body measurements,residual feed intake, residual body weight gain, water intake

INTRODUCTION

Technical and economic efficiencies are the key objectives in the dairy industry,regardless of the type of milk production system adopted. The importance to evaluate animal feed efficiency is related to production costs since animal feedstuffs are one of the higher variables in cattle production cost (Arthur et al., 2001). A 5% improvement in feed efficiency has a fourfold economic impact compared to daily weight gain (Gibb & McAllister, 1999). In addition, it can be added: the high variability in animal intake, which shows the potential for selection of animals with lower intake (Arthur et al., 2001; Basarab et al., 2007). Animal selection strategies need to focus on improving feed efficiency without compromising performance. The heritability for feed efficiency traits is moderate and can be used in breeding programs (Crowley et al., 2010; Williams et al., 2011; Grion et al., 2014).

In beef cattle, feed efficiency has been intensively investigated based on residual feed intake (**RFI**; Crowley et al., 2010; Berry and Crowley, 2013; Bonilha et al., 2015) and more recently on the residual body weight gain (**RG**; McGee et al., 2014), both initially proposed by Koch et al. (1963). Studies related to feed efficiency in dairy cattle are recent and limited to taurine type animals raised in temperate countries (Williams et al., 2011; Green et al., 2013; Davis et al., 2014; Fitzsimons et al., 2014; Xi, et al., 2016). Studies with zebu animals and crossbredcattle are still the challenges to the feed efficiency research.

The selection for feed efficiency in cattle is limited due to the difficulty and costs of measuring individual feed intake. However, advances in precision technologies and

indirect measurement, such as infrared thermography (**IRT**) (Montanholi et al., 2010; DiGiacomo et al., 2014; Martello et al., 2015) and feeding behavior (Kelly et al., 2010 a,b; Williams et al., 2011; Fitzsimons et al., 2014) have allowed the generation of useful parameters to identify more efficient animals.

The objectives of this study were to evaluate feed efficiency indexes in dairy heifers and its effects on feed intake, performance, body measurements and surface body temperature by using IRT. Our hypothesis was i. that there are phenotypically divergent between RFI and RG of dairy heifers, ii. feeding behavior and of surface body temperature could be applied to the selection of high-efficiency RFI and RG heifers.

MATERIAL AND METHODS

This study was performed at Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa) Multi-use Complex on Livestock Bioefficiency and Sustainability, located in Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brazil. All animal procedures used in this trial were approved by Embrapa Dairy Cattle Ethics Committee (protocol number 02/2014).

Animals selection, Housing, and Diet

Thirty-six Gyrolando (F1 Holstein-Gyr) heifers with an average age of 146.7 ± 28.2 days (mean \pm SD) and initial body weight of 152.3 ± 21.7 kg at the beginning of the trial were distributed in 4 pens (450 m² each; 9 animals/pen), according to body weight and age. Animals were evaluated for 113 days, preceded by 28 days adaptation period to the facilities and to the diet.

The heifers had *ad libitum* access to feed, which was provided using the 3 electronic feed bins (AF -1000 Junior; Intergado Ltd., Minas Gerais, Brazil) per each pen. The TMR (75:25 corn silage:concentrate, 177.8 CP/kg, and 430.6 g/kg NDF_{ap} on a dry matter basis (Table 1) was offered twice daily (0830 and 1530 h). The concentrate was composed of soybean meal (96%) and mineral mix (4%). The total diet was

formulated for weight gains of 900 g/day, according to NRC (2001). TMR was prepared using a mixer wagon (Calan Data Ranger, American Calan Inc., Norwood, NH). Orts were daily removed from the feed bins before morning feeding and given a fixed amount of concentrate; the amount of corn silage was adjusted daily to target 10% Orts. Water was offered *ad libitum* using one electronic water bin (WD-1000 Junior, Intergado Ltd., Minas Gerais, Brazil) at each pen. Animals were evaluated daily for signs of injury or disease and were treated according to routine farm management practices.

Nutritional Composition Analysis

Samples of TMR, silage, and concentrate were collected daily, pooled into a weekly sample, and stored at -20°C until analysis. Feed samples (TMR and corn silage) were dried in a forced-ventilation oven at 55°C for 72 h and were ground to 1mm particle size in a Wiley mill (model 3, Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA). All samples were analyzed for contents of DM (AOAC, 1990; method 930.15), ash (AOAC, 1990; method 924.05), CP (AOAC, 1990; method 984.13), EE (AOAC, 1990; method 920.39) and NDF by method of Van Soest et al. (1991) adapted to the ANKOM220 device, FiberAnalyzer (Ankom Technology, Fairport, NY), with addition of 500 $\mu\text{L/g}$ DM of thermostable amylase without sodium sulphite and corrected for ashes and nitrogen (Mertens et al., 2002). For calculations of non-fibrous carbohydrates (NFC) the equation $\text{NFC} = 100 - (\text{NDF}\% + \text{CP}\% + \text{EE}\% + \text{ASH}\%)$ suggested by Mertens, (1997) was used. Gross energy was determined using an adiabatic calorimeter (IKA - C5000, IKA® Works, Staufen, Germany).

Intake, Performance and Feed efficiency indexes

Individual feed and water intake and performance were monitored for the 113 d trial. Prior the beginning of the adaptation period, for all heifers an ear tag with a

passive transponder was fixed (FDX-ISO 11784/11785; Allflex, Joinville, SC, Brazil) allowing recording of individual daily feed and water intake by the Intergado electronic system (Intergado Ltd., Minas Gerais, Brazil), validated by Oliveira et al. (2017). During the experimental period, 72 ± 10.9 d were considered useful to generate the data of average daily intake.

Heifers were weighed once a week before morning feeding using an electronic scale (Toledo MGR-2000, São Bernardo, Brazil). Average daily weight gain was calculated as the linear regression coefficient of BW (PROC REG; SAS Inst. Inc., Cary, NC), composed of 14 BW measurements per heifer at 7-d intervals, and metabolic body weight ($BW^{0.75}$) was calculated using the BW at 56-d of the trial. Feed efficiency was measured using the relationship between mean daily DMI and ADG (Khan et al., 2007).

Dry matter intake, $BW^{0.75}$, and ADG were used to estimate RFI and RG using linear regressions (Koch et al., 1963), where RFI and RG were calculated as the difference between actual and predicted DMI and ADG, respectively, as follows:

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1(BW^{0.75}_j) + \beta_2(ADG_j \text{ or } DMI_j) + e_j,$$

where Y_j is the standardized DMI (RFI) or ADG (RG) of calf j , β_0 is the intercept, β_1 is the regression coefficient for $BW^{0.75}$, β_2 is the regression coefficient for ADG (RFI) or DMI (RG), and e_j is the error term for calf j .

Heifers were classified into two RFI and RG groups: high efficiency (**HE**; RFI < 0.5 SD below the mean ($n = 12$) and RG > 0.5 SD above the mean ($n = 12$)), and low efficiency (**LE**; RFI > 0.5 SD above the mean ($n = 12$) and RG < 0.5 SD below the mean ($n = 12$)).

Body measurements

The body measurements were performed every 14-d in 2 replications, before morning feeding time, after weighing the animal and within a flat floor surface (allowing

the animals to remain with their limbs well set). The body depth (BD - distance between top of spine and bottom of barrel at last rib), withers height (distance from the withers to the ground) and hip height (distance from ilio sacral tuberosity to the ground) were evaluated using a hipometer (Walmur, Instrumentos Veterinários Ltda, Porto Alegre, Brazil). The heart girth (measured immediately caudally to the front limbs) and the hip width (distance between the 2 iliac tuberosities) were evaluated with a measuring tape (Bovitec, Produtos Pecuários Ltda, São Paulo, Brazil). The variation of each body measurements was calculated as the difference between the final and initial measures.

Feeding behavior

Intergado® feed and water bins (Intergado® Ltd., Contagem, MG, Brazil) were equipped with a radio frequency identification (**RFID**) sensors that identified the animals during feeding and drinking. All data collected by Intergado were continuously stored by Intergado® web software (Intergado® Ltd., Contagem, MG, Brazil). The frequency (number of visits) and duration (difference between initial and final visit time) of visit to the feed and water bins with or without feed/water intake (difference in diet or water weight at the beginning and at the end of each visit) and the number of feed bunks and water bins visited were calculated.

Seventeen feeding behavior variables and eight behavior traits related to water intake were evaluated individually (Table 2) during the valid days of feed efficiency trial. To evaluate feeding behavior split into meals events during the day, the Meal Criterion Calculation software - MCC version 1.5.13 (<http://nutritionmodels.com/models.html>) was used. The following meal feeding behavior traits were evaluated from the dataset: meal criterion, meal frequency, meal duration, average meal duration and Average intake per meal according to Mendes et al. (2011).

Meal criterion (MC) was calculated based on individual visit data using a bimodal distribution, Gaussian normal and Weibull distribution, of feeding events interval to the feedbin as described by Bailey et al. (2012). The period used to calculate the meal criterion and animal behavior data were the same as those used for RFI and RG calculations. With individuals results of MC, the meal frequency and meal duration were calculated for each animal.

Infrared thermography

Thermal images of the heifers were taken with an infrared camera (FLIR T420, FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA) on day 68 before morning feeding time. The following standards were established for imaging: 0.5 m distance between the thermograph and the evaluated anatomical region; reflectance temperature of 20°C; and emission value of 0.98; all according to recommendations of the manufacturer for biological tissues and to values used by Montanholi et al. (2008, 2009). All thermal images were obtained in a roofed area. The evaluated anatomical regions were medial canthus, eye, cheek, upper part of muzzle, nasolabial plate, right nose, right ribs, right and left flanks, right front limb, anus, and vulva (Figure 1). Heifers were manually restrained during the evaluations, with no manipulation of the evaluated areas. The images were processed and interpreted using the FLIR Tools 5.6 software (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA).

In order to establish a constant area of evaluation, a figure was drawn on the image surface and it was then dragged to the region of the skin located in the chosen area (Gomes et al., 2016). Only the maximum temperature within each delimited area was considered to reduce the interference of factors such as contamination by water, feces, urine, or contact with colder surfaces, which could influence the thermogram.

The average maximum body core temperature at the evaluated sites and the difference in maximum temperature between the left and right flanks were also calculated.

Statistical Analyses

Data were analyzed using SAS version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Averages, standard deviations, normality and homogeneity of variance were evaluated using the UNIVARIATE procedure for all variables. Variables not following a Normal distribution were transformed. The maximum temperature of the medial canthus, eye and muzzle were standardized using the ROOT function. The age of heifers and BW at the beginning of the trial period was used as a covariate.

Data were analyzed in a completely randomized design by ANCOVA using the MIXED procedure. The Pearson correlation coefficients between infrared thermography, feeding behavior and water intake, and variables of body structure measurements, RFI and RG were calculated using the CORR procedure. The averages of the most and least efficient groups for RFI and RG were compared by Fisher's test considering $P < 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

Feed efficiency indexes, Intake and Performance

The HE and LE animals had an average RFI of -0.27 kg/d and 0.30 kg/d, respectively (Table 3). The HE-RFI group had a DMI 10.39% lower (4.61 kg/d) than the LE-RFI group (5.14 kg/d) ($P < 0.01$) but with no differences in ADG. To calculate the RFI, the ADG was used in regression adjustment, and this implied in the phenotypic independence between these traits (Arthur et al., 2001) and justify the similarity found in the present study. According to Berry and Pryce (2014), when using RFI as a selection criterion, the selection of slow-growing animals may occur, reflecting on

animals of late maturity. However, there was no difference in final body weight between the different RFI groups in this study. The ADG of animals during the test period (0.86 ± 0.1 kg/d) was within the recommended average for early sexual precocity at the first estrus, with an estimated age at first calving of approximately 24 months, according to Hoffman (1997).

The LE-RG group had an average of -0.09 kg/d for RG, which was lower than 0.09 kg/d for HE-RG animals ($P < 0.01$). No difference was found in DMI between the groups divergent for RG (Table 3), since for RG calculation DMI is considered in regression adjustment, and this implies phenotypic independence between these traits.

The animals had a mean age of 150.17 ± 31.99 -d at the beginning of the trial. However, in the same contemporary group, age influenced the performance when the animals were classified by RG, with HE-RG group 25-d younger ($P = 0.02$) than LE-RG. The age difference between HE-RG and LE-RG may have interfered with the rate of gain and chemical composition of the tissues deposited. A negative correlation of initial age with RG was observed ($r = -0.41$; $P = 0.04$).

The BW at the beginning of the trial was similar (151.31 ± 20.99 kg) between the HE-RG and LE-RG groups (Table 3). In the middle of the trial, HE-RG animals were 5.68 kg heavier and had higher $BW^{0.75}$ when compared to low RG animals (53.01 vs. 51.89 kg; $P < 0.01$). This information suggests that the RG is related to the physiological stage of animal. During the trial period, ADG (0.76 kg/d) was lower for LE-RG animals compared to HE-RG animals (0.95 kg/d), resulting in heavier HE-RG animals at the end of the trial ($P < 0.01$; Table 3). ADG was positively correlated with RG ($r = 0.91$, $P < 0.01$).

The problems of using feed conversion efficiency (FCE; DMI/ADG) as a selection criterion is widely discussed due to the relationships with growth

characteristics and body size, which would lead to the production of heavy animals with a higher maintenance requirement (Arthur and Herd, 2008). The HE-RG group had improved FCE ($P < 0.01$), a behavior similar to the HE-RFI group ($P = 0.03$). The FCE had a positive correlation with RFI ($r = 0.50$, $P = 0.01$) although was found negative correlation with RG ($r = -0.79$; $P < 0.01$). Similar correlation values between RFI and FCE were described by Lancaster et al. (2009) and Kelly et al. (2010a) in growing cattle ($r = 0.59$ and $r = 0.46$, respectively). This indicates that the selection for RFI would also improve the FCE. Like FCE, RG correlates with other efficiency measures, but it is independent of DMI and BW; then according Crowley et al. (2010), it becomes more suitable as a selection criterion in relation to FCE.

The water intake (**WI**) traits WI/BW and $WI/BW^{0.75}$ were similar ($P > 0.10$) between the groups divergent for RFI and RG, LE and HE. The WI/DMI was similar between the groups divergent for RG ($P = 0.88$), ranging from 2.84 to 2.88 L/kg/d. However, the HE-RFI group had higher WI/DMI compared to LE-RFI group ($P = 0.03$; Table 3) in response to the lower DMI of HE-RFI animals. The ambient temperature influences the water intake, which is necessary to eliminate excess heat through perspiration and respiration (NRC, 2001), besides being important in cellular metabolism and transport of waste products (NRC, 2016).

Silva et al. (2017) in a study involving a metabolism trial, using the same animals ranked by HE and LE for RFI, observed that HE-RFI animals lost less energy as heat, indicating that the higher WI/DMI may be associated with metabolic efficiency and thermoregulation. Parameters related to WI are generally neglected in trials focusing on feed efficiency and the higher WI/DMI of HE-RFI animals highlights the need for further studies to elucidate how WI influences feed efficiency. Positive

correlations of WI with DMI for RFI ($r = 0.55$, $P < 0.01$) and RG ($r = 0.47$, $P = 0.02$) was observed.

Body measurements

No differences were observed in body measurements at the beginning and end of the trial, as well as in the variation in measurements during the trial period between divergent groups (LE and HE) for RFI (Table 4). None of the body structure parameters were correlated with RFI. These results show that the HE-RFI classification has no influence on the body structure of the animals. Similar results were found by Ceacero et al. (2016) evaluating the hip height and heart girth of yearling and post weaning Nellore males and females, with no phenotypic correlation between these measurements with RFI. The results above, combined with the moderate heritability for RFI (0.27 to 0.43) are reported in the literature (Veerkamp et al., 1995, Williams et al., 2011, Berry and Crowley, 2013) and suggest that RFI can be incorporated into selection indexes with minimal effect on weight and body size (VandeHaar et al., 2016).

For RG groups, there was no difference between body structure measurements at the beginning of the trial, but there were differences with advancing age (Table 4). The averages for initial withers height and variation in withers height did not differ between RG groups (Table 4). Nevertheless, the HE-RG had a final withers height gain of 2.15 cm ($P < 0.01$).

The variation in hip height was higher ($P < 0.01$) for HE-RG (15.58 cm) than LE-RG (13.17 cm) and had a positive correlation with RG ($r = 0.57$; $P < 0.01$). The HE-RG had higher final hip height ($P < 0.01$).

The HE-RG animals had higher final heart girth ($P < 0.01$). After the trial period, the HE-RG animals had a heart girth gain of 26.33 cm while the LE-RG had a gain of 22 cm. The RG had high correlation with the variation in heart girth ($r = 0.76$; $P < 0.01$).

Ceacero et al. (2016) observed a correlation close to zero between RG and heart girth in Nellore cattle. On the other hand, the DMI was moderately correlated with hip height and heart girth (Ceacero et al., 2016). Owens et al. (1993) reported that high weight at maturity results in a greater need for energy to maintain the animal that, consequently, reaches puberty later. The use of feed efficiency measurements that correlate with higher weight at maturity may result in increased maintenance requirements, compromising reproductive efficiency under limiting nutritional conditions (Campos et al., 2012).

The selection of HE-RG animals may increase structural body characteristics at maturity and lead to higher maintenance requirements. However, greater gains in animal weight and growth may be associated with early sexual precocity, a desirable characteristic, especially for crossbred animals (*Bos taurus* x *Bos indicus*) which tend to reach the puberty later.

At the end of trial, the HE-RG group had 34.5 cm greater hip width ($P = 0.03$) than the 33.83 cm hip width of LE-RG group, 3.05 cm greater body depth ($P < 0.01$) compared to the LE-RG group, and a body depth 2.72 cm greater ($P = 0.01$) than LE-RG group. During the trial, body depth and body depth variation correlated with RG ($r = 0.42$, $P < 0.05$ and $r = 0.65$, $P < 0.01$, respectively).

Feeding behavior

HE-RFI animals had lower feeding rate per bout ($P = 0.04$) and lower feeding rate per meal ($P = 0.01$; Table 5). Kelly et al. (2010a,b) stated that a lower feeding rate indicates that animals spend more time in idleness, thus using less energy. Williams et al. (2011), Montanholi et al. (2010) and Fitzsimons et al. (2014) also found lower feeding rate for HE-RFI heifers, with no difference in time spent at the bunk between HE and LE-RFI heifers.

For the other feeding behavior variables, no relationship related to RFI was found for Gyrolando F1 heifers (Table 5). Montanholi et al. (2010) observed less meals visits and lower bunk visit frequency in HE-RFI compared to LE-RFI group for *Bos taurus* steers weighing 313 kg.

The HE-RG group had higher meal frequency ($P = 0.05$) and higher average meal duration ($P = 0.04$). The RG had a moderate and negative correlation with the average meal duration ($r = -0.41$, $P < 0.05$). This difference in feeding behavior can be justified by the relationship between body size and social dominance in cattle as the dominant animals usually spend more time eating and may have higher DMI (Grant and Albright et al., 2001).

There was no change in any of the parameters evaluated for water intake for both RFI and RG groups.

Infrared thermography

The HE-RFI group had higher maximum surface temperature of the upper part of muzzle ($P = 0.01$) and in the right rib region ($P = 0.03$). When the difference in maximum thermographic temperature between the left and right flank was evaluated, a greater and negative difference was observed for HE-RFI group ($P < 0.01$; Table 6) compared to LE-RFI group. Similar results were found by Martello et al. (2015) with higher forehead surface temperature ($T^{\circ} \text{C}$; $P < 0.01$) in a Nellore group of 18 HE-RFI animals (31.9°C) compared to LE-RFI (31.6°C). However, these results contrast with trials conducted in temperate countries, which reported lower temperatures of the eye, cheek, fore- and hind-limbs and muzzle in *Bos taurus* beef cattle (Montanholi et al., 2009; Montanholi et al., 2010) and of the teat and udder in Holstein Friesian cows (DiGiacomo et al., 2014) to HE-RFI animals.

Martello et al. (2015) state that the higher temperature in HE-RFI animals may confer greater efficiency of thermoregulatory mechanisms. Therefore, in the tropical environments, the conditions of heat stress are more frequent, being necessary the activation of the sensible and latent heat exchange thermoregulation mechanisms for controlling body temperature. Martello et al. (2015) found lower rectal temperature values in HE-RFI animals, suggesting that the dissipated heat can maintain the core body temperature lower than that of the LE-RFI group. Although the average rectal temperature value was not indicative of stress, the authors stated that the maximum rectal temperature values in Nellore (39.8°C), measured concomitantly with IRT, indicate rectal temperature values above normal physiological condition for cattle.

It is suggested that in a thermoneutral environment, the animals do not require the thermoregulatory functions and the heat dissipation by radiation represents the energy expenditure for maintenance. Under this condition, heat loss indicate that HE-RFI animals had lower skin temperature than LE-RFI animals (Martello et al., 2015). It is justified by the lower heat increment of feeding in animals that eat less for the same performance (Herd and Arthur, 2009).

In the present study, a negative correlation of RFI with the maximum surface temperature of the upper part of muzzle ($r = -0.59$, $P < 0.01$), right nose ($r = -0.44$, $P < 0.05$) and nasolabial plate ($r = -0.44$, $P < 0.05$) was found, as well as a positive correlation with left and right flanks ($r = 0.44$, $P < 0.05$). No difference in temperature was observed between the two groups divergent for RG.

CONCLUSIONS

The divergence for RFI does not affect the growth rate and body structure of Gyrolando F1 heifers. On the other hand, for RG, HE group had higher growth rate and

weight gain. HE-RFI heifers had lower feeding rate per bout and per meal. The HE-RG group had higher meal frequency and longer average meal duration. HE-RFI heifers group had higher maximum surface temperatures (upper part of muzzle, right ribs and difference in maximum thermographic temperature between the left and right flanks) and consume more water per kg of DM compared to LE-RFI.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors are grateful to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasília, Brazil), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasília, Brazil), Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia e Ensino Superior do Estado de Minas Gerais, Polo de Excelência do Leite (SECTES-MG, Belo Horizonte, Brazil), Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Belo Horizonte, Brazil), CAPES-PVE (CAPES-Pesquisador Visitante Especial, Brasília, Brazil) and Embrapa (Brasília, Brazil) for funding this project.

REFERENCES

- AOAC, (AOAC International). 1990. AOAC Official Method 990.12: Aerobic Plate Count in Foods. *JAOAC* 242:73.
- Arthur, J.P.F., and R.M. Herd. 2008. Residual feed intake in beef cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 37:269–279. doi:10.1590/S1516-35982008001300031.
- Arthur, P.F., G. Renand, and D. Krauss. 2001. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. *Livest. Prod. Sci.* 68:131–139. doi:10.1016/S0301-6226(00)00243-8.
- Bailey, J.C., L.O. Tedeschi, E.D.M. Mendes, J.E. Sawyer, and G.E. Carstens. 2012. Technical note: Evaluation of bimodal distribution models to determine meal

- criterion in heifers fed a high-grain diet. *J. Anim. Sci.* 90:2750–2753.
doi:10.2527/jas.2011-4634.
- Basarab, J.A., D. McCartney, E.K. Okine, and V.S. Baron. 2007. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. *Can. J. Anim. Sci.* 87:489–502. doi:10.4141/CJAS07026.
- Berry, D.P., and J.J. Crowley. 2013. CELL BIOLOGY SYMPOSIUM: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle 1. *J. Anim. Sci.* 91:1594–1613.
doi:10.2527/jas2012-5862.
- Berry, D.P., and J.E. Pryce. 2014. Feed Efficiency in Growing and Mature Animals. 10th World Congr. Genet. Appl. to Livest. Prod. 0:2009–2011.
- Bonilha, S.F.M., J.N. dos S.G. Cyrillo, G.P. dos Santos, R.H. Branco, E.G. Ribeiro, and M.E.Z. Mercadante. 2015. Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nellore males and females. *Trop. Anim. Health Prod.* 47:1381–1389. doi:10.1007/s11250-015-0875-7.
- Campos, M. M., L. G. R. Pereira, F. S. Machado, J. A. G. Azevedo, F. C. F. Lopes e T. R. Tomich. 2012. Aumentando a eficiência alimentar dos bovinos de leite através do melhoramento genético. In: Sociedade Brasileira De Melhoramento Animal – SBMA IX Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal. João Pessoa, PB, Brasil. 2012.
- Ceacero, T.M., M.E.Z. Mercadante, J.N.D.S.G. Cyrillo, R.C. Canesin, S.F.M. Bonilha, and L.G. De Albuquerque. 2016. Phenotypic and genetic correlations of feed efficiency traits with growth and carcass traits in nellore cattle selected for postweaning weight. *PLoS One* 11:1–11. doi:10.1371/journal.pone.0161366.
- Crossley, R.E., and T.J. Devries. 2017. Variability in behavior and production among dairy cows fed under differing levels of competition. *J. Dairy Sci.* 1–14.
doi:10.3168/jds.2016-12108.

- Crowley, J.J., M. McGee, D.A. Kenny, D.H. Crews, R.D. Evans, and D.P. Berry. 2010. Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. *J. Anim. Sci.* 88:885–894. doi:10.2527/jas.2009-1852.
- Davis, S.R., K.A. Macdonald, G.C. Waghorn, and R.J. Spelman. 2014. Residual feed intake of lactating Holstein-Friesian cows predicted from high-density genotypes and phenotyping of growing heifers. *J. Dairy Sci.* 97:1436–1445. doi:10.3168/jds.2013-7205.
- Digiacomio, K., L.C. Marett, W.J. Wales, B.J. Hayes, F.R. Dunshea, and B.J. Leury. 2014. Thermoregulatory differences in lactating dairy cattle classed as efficient or inefficient based on residual feed intake. *Anim. Prod. Sci.* 54:1877–1881. doi:10.1071/AN14311.
- Fitzsimons, C., D.A. Kenny, A.G. Fahey, and M. McGee. 2014. Feeding behavior, ruminal fermentation, and performance of pregnant beef cows differing in phenotypic residual feed intake offered grass silage. *J. Anim. Sci.* 92:2170–2181. doi:10.2527/jas2013-7438.
- Gibb, D. J. & McAllister, T. A. 1999. The impact of feed intake and feeding behaviour of cattle on feedlot and feedbunk management. Proceedings of the 20th Western Nutrition Conference on Marketing to the 21st Century.
- Gomes, R. A., K. C. Busato, M. M. Ladeira, K. A. Johnson, M. C. Galvão, A. C. Rodrigues, D. Lourençoniand M. L. Chizzotti. 2016. Technical note: Relationship between infrared thermography and heat production in young bulls *J. Anim. Sci.* 94:1105–1109.
- Grant, R.J., and J.L. Albright. 2001. Effect of Animal Grouping on Feeding Behavior and Intake of Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 84:E156–E163. doi:10.3168/jds.S0022-

0302(01)70210-X.

- Green, T.C., J.G. Jago, K.A. Macdonald, and G.C. Waghorn. 2013. Relationships between residual feed intake, average daily gain, and feeding behavior in growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 96:3098–3107. doi:10.3168/jds.2012-6087.
- Grion, A.L., M.E.Z. Mercadante, J.N.S.G. Cyrillo, S.F.M. Bonilha, E. Magnani, and R.H. Branco. 2014. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 92:955–965. doi:10.2527/jas2013-6682.
- Herd, R.M., and P.F. Arthur. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87. doi:10.2527/jas.2008-1345.
- Hoffman, P.C. 1995. Optimum Growth Rates for Holstein Replacement Heifers. *Calves, heifers, dairy Profitab.* 1–10.
- Kelly, A.K., M. McGee, D.H. Crews, A.G. Fahey, A.R. Wylie, and D.A. Kenny. 2010a. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *J. Anim. Sci.* 88:109–123. doi:10.2527/jas.2009-2196.
- Kelly, A.K., M. McGee, D.H. Crews, T. Sweeney, T.M. Boland, and D.A. Kenny. 2010b. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 88:3214–3225. doi:10.2527/jas.2009-2700.
- Koch, R. M., L. A. Swiger, D. Chambers, and K. E. Gregory. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 22:486-494.
- Khan, M.A., H.J. Lee, W.S. Lee, H.S. Kim, S.B. Kim, K.S. Ki, S.J. Park, J.K. Ha, and Y.J. Choi. 2007. Starch source evaluation in calf starter: I. Feed consumption, body weight gain, structural growth, and blood metabolites in Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 90:5259–68. doi:10.3168/jds.2007-0338.

- Lancaster, P.A., G.E. Carstens, F.R.B. Ribeiro, L.O. Tedeschi, and D.H. Crews. 2009. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. *J. Anim. Sci.* 87:1528–1539. doi:10.2527/jas.2008-1352.
- Martello, L.S., C. Gomes, R. Ruegger, S. Corte, and P.R. Leme. 2015. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. doi:10.1007/s00484-015-1015-9.
- McGee, M., J.A. Ramirez, G.E. Carstens, W.J. Price, J.B. Hall, and R.A. Hill. 2014. Relationships of feeding behaviors with efficiency in RFI-divergent Japanese Black cattle. *J. Anim. Sci.* 92:3580–3590. doi:10.2527/jas2013-7360.
- Mendes, E.D.M., G.E. Carstens, L.O. Tedeschi, W.E. Pinchak, and T.H. Friend. 2011. Validation of a system for monitoring feeding behavior in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 89:2904–2910. doi:10.2527/jas.2010-3489.
- Mertens, D.R. 1997. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 80:1463–1481. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2.
- Montanholi, Y.R., N.E. Odongo, K.C. Swanson, F.S. Schenkel, B.W. McBride, and S.P. Miller. 2008. 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*). *J. Therm. Biol.* 33:468–475. doi:10.1016/j.jtherbio.2008.09.001.
- Montanholi, Y.R., K.C. Swanson, R. Palme, F.S. Schenkel, B.W. McBride, D. Lu, and S.P. Miller. 2010. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Animal* 4:692–701. doi:10.1017/S1751731109991522.

- Montanholi, Y.R., K.C. Swanson, F.S. Schenkel, B.W. McBride, T.R. Caldwell, and S.P. Miller. 2009a. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest. Sci.* 125:22–30. doi:10.1016/j.livsci.2009.02.022.
- Montanholi, Y.R., K.C. Swanson, F.S. Schenkel, B.W. McBride, T.R. Caldwell, S.P. Miller, N.E. Odongo, K.C. Swanson, F.S. Schenkel, B.W. McBride, and S.P. Miller. 2009b. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *J. Therm. Biol.* 33:468–475. doi:10.1016/j.jtherbio.2008.09.001.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Oliveira, B.R., M.N. Ribas, F.S. Machado, J.A.M. Lima, L.F.L. Cavalcanti, M.L. Chizzotti, and S.G. Coelho. 2017. Validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behaviour and intake in young cattle. *Animal* 1–6. doi:10.1017/S1751731117002002.
- Owens, F.N., P. Dubeski, and C.F. Hansont. 1993. Factors that Alter the Growth and Development of Ruminants1f2 ABSTRACT :. *J. Anim. Sci.* 71:3138–3150. doi:/1993.71113138x.
- SILVA, D. C. 2017. *Metabolismo em novilhas Girolando com fenótipos divergentes para eficiência alimentar*. Itapetinga, BA: UESB, 2017. 85 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes)
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583–3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- VandeHaar, M.J., L.E. Armentano, K. Weigel, D.M. Spurlock, R.J. Tempelman, and R.

- Veerkamp. 2016. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency 1. *J. Dairy Sci.* 99:4941–4954. doi:10.3168/jds.2015-10352.
- Veerkamp, R.F., and G.C. Emmans. 1995. Sources of genetic variation in energetic efficiency of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 44:87–97. doi:10.1016/0301-6226(95)00065-0.
- Williams, Y.J., J.E. Pryce, C. Grainger, W.J. Wales, N. Linden, M. Porker, and B.J. Hayes. 2011. Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia. *J. Dairy Sci.* 94:4715–4725. doi:10.3168/jds.2010-4015.
- Xi, Y.M., F. Wu, D.Q. Zhao, Z. Yang, L. Li, Z.Y. Han, and G.L. Wang. 2016. Biological mechanisms related to differences in residual feed intake in dairy cows. *Animal* 10:1311–1318. doi:10.1017/S1751731116000343.

TABLES AND FIGURE

Table 1. Ingredients and nutrient composition of TMR

Item	TMR
<i>Ingredients</i>	
Soybean Meal, g/kg ¹	240
Mineral Mix, g/kg ¹	10
Corn Silage, g/kg ¹	750
<i>Nutrient Composition</i>	
DM, g/kg	437.4
OM, g/kg ¹	933.9
CP, g/kg ¹	177.8
EE, g/kg ¹	28.2
NDF _{ap} , g/kg ¹	430.6
ADF, g/kg ¹	234.4
NFC, g/kg ¹	297.3
GE, MJ/kg ¹	17.9

¹DM basis; EE = ether extract; NDF_{ap} = neutral detergent fiber corrected for ash and protein; GE = gross energy.

Table2. Variables of feeding behavior and water intake

Parameters	Definition
Bunk visit frequency (BVF; events/d)	Bunk visit frequency over 24 hours regardless of the amount of feed consumed.
Bunk visit duration (BVD; min/d)	Time spent at each bunk visit over 24 h regardless of the amount of feed consumed.
Average bunk visit duration (ABVD; min/event)	Average time spent on each bunk visit over 24 h; regardless of the amount of feed consumed. BVD/BVF
Feed bout frequency (FBF; events/d)	Bunk visit frequency over 24 h when feed intake at the visit is > 0 . BVF with feed intake >0
Feed bout duration (FBD; min/d)	Sum of time spent at each bunk visit over 24 h when feed intake at the visit is >0 . BVD with intake >0
Average feed bout duration (AFBD; min/event)	Average time spent on each bunk visit over 24 h when feed intake at the visit is >0 . FBD/FBF
Average intake per bout (AIB; kg/event)	Average amount of feed ingested per bunk visit over 24h when feed intake at the visit is >0 . Average intake per visit

Feeding rate per bout (FRB; kg/min)	Average feed intake speed during bunk visits over 24h when feed intake at the visit is >0. AIB/AFBD
Meal criterion (MC; min)	Longest interval between bunk visits that includes the bunk visit as part of the same meal.
Meal frequency (MF; events/d)	Number of meals events over 24h; regardless of the amount of feed consumed.
Meal duration (MD; min/d)	Sum of time spent at each meal event over 24h; regardless of the amount of feed consumed.
Average meal duration (AMD; min/event)	Average time spent on each meal event over 24h regardless of the amount of feed consumed. MD/MF.
Average intake per meal (AIM; kg/event)	Average feed intake per meal event over 24h.
Feeding rate per meal (FRM; kg/min)	Average feed intake speed during meals event .
Average bunk visit frequency per meal (ABVFM; event/meal)	Average number of bunk visits per meal event over 24 hours, regardless of the amount of feed consumed. BVF/MF
Average feed bout frequency per	Average number of feed bout frequency (feed

meal

intake > 0) in each meal event over 24 horas.

(AFBFM)

Table 3. Performance and feed efficiency indexes of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) groups from calculation of residual feed intake (RFI) and residual weight gain (RWG)

Traits (unit)	RFI					RWG					
	HE		LE		SEM	<i>P</i>	<i>r</i>	HE		LE	
	(n=12)	(n=12)	(n=12)	(n=12)				(n=12)	(n=12)	SEM	<i>P</i>
RFI (kg/d)	-0.27	0.30	0.07	<0.01	-	-	-	-	-	-	-
RG (kg/d)	-	-	-	-	-	0.09	-0.09	0.02	<0.01	-	-
Start age (d)	151.75	153.25	6.65	0.67	-	137.60	162.75	6.53	0.02	-0.41*	-
Start BW (kg)	156.25	154.00	3.84	0.62	-	149.38	153.25	4.28	0.16	-	-
Final BW (kg)	250.16	252.08	4.98	0.32	-	253.75	237.54	5.53	<0.01	-	-
BW in the middle of the trial (kg)	201.94	200.47	4.36	0.72	-	199.54	193.86	4.84	<0.01	-	-
BW ^{0.75} in the middle of the trial (kg)	53.51	53.23	0.87	0.71	-	53.01	51.89	0.98	<0.01	-	-

DMI (kg DM/d)	4.61	5.14	0.12	<0.01	0.52**	4.76	4.69	0.13	0.21	-
ADG (kg/d)	0.86	0.87	0.02	0.58	-	0.95	0.76	0.02	<0.01	0.91**
Feed conversion efficiency(DMI/ADG)	5.42	5.97	0.15	0.03	0.50**	5.03	6.20	0.17	<0.01	-0.79**
Water intake (L/d)	14.67	13.74	0.74	0.67	-	13.51	13.41	0.68	0.63	-
Water intake / BW (L/kg/d)	0.07	0.07	0.01	0.52	-	0.07	0.07	0.01	0.74	-
Water intake / BW ^{0.75} (L/kg/d)	0.28	0.26	0.01	0.62	-	0.26	0.26	0.01	0.95	-
Water intake/DMI (L/kg/d)	3.17	2.65	0.13	0.03	-	2.84	2.88	0.12	0.88	-

* Correlation $P < 0.05$; ** Correlation $P < 0.01$.

ADG = ?

Table 4. Morphometric measurements of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) from calculation of residual feed intake (RFI) and residual weight gain (RWG)

Traits (unit)	RFI		RWG						
	HE	LE	SEM	<i>P</i>	HE	LE	SEM	<i>P</i>	<i>r</i>
	(n=12)	(n=12)			(n=12)	(n=12)			
Initial heart girth	121.75	122.08	0.92	0.25	120.75	120.92	1.15	0.31	-
Final heart girth	146.08	146.67	0.94	0.39	147.08	142.92	1.06	<0.01	-
Variation in heart girth	24.33	24.58	0.61	0.84	26.33	22.00	0.66	<0.01	0.76 **
Initial withers height	99.00	98.00	0.87	0.91	98.25	97.33	0.93	0.27	-
Final withers height	112.91	111.42	0.70	0.14	112.73	110.58	0.75	<0.01	-
Variation in withers height	14.46	12.92	0.58	0.19	15.09	13.25	0.60	0.13	-
Initial hip height	104.08	102.82	0.84	0.42	103.08	102.75	0.93	0.18	-
Final hip height	118.00	117.25	0.73	0.66	118.67	115.92	0.77	<0.01	-
Variation in hip height	13.92	14.27	0.41	0.13	15.58	13.17	0.43	<0.01	0.57 **
Initial hip width	25.17	24.67	0.32	0.46	24.58	24.25	0.30	0.25	-

Final hip width	34.50	34.33	0.30	0.30	34.50	33.83	0.35	<0.01	-
Variation in hip width	9.67	9.67	0.24	0.96	9.92	9.58	0.25	0.37	-
Initialbody depth	50.17	50.50	0.56	0.59	49.67	49.42	0.64	0.29	-
Final body depth	58.67	58.67	0.40	0.69	59.42	56.70	0.53	<0.01	0.42 *
Variation inbody depth	8.50	8.17	0.56	0.77	9.75	6.70	0.51	<0.01	0.65 **
Initialchest width	27.00	27.42	0.50	0.47	26.92	26.92	0.56	0.81	-
Final chest width	34.50	34.42	0.36	0.88	34.67	33.92	0.38	0.04	-
Variation inchest width	7.50	7.00	0.43	0.57	7.92	7.00	0.43	0.30	-

*Correlation, $P < 0.05$; ** Correlation, $P < 0.01$.

Table 5. Feeding behavior of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) from calculation of residual feed intake (RFI) and residual weight gain (RWG)

Traits (unit)	RFI		SEM	<i>P</i>	RWG		SEM	<i>P</i>
	HE	LE			HE	LE		
	(n=12)	(n=12)			(n=12)	(n=12)		
<i>Feeding behavior</i>								
Bunk visit frequency (events/d)	136.34	135.85	8.27	0.97	130.96	130.30	7.31	0.97
Bunk visit duration (min/d)	165.65	158.46	5.09	0.49	158.24	170.87	4.77	0.19
Average bunk visit duration (min/event)	1.31	1.29	0.09	0.93	1.27	1.44	0.09	0.36
Feed bout frequency (events/d)	109.88	108.95	6.48	0.87	104.95	104.62	5.60	0.98
Feed bout duration (min/d)	150.62	143.56	5.06	0.50	144.85	155.78	4.56	0.24
Average feed bout duration (min/event)	1.50	1.46	0.12	0.89	1.45	1.65	0.11	0.40
Average intake per bout (kg/event)	0.05	0.05	0.00	0.49	0.05	0.05	0.00	0.66
Feeding rate per bout (kg/min)	0.017	0.019	0.00	0.04	0.02	0.02	0.00	0.18
Meal criterion (min)	8.59	8.83	0.75	0.92	8.21	11.06	1.01	0.93

Meal frequency (events/d)	13.49	14.31	0.73	0.42	14.54	11.65	0.74	0.05
Meal duration (min/d)	268.17	262.15	8.41	0.73	256.52	284.65	9.14	0.13
Average meal duration (min/event)	21.50	20.92	1.44	0.75	27.12	19.65	1.90	0.04
Average intake per meal (g/event)	359	393	20	0.33	352	430	28	0.09
Feeding rate per meal (g/min)	31	37	2	0.01	34	30	1	0.29
Average bunk visit frequency per meal (event/meal)	10.35	10.02	0.67	0.92	9.56	11.87	0.94	0.27
Average feed bout frequency per meal	8.30	8.06	0.53	0.94	7.66	9.44	0.70	0.25
Average feed bout duration per average meal duration	8.21	8.54	0.55	0.63	8.95	6.99	0.60	0.08
<i>Water intake</i>								
Water bin visit frequency (events/d)	5.74	6.05	0.28	0.59	5.76	5.93	0.26	0.75
Total water bin visit duration (min/d)	21.41	25.04	1.56	0.25	23.01	24.10	1.73	0.76
Water bin visit duration (min/event)	3.71	4.18	0.22	0.24	4.04	4.06	0.27	0.97
Visit frequency with WI (events/d)	5.50	5.90	0.28	0.48	5.52	5.81	0.25	0.58
Total visit duration with WI (min/d)	20.44	25.17	1.58	0.14	22.98	23.07	1.69	0.98
Visit duration with WI (min/event)	3.70	4.32	0.23	0.14	4.19	3.99	0.27	0.72

WI per visit (kg/event)	2.71	2.37	0.11	0.12	2.44	2.42	0.12	0.67
Drinking rate (kg/min)	0.76	0.60	0.05	0.12	0.65	0.65	0.05	0.99

Table 6. Maximum temperature (°C) of different body sites of dairy heifers classified as high efficiency (HE) and low efficiency (LE) from calculation of residual feed intake (RFI) and residual gain (RWG) measured by infrared thermography

Site	RFI		RWG						
	HE	LE	SEM	P	r	HE	LE	SEM	P
	(n=12)	(n=12)				(n=12)	(n=12)		
Medial canthus	38.19	37.75	0.16	0.17	-	38.17	37.63	0.16	0.36
Eye	38.33	37.93	0.11	0.06	-	38.25	37.91	0.10	0.38
Right cheek	34.87	34.59	0.17	0.42	-	34.84	34.45	0.20	0.33
Upper part of muzzle	36.02	34.46	0.32	0.01	-0.59 **	35.73	34.86	0.33	0.19
Right nose	34.27	32.75	0.42	0.07	-0.44 *	34.27	33.21	0.41	0.20
Nasolabial plate	33.63	32.47	0.37	0.12	-0.44 *	33.55	32.60	0.36	0.19

Right ribs	34.59	33.75	0.20	0.03	-	34.20	33.91	0.21	0.51
Right flank	35.14	34.10	0.30	0.08	-	34.76	34.05	0.31	0.26
Left flank	34.49	34.49	0.26	0.94	-	34.53	34.13	0.26	0.46
Right front limb	32.85	32.81	0.29	0.94	-	33.08	32.80	0.30	0.66
Anus	39.40	39.13	0.13	0.28	-	39.33	39.08	0.13	0.36
Vulva	37.72	38.03	0.18	0.39	-	37.84	37.93	0.17	0.79
Difference between left and right flanks	-0.65	0.39	0.20	<0.01	0.44 *	-0.23	0.08	0.20	0.46
Average maximum body core temperature	35.81	35.25	0.21	0.19	-	35.71	35.21	0.18	0.17

* Correlation, $P < 0.05$; ** Correlation, $P < 0.01$.

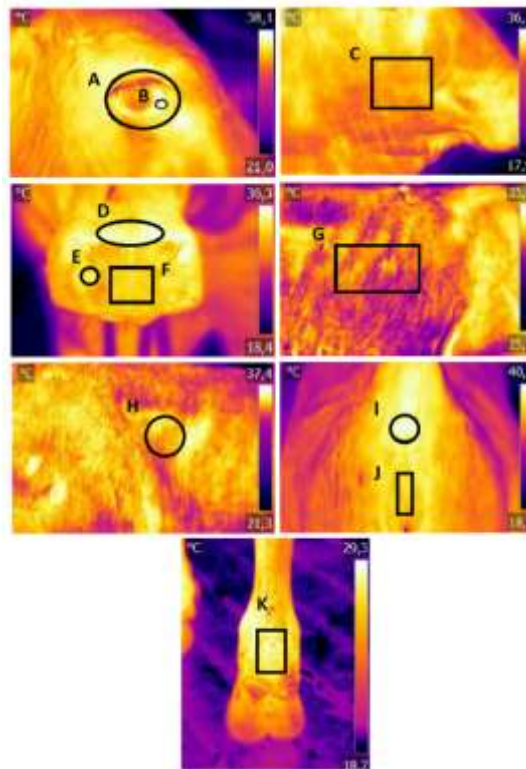

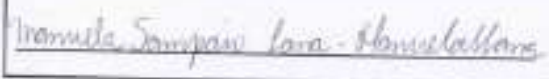


Figure 1. Infrared thermography of body sites and shapes used to define body locations during image interpretation: eye (A), medial canthus (B), cheek (C), upper part of muzzle (D), right nose (E), nasolabial plate (F), right ribs (G), right flank (H), anus (I), vulva (J), and right front limb (K).

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Embrapa Gado de Leite

		
PARECER		
PROTOCOLO CEUA-EGL Nº:02/2014	Data de entrada: 14/02/2014 Data sessão: 12/03/2014	
TÍTULO: EFICIÊNCIA ALIMENTAR, PARÂMETROS PRODUTIVOS E COMPORTAMENTAIS PARA BEZERRAS F1 HOLANDÊS X GIR		
PESQUISADOR(A) RESPONSÁVEL: Mariana Magalhães Campos		
CONSIDERAÇÕES:		
O detalhamento apresentado atende ao solicitado no formulário, estando o projeto adequado para aprovação final pelo CEUA.		
<ul style="list-style-type: none">• Período de realização da pesquisa: 01/09/2014 a 01/09/2016• Nº de animais utilizados na pesquisa e espécie: 40 bovinos		
RETORNAR AO PESQUISADOR	SIM ()	NÃO (X)
CONCLUSÃO: APROVADO (X) COM PENDÊNCIA () NÃO APROVADO ()		
Nome e Assinatura do Presidente/Secretário da CEUA-EGL:		
		
<small>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Rua Eugênio de Souza Aguiar, 616 - Barra D'Água - 30520-000 - Belo Horizonte - Minas Gerais Telefone: (31) 3211-1432 Fax: (31) 3211- www.embrapa.br</small>		

RESOLUÇÃO DA COMISSÃO

Protocolo nº: 02/2014

A Comissão de Ética No Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite, no dia 19 março de 2014, **APROVOU** os procedimentos éticos apresentados neste Protocolo, referente ao projeto/experimento: **EFICIÊNCIA ALIMENTAR, PARÂMETROS PRODUTIVOS E COMPORTAMENTAIS PARA BEZERRAS F1 HOLANDÊS X GIR**

Manuel da Silva

Presidente/Secretário da CEUA-EGL

