



**RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR, VARIÁVEIS
PRODUTIVAS E METABÓLICAS EM NOVILHAS
GIROLANDO F1**

RAQUEL DE MELO COSTA

2019



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR, VARIÁVEIS
PRODUTIVAS E METABÓLICAS EM NOVILHAS
GIROLANDO F1**

Autora: Raquel de Melo Costa
Orientador: Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

ITAPETINGA
BAHIA –BRASIL
Fevereiro de 2019

RAQUEL DE MELO COSTA

**RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR, VARIÁVEIS PRODUTIVAS
E METABÓLICAS EM NOVILHAS GIROLANDO F1**

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Gustavo R. Pereira
Coorientadores: Dr. Thierry ribeiro Tomich
Dra. Mariana Magalhães Campos

ITAPETINGA
BAHIA –BRASIL
Fevereiro de 2019

636.085 Costa, Raquel de Melo.
C875r Relação entre eficiência alimentar, variáveis produtivas e metabólicas em novilhas Girolando F1. / Raquel de Melo Costa. – Itapetinga-BA: UESB, 2019. 93 f.

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação do Prof. D.Sc. Luiz Gustavo R. Pereira e coorientação do Prof. D.Sc. Thierry Ribeiro Tomich e Prof^a. D.Sc. Mariana Magalhães Campos.

1. Novilhas Girolando – Consumo alimentar residual. 2. Novilhas Girolando – Ganho de peso residual. 3. Bovinos - Eficiência alimentar – Pasto ou confinamento. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação de Doutorado em Zootecnia, *Campus* de Itapetinga. II. Pereira, Luiz Gustavo Ribeiro. III. Tomich, Thierry Ribeiro. IV. Campos, Mariana Magalhães. V. Título.

CDD(21): 636.085

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB 535-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Novilhas Girolando – Consumo alimentar residual
2. Novilhas Girolando – Ganho de peso residual
3. Bovinos - Eficiência alimentar – Pasto ou confinamento

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Área de Concentração: Produção de Ruminantes

Campus Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: "Relação entre eficiência alimentar e variáveis produtivas e metabólicas em novilhas Girolando F1."

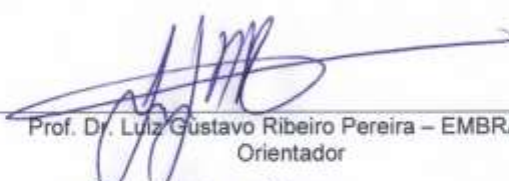
Autor (a): Raquel de Melo Costa

Orientador (a): Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Co-orientador (a): Prof. Dr. Mirto José Frota Morenz

Prof. Dr. Mariana Magalhães Campos

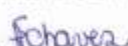
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:



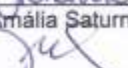
Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira – EMBRAPA
Orientador




Prof. Dr. Alexandre Lima Ferreira – UFSJ



Prof. Dr. Amália Saturnino Chaves - UFJF



Prof. Dr. Thierry Ribeiro Tomich - EMBRAPA



Prof. Dr. Mirton José Frota Morenz – EMBRAPA

Data de realização: 28 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

À Deus pela força e por seu amor infinito e imensurável

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária por ter me possibilitado desenvolver este trabalho

Aos meus pais Gilmar e Edilene, aos meus irmãos; Gideone, Junior e Claudia e aos meus sobrinhos; Lara, Enzo e Analu pelo amor, dedicação, confiança, paciência e compreensão dos momentos de ausência

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Ao orientador Professor Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, por coordenar este estudo e me amparar nas vezes que foi preciso, por toda paciência e pela força para continuar a caminhada, e os puxões de orelha, quando preciso, muito obrigada!!

Aos co-orientadores Thierry Ribeiro Tomich, Mariana Campos pelo auxílio e colaboração na pesquisa

Ao pesquisador Mirton José Frota Morenz e ao Alexandre Lima pela colaboração durante todo o desenvolvimento das atividades do experimento, assim como na escrita, pela paciência e perseverança em meu trabalho, e a professora Amália Saturnino Chaves pelos conhecimentos e profissionalismo

A todos os funcionários e colaboradores da EMBRAPA e da UESB em especial: Raquel Costa e ao coordenador da PPZ professor Fábio Teixeira Andrade, pelo carinho e apoio aos alunos da PPZ

Às pessoas queridas, que de alguma forma colaboraram com esta pesquisa e aquelas com quem convivi durante este período, por toda amizade, carinho, risadas, choros, alegrias e frustrações que passamos juntos.

BIOGRAFIA

RAQUEL DE MELO COSTA, filha de Edilene Aparecida de Melo Costa e Gilmar Ferreira da Costa, nasceu em Montes Claros, no estado de Minas Gerais, dia 26 de maio de 1988. Em 22 de dezembro de 2012, concluiu o curso de Zootecnia, na Universidade Estadual de Montes Claros – Campus Avançado de Janaúba, Minas Gerais. Em março de 2015, concluiu o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção de Animal, na mesma instituição. Em março de 2015, iniciou o curso de doutorado no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração produção de ruminantes, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, realizando estudos na área de nutrição de ruminantes na Embrapa Gado de Leite.

SUMÁRIO

	Páginas
I- REFERENCIAL TEÓRICO.....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. EFICIÊNCIA ALIMENTAR.....	3
3. CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL (CAR)	4
4. GANHO DE PESO RESIDUAL (GPR)	7
5. CONSUMO E GANHO RESIDUAL (CGR).....	8
6. EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO ALIMENTAR (ECA)	8
7. CONSUMO DE ÁGUA	9
8. EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO E TÉCNICA DA MÁSCARA FACIAL.....	10
9. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	12
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
II- OBJETIVOS	21
OBJETIVO GERAL.....	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
III- CAPÍTULO I.....	22
RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR, VARIÁVEIS PRODUTIVAS E METABÓLICAS EM NOVILHAS GIROLANDO F1 SOB PASTEJO DE GRAMÍNEAS TROPICAIS.....	22
MATERIAL E MÉTODOS	27
DISCUSSÃO	38
CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
V CAPITULO II	47
RELAÇÃO ENTRE DIVERGÊNCIA FENOTÍPICA DE	

EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM NOVILHAS F1 GIROLANDO CONFINADAS COM CONSUMO, TROCAS GASOSAS E METABOLISMO	47
INTRODUÇÃO.....	49
MATERIAL E MÉTODOS	51
RESULTADOS	57
DISCUSSÃO	66
CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
CONSIDERAÇÕES GERAIS	77

LISTA DE ABREVIATURAS

AE	Alta eficiência
BE	Baixa eficiência
BHBA	Beta hidroxibutirato
CA	Conversão Alimentar
CAR	Consumo Alimentar Residual
CEUA	Comissão de Ética no Uso de Animais
CGR	Consumo e Ganho Residual
CH ₄	Gás Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
Cm	Centímetros
CMS	Consumo de Matéria Seca
CNF	Carboidratos Não Fibrosos
CR	Câmaras Respirométricas
CV	Coefficiente de Variação
DP	Desvio Padrão
EA	Eficiência Alimentar
EB	Energia Bruta
ECA	Eficiência de Conversão Alimentar
ECC	Escore de Condição Corporal
ED	Energia Digestível
EE	Extrato Etéreo
EF	Energia Fecal
EL	Energia Líquida
EM	Energia Metabolizável
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPC	Eficiência Parcial de Crescimento
FDA	Fibra em Detergente Ácido
FDN	Fibra em Detergente Neutro
GEE	Gases do Efeito Estufa
g/d	Gramas por Dia
GMD	Ganho Médio Diário
GPD	Ganho de Peso Diário
GPR	Ganho de Peso Residual
h	Horas
H ₂	Hidrogênio
HG	Holandês x Gir
IC	Incremento Calórico
IGF-1	Fator de Crescimento Semelhante à Insulina-1
Kcal	Quilocaloria
Kg	Quilograma
L	Litro
LAA	Laboratório de Análise de Alimentos
Mcal	Megacalorias
MG	Minas Gerais
mg	Miligramas
m	Metro
mm	Milímetros
mL	Mililitro
mmol/ L	Milimol por Litro
MJ	Megajoule
MS	Matéria Seca
MO	Matéria Orgânica

O ₂	Oxigênio
PB	Proteína Bruta
PC	Produção de Calor
PV	Peso Vivo
RTM	Ração total misturada
TIV	Termografia Infravermelhoc
µg/mL	Micrograma por Mililitro
vs	Versus
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
>	Maior
<	Menor

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO I.

Tabela 1. Composição química-bromatológica do capim <i>Cynodon</i> spp. e do concentrado	27
Tabela 2. Consumo de matéria seca, consumo de nutrientes e desempenho em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)	34
Tabela 3. Consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono e de metano em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)	35
Tabela 4. Temperatura de diferentes locais da superfície do corpo em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e e eficiência de conversão alimentar (ECA) mensurado por termografia infravermelha....	36
Tabela 5. Medidas morfométricas em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)	37
Tabela 6. Consumo de água em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA) ..	37

CAPÍTULO II

Tabela 1. Composição química-bromatológica da silagem e do concentrado.....	52
Tabela 2. Consumo de matéria seca, consumo de nutrientes e desempenho em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo de água residual (CRA)	60
Tabela 3. Parâmetros respiratórios e emissão de metano em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA).....	61
Tabela 4. Temperatura de superfície de corpo obtida por termografia infravermelha em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)	62
Tabela 5. Medidas morfométricas em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência	

(BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)63

Tabela 6. Consumo de água em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)63

Tabela 7. Parâmetros de comportamento de consumo de água e comportamento consumo de dieta total de novilhas de alta e baixa eficiência para consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)64

Tabela 8. Metabólitos sanguíneos em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA).65

RESUMO

COSTA, Raquel de Melo. **Relação entre eficiência alimentar e variáveis produtivas e metabólicas em novilhas Girolando F1**. Itapetinga, BA: 93 p. UESB, 2019. (Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes).

Foram avaliados os efeitos da divergência fenotípica para diferentes índices de eficiência alimentar (EA) no consumo de matéria seca, desempenho, medidas morfométricas, emissão de metano entérico (CH₄), metabólitos sanguíneos, temperaturas corporais e comportamento ingestivo de alimento e água. Foram conduzidos dois experimentos, o primeiro em sistema à pasto e o segundo em sistema de confinamento. Trinta e cinco novilhas F1 Girolando (½ Holandês ½ Gir) foram ranqueadas para consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA) e classificadas em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE). Para o ensaio a pasto, as novilhas foram manejadas em sistema de pastejo rotacionado em capim *Cynodon* spp., recebendo 2 kg de concentrado e utilizado o dióxido de titânio (TiO₂) para estimar o consumo de forragem e o consumo de água foi mensurado em bebedouros eletrônicos. No ensaio em confinamento, o consumo de água e de alimentos foram obtidos em cochos e bebedouros eletrônicos. Foram realizadas avaliações comuns a ambos experimentos; produção de calor, consumo de O₂, produção de CO₂ e de CH₄, obtidos através de máscara facial, as temperaturas do olho, focinho, flanco esquerdo e direito, membro anterior direito e vulva utilizando termografia infravermelha (TIV) e medidas morfométricas com auxílio de hipômetro. Realizou-se análises de concentrações plasmáticas de insulina, glicose, e β- hidroxibutirato somente no ensaio de confinamento. As médias das variáveis para os grupos de AE e BE foram submetidas a ANOVA e realizado estudo de correlações de Pearson entre os índices de EA. No ensaio a pasto as novilhas de AE para o CAR e o CGR consumiram 13% a menos de matéria seca (MS). A produção de CH₄ (g/dia) dos animais do grupo de BE para CAR foi 5% inferior em relação ao grupo de AE, o rendimento de CH₄ (g/kg de CMS) foi 13% inferior para novilhas AE para CAR e CGR. A emissão de CH₄ g/kg/GMD foi menor para o grupo de AE considerando os índices GPR e ECA. As temperaturas obtidas por TIV foram semelhantes entre AE e BE para todos índices de EA. Apenas a profundidade corporal diferiu entre as medidas morfométricas avaliadas, encontrando-se maiores valores para o grupo de BE para CAR e CGR. O consumo de água (L/dia) não diferiu para os grupos divergentes de novilhas. No ensaio de confinamento, as novilhas de AE para CAR e CGR consumiram 13% a menos de MS. A produção de CH₄ g/dia e o rendimento de CH₄ (g/kg CMS) foram semelhantes entre os grupos divergentes para todos os índices, no entanto, quando expresso em g/dia/GMD, o grupo de AE apresentou menor emissão de CH₄ para os índices GPR, CGR e ECA. Para o índice CAR a temperatura mínima de olho obtida por TIV foi maior (1,24°C) para novilhas de BE e as temperaturas máxima, mínima e média de vulva foram maiores para novilhas de AE. As medidas morfométricas, o consumo de água (L/dia) e as concentrações dos metabólitos sanguíneos foram semelhantes entre os grupos de AE e BE para os índices avaliados. As diferenças entre as variáveis produtivas, nutricionais, fisiológicas, termográficas e metabólicas dos grupos de AE e BE variam de acordo com o índice de EA adotado e de forma distinta entre ensaios realizados a pasto ou em confinamento.

Palavras-chave: confinamento, consumo alimentar residual, ganho de peso residual, metano, pasto, termografia infravermelha.

*Orientador: Dr Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, EMBRAPA e coorientadores: Dra. Mariana Magalhães campos e Dr Thierry Ribeiro Tomich

ABSTRACT

COSTA, Raquel de Melo. **Relationship between feed efficiency and productive and metabolic variables in Girolando F1 heifers**. Itapetinga, BA: 103 p. UESB, 2018 (PhD in Animal Science, Area of Concentration in Ruminant Production)

The effects of phenotypic divergence on dry matter intake, performance, morphometric measurements, enteric methane emission (CH₄), blood metabolites, body temperatures and ingestive behavior of feed and water were evaluated. Two experiments were conducted, the first in pasture and the second in feedlot system. Thirty-five F1 Girolando heifers (½ Holstein ½ Gir) were ranked to residual feed intake (RFI), residual gain (RG), residual intake and gain (RIG) and feed conversion efficiency (FCE) in groups of high (HE) and low efficiency (LE). For the pasture trial, heifers were managed in a rotating grazing system in *Cynodon* spp. grass, receiving 2 kg of concentrate. Titanium dioxide (TiO₂) was used as an external indicator for the estimation of fecal excretion and, based on the *in vitro* digestibility values of forage, the forage intake was calculated and the water consumption was measured in electronic troughs. In the feedlot assay, water and feed consumption were obtained in electronic feed bins and troughs. Evaluations were carried out common to both experiments; (O₂ consumption, CO₂ and CH₄ production), obtained through facial mask, temperatures of the eye, muzzle, left and right flank, right anterior limb and vulva using infrared thermography (TIV) and morphometric measurements, obtained with the aid of a hypometer. Plasma concentrations of insulin, glucose, and β-hydroxybutyrate were performed only in the confinement assay. The means of the variables for the HE and LE groups were submitted to ANOVA and Pearson correlations were made for the AE indices and analyzed variables. In the grazing trial, heifers from HE to RFI and RIG consumed 13% less dry matter (DM). The production of CH₄ (g / day) of animals from the LE to RFI group was 5% lower than the HE group, the CH₄ yield (g / kg DMI) was 13% lower for RFI- RIG. The emission of CH₄ g / kg by metabolic weight was 13% lower for the LE group considering the RG and FCE indexes. The temperatures obtained by TIV were similar among groups of heifers diverging for all HE indexes. Only the body depth differed from the morphometric measurements, being higher values for the group of LE for RIF and RIG. Water consumption (L / day) did not differ for the different groups of heifers. In the confined animal trial, heifers from HE to RFI and RIG consumed 13% less than DM. The production of CH₄ g / day and the yield of CH₄ (g/kg DMI) were similar between the divergent groups for all indexes, however, when expressed in g/day/ADG, the HE group presented lower CH₄ emission for the RG, RIG and FCE indexes. For the RFI index the minimum eye temperature obtained by TIV was higher (1,24 °C) for LE heifers and maximum, minimum and average vulva temperatures were higher for HE heifers. Morphometric measures, water consumption (L/day) and concentrations of blood metabolites were similar between the HE and LE groups for the indexes evaluated. The differences between the productive, nutritional, physiological, thermographic and metabolic variables of the more and less efficient groups vary according to the FE index adopted and, in a different way, between pasture and confinement tests.

Key words: confinement, infrared thermography, methane, pasture, residual feed intake, residual gain

*Advisor: PhD Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, EMBRAPA and coadvisors: PhD Mariana Magalhães campos and PhD Thierry Ribeiro Tomich

I- REFERENCIAL TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO GERAL

A população humana tende a crescer para mais de 9 bilhões de pessoas até 2050. Assim, a demanda por consumo de produtos de origem animal (carne e o leite) deverá aumentar em torno de 73% (FAO, 2015). Neste cenário, há o desafio de produção sustentável com a melhor utilização de recursos, aliado a preocupação com os consumidores, que estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade, à origem dos alimentos que consomem e o impacto ambiental gerado no processo produtivo. A melhoria da eficiência alimentar (EA) dos animais pode contribuir para que essa demanda seja atendida.

Potencializar o menor consumo e melhorar utilização dos alimentos pelos animais resulta em menor utilização de terras cultivadas para lavouras e pastagens, menor produção de fezes, menor produção de gases de efeito estufa, como o CH₄ e o óxido nitroso (Knapp et al., 2014; von Keyserlingk et al., 2013). Aliado a estes benefícios o aumento da EA, ainda possibilita a redução de gastos com o item que mais onera a produção de proteína de origem animal, a alimentação.

Existem diversos índices de eficiência alimentar (EA), como a eficiência de conversão alimentar (CA, kg alimento consumido/kg ganho) consumo alimentar residual (CAR), ganho residual (GPR) propostos por Koch et al., (1963) e o consumo e ganho residual (CGR) descrito por Berry & Crowley, (2013). De uma forma geral a EA é caracterizada pela relação entre unidades de saída (*outputs*) do produto final por unidades entrada (*inputs*) de alimentação.

A limitação da introdução da EA em programas de melhoramento genético é consequência das dificuldades de mensuração individual do consumo alimentar, que é onerosa, demorada e requer a avaliação de grande número de animais. Métodos que permitam selecionar animais mais eficientes de forma rápida, consistente, acurada, não invasiva e passíveis de serem aplicadas nas fazendas vêm sendo estudadas e podem ser baseadas na diferenças existentes entre animais mais e menos eficientes para as variáveis de produção, comportamento, temperatura da superfície corporal por termografia

infravermelha, trocas gasosas, produção de CH₄ e perfil metabólico (DiGiacomo et al., 2014; Fitzsimons et al., 2014; Martello et al., 2015; Montanholi et al., 2008; Montanholi et al., 2009; Kelly et al., 2010 a,b; 2010; Williams et al., 2011).

Estudos relacionados à eficiência alimentar em bovinos leiteiros ainda são incipientes e limitados a animais taurinos criados em países de clima temperado (Davis et al., 2014; Fitzsimons et al., 2013; Green et al., 2013; Williams et al., 2011).

As pesquisas envolvendo animais zebuínos leiteiros e cruzados em sistemas a pasto e em confinamento serão importantes para que no futuro, características genéticas relacionadas a eficiência alimentar, possam ser introduzidas em programas de melhoramento de raças adaptadas às condições tropicais.

Os estudos no Brasil que envolvem os parâmetros de avaliação de EA, são recentes e relacionam-se principalmente a bovinos de corte da raça Nelore, preenchendo uma lacuna de falta de informações relacionadas às características de EA para bovinos zebuínos adaptados às condições tropicais (Chaves et al., 2015; Grion et al., 2014; Mercadante et al., 2015; Nascimento et al., 2015; Oliveira et al., 2014; Oliveri et al., 2016; Tizioto et al., 2015). Em 2014, foi iniciado na Embrapa Gado de Leite o projeto de “Desenvolvimento e integração de métricas de eficiência alimentar para bovinos leiteiros”, focado em EA para bovinos leiteiros, contemplando animais Girolando (*Bos taurus taurus* × *Bos taurus indicus*) e Gir, visto que a maioria do leite produzido no Brasil provém de vacas que tenham em sua composição genética as raças Gir e Holandês (Canaza-cayo et al., 2016; Madalena et al., 1992)

Nessa tese são apresentados os resultados de dois ensaios de EA com novilhas leiteiras Girolando F1 conduzidos no projeto da Embrapa. O primeiro foi conduzido com animais a pasto e o segundo em confinamento, que geraram os artigos “Relação entre eficiência alimentar e variáveis produtivas e metabólicas em novilhas Girolando F1 sob pastejo de gramíneas tropicais” e “Relação entre divergência fenotípica de eficiência alimentar com consumo, trocas gasosas e metabolismo em novilhas F1 Girolando confinadas” formatados para submissão nas revistas *Tropical and Animal Health* e *Journal Dairy Science*.

2. EFICIÊNCIA ALIMENTAR

A eficiência alimentar (EA) é uma característica complexa e possui conceito amplo. De modo geral é descrita por unidade de entrada de alimentação (*inputs*), sendo a proteína, a energia ou o valor econômico, por unidades de saída (*outputs*) de produtos, sejam o leite ou a carne. Para a análise da EA deve-se considerar toda a longevidade de um animal e englobar a alimentação em todas as fases de desenvolvimento incluindo, novilhas em crescimento e vaca secas, bem como os produtos (VandeHaar et al., 2016).

A EA já é utilizada como medida de produtividade para bovinos de corte, suínos, peixes e aves e tem adoção crescente na pecuária leiteira. O monitoramento de EA e sua inclusão como medida e critério de seleção se depara com algumas limitações, tais como a necessidade de mensuração de consumo de alimentos em grande escala, o que gera custos elevados.

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, na tentativa de quantificar a capacidade dos animais em converter o alimento ingerido em produto (Bonilha et al., 2015; Berry & Crowley, 2013; Crowley et al., 2010; Gomes et al., 2012; Grion et al., 2014;).

Benefícios econômicos como resultado da redução do consumo de ração, sem alterar o crescimento pode resultar em economia nove vezes maior nos custos de alimentação quando comparado à economia gerada pelo aumento em 5% no ganho médio diário (Berry & Crowley., 2013).

Segundo Arthur & Herd (2008), existe uma variação individual na eficiência de utilização dos nutrientes entre animais com características semelhantes. Dependem de fatores como a ingestão de alimentos, peso corporal, estado fisiológico, composição do ganho de peso, condições ambientais, idade e fatores intrínsecos ligados à eficiência, isto é, taxas de digestão, absorção e eficiência de utilização da energia e proteína metabolizável (NRC, 2001), assim como a digestibilidade da dieta (Paulino et al., 2008), somados à efeitos ambientais.

Em sua maioria as medidas de EA exigem determinações precisas de consumo de matéria seca e nutrientes. Berry & Crowley (2013) de forma abrangente revisou formas alternativas de calcular a eficiência alimentar, que eles definiram como sendo categorizados em: (1) características de razões e (2) características residuais ou de regressão. Entre esses índices estão a eficiência de conversão alimentar (ECA), descrita por

Fitzhugh Júnior & Taylor (1971). As características residuais incluem a taxa de conversão alimentar, como o resíduo de produção (por exemplo, rendimento de leite ou ganho de peso) para o alimento consumido, ou o inverso, que é a eficiência de conversão de alimentos (Korver, 1988). A conversão alimentar (CA), o consumo alimentar residual (CAR), o ganho de peso residual (GPR) proposto por (Koch et al., 1963) e o consumo e ganho residual (CGR) proposto por Berry & Crowley (2013). Esses índices permitem identificar animais de alta capacidade produtiva com menor utilização de alimentos.

A medida de eficiência alimentar mais utilizada nos programas de melhoramento genético é a conversão alimentar, porém, para pecuária leiteira não é considerada a mais adequada, uma vez que existe correlação com o peso adulto. Desta forma, quando são selecionados animais pela conversão alimentar aumenta-se o peso das vacas adultas, o que não é desejável pelo aumento concomitante da exigência de manutenção, representando assim aumento no consumo de energia e diminuindo a eficiência econômica da atividade (Berry & Crowley, 2013).

3. CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL (CAR)

Atualmente para avaliar a EA, as pesquisas têm sido direcionadas para o consumo alimentar residual (CAR), mas em estudos relacionados com bovinos leiteiros ainda são escassos e limitados a *Bos taurus taurus*, criados em regiões de clima temperado (Davis et al., 2014; Fitzsimons et al., 2014; Green et al., 2013; Williams et al, 2011). O CAR é definido como a diferença entre o consumo real e o consumo estimado, baseado no peso vivo metabólico do animal e ganho médio diário (Koch et al., 1963). O CMS esperado (CMSesp) é obtido por modelo de regressão linear múltipla, com dados reais de peso e/ou produção para exigências de manutenção recomendadas pelo National Research Council (NRC, 2001), em que o CMS observado (CMSobs) é a variável dependente e PV metabólico no meio do teste (PVMMT) e ganho médio diário (GMD) como variáveis independentes; $[CMSobs = \beta_0 + (\beta_1 \times GMD) + (\beta_2 \times PVMMT)]$ (Gomes et al., 2012; Martello et al., 2015). Na equação gerada, os termos β_0 , β_1 e β_2 são valores 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).

Os animais mais eficientes possuem valores de CAR negativos, consomem

menos que o esperado, enquanto animais ineficientes têm CAR positivo ou elevados e consomem mais do que o esperado em relação ao grupo contemporâneo. Para animais em crescimento ou não lactantes, o cálculo do consumo residual é relativamente mais fácil, pois é nessa fase a mudança do escore de condição corporal é estável, sendo a correção da exigência de manutenção mais simples. Por outro lado, o CAR em vacas em lactação é mais complexo, pois há a energia adicional com a mobilização do tecido corporal para sustentar a lactação (Pryce et al., 2014).

O CAR permite a comparação entre indivíduos, pois é um índice fenotipicamente independente das características de produção usadas para calcular o consumo esperado da dieta (Arthur & Herd, 2008) e da diluição de manutenção (VandeHaar et al., 2016). Tais atributos sugerem que seja uma medida de eficiência metabólica pois captura conceitualmente a variação em atividade de *turnover* protéico, digestibilidade e incremento calórico. A variação genética no CAR permite que a sua seleção para maior eficiência gere progênies que comem menos sem comprometer o desempenho, proporcionando reais oportunidades para reduzir a quantidade de alimento para produção animal (Herd, 2009).

Estudos anteriores relataram herdabilidades baixas a moderadas de 0,14 a 0,68 para CAR em bovinos de corte (Duruna et al, 2011; Fan et al., 1995) e 0,38 para novilhas leiteiras em crescimento (Pryce et al., 2014; Williams et al., 2011).

Richardson & Herd (2004), definiram a base biológica para variação fenotípica para CAR, indicaram a diferença na digestibilidade como responsável por 10% da variação biológica, o nível de atividade em 10%, o incremento calórico em 10%, a composição corporal em 5% e o padrão de alimentação em 2%, já o turnover proteico, o metabolismo dos tecidos e o estresse foram responsáveis por 37% e “outros processos de alimentação” com representatividade de 27%.

Em uma população de Novilhas Holstein – Friesian na Nova Zelândia e Austrália, 10% dos animais, de alta eficiência para CAR, consumiram 15% a 20% a menos de forragem ($P < 0,001$) em relação a novilhas de baixa eficiência (Williams et al., 2011; Waghorn et al., 2012).

Connor et al. (2012) encontraram para vacas Holandesas em lactação, com o menor CAR em relação à média do rebanho, CMS 15% menor ($P < 0,0001$) em relação as vacas com o CAR mais alto ($> 0,5$ s.d. acima da média). As vacas neste estudo foram avaliadas para CAR durante os primeiros 90 dias lactação e alimentados com ração mista total. Da mesma forma, Coleman et al. (2010) avaliando vacas Holstein-Friesian de

paridades mistas com baixo CAR em regime de pastejo, observaram o CMS 5 % menor entre ($P < 0,1$) que vacas com alto CAR.

Foi observado associação entre o CAR e o comportamento alimentar (Green et al., 2013; Lin et al., 2013). Lin et al. (2013) concluíram que o tempo de alimentação foi geneticamente associada ao CAR em 842 novilhas em crescimento na Austrália e que a taxa de alimentação é correlacionada fenotipicamente ao CAR ($0,23 \pm 0,04$) sugerindo que as novilhas que comeram lentamente melhoraram a eficiência alimentar. Green et al. (2013) relataram diferenças significativas fenotípicas entre animais extremos para CAR e tempo gasto consumindo. Resultados de 813 bovinos também mostraram que o CAR está correlacionado à alimentação e duração em que as correlações fenotípicas e genéticas foram 0,49 e 0,57, respectivamente (Nkrumah et al., 2006).

A seleção para a redução de produção de CH_4 pode ser complexa, porque é ainda mais oneroso mensurar, do que o CMS. No entanto, há estudos de seleção para CAR com tais objetivos (Hegarty et al., 2007). Resultados foram relatados por Nkrumah et al. (2006) que estimaram uma correlação fenotípica de 0,44 ($P < 0,05$) entre CAR e produção de CH_4 em 27 novilhos. Para o gado leiteiro, Haas et al. (2011) sugeriram que selecionando vacas mais eficientes, a produção de CH_4 poderia ser reduzida em até 26% em um período de 10 anos. Utilizando linhas divergentes de vacas Angus (alto CAR e baixa CAR), Jones et al. (2011) relataram que as diferenças fenotípicas podem não ser mantidas de acordo dieta e encontraram menores emissões de CH_4 para o grupo mais eficientes quando os animais foram alimentados com pastagem de altas características nutritivas, no entanto em pastagens de verão com características nutritivas mais baixas, a produção de metano não diferiu entre os grupos avaliados. As tecnologias de mensuração de CH_4 em desenvolvimento podem em breve fornecer registros fenotípicos individuais dos animais, para possibilitar a seleção para este parâmetro.

Apesar das vantagens apresentadas, o CAR apresenta como limitações de utilização em programas de melhoramento genético, a mensuração individual do consumo alimentar é onerosa e demorada, dificultando avaliações para eficiência alimentar com grande número de animais e Nascimento et al., (2015), observou que ocorre a dispersão dos dados da relação entre o consumo observado e predito, sugerindo assim, por mais que todos os animais de CAR negativo sejam eficientes, indivíduos com menor consumo e ganho podem ser menos lucrativos.

A produção de leite não diferiu em estudos com grupos de vacas leiteiras, em lactações divergentes para CAR em e Davis et al. 2014; Macdonald et al. (2014; 2016).

Herd et al. (2014) e Arthur et al. (2010), observaram que bovinos mais eficientes para CAR, apresentam menor gordura entre as costelas em relação aos menos eficientes. Para a utilização do CAR como critério de seleção, esse fato deve ser levado em consideração pois, animais mais eficientes perdem mais peso vivo após o parto e podem ter períodos mais prolongados de balanço energético negativo, prejudicando a fertilidade (Roche et al., 2007).

Deve-se aumentar as pesquisas referente a bovinos leiteiros, para avaliar os impactos na seleção genética para menor CAR nas características produtivas, incluindo fertilidade, saúde, taxa de descarte, longevidade e balanço energético negativo (BEN) e produção de leite.

4. GANHO DE PESO RESIDUAL (GPR)

O ganho de peso residual (GPR) é uma medida geralmente utilizada para identificação de variação na EA para animais em crescimento. Usando o princípio semelhante ao CAR, Koch et al. (1963) propôs o GPR, que é calculado ajustando o ganho de peso para a ingestão de alimentos. O ganho médio diário esperado (GMDesp) é obtido por regressão linear múltipla (Grion et al., 2014). No segundo componente da equação, utiliza-se a informação do GMD observada (GMDobs) no teste. Isto significa que as diferenças entre indivíduos para GMD serão independentes de diferenças na quantidade de alimento ingerido e no peso vivo. Dessa forma, a variação em GMD, relaciona-se à variação na capacidade de conversão do alimento em peso vivo (Gomes et al., 2012).

Os animais mais eficientes são classificados com valores positivos e mais altos, isto é, animais consumindo a mesma quantidade e ganho de peso maior do que os esperados são considerados mais eficientes.

O GPR está altamente correlacionado com o ganho de peso e, portanto, pode ser confundido por sua forte correlação com outras características produtivas. Esse índice não apresenta diferença no consumo de matéria seca, mas por outro lado, está associado a taxas de crescimento mais rápidas, um importante variável para lucro do sistema (Crowley et al., 2010).

Ceacero et al. (2016) 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 (0,56) também para animais da raça Nelore.

5. CONSUMO E GANHO RESIDUAL (CGR)

O consumo e ganho residual (CGR) agrega o CAR e o GPR. Este índice é calculado pela soma de $-1 \times \text{CAR}$ e GR de cada animal, ambos calculados em função do peso médio metabólico, fato que o torna independente do peso corporal. Berry & Crowley (2013) propuseram esse índice, diante as limitações que o CAR e o GPR apresentaram. De acordo com estes autores foi uma maneira de preencher a lacuna do CAR, que é por definição, fenotipicamente não correlacionado com ganho de peso, e, por isso, pode resultar em baixa aceitação pela indústria devido ao baixo ganho de peso que parte dos animais de baixo CAR podem apresentar. Adicionalmente, a falta de correlação de GPR com consumo alimentar cria uma situação similar.

O CGR é um índice que pode melhorar os índices produtivos sem elevar o tamanho e o peso corporal adulto dos animais. O índice foi sugerido para identificar animais de crescimento mais acelerado e ao mesmo tempo, que consumam menos alimento sem diferenças no peso vivo do animal. Para esse índice os animais mais eficientes apresentam valores mais elevados e positivos (Berry & Crowley, 2013).

Berry & Crowley.(2013) avaliaram a eficiência pelo CGR de bovinos confinados e observaram que os animais mais eficientes (CGR positivo) apresentaram menor consumo de matéria seca (10,4 vs 11,0 kg/dia) e ganho de peso superior (1,81 vs 1,40 kg/dia) em relação aos animais menos eficientes (CGR negativo). Neste estudo o CGR foi positivamente correlacionado com ganho médio diário ($r = 0,40$) e não foi observada correlação entre CGR e peso vivo final.

Nascimento et al. (2016) ao estudarem novilhos Nelore verificaram que os mais eficientes para CGR consumiram menos e apresentaram maior GMD em relação aos menos eficientes (1,37 kg/dia vs 1,09 kg/dia, respectivamente). Chaves (2013) observou a relação do CMS e consumo de nutrientes digestíveis totais com o CGR para bovinos e constatou que os animais eficientes apresentaram CMS 11,7% menor comparados aos ineficientes.

6. EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO ALIMENTAR (ECA)

A eficiência de conversão alimentar foi um dos principais métodos para avaliar a eficiência alimentar e utilizado ao longo dos anos e seu inverso, a eficiência alimentar bruta. O índice eficiência de conversão alimentar (CMS/GMD) foi proposto por Korver

(1988) e apresenta relação com a taxa de crescimento. Assim, as seleções genéticas para esse índice podem resultar em aumento do tamanho adulto, bem como maior demanda de nutrientes dos animais selecionados. Os animais com valores de ECA alto são mais eficientes (Berry & Crowley et al., 2013).

A ECA não considera a mobilização de reservas corporais, conseqüentemente os animais que perdem condição corporal para produção de leite podem ser aparentemente mais eficientes, especialmente se a avaliação é feita no início da lactação (Berry & Pryce, 2014).

Ardnt et al. (2015), ao avaliarem a variação da ECA de vacas em lactação, encontraram maior consumo de MS, menor excreção de nitrogênio (42%) e menor produção de esterco por kg de leite para os animais mais eficientes. As quantidades diárias de CH₄ e CO₂, expressos por g/d foram semelhantes. A porcentagem de perdas de energia bruta nas fezes foi maior (28,6 vs 25,9%), mas as perdas via urina (2,76 vs 3,40%) e CH₄ (5,23 vs 6,99%) foram menores para o grupo de vacas de alta ECA. Vallimont et al. (2011), estudaram ECA em gado leiteiro e encontraram alta correlação com a produção e reportaram herdabilidade de 0,22±0,04. No entanto relataram aumento do escore de composição corporal (ECC) mais limitado para as vacas mais eficientes para ECA.

7. CONSUMO DE ÁGUA

A produção sustentável de alimentos de origem animal ressurgiu no topo da agenda política por duas razões: demanda elevada e crescente por alimentos de origem animal (FAO, 2015) e o desafio de produzir alimentos de origem animal de forma eficiente em termos de utilização dos recursos naturais (Aiking, 2014; Johnston et al., 2014; Steinfeld et al., 2013). A perspectiva de limitações hídricas para o desenvolvimento de atividades agropecuárias é foco de discussão no mundo (Busscher, 2012; Molden et al., 2011; Ridoutt et al., 2014), assim, compreender a distribuição e as demandas por água na produção pecuária vêm sendo alvo de pesquisa nos últimos anos.

Os animais possuem 2/3 do seu peso corporal composto por água, tornando-a um dos elementos de maior importância na alimentação animal. A água atua como solvente, meio de transporte de substâncias, auxilia reações de hidrólises, funciona como lubrificante e tampão, além de ser um importante fator na regulação térmica dos organismos e pode ser obtida por três vias, consumo voluntário, água ingerida ligada aos alimentos e água decorrente de reações do organismo (Gonçalves et al.2009).

O consumo de água é uma das necessidades básicas vitais mais importantes e, a falta de água pode causar a morte rapidamente, perdendo apenas para o oxigênio, mas ainda é uma variável pouco avaliada na experimentação animal. 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).

A exigência de água pelos bovinos está relacionada a fatores intrínsecos ao animal, como lactação, estágio de maturidade e raça, ou extrínsecos, como a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a altitude. Animais sem suprimento adequado de água diminuem sua produtividade, produção de leite, crescimento e o consumo do alimento. Além disso podem aumentar a duração dos ciclos reprodutivos, diminuindo a rentabilidade dos sistemas.

Apesar, de haver conhecimento quanto à predição de ingestão de água, poucos estudos têm abordado o comportamento de ingestão do gado leiteiro. 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).

A medição do comportamento de ingestão de água pelas vacas é desafiadora, já que o tempo de consumo de água é de apenas 5,5-6,8 min por dia, podendo variar de 1,3 a 33,3 min (Huzzey et al., 2005) e envolve de 6,6 a 9,5 episódios (Huzzey et al., 2005; Cardot et al., 2008). Cardot et al. (2008) encontraram a relação de 4,1 L água /kg de MS consumido.

8. EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO E TÉCNICA DA MÁSCARA FACIAL

A agricultura é apontada como responsável por 18% das emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) e os ruminantes contribuem 4% das emissões de GEE via emissão de CH₄ entérico (Knapp et al., 2014). Dentre os GEE que promovem o aquecimento global, os principais são o dióxido de carbono (CO₂), CH₄ e o óxido nitroso (N₂O). O CH₄ é considerado o segundo em importância quanto ao aquecimento global, ficando atrás somente do CO₂ (Zotti, Paulino 2009). O CH₄ é um produto da fermentação ruminal, processo responsável pela conversão dos componentes dos alimentos (carboidratos e nitrogênio) em metabólitos utilizados pelo animal, como os ácidos graxos voláteis (AGVs), proteína microbiana e as vitaminas do complexo B. O CH₄ e o CO₂ não

são aproveitados pelo hospedeiro e são eliminados quase em sua totalidade via respiração e eructação (Van Soest, 1994).

O consumo é o principal responsável pelas emissões de CH₄ dos ruminantes (Moraes et al., 2014), e esse é influenciado pelo peso, nível de produção (rendimento e composição do leite), taxa de crescimento e qualidade da ração (por exemplo, proporção de forragem, conteúdo de proteína e fibra). Uma variedade de outros fatores ligados aos animais, de manejo e ambientais também pode influenciar o consumo de alimentos e possivelmente pode-se ligar ao perfil de AGV (Negussie et al., 2017).

Práticas de manejo e a melhoria da EA podem ser adotadas para a mitigação do CH₄ entérico. Estudos realizados no Canadá, voltados para seleção de animais de maior EA (CAR), evidenciaram menor emissão de CH₄ para os animais mais eficientes.

A EA diminui o H₂ que é substrato para a produção de CH₄ pelas *Archaea*, desta forma altera a relação acetato:propionato, reduzindo a intensidade de emissão de CH₄ por unidade de produto (Knapp et al., 2014).

McDonnell et al. (2016) objetivando examinar o efeito da classificação fenotípica divergente de novilhas para o CAR sobre as emissões de CH₄, digestibilidade da dieta e índices de fermentação ruminal em novilhas, reportaram correlação de 0,42 ($p < 0,05$) entre CH₄ g/d e CMS e 0,49 ($p < 0,05$) entre CH₄ g/d e CMS/g/kg PV^{0,75} respectivamente.

Waghorn et al. (2012), não observaram diferenças nas emissões de CH₄ entre vacas leiteiras divergentes para CAR. Já nos estudos de Nkrumah et al. (2006); Hegarty et al. (2007); Jones et al. (2011) e Fitzsimons et al. (2013) os animais de baixo CAR (mais eficientes) apresentaram menor produção de CH₄/d sem afetar a produtividade.

A quantificação do CH₄ entérico pode ser avaliada por métodos que diferem na aplicação, custo, exatidão e precisão (Hammond et al., 2016). A técnica de máscara facial tem sido utilizada em bovinos, ovinos e caprinos (Washburn & Brody, 1937). O princípio desta técnica é semelhante ao de câmara respirométrica em termos de medição de trocas gasosas e mudanças na concentração de CH₄ exalado. Geralmente os sistemas de medição por máscara facial envolvem duas linhas de amostragem separadas, sendo uma linha principal que recolhe o ar com auxílio de máscara facial e uma segunda linha que recolhe amostra do ar normal. Fernández et al. (2012) e López et al. (2012) utilizaram a máscara facial e determinaram a produção de CH₄ em cabras alimentadas com diferentes níveis de amido no final da lactação. A técnica permite avaliações em intervalos curtos de tempo, permitindo aumentar o número de animais alimentados e o custo de avaliação de variáveis respiratórias. Além disso, a sua mobilidade permite a avaliação in loco, próximo das

condições de criação da fazenda das trocas respiratórias e também tem sido usado como método para medir partição de energia em ruminantes (Brosh, 2007). Oss et al. (2016) concluíram que a técnica de máscara facial gerou medições de CH₄ entérico comparáveis àquelas estimadas usando o método do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆) ou câmara respirométrica.

9. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A termografia infravermelha (TIV) é uma técnica alternativa aos métodos invasivos utilizados para avaliar alterações fisiológicas, metabólicas, transferência de calor e fluxo sanguíneo. Destaca-se para a pesquisa por ser uma técnica moderna, segura e que permite disponibilizar resultados de forma rápida (Hurnik et al. 1984; Kortba et al. 2007; Stelletta et al. 2012; Nääs et al. 2014; Roberto et al. 2014; Rekant et al. 2016; McManus et al. 2016).

A técnica é baseada no princípio de que todos os corpos formados de matéria emitem certa carga de radiação infravermelha, proporcional a sua temperatura. Essa radiação pode ser capturada e gerar o termograma que expressa o gradiente térmico em cores (Eddy et al. 2001; Sümbera et al. 2007; Ziproudina et al. 2006;).

As mudanças que ocorrem na temperatura superficial dos animais provêm do metabolismo e de fontes externas e estão relacionadas a vários processos fisiológicos, até mesmo com a eficiência alimentar (Montanholi et al., 2008). Uma vez ingerido, a energia alimentar produz calor em todos os estágios do processo metabólico e parte é dissipada no ambiente e se irradia no espaço (Cunningham, 2008). Assim, o calor emitido por capilares superficiais, pode ser quantificado usando a TIV (Stewart et al., 2008; Montanholi et al., 2010). Este gasto de energia pode refletir as funções metabólicas e estar diretamente relacionada ao equilíbrio da temperatura corporal, a termorregulação (Martello et al., 2015)

A TIV pode prever a produção de calor e a emissão de CH₄, sendo considerada relativamente mais simples e rápida que os métodos convencionais (Baowei et al., 2007). Montanholi et al. (2009) relataram que as porções distais do quartos posteriores e temperaturas da face foram os locais mais apropriados do corpo para avaliar indiretamente a eficiência alimentar de forma relativamente mais barata, simples e com menor tempo para obtenção dos resultados.

Colyn et al. (2013) avaliaram o consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de

corte divergentes para CAR e encontraram temperaturas médias de ganacha (19,88°C) inferiores para o grupo mais eficiente em relação ao grupo menos eficiente (21,29°C) e médias das temperaturas do globo ocular tenderam a ser maiores nos grupos de alto CAR ($P = 0,07$). Concluíram que a TIV foi um método promissor para predizer o CAR, mostrando-se útil para vacas adultas, bovinos em crescimento e bezerros.

A técnica da avaliação da TIV no globo ocular, ganacha, focinho e costelas de bovinos de corte, classificadas como baixo, médio e alto CAR, foram avaliados por Montanholi et al. (2009). Os animais de baixo CAR apresentaram temperaturas da ganacha e focinho mais baixas que animais menos eficientes para CAR (28,1°C vs 29,2°C e 30,0°C vs 31,2°C).

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKING, H., 2014. Protein production: planet, profit, plus people? **American Journal of Clinical Nutrition**. 100, 483Se489S. Aldaya, M.M., Allan, J.A., Hoekstra, A.Y., 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecol. Econ.* 69, 887e894.
- ARNDT, C.; POWELL, J. M.; AGUERRE, M. J.; WATTIAUX, M. A. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 418–430, 2015.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, p.269-279, 2008.
- BAOWEI, W., ENCUI, Y., GENHUI, X., JINKU, H., 2007. Theoretical study of reaction paths and transition states on conversion methane into C2 hydrocarbons through plasma. **Chinese Journal of Chemical Engineering**. 15 (1), 44–50.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. CELL BIOLOGY SYMPOSIUM : Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle 1. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 1594–1613, 2013.
- 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., 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 Nelore males and females. **Tropical Animal Health Production** 47:1381–1389. doi:10.1007/s11250-015-0875-7.
- BUSSCHER, W., 2012. Spending our water and soils for food security. **Journal Soil Water Conservation** 67, 228e234
- BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. **Journal of Animal Science**, v.85, p.1213-1227, 2007.
- CARDOT, V.; LE ROUX, Y.; JURJANZ, S. Drinking behavior of lactating dairy cows and 225 prediction of their water intake. **Journal of Animal Science.**, v.91, p.2257-2264, 2008.
- 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 Nelore cattle selected for postweaning weight. **PLoS One** 11:e0161366
- COLEMAN, J., D.P. BERRY, K.M. PIERCE, A. Brennan, and B. Horan. 2010. Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein-Friesian within pasture-based systems of milk production. **Journal of Animal Science**. 93:4318–4331.

COLYN, J. J. **Relationship of Radiated Heat Loss Measured by Infrared Thermography to Residual Feed Intake in Beef Heifers.** 2013.111p. Doctoral dissertation, University of Alberta.

CONNOR, E.E., J.L. HUTCHISON, K.M. OLSON, AND H.D. NORMAN. 2012. TRIENNIAL LACTATION SYMPOSIUM: Opportunities for improving milk production efficiency in dairy cattle. **Journal of Animal Science.** 90:1687–1694. doi:10.2527/jas2011-4528.

CHAVES, A.S.; NASCIMENTO, M. L.; TULLIO, R.R.; ROSA, A.N.; ALENCAR, M.M.; LANNA, D.P. Relationship of efficiency indices with performance, heart rate, oxygen consumption, blood parameters, and estimated heat production in Nelore steers. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 5036-5046, 2015.

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. **Journal of Animal Science**, v.88, p.885–894, 2010.

CUNNINGHAM, J.G. Tratado De Fisiologia Veterinária. 3 edi Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.579, 2008.

DAVIS, S. R.; MACDONALD, K. A.; WAGHORN, G. C.; SPELMAN, R. J. Residual feed intake of lactating Holstein-Friesian cows predicted from high-density genotypes and phenotyping of growing heifers. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1436–1445, 2014. Elsevier.

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), **Pecuaría de leite no Brasil: Cenários e avanços tecnológicos.** Embrapa, Brasília, DF, ed.1, p.265-284, 2016.

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

DURUNNA, O. N.; WANG, Z.; BASARAB, J. A.; OKINE, E. K.; MOORE, S. S. Phenotypic and genetic relationships among feeding behavior traits, feed intake, and residual feed intake in steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3401–3409, 2011.

EDDY AL, VANHOOGMOED LM, SNYDER JR (2001) The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. **Veterinary of Journal**, 162:172-181.

FAO. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical databases.

FERNÁNDEZ, C., LÓPEZ, M.C. AND LACHICA, M. 2012. Description and function of a mobile open-circuit respirometry system to measure gas exchange in small ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, 172, 242-246.

FAN, L.Q.; BAILEY, D.R.C.; SHANNON, N.H. Genetic parameter estimation of

postweaning gain, feed intake and feed efficiency for Hereford and Angus bulls fed two different diets. **Journal of Animal Science**, v. 73, p.365-372, 1995.

FITZHUGH JUNIOR, H.A.; TAYLOR, ST.C.S. Genetic analysis of degree of maturity. **Journal of Animal Science**, v.33, p.717-725, 1971.

FITZSIMONS, C.; KENNY, D. A.; DEIGHTON, M. H.; FAHEY, A. G.; MCGEE, M. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 12, p. 5789–5800, 2013.

GOMES, R. C.; SAINZ, R. D.; SILVA, S. L.; et al. Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. **Livestock Science**, v. 150, n. 1–3, p. 265–273, 2012.

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. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 5, p. 3098–3107, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030213001732>>. .

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 Nellore cattle. **Journal of Dairy Science Anim. Sci.** 92:955–965. doi:10.2527/jas.2013-6682.

HAAS, Y., J.J. WINDIG, M.P.L. CALUS, J. DIJKSTRA, M. DE HAAN, A. BANNINK, AND R.F. VEERKAMP. 2011. Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. **Journal of Dairy Science** 94:6122–6134. doi:10.3168/jds.2011-4439.

HAMMOND, K. J., L. A. CROMPTON, A. BANNINK, J. DIJKSTRA, D. R. YÁÑEZ-RUIZ, P. O'KIELY, E. KEBREAB, M. A. EUGÈNE, Z. YU, K. J. SHINGFIELD, A. SCHWARM, A. N. HRISTOV, AND C. K. REYNOLDS. 2016. Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. **Animal Feed Science Technology**.219:13–30.

HEGARTY, R.S., J.P. GOOPY, R.M. HERD, AND B. MCCORKELL. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Dairy Science** 85:1479–1486. doi:10.2527/jas.2006-236.

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. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.2454–2461, 2005.

HERD, R. M.; ODDY, V. H.; RICHARDSON, E. C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 4–5, p. 423–430, 2004.

JONES, F. M.; PHILLIPS, F. A.; NAYLOR, T.; MERCER, N. B. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166–167, p. 302–307, 2011. Elsevier B.V. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.020>>.

JOHNSTON, J.L., FANZO, J.C., COGILL, B., 2014. Understanding sustainable diets: a descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability. **Adv. Nutr. An Int. Rev. J.** 5, 418e429.

KELLY, A.K., M. MCGEE, D.H. CREWS, A.G. FAHEY, A.R. WYLIE, AND D.A. KENNY. 2010. 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.

KOCH, R. M., L. A. SWIGER, D. CHAMBERS, AND K. E. GREGORY. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal Animal Science** 22:486–494.

KORVER, S. 1988. Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: A review. **Livestock Production Science** 20:1–13

KOTRBA R, KUNC P, GÜRDİL GAK, PINAR Y, SELVİ KC (2007) Applications of infrared thermography in animal production. **Journal of the Faculty of Agriculture** 22:329–336.

KNAPP, A.R., H. WANG, AND M.R. PARTHUN. 2014. The yeast histone chaperone Hif1p functions with RNA in nucleosome assembly. **PLoS One** 9. doi:10.1371/journal.pone.0100299.

LÓPEZ, M.C., IBÁÑEZ C., GARCÍA-DIEGO, F.J., MOYA, V.J., ESTELLÉS, F., CERVERA, C., and FERNÁNDEZ, C. 2012. **Determination of methane production from lactating goats fed with different starch levels.** Ninth International Livestock Environment Symposium Sponsored by ASABE. ILES12-0842

LIN, Z., MACLEOD, I.; PRYCE, J.E. Estimation of genetic parameters for residual feed intake and feeding behavior traits in dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, v.96, p.2654–2656, 2013.

MARTELLO, L. S.; GOMES, C.; RUEGGER, R.; CORTE, 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. , 2015.

MCDONNELL, R.P., K.J. HART, T.M. BOLAND, A.K. KELLY, M. MCGEE, AND D.A. KENNY. 2016. Effect of divergence in phenotypic residual feed intake on methane emissions, ruminal fermentation, and apparent whole-tract digestibility of beef heifers across three contrasting diets. **Journal Animal Science** 94:1179–1193. doi:10.2527/jas.2015-0080.

MCMANUS, C., C.B. TANURE, V. PERIPOLLI, L. SEIXAS, V. FISCHER, A.M. GABBI, S.R.O. MENEGASSI, M.T. STUMPF, G.J. KOLLING, E. DIAS, AND J.B.G. COSTA. 2016. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture** 123:10–16.

MERCADANTE, M. E. Z.; CALIMAN, A. P. DE M.; CANESIN, R. C.; et al. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nellore cattle.

Revista Brasileira de Zootecnia, v. 44, n. 7, p. 255–262, 2015. Sociedade Brasileira de Zootecnia.

MEYER, A. M.; KERLEY, M. S.; KALLENBACH, R. L. The effect of residual feed intake classification on forage intake by grazing beef cows. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 10, p. 2670–2679, 2008.

MOLDEN, D., VITHANAGE, M., DE FRAITURE, C., FAURES, J.M., GORDON, L., MOLLE, F., PEDEN, D., 2011. 4.21-Water availability and its use in agriculture. In: Peter, W. (Ed.), **Treatise on Water Science**. Elsevier, Oxford, pp. 707e732

MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468–475, 2008.

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

MORAES, L. E., A. B. STRATHE, J. G. FADEL, D. P. CASPER, AND E. KEBREAB. 2014. Prediction of enteric methane emissions from cattle. **Glob. Chang. Biol.** 20:2140–2148

NÄÄS, I.A., GARCIA, R.G., CALDARA, F.R., 2014. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology** 2 (3), 66–72.

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

NASCIMENTO, M.L. **Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore**. 2011. 118 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. . Washington: National Academic Press, 2001. .

NEGUSSIE, E., Y. DE HAAS, F. DEHARENG, R.J. DEWHURST, J. DIJKSTRA, N. GENGLER, D.P. Morgavi, H. Soyeurt, S. van Gastelen, T. Yan, and F. Biscarini. 2017. Invited review : Large-scale indirect measurements for enteric methane emissions in dairy cattle: A review of proxies and their potential for use in management and breeding decisions. **Journal Dairy Science**, 100:2433–2453. doi:10.3168/jds.2016-12030.

NKRUMAH, J.D., J.D. NKRUMAH, E.K. OKINE, E.K. OKINE, G.W. MATHISON, G.W. MATHISON, K. SCHMID, K. SCHMID, C. LI, C. LI, J. A BASARAB, J. A BASARAB, M. A PRICE, M. A PRICE, Z. WANG, Z. WANG, S.S. MOORE, AND S.S. MOORE. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle..

Journal Animal Science 84:145–53. doi:10.2527/2006.841145x.

OLIVEIRA, R. V.; TILBURG, M.F.V.; SANTOS, R.Q.; MORENO, F.B.; MONTEIRO-MOREIRA, A.C.O.; Moura, A. Effects of cashew nut meal on ram sperm proteins. **Acta Veterinaria Brasilica**. v.8, p.246-247, 2014.

OLIVIERI, B.F.; MERCADANTE, M.E.Z.; CYRILLO, J.N.D.S.G.; BRANCO, R.H.; BONILHA, S.F.M.; ALBUQUERQUE, L.G. Genomic Regions Associated with Feed Efficiency Indicator Traits in an Experimental Nellore Cattle Population. **Plos One**, v.11, p.390, 2016.

OSS, D. B.; MARCONDES, M. I.; MACHADO, F. S.; et al. Technical note: Assessment of the oxygen pulse and heart rate method using respiration chambers and comparative slaughter for measuring heat production of cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 11, p. 8885–8890, 2016. American Dairy Science Association.

PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALENTE, E.E.L. Nutrição de bovinos em pastejo. **In: simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, v.4, p.131-169, 2008.

PRYCE, J.E., W.J. WALES, Y. DE HAAS, R.F. VEERKAMP, AND B.J. HAYES. 2014. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle. **Animal** 8:1–10. doi:10.1017/S1751731113001687.

REKANT, S.I.; LYONS, M.A.; PACHECO, J.M.; ARZT, J.; RODRIGUEZ, L.L. Veterinary applications of infrared thermography. **American Journal of Veterinary Research**, v. 77, p. 98-107, 2016.

RICHARDSON, E.C. A, AND R.M.B. HERD. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle . 2 . Synthesis of results following divergent selection Cooperative Research Centre for Cattle and Beef Quality .. **Aust. J. Exp. Agric.** 44:431–440. .

RIDOUTT, B.G., PAGE, G., OPIE, K., HUANG, J., BELLOTTI, W., 2014. Carbon, water and land use footprints of beef cattle production systems in southern **Australia. J. Clean. Prod.** 73, 24 e 30.

ROCHE, J. R.; MCDONALD, K.A.; BURKE, C.R.; LEE, J.M.; BERRY D.P. Association among body condition score, body weight and reproductive performance in seasonal-calving dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.90, 376-391, 2007.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B.; DELFINO, L.J.B.; MARQUES, B.B. Thermal gradients and physiological responses of goats in the Brazilian semi-arid using thermography infrared. **Journal of Animal Science**, 2014.

SANTANA, M.H.A.; ROSSI JUNIOR, P.; ALMEIDA, R.; SCHUNTZEMBERGER, M.A.S. Blood cell and metabolic profile of Nellore bulls and their correlations with residual feed intake and feed conversion ratio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, p. 527-537, 2014.

SILVA, L.P. **Boas práticas de manejo de bezerras leiteiras na fase de cria e potenciais efeitos na recria**. 2015. 50p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

SÜMBERA R, ZELOVÁ J, KUNC P, KNÍKOVÁ I, BURDA H (2007) Patterns of surface temperatures in two mole-rats (Bathyergidae) with different social systems as revealed by IR Thermography. **Physiology & Behavior** 92: 526-532.

STEINFELD, H., MOONEY, H.A., SCHNEIDER, F., NEVILLE, L.E., 2013. Livestock in a changing landscape. *In: Drivers, Consequences, and Responses*, 1. Island Press.

STELLETTA C, GIANESELLA M, VENCATO J, ET AL. Thermographic applications in veterinary medicine. *In: Prakash DRV, ed. Infrared thermography*. Rijeka, Croatia: InTech, 2012;117–140.

STEWART, M., STAFFORD, K., DOWLING, S., SCHAEFER, A., WEBSTER, J., 2008. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiology & Behavior** 93 (4), 789–797.

TIZIOTO, P. C.; COUTINHO, L.L.; DECKER, J.E.; SCHNABEL, R.D.; ROSA, K.O.; OLIVEIRA, P.S.N.; SOUZA, M. M.; MOURÃO, G.B.; TULLIO, R.R.; CHAVES, A.S.; LANNA, D.P.D.; ZERLOTINI-NETO, A.; MUDADU, M.A.; TAYLOR, J.F.; REGITANO, L.C.A. Global Liver Gene Expression Differences In Nelore Steers With divergent residual feed intake phenotypes. **BMC Genomics**, v.16, p. 242, 2015.

VANDEHAAR, M. J.; ARMENTANO, L. E.; WEIGEL, K.; et al. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency 1. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 6, p. 4941–4954, 2016. American Dairy Science Association.

WILLIAMS, Y. J.; PRYCE, J. E.; GRAINGER, C.; et al. Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 9, p. 4715–4725, 2011. Elsevier.

II- OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Comparar grupos de novilhas F1 Girolando com fenótipos divergentes para EA quanto ao consumo (alimento e água), trocas gasosas, produção, rendimento e intensidade de emissões de CH₄ entérico, medidas morfométricas, metabólitos sanguíneos, termografia infravermelha e comportamento ingestivo em condições tropicais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar grupos de novilhas Girolando F1 divergentes para o consumo alimentar residual (CAR), o ganho de peso residual (GPR), o consumo residual e ganho de peso (CGR) e a eficiência de conversão alimentar (ECA) quanto ao consumo (alimento e água), trocas gasosas, emissões de CH₄ entérico, medidas morfométricas e termografia infravermelha obtidos em ensaio conduzido a pasto em condições tropicais.

Comparar grupos de novilhas Girolando F1 divergentes para o consumo alimentar residual (CAR), o ganho de peso residual (GPR), o consumo residual e ganho de peso (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo de água residual (CRA) quanto ao consumo (alimento e água), trocas gasosas, emissões de CH₄ entérico, medidas morfométricas, metabólitos sanguíneos, termografia infravermelha e comportamento ingestivo obtidos em ensaio conduzido em confinamento em condições tropicais.

III- CAPÍTULO I

RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR, VARIÁVEIS PRODUTIVAS E METABÓLICAS EM NOVILHAS GIROLANDO F1 SOB PASTEJO DE GRAMÍNEAS TROPICAIS

RESUMO - Objetivou-se com esse estudo comparar o consumo de matéria seca, o desempenho, as trocas gasosas, a emissão de CH₄ entérico, a temperatura da superfície do corpo obtida por termografia infravermelha (TIV), as características morfométricas e o consumo individual de água de novilhas Girolando F1 divergentes fenotipicamente para os índices de eficiência alimentar (EA): consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA) manejadas à pasto. Durante 60 dias de ensaio, trinta e três novilhas foram manejadas em sistema de pastejo rotativo de capim *Cynodon* spp recebendo 2 kg de concentrado. As novilhas foram classificadas em alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) utilizando como critério de classificação valores de EA < ou > que 0,5 do desvio padrão abaixo ou acima da média de acordo com o índice avaliado. Novilhas de AE para CAR e CGR consumiram 13% a menos de MS. A produção de CH₄ (g/dia) dos animais BE para CAR foi 5% inferior em relação as eficientes, já o rendimento de CH₄ (g/kg de CMS) foi 13% inferior para novilhas de AE para CAR e CGR. Considerando os índices GPR e ECA a emissão de CH₄ g/kg PV^{0.75} foi 13% menor para as novilhas de BE, mas quando expresso em g/dia/GMD as emissões foram maiores para os animais de BE. As temperaturas obtidas por TIV, e consumo de água não apresentaram diferenças para as novilhas divergentes para todos os índices de EA avaliados. Apenas profundidade de corpo das medidas morfométricas mostrou-se maior para novilhas de BE para CAR e CGR. A divergência fenotípica de novilhas Girolando F1 manejadas a pasto para os diferentes índices de EA se relacionaram com as variáveis estudadas, possibilitando a identificação de fenótipos para escolhas de animais de alta eficiência. As diferenças entre as variáveis de desempenho, consumo e metabólicas entre os grupos de AE e BE variaram de acordo com o índice de EA adotado. Os parâmetros avaliados; consumo de matéria seca, rendimento de metano e profundidade corporal foram relacionados com os grupos

de novilhas divergentes fenotipicamente para o CAR e CGR, enquanto ganho de peso, produção e volume de metano estão relacionados ao GPR e a ECA, desta forma estas medidas podem auxiliar a identificar os animais de AE de acordo com índice de eficiência alimentar.

Palavras-chave: consumo alimentar residual, consumo de água, eficiência de conversão alimentar, ganho de peso residual, máscara facial, metano

ABSTRACT-The objective of this study was to compare dry matter intake, performance, gas exchange, enteric CH₄ emission, body surface temperature obtained by infrared thermography (IR), morphometric characteristics and individual water consumption of Girolando F1 heifers phenotypically divergent for feed efficiency (FE) indexes: residual feed intake (RFI), residual gain (RG), residual intake and gain (CGR) and feed conversion efficiency (FCE) managed on pasture. During 60 days of testing, thirty-three heifers were managed in a rotating grazing system of *Cynodon* spp. grass receiving 2 kg of concentrate. The heifers were classified in high efficiency (HE) and low efficiency (LE) using SD < or > 0.5 as the standard deviation below or above the standard deviation according to the assessed index. Heifers from HE to RFI and RIG consumed 13% less than DM. The CH₄ (g / day) production of LE to RFI animals was 5% lower than the efficient ones, whereas CH₄ yield (g / kg DMI) was 13% lower for HE heifers for RFI and RIG. Considering the RG and FCE indexes the emission of CH₄ g / kg BW^{0.75} was 13% lower for LE heifers. The temperatures obtained by IR, and water consumption did not present differences for the divergent heifers for all evaluated EA indexes. Only body depth of the morphometric measurements was shown to be higher for LE heifers for RFI and RIG. The phenotypic divergence of Girolando F1 heifers managed to pasture for the different FE indexes was related to the studied variables, allowing the identification of phenotypes for high efficiency animal choices. The differences between the performance, consumption and metabolic variables between the HE and LE groups varied according to the adopted FE index. The parameters evaluated; dry matter intake, methane yield and body depth were related to groups of heifers phenotypically divergent for RFI and RIG, average daily gain, production and volume of methane are related to RG and FCE, so these measures may help to identify the animals of AE according to food efficiency index

Key words: face mask, feed conversion efficiency, methane, residual feed intake, residual gain, water consumption

INTRODUÇÃO

As pastagens constituem a principal base para a produção de leite em países como a Argentina, Austrália, Brasil, Irlanda, Nova Zelândia e Uruguai. Pastagens bem manejadas permitem níveis satisfatórios de produção de leite, tem baixo impacto sobre o ambiente e impactam positivamente a competitividade econômica da atividade leiteira (Pereira et al., 2016).

Nos sistemas de produção a pasto nos trópicos, a escolha de animais adaptados ao clima, alimentos disponíveis e parasitas ganham importância pelo potencial de resposta produtiva. Os animais F1 Girolando (Holandês x Gir) se destacam nessas condições por apresentarem maior eficiência em reprodução e produção de leite, demonstrando potencial para aumentar a média de produção de leite e a lucratividade (Gloria et al., 2010).

A otimização das fazendas leiteiras não abrange somente a maior quantidade de produção, mas também a eficiência alimentar do animal. Os animais mais eficientes irão consumir menos e produzir mais por unidade de área, impactando positivamente a viabilidade dos sistemas de produção VandeHaar et al. (2016).

As pesquisas abrangendo a avaliação de EA têm desenvolvido trabalhos principalmente em regiões de clima temperado e com animais *Bos taurus taurus* (Coleman et al. 2010; Durunna et al. 2011; Macdonald et al. 2014; Pryce et al. 2014). Os diferentes índices de EA envolvendo animais cruzados (Holandês x Gir) em condições tropicais ainda não foram avaliados, desta forma para garantir acréscimos na eficiência bioeconômica na produção leiteira, é importante estabelecer parâmetros para a seleção de animais em tais condições. A eficiência de conversão alimentar (ECA) é uma medida tradicional para animais leiteiros (Connor. 2015). Já o consumo alimentar residual (CAR) e o ganho de peso residual (GPR) são predominantes utilizados em animais de corte, e um novo índice têm sido utilizado em pesquisas com vacas leiteiras *Bos taurus taurus*, o consumo e ganho residual (CGR), foi proposto por Berry & Crowley (2013).

Embora os mecanismos biológicos que controlam a EA não estejam totalmente elucidados, a maior variação provavelmente está relacionada à variação energia de manutenção (Paddock, 2010) A produção de calor ou o gasto energético, pode ser estimado utilizando calorimetria, que mede o consumo de oxigênio produção de dióxido de carbono e metano pelo animal (Paddock, 2010). A regulação da temperatura corporal também foi identificada como um aspecto importante de variação fisiológica que poderia contribuir

para EA em vacas leiteiras (Herd e Arthur, 2009).

O custo elevado e a dificuldade de medir a ingestão de alimentos de forma individualizada são fatores limitantes para a realização de pesquisas e para a implementação de programas de melhorias genéticas para EA (Connor 2015; Manzanilla Pech et al. 2014). A utilização de métodos não invasivos e que identifiquem essas variáveis são importantes, dentre eles a obtenção de temperaturas de superfície do corpo com a termografia infravermelha (Digiacomio et al. 2014; Martello et al. 2015) e avaliação da produção de calor e trocas gasosas, pelo método da máscara facial (Leão et al. 2018) podem contribuir para os avanços nas pesquisas envolvendo EA.

As hipóteses principais subjacentes a este trabalho é que a divergência de EA altera as variáveis, os métodos indiretos e sua correlação com as variáveis para identificar animais mais eficientes e as vantagens e desvantagens de cada índice e para cada situação o mais indexado para se utilizar.

Objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito da divergência fenotípica para EA no consumo de matéria seca e água, desempenho, trocas gasosas, emissão de CH₄ entérico, temperatura da superfície do corpo obtida por termografia infravermelha e variáveis morfométricas em novilhas Girolando F1 manejadas em pastagem tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre fevereiro e abril de 2016, na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil. Situada a 21°33' de latitude Sul e 43°16' de longitude Oeste. O clima da região, segundo Koppen, é do tipo Cwa (mesotérmico), com verão chuvoso e inverno seco. Todos os procedimentos com animais experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite (protocolo CEUA-EGL n. n° 3403210316).

Animais, Área Experimental e Dieta

Trinta e três novilhas Girolando F1 (Holandês x Gir) com $485 \pm 28,2$ dias de idade e peso vivo inicial (PVI) de $300 \pm 21,7$ kg, após vinte e dois dias de adaptação, foram avaliadas durante 60 dias de ensaio de consumo, sob sistema de pastejo rotacionado, em 6 piquetes de 1 hectare (ha) cada, de pasto de *Cynodon* spp. No período experimental, o pasto foi adubado com o equivalente a 50 kg/ha de nitrogênio e de K₂O e 12,5 kg/ha de P₂O₅ (superfosfato simples) por meio da formulação 20-05-20 de N-P-K. A estimativa da massa de forragem total calculada por piquete foi de 7.840 kg MS ha⁻¹.

Durante o ensaio, os animais receberam 2 kg de concentrado composto de milho grão moído e mistura de minerais (Tabela 1).

Tabela 1 Composição química-bromatológica do capim *Cynodon* spp. e do concentrado

Ingredientes	<i>Cynodon</i> spp.	Concentrado
¹ MS (g/kg)	283.20	961.10
² MO (g/kg ¹)	96.20	73.50
³ EE (g/kg ¹)	16.32	37.20
⁴ FDNcp (g/kg ¹)	591.70	82.90
⁵ PB (g/kg ¹)	161.04	178.30
⁶ CNF (g/kg ¹)	134.66	627.90

¹MS= Matéria seca, ²MO= Matéria orgânica, ³EE=Extrato etéreo, ⁴FDNcp= Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, ⁵PB = Proteína bruta ⁶CNF=Carboidrato não fibroso;

Avaliações do pasto

Coletou-se amostras representativas daquelas ingeridas pelas novilhas, um dia antes da entrada do grupo experimental no piquete, para as avaliações nutricionais. Para

determinar a altura do dossel, mediu-se 60 pontos aleatórios em cada piquete, com auxílio de uma régua graduada em centímetros. A massa total de forragem, nas condições de pré pastejo foi estimada utilizando de uma moldura metálica de 0,5 m por 0,5 m, em oito pontos representativos da altura média do dossel. Cortou-se o material dentro do quadrado do solo, posteriormente pesado e acondicionados em sacos de papel identificados e secos em estufa de ventilação forçada a temperatura de 60°C, por 72 h para posteriores análises.

Análises químico-bromatológicas

As amostras pré-secas foram processadas em moinho tipo Willey, com peneira de 1 mm e enviadas ao laboratório de análise de alimentos da Embrapa Gado de Leite para as análises químico-bromatológicas, para determinar os teores de matéria seca (MS), em estufa a 105°C (AOAC, 1995; método 934.01); cinzas (AOAC, 1995; método 942,05), proteína bruta (PB) pelo método Kjeldahl (AOAC, 1995; método 984,13); fibra detergente neutro (FDN) pelo método sequencial de Van Soest et al. (1991), adaptado para as condições do aparelho ANKOM220, Fiber Analyzer (Ankom Technology, 38 Fairport, NY), extrato etéreo (EE) (AOAC, 1995; método 920.39). Os carboidratos não-fibrosos foram calculados usando a equação proposta por Hall et al. (1999): $CNF_{cp} = 100 - (CP + FDN_{cp} + EE + cinza)$, em que cp representa correção para cinzas e proteína.

Avaliação do consumo de água e consumo de forragem

O consumo diário de água (L/dia) foi mensurado individualmente em dois bebedouros eletrônicos (WD-1000, Intergado Ltd., Contagem, Minas Gerais, Brasil) localizados na área de descanso do sistema de pastejo rotativo.

Para estimar o consumo voluntário de pasto, foi utilizado como indicador externo o dióxido de titânio (TiO₂), este para determinar a produção fecal. Após a suplementação pela manhã, o TiO₂ foi fornecido via oral, em pellets na proporção de 10 g/animal/dia durante 13 dias seguidos, sendo os seis primeiros dias para estabilização do fluxo de excreção do marcador e os seis últimos, destinados à coleta de aproximadamente 300 g fezes direta do reto, respeitando os mesmos horários da fornecimento de TiO₂ aos animais, uma vez ao dia. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e congeladas, para posterior análises.

O procedimento para a leitura de TiO₂ foi obtido como descrito por Myers et al. (2004), em que se realizou a digestão de 0,5 g de amostra de fezes com auxílio de ácido

sulfúrico (H₂SO₄), seguida da adição de peróxido de hidrogênio. Foi preparado uma curva padrão com as seguintes concentrações: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg de TiO₂ e as leituras foram realizadas em um espectrofotômetro UV / Vis (CE 1010, Cecil Instruments, Cambridge, RU) ajustado ao comprimento de onda de 410 nm.

A estimativa de consumo de forragem por animal, foi obtida pela equação: CMS (g/dia) = (PF/1- (DIVMS/100)), em que CMS = consumo diário de matéria seca; PF = produção fecal diária, kg MS fecal/novilha; DIVMS = digestibilidade *in vitro* da matéria seca. A DIVMS, foi determinada pelo método Tilley e Terry (1963) e a PF conforme equação: PF (g/dia) = indicador administrado (g/dia) /concentração do indicador nas fezes (g/kg de MS) (Astigarra, 1997).

Índices de Eficiência Alimentar

O consumo alimentar residual (CAR) e o ganho de peso residual (GPR) foram calculados de acordo com Koch et al. (1963), pela diferença entre CMS e GMD real e esperado, respectivamente (CAR = CMS obs - CMS esp ou GPR = GMD obs - GMD esp), respectivamente. A estimativa de CMS ou GMD esperado foram calculadas por equações de regressão linear múltipla com base no peso vivo metabólico (PV^{0,75}) e o GMD ou CMS, em que o intercepto β_0 e os coeficientes de regressão β_1 e β_2 são médios para o grupo e resíduo (ϵ), o erro de cada observação:

$$\text{CMS ou GMD esp} = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{PV}^{0,75}) + \beta_2 \times (\text{GPD ou CMS}) + \epsilon$$

O índice consumo e o ganho de peso residual (CGR) que associa o CAR e o GPR, foi avaliado pela soma do CAR multiplicado por -1 e o GPR Berry & Crowley (2013). A ECA foi calculada pela razão entre o CMS e a GMD (Korver, 1988):

$$\text{ECA} = \text{CMS/GMD}$$

O consumo residual de água (CRAG) foi calculado pela diferença do consumo de água real e consumo esperado de água. O CRAG esperado foi predito por regressão linear com base no peso metabólico do grupo contemporâneo (Menezes et al., 2018). Foi utilizado apenas como variável para comparação dos grupos divergentes fenotipicamente para EA.

As novilhas foram classificadas em grupos de AE para CAR quando a EA foi <0,5 desvio padrão abaixo da média e de BE quando >0,5 desvio padrão acima da média; já para GPR, CGR e ECA considerou-se os animais de AE os que apresentaram EA>0,5 do

desvio padrão acima da média e os de BE os animais $<0,5$ desvio padrão abaixo da média. Considerou-se novilhas de AE aquelas, que apresentaram o consumo a matéria seca abaixo da média esperada em relação ao grupo contemporâneo, enquanto as novilhas de BE, o consumo de matéria seca foi acima da média esperada, para o grupo experimental.

Desempenho produtivo e medidas morfométricas

As novilhas foram pesadas pela manhã, antes do fornecimento da suplementação, a cada sete dias (Balança Toledo MGR - 2000, São Bernardo do Campo, SP, Brasil), resultando em 9 registros por animal. Os parâmetros de medidas morfométricas avaliados quinzenalmente, foram: altura de cernelha (AC - distância vertical em cm entre o ponto mais alto da cernelha até o chão), altura de garupa (AG - distância vertical em cm da coluna vertebral entre os íleos e o chão), largura entre íleos (LIL – distância horizontal em cm entre as protuberâncias dos íleos), profundidade do corpo (PC-distância mensurada na altura da última costela entre a linha dorsal do animal e a parte mais baixa de seu ventre) utilizando hipômetro (Walmur, Porto Alegre, RS, Brasil) e circunferência do tórax (CT - mensuração da circunferência do tórax, perpendicularmente à linha da base do dorso passando pelo osso externo) usando fita métrica flexível (Bovitec , São Paulo, SP, Brasil).

Termografia infravermelha

A termografia por infravermelho foi realizada quinzenalmente, com dispositivo portátil (FLIR T420, FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA). Padronizou-se a distância do termógrafo à região anatômica em 0,5 m, 20°C de temperatura de reflectância e adotou-se 0,98 como valor de emissividade, conforme recomendação do fabricante para tecidos biológicos e valores utilizados por Montanholi et al. (2008, 2009). As regiões anatômicas avaliadas foram: olho, bochecha, narina, costelas direita, flanco direito e esquerdo, membro dianteiro direito e vulva. Os arquivos gerados foram processados e interpretados com software FLIR Tools 5.6 (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA).

Mensurações com a máscara facial

Após o ensaio de EA, as trocas gasosas e a produção de calor foram mensuradas de acordo com a metodologia descrita por Oss et al. (2016). As novilhas foram conduzidas para um galpão do tipo *tie stall* e receberam o concentrado de forma escalonada, com

intervalo de 30 minutos entre cada uma. Após quatro horas da alimentação, os animais foram pesados e conduzidos ao galpão respirométrico e no brete de contenção utilizaram a máscara facial (MF) por 20 minutos. Esse período foi precedido e sucedido de 5 minutos de amostragem do ar ambiente. O fluxo de ar através da máscara foi controlado e mensurado pelo fluxômetro de massa (TPP) (Flow-Kit 500, Sable Systems), sendo uma amostra deste fluxo (200 mL/min) direcionada para o analisador de vapor d'água (RH300, Sable Systems), dióxido de carbono (CA-10, Sable Systems), metano (MA-10, Sable Systems) e oxigênio (FC-10, Sable Systems). Os dados obtidos foram coletados pelo software Expedata (Sable Systems) e o consumo de O₂ foi calculado segundo a equação 1, e a emissão de CO₂ e CH₄ segundo a equação 2 e 3 respectivamente.

Consumo de O₂ (mL/min) = Fluxo de ar (TPP) * ([O₂]máscara - [O₂]ar-ambiente)

(Eq. 1)

Consumo de CO₂ (mL/min) = Fluxo de ar (TPP) * ([CO₂]máscara - [CO₂]ar-ambiente)

(Eq. 2)

Consumo de CH₄ (mL/min) = Fluxo de ar (TPP) * ([CH₄]máscara - [CH₄]ar-ambiente)

(Eq. 3)

A produção de calor diária (PC, Kcal/dia) foi calculada conforme Brouwer (1965), desconsiderando o Nu (Leão et al.,2018):

$$PC \text{ (kcal/dia)} = (3,866 \times O_2) + (1,200 \times CO_2) - (0,518 \times CH_4)$$

Procedimentos Estatísticos

Para as análises estatísticas utilizou-se o software SAS versão 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC). O consumo de matéria seca e nutrientes, medidas morfométricas, termografia infravermelha, foram analisados como medidas repetidas no tempo, utilizando o procedimento MIXED, considerando os animais dentro dos tratamentos como efeito aleatório e índices de EA e semanas como efeito fixo. Os dados de trocas gasosas, consumo de água e desempenho foram submetidos a ANOVA ao nível de significância 5% ($P \leq 0,05$). Os coeficientes de correlação de Pearson entre as respostas variáveis e CAR, GPR, CGR e ECA foram obtidos pelo procedimento PROC CORR.

RESULTADOS

Consumo de matéria seca, nutrientes e desempenho

O consumo de nutrientes (Tabela 2) diferiu ($P < 0,05$) entre as novilhas de AE e BE para os índices CAR e CGR. O grupo de AE para o CAR consumiu em média 13,22% de MS (1,23 kg), 13,07% de PB, 7,69% de EE e 16,11% de FDNcp a menos que o grupo de BE. Considerando o índice CGR, as novilhas de AE consumiram 13% a menos (8,07 kg MS/dia) em comparação as de BE (9,29 kg MS/dia). Para o consumo de PB, FDNcp e CNF foram observadas diferenças de 13,1, 15,7 e 8,00% respectivamente a menos para o grupo de AE. O coeficiente de correlação para o CAR e CMS foi de 0,62 e para o CGR e CMS de -0,62.

O peso inicial e o peso final não diferiram entre os grupos de AE e BE para os índices CAR, GPR, CGR e ECA. Para os índices CAR e CGR, o ganho de peso diário, foi similar para os grupos de AE e BE, mas para o GPR, o ganho de peso foi maior para novilhas de AE, 0,52 kg/dia a mais que os animais de BE (1,09 vs 0,57 kg/dia) e para ECA, ganho de 0,49 kg/dia a mais em relação as novilhas de BE (1,09 vs 0,60 kg/dia).

Trocas gasosas, produção de CH₄ e de calor

As novilhas de AE, para o índice CGR, obtiveram maior rendimento de CH₄ (CH₄ g/kg CMS), 13% a mais em relação ao grupo de novilhas de BE (17,38 vs 14,43g/kg CMS), para os demais índices avaliados não foram observadas diferenças para esta variável (Tabela 3).

Para os índices GPR e ECA foram observadas diferenças ($P < 0,05$) na produção de CH₄ entre grupos de AE e BE. A produção de CH₄ expressa em g/ kg de peso metabólico para os índices GPR e ECA foi 13% menor para o grupo de BE alimentar (1,73 vs 1,49 g/kg PV^{0,75}), no entanto, quando expresso em g/dia/GMD a produção de CH₄ foi maior para os grupos de BE, de 135 vs 237 g/dia/GMD e 135 vs 230 g/dia/GMD para o GPR e o ECA, para os grupos de AE e BE respectivamente.

Não houve diferenças significativas para a produção de calor entre os grupos divergentes de eficiência alimentar.

Termografia infravermelha e medidas morfométricas

As variáveis termográficas foram semelhantes entre os grupos de AE e BE para todos os índices (Tabela 4).

Para os parâmetros de medidas morfométricas, apenas a profundidade corporal para o CAR e CGR divergiu para os grupos de AE e BE de novilhas F1 Girolando.

Consumo de água

O consumo de água (L/d) não diferiu entre os grupos de AE e BE de novilhas Girolando para nenhum dos índices avaliados (Tabela 6).

Tabela 2 Consumo de matéria seca, consumo de nutrientes e desempenho em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consume e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)

Parâmetros	CAR				GPR				CGR				ECA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
CMS (Kg/dia)	8.07	9.00	0.28	<0,0001	8.62	8.73	0.18	0.6926	8.07	9.29	0.12	<0,0001	8.60	9.00	0.17	0.1087
CMO (Kg/dia)	7.34	8.45	0.13	<0,0001	7.84	7.94	0.12	0.7022	7.34	8.44	0.11	<0,0001	7.81	8.18	0.15	0.1111
CPB (Kg/dia)	1.33	1.53	0.02	<0,0001	1.42	1.44	0.18	0.7034	1.33	1.53	0.02	<0,0001	1.42	1.49	0.02	0.1096
CFDNcp (Kg/dia)	3.80	4.53	0.08	<0,0001	4.13	4.19	0.10	0.7487	3.81	4.52	0.07	<0,0001	4.12	4.36	0.10	0.1237
CEE (Kg/dia)	0.12	0.13	0.00	<0,0001	0.12	0.12	0.00	0.5596	0.11	0.13	0.00	<0,0001	0.12	0.13	0.00	0.0848
CCNF (Kg/dia)	2.08	2.25	0.03	<0,0001	2.15	2.17	0.02	0.5481	2.07	2.25	0.03	<0,0001	2.15	2.21	0.02	0.0897
Peso vivo inicial (Kg)	358	356	23.03	0.1480	363	342	20.02	0.6660	355	349	24.15	0.2430	368.7	342.3	22.04	0.1480
Peso vivo final (Kg)	393	392	13.51	0.7840	391	392	11.02	0.9123	390	388	27.08	0.9140	396	342	28.06	0.7480
GMD (Kg/d)	0.85	0.77	0.04	0.4260	1.09	0.57	0.18	<0.0001	0.91	0.750	0.02	0.0770	1.09	0.60	0.13	<0.0001

CMS=consumo de matéria seca, CMO=consumo de matéria orgânica, CPB= consumo de proteína bruta, CFDNcp=consumo de fibra insolúvel em detergente neutro corrigidas para cinzas e proteínas, CEE=consumo de extrato etéreo, CCNF= consumo de carboidratos não fibrosos, GMD=ganho médio diário

Tabela 3 Consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono e de metano em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)

Parâmetros (UN)	CAR				GPR				CGR				ECA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
VO ₂ (L/kg PV)	31.20	30.19	0.81	0.3720	30.89	30.49	1.01	0.7861	30.64	29.92	0.63	0.4151	30.89	31.07	0.98	0.8952
VO ₂ (L/d)	2777	2690	99.44	0.5304	2659	2659.	112.58	0.8211	2693	2648	0.73	0.6911	2659	2790	113.62	0.4149
VCO ₂ (L/kg PV)	31.50	30.38	0.68	0.2511	32.29	30.48	0.93	0.1879	31.13	30.19	0.59	0.2193	32.29	30.96	0.89	0.2950
VCO ₂ (L/d)	2.803	2.708	93.26	0.4718	2788	2.644	102.78	0.5644	2738	2.664	83.97	0.5298	2.780	2.777	103.93	0.9960
VCH ₄ (L/kg PV)	2.18	2.12	0.11	0.7113	2.40	2.09	0.98	0.0420	2.23	2.11	0.11	0.4684	2.40	2.09	0.10	0.0344
VCH ₄ (L/d)	194.00	189.85	12.88	0.7669	207.10	185.58	9.23	0.1192	196.92	187.45	12.33	0.5847	207.10	187.86	9.99	0.1805
CH ₄ (g/dia)	139	135	8.70	0.7669	147.93	132.56	6.59	0.1192	140.66	133.90	8.81	0.5847	147.93	134.19	7.13	0.1805
CH ₄ (g/ kgPV ^{0.75})	1.56	1.51	0.08	0.6993	1.73	1.49	0.07	0.0331	1.59	1.50	0.08	0.4644	1.73	1.49	0.07	0.0269
CH ₄ (g/dia/GMD)	172	185	20	0.6460	135	237	17	0.0001	156	187	18	0.1700	135	230	17	0.0001
CH ₄ /CMS (g/kg)	17.21	14.59	0.99	0.0732	17.33	15.22	0.84	0.0963	17.38	14.43	0.99	0.0457	17.33	14.91	0.85	0.1254
CH ₄ /CMO (g/kg)	19.3	17.16	1.37	0.2730	18.97	18.19	1.23	0.6581	18.85	16.76	1.30	0.2646	18.97	18.03	1.24	0.5908
CH ₄ /CFDNcp (g/kg)	33.11	28.68	2.50	0.2170	36.29	35.49	2.54	0.8324	36.45	31.91	2.62	0.2267	36.29	35.00	2.67	0.7300
PC (kcal/dia)	1.40	1.35	460	0.5097	1.35	1.35	550	0.9488	1.35	1.33	401	0.6465	1.351	1.402	555	0.5104
PC/PV ^{0.75} (kcal/dia)	157.39	152.09	3.84	0.3313	156.97	153.37	4.93	0.6139	154.70	150.70	2.99	0.3462	156.97	156.93	4.75	0.9122

VO₂= Volume de Oxigênio, VCO₂= Volume de dióxido de carbono, VCH₄= Volume de metano, CH₄/CMS = Metano por consumo de matéria seca, CH₄/CMO= Metano por consumo de matéria orgânica, CH₄/CFDNcp=Metano por consumo de fibra insolúvel detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, PC=Produção de calor, PC/PV^{0.75}=Produção de calor por peso metabólico

Tabela 4 Temperatura de diferentes locais da superfície do corpo em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA) mensurado por termografia infravermelha

Tratamentos (Temp. máx °C)	CAR				GPR				CGR				ECA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
Olho	38.21	38.34	0.07	0.2253	38.25	38.19	0.08	0.6678	38.21	38.25	0.07	0.1966	38.25	38.29	0.08	0.7581
Focinho	36.81	36.72	0.17	0.7191	36.90	36.56	0.16	0.1670	38.98	36.79	0.17	0.4410	36.90	36.62	0.16	0.2259
Vulva	38.43	38.74	0.13	0.1022	38.66	38.56	0.12	0.5713	38.39	38.73	0.12	0.0692	38.66	38.67	0.16	0.9905
Pata direita	36.00	36.29	0.26	0.4185	36.2	36.06	0.27	0.7164	36.18	36.33	0.24	0.6551	36.20	36.12	0.26	0.8186
Temperatura ambiente	28.91	29.16	0.36	0.6065	29.5	29.2	0.32	0.5153	29.26	29.22	0.36	0.9234	29.49	29.15	0.13	0.4640
Bochecha	36.42	36.78	0.22	0.2524	36.29	36.22	0.12	0.8410	36.43	36.78	0.22	0.2670	33.67	33.65	0.13	0.2926
Flanco direito	36.90	37.78	0.68	0.1006	37.58	37.53	0.52	0.9911	36.38	37.84	0.70	0.1396	37.52	37.67	0.50	0.8301
Flanco esquerdo	37.71	37.68	0.39	0.9530	37.99	37.88	0.36	0.2500	37.92	37.82	0.40	0.8599	37.99	37.63	0.35	0.4683

Temp. máx °C= Temperatura máxima em graus Celcius.

Tabela 5. Medidas morfométricas em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)

Tratamentos (UN)	CAR				GPR				CGR				ECA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
Peso (Kg)	369.42	364.75	10.24	0.7100	369.60	373.92	11.93	0.8064	368.39	372.65	9.75	0.7553	364.61	380.55	13.10	0.3899
Peso da fita (Kg)	383.50	388.00	7.63	0.6100	382.20	382.20	7.39	0.9475	385.33	384.00	6.99	0.8883	381.33	392.22	9.04	0.3890
ECC	3.59	3.56	0.03	0.6714	3.53	3.56	0.06	0.7528	3.56	3.57	0.03	0.9187	3.54	3.58	0.56	0.5659
CT (cm)	169.28	169.48	1.09	0.8975	169.32	169.42	1.22	0.9572	169.89	169.18	1.00	0.611	169.11	170.57	1.19	0.3856
AC (cm)	129.83	129.15	0.75	0.5184	130.30	129.92	0.90	0.7739	129.39	128.97	0.70	0.6996	129.97	130.55	0.83	0.6217
AG (cm)	135.06	135.50	0.77	0.6816	135.60	135.44	0.86	0.9023	127.50	128.30	0.43	0.6443	135.33	136.18	0.92	0.5167
LIL(cm)	43.30	44.14	0.44	0.1720	43.47	43.80	0.39	0.5505	43.58	44.37	0.40	0.1703	43.30	44.02	0.39	0.2015
PC (cm)	68.86	72.15	0.63	0.0164	70.50	70.20	0.57	0.8098	69.75	71.77	0.61	0.0201	70.41	71.20	0.62	0.3724
LP (cm)	42.58	43.00	0.53	0.1868	42.50	43.66	0.62	0.2138	42.66	43.45	0.47	0.2490	42.47	43.97	0.69	0.1345

ECC= Escore de condição corporal, CT=Circunferência do tórax, AC=Altura de cernelha, AG=Altura de garupa, LIL= Largura entre íleos, PC=Profundidade do corpo, LP=Largura de peito

Tabela 6 Consumo de água em grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA)

Parâmetros	CAR				GPR				CGR				ECA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
Consumo de água (CA; L/d)	22.31	24.33	0.98	0.1742	24.11	24.09	1.29	0.9918	22.29	23.94	0.98	0.2409	24.11	25.13	1.41	0.6099
Consumo residual de água (L/d)	-2,41	-0,41	1.11	0.2042	-0.54	1.09	0.94	0.2379	-2.38	0.20	1.03	0.0862	-0.54	0.41	1.01	0.5008

DISCUSSÃO

Eficiência alimentar e consumo de matéria seca

As diferenças encontradas no CMS para o índice CAR (13%) entre os grupos de AE e BE eram esperadas e demonstra forte correlação fenotípica ($r = 0,62$, $P < 0.001$) entre o CAR e o CMS, o que sugere que a seleção para o CMS diminuirá o CAR; adicionalmente, o CMS poderia servir como um indicador indireto para o CAR.

As diferenças e variações individuais para o CAR estão relacionadas às exigências de manutenção, transporte de íons, resposta ao estresse, metabolismo dos tecidos e diferença na sua composição, incremento calórico e atividades (Richardson e Herd, 2004; Arthur e Herd, 2008). Os animais de AE para CAR consomem menos refeições em um ritmo mais lento, em contraste a esses, os de BE aumentam o número de refeições, com mais etapas para se alimentarem. Este maior CMS pode levar ao aumento no tamanho do órgão visceral, isto posto, maior gasto de energia (Herd e Arthur, 2009). A digestão dos alimentos também é menor em animais de BE (Herd et al., 2004) já que apresentam maior taxa de passagem e, portanto, menor digestibilidade dos alimentos e consequentemente aproveitamento inferior dos nutrientes (Castro Bulle et al., 2007).

O transporte iônico e o *turnover* proteico são possíveis fatores que também influenciam na EA para o CAR, aumentando a proporção de tecido magro, reduzindo os requerimentos de manutenção dos bovinos. Assim as novilhas de AE despendem menos energia em processos metabólicos, ainda têm melhor capacidade de converter energia bruta em energia líquida ou necessitam de menor quantidade de energia para manutenção e crescimento o que leva a menor necessidade de CMS (Vander Haar et al. 2016)

Em estudo realizado por Manafiazar et al. (2015), novilhas de AE consumiram 5,3% menos do que novilhas de BE, em contraste, Meyer et al. (2008) não observaram diferença na ingestão de forragem à pasto entre bovinos de corte com classificação divergente para CAR, embora esses autores tenham reconhecido que a metodologia utilizada para estimar CMS pode ter sido um fator limitante do estudo.

As novilhas de AE apresentaram menor CMS para o índice CGR, indicando a variabilidade fenotípica para esta característica. O GMD entre os grupos de AE e BE para CAR e CGR demonstraram independência fenotípica para estes índices e a variável, resultado esperado para CAR, já que o GMD e PVM são utilizados para o ajuste da regressão, a independência do tamanho corporal por não alterar a taxa crescimento ou

peso corporal final, não irá afetar negativamente a maturidade do rebanho ou aumentar as exigências de manutenção, assim irão causar impacto positivo na rentabilidade do sistema.

No entanto, para o CGR essa independência do GMD não era esperada, provavelmente este resultado encontrado deve-se ao cálculo, que leva em consideração o CAR, e este é independente do GMD. Para os índices de eficiência, GPR e ECA, o CMS entre as novilhas de AE e BE foi similar, verificando que não houve relação fenotípica com essa variável, enquanto para o ganho de peso os índices foram fortemente correlacionados GPR ($r = 0,98$, $P < 0,001$) e ECA ($r = 0,98$, $P < 0,001$).

Devido às relações com características de crescimento e tamanho corporal o uso da ECA (CMS/GMD) pode levar à seleção de animais maiores e com maior exigência de manutenção. Mas no presente trabalho não foram encontradas diferenças no peso final entre os grupos mais e menos eficientes. Arndt et al. (2015) ao avaliarem as variações da ECA de vacas em lactação, encontraram maior consumo de MS.

Trocas gasosas, produção de CH₄ e de calor

O rendimento de CH₄ apresentou correlação positiva e moderada ($r = 0,51$; $P < 0,005$) com o índice CGR. Archimède et al. (2011) afirma que uma maior quantidade de CH₄ é gerada por unidade de alimento digerido, contudo não é possível inferir que a redução no rendimento de CH₄ (g/kg/CMS) por novilhas de AE foi em função do menor CMS ou ainda se esses animais podem ser energeticamente mais eficientes ou apresentarem microbioma distinto e/ou com menor atividade metanogênica em relação aos animais de BE (Carberry et al. 2014). Estudos relacionando o impacto da seleção pelo CGR sobre os parâmetros de emissão de metano em bovinos não existem na literatura. Berry & Crowley (2012) foram os primeiros pesquisadores a relacionar o CGR com características de desempenho de novilhos confinados, mas não apresentaram as associações entre CGR e dados de produção de metano.

Arndt et al. (2015) constataram emissões semelhantes de CH₄ e CO₂ g/d para vacas em lactação de alta e baixa ECA, mas quando expressos em CH₄/CMS as emissões foram menores para vacas do grupo de alta ECA. Jones et al. (2011) encontraram menor CH₄ g/kg/PV ao compararem vacas de baixo e alto CAR.

A liberação de metano representa uma perda de 2% a 12% de energia. Reduzir a proporção de energia de alimentação perdida com o CH₄ tem o potencial de melhorar a

eficiência alimentar, bem como diminuir a contribuição para a produção de gás de efeito estufa, a intensidade de metano dos animais de AE para GPR e ECA quando expresso em g/dia/GMD representa a rentabilidade para os sistemas. Cezimbra (2015) avaliando a emissão de metano em novilhas mantidas em pastagem nativas com diferentes níveis de oferta de forragem observou diferença na quantidade de metano produzida por quilo de ganho de peso vivo, sendo os valores encontrados de 0,8 a 2,2 kg de CH₄/kg ganho de peso vivo, no entanto cita que ofertas de pastejo maiores produzem até 64% menos metano para produzir um quilo de peso vivo que ofertas muito restritas.

Termografia infravermelha

Os resultados encontrados, mostraram que as variáveis avaliadas por TIV foram independente das medidas de eficiência CAR, GPR, CGR ou ECA para animais de AE ou BE. Antagônico a este trabalho, Martello et al. (2015) utilizando termografia infravermelha para avaliar a temperatura da superfície corporal e a relação com a eficiência alimentar no gado *Bos indicus* em condições tropicais, sugerem que animais mais eficientes têm uma temperatura maior da superfície do corpo do que animais menos eficientes. De acordo com esses autores, a maior temperatura da pele medida para animais no grupo mais eficiente pode estar relacionada à melhoria da eficiência dos mecanismos termorreguladores, porque a temperatura retal, que seria indicativo de estresse permaneceu mais baixa em relação aos menos eficientes.

Medidas morfométricas

O fenótipo, profundidade corporal influenciou a classificação das novilhas de AE e BE para CAR e CGR, esta característica foi dependente destes. Esta é uma característica que está correlacionada com o consumo de matéria seca em animais de raça pura. As novilhas de BE apresentaram maior profundidade corporal, o que provavelmente poderá levar ao aumento do crescimento e consumo destes animais, levando a maior exigência de manutenção. No entanto, para, animais mestiços, pela grande variabilidade ligadas ao animal, mais estudos devem ser realizados para esclarecer os pontos de curva de crescimento e segundo Marcondes et al. (2009), o conhecimento da curva de crescimento de bovinos é de extrema importância, pois fornece informações para o estabelecimento de estratégias de manejo.

Consumo de água

O consumo de água não se correlacionou com nenhum dos índices de EA entre os grupos divergentes para ambas as medidas de eficiência estudadas nesta pesquisa. Contudo, apesar de não ter havido diferença no CAG, os animais de AE para CAR apresentaram menor consumo de água em relação ao grupo BE, o que pode ser explicado pelo menor CMS ($r=0,98$ $P<0.001$). Esse maior consumo de água pelas novilhas de BE poderia aumentar a capacidade termorreguladora, assim a temperatura corporal não é alterada, já que a alta condutividade térmica da água, devido seu calor específico, permite a absorção de uma enorme quantidade de calor, o que admite o transporte do calor, para a superfície do corpo, complementada pela sua capacidade de vaporização, em torno de 0,575 Cal/g facilitando a termorregulação (McDonald et al., 2010). Apesar da água ser frequentemente negligenciada na pecuária, o aumento da eficiência da água pode ser estratégico, especialmente, a longo prazo.

CONCLUSÕES

As diferenças entre as variáveis de desempenho, consumo e metabólicas entre os grupos de AE e BE variaram de acordo com o índice de EA adotado.

Os parâmetros avaliados; consumo de matéria seca, rendimento de metano e profundidade corporal foram relacionados com os grupos de novilhas divergentes fenotipicamente para o CAR e CGR, enquanto ganho de peso, produção e volume de metano estão relacionados ao GPR e a ECA, desta forma estas medidas podem auxiliar a identificar os animais de AE de acordo com índice de eficiência alimentar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC International. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Chapter 4: Animal Feed. Windham, W. R. AOAC International, Arlington, VA.

ARNDT, C.; POWELL, J. M.; AGUERRE, M. J.; WATTIAUX, M. A. Performance, digestion, nitrogen balance, and emission of manure ammonia, enteric methane, and carbon dioxide in lactating cows fed diets with varying alfalfa silage-to-corn silage ratios. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 418–430, 2015.

ARCHIMÈDE, H.; EUGÈNE, M.; MARIE MAGDELEINE, C. et al. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. **Animal Feed Science and Technology**, v.166-167, p.59-64, 2011

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. CELL BIOLOGY SYMPOSIUM : Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle 1. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 1594–1613, 2013.

BROUWER, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. Pages 441–443 in Energy Metabolism. EAAP Publ. No. 11. **Academic Press**, New York, NY.

CASTRO BULLE, F.C.P.; PAULINO, P.V.; SANCHES, A.C.; SAINZ, R.D. GROWTH, Carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. **Journal of Animal Science**, v.85, p.928–936, 2007.

CARBERRY, C.A., S.M. WATERS, D.A. KENNY, AND C.J. CREEVEY. 2014. Rumen methanogenic genotypes differ in abundance according to host residual feed intake phenotype and diet type. **Applied and Environmental Microbiology** 80:586–594. doi:10.1128/AEM.03131-13.

CEZIMBRA, I.M. 2015. Emissão de metano por bovinos sob níveis de oferta de forragem em pastagem nativa do Bioma Pampa. 2015. 99 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COLEMAN, J.; BERRY, D. P.; PIERCE, K. M.; BRENNAN, A.; HORAN, B. Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein-Friesian within pasture-based systems of milk production. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 9, p. 4318–4331, 2010. Elsevier.

CONNOR, E. E. Invited review: Improving feed efficiency in dairy production: Challenges and possibilities. **Animal**, v. 9, n. 3, p. 395–408, 2015.

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

DURUNNA, O. N.; WANG, Z.; BASARAB, J. A.; OKINE, E. K.; MOORE, S. S. Phenotypic and genetic relationships among feeding behavior traits, feed intake, and residual feed intake in steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**,

v. 89, n. 11, p. 3401–3409, 2011.

GLORIA, J. R.; BERGMANN J. A. G.; QUIRINO, C. R.; et al. Curvas de lactação de quatro grupos genéticos de mestiças Holandes-Zebu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 10, p. 2160–2165, 2010.

HALL, M. B., W. H. HOOVER, J. P. JENNINGS, AND T. K. M. WEBSTER. 1999. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal Science Food and Agriculture** 79:2079–2086.

HERD, R. M., AND P. F. ARTHUR. 2009. Physiological basis for residual feed intake. **Journal Animal Science** 87:E64–E71

HERD, R. M.; ODDY, V. H.; RICHARDSON, E. C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 4–5, p. 423–430, 2004.

JONES, F. M.; PHILLIPS, F. A.; NAYLOR, T.; MERCER, N. B. Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166–167, p. 302–307, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.020>>. .

KOCH, R. M., L. A. SWIGER, D. CHAMBERS, AND K. E. GREGORY. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal Animal Science** 22:486–494.

KORVER, S. 1988. Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: A review. **Livestock Production Science** 20:1–13

LEÃO, J. M.; COELHO, S. G.; MACHADO, F. S.; et al. Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography. **Journal of Dairy Science**, p. 1–9, 2018. American Dairy Science Association. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030218302236>>. .

MACDONALD, K. A.; PRYCE, J. E.; SPELMAN, R. J.; et al. Holstein-Friesian calves selected for divergence in residual feed intake during growth exhibited significant but reduced residual feed intake divergence in their first lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1427–1435, 2014.

MANAFIAZAR, G.; BASARAB, J. A.; BARON, V. S.; et al. Effect of post-weaning residual feed intake classification on grazed grass intake and performance in pregnant beef heifers. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 95, p. 369–381, 2015.

MANZANILLA PECH, C. I. V.; VEERKAMP, R. F.; CALUS, M. P. L.; et al. Genetic parameters across lactation for feed intake, fat- and protein-corrected milk, and liveweight in first-parity Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 9, p. 5851–5862, 2014. Elsevier.

MARTELLO, L. S.; GOMES, C.; RUEGGER, R.; CORTE, 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. , 2015.

MENEZES, G. R. O.; GOMES, R. C.; RIBAS, M. N.; JUNIOR, R. A. A. T.; JUNIOR, J. A. F. Genetic and phenotypic parameters for feed and water efficiency in Senepol cattle. , p. 0–4.

MEYER, A. M.; KERLEY, M. S.; KALLENBACH, R. L. The effect of residual feed intake classification on forage intake by grazing beef cows. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 10, p. 2670–2679, 2008.

MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468–475, 2008.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; et al. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, n. 1, p. 22–30, 2009. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2009.02.022>>. .

MYERS, W.D., P.A. LUDDEN, V. NAYIGIHUGU, AND B.W. HESS. 2004. Technical Note: A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide **Journal Animal Science** 82:179–183. doi:10.2527/2004.821179x.

OSS, D. B.; MARCONDES, M. I.; MACHADO, F. S.; et al. Technical note: Assessment of the oxygen pulse and heart rate method using respiration chambers and comparative slaughter for measuring heat production of cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 11, p. 8885–8890, 2016. American Dairy Science Association. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030216305550>>. .

PEREIRA, A.V; MORENZ, M.J.F; LEDO, F.J.S; FERREIRA, R.P. Capim-elefante Versatilidades de usos na pecuária 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.359-373, 2016.

PADDOCK, Z.D. **Energy expenditure in growing heifers with divergent residual feed intake phenotypes**: effects and interactions of metaphylactic treatment and temperament on receiving steers. 2010. 62 p. Thesis (Master of Science) – Texas A&M University, College Station, 2010.

PRYCE, J. E.; WALES, W. J.; DE HAAS, Y.; VEERKAMP, R. F.; HAYES, B. J. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle. **Animal**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2014.

RICHARDSON, E.C. A, AND R.M.B. HERD. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle . 2 . Synthesis of results following divergent selection Cooperative Research Centre for Cattle and Beef Quality . **Australian. Journal of Exeriment Agriculture** 44:431–440. doi:10.1071/EA02221.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963

VANDEHAAR, M. J.; ARMENTANO, L. E.; WEIGEL, K.; et al. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency 1. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 6, p. 4941–4954, 2016. American Dairy Science Association.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3597-3597, 1991.

WILLIAMS, Y. J.; PRYCE, J. E.; GRAINGER, C.; et al. Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 9, p. 4715–4725, 2011.

V CAPITULO II

RELAÇÃO ENTRE DIVERGÊNCIA FENOTÍPICA DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM NOVILHAS F1 GIROLANDO CONFINADAS COM CONSUMO, TROCAS GASOSAS E METABOLISMO

RESUMO - Objetivou-se com o ensaio de eficiência alimentar (EA) em confinamento, comparar o consumo de matéria seca, o desempenho, as trocas gasosas, a emissão de CH₄ entérico, a temperatura da superfície do corpo obtida por termografia infravermelha, características morfométricas, o perfil metabólico e o consumo de água de grupos divergente fenotipicamente de novilhas Girolando F1 para os índices de EA: consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR) e eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo de água residual (CRA). Trinta e cinco novilhas foram classificadas como de alta eficiência (AE) ou baixa eficiência (BE) para os índices avaliados. O consumo de alimentos e água foram mensurados por cochos e bebedouros eletrônicos, avaliou-se a temperatura de superfície corporal por termografia infravermelha (TIV), trocas gasosas e produção de calor através de máscara facial, medidas morfométricas com auxílio de hipômetro, comportamento de consumo de alimento e água foram obtidos com registros eletrônicos e metabólitos sanguíneos. As médias das variáveis para os grupos de novilhas divergentes fenotipicamente foram submetidas a ANOVA e os coeficientes de correlação de Pearson obtidos pelo PROC CORR. Novilhas de AE para CAR e CGR consumiram em média de 13% a menos de MS. A produção de CH₄ g/dia e o rendimento de CH₄/CMS (g/kg) não apresentaram diferenças para os grupos divergentes e índices avaliados, já para CH₄/g/dia/GMD, os grupos de AE apresentaram menores emissões, para os índices GPR, CGr e ECA. Para o índice CAR a temperatura mínima de olho obtida por TIV foi maior (1,24°C) para novilhas de BE e as temperaturas máxima, mínima e média de vulva mostrou-se maior em animais de AE. O consumo de água (L/dia) foi maior (11 L/dia) para os animais de BE para o CRA. As medidas morfométricas e os metabólitos sanguíneos não apresentaram diferenças entre os grupos de AE e BE para os índices avaliados. As diferenças entre as variáveis avaliadas entre os grupos de AE e BE diferiram de acordo com o índice de EA adotado. As métricas, consumo de matéria seca, temperatura de superfície e consumo de água se correlacionaram com os grupos divergentes de novilhas para os índices de EA, auxiliando na identificação novilhas de AE.

Palavras-chave: comportamento, consumo alimentar residual, eficiência alimentar, ganho residual, metano, termografia infravermelha

ABSTRACT - The objective of this study was to compare dry matter intake, performance, gas exchange, enteric CH₄ emission, body surface temperature obtained by infrared thermography, morphometric characteristics, metabolic profile and water consumption of phenotypically divergent groups of Girolando F1 heifers for the feed efficiency (FE) indices: residual feed intake (RFI), residual gain (RG), residual intake and gain (RIG), and feed conversion efficiency (FCE) and residual water intake (RWI). Thirty-five heifers were classified as high efficiency (HE) or low efficiency (LE) for the indices evaluated. The consumption of feed and water were measured by electronic troughs and drinking fountains, the body surface temperature was evaluated by infrared thermography (TIV), gas exchanges and heat production through facial mask, morphometric measurements using hypometer, consumption behavior of food and water were obtained with electronic records and blood metabolites. The means of the variables for the groups of phenotypically divergent heifers were submitted to ANOVA and the Pearson correlation coefficients obtained by PROC CORR. Heifers from HE to RFI and RIG consumed an average of 13% less than MS. The production of CH₄ g/day and the yield of CH₄ / DMI (g/kg) did not present differences for the divergent groups and indices evaluated. For the RFI index the minimum eye temperature obtained by TIV was higher (1,24 °C) for LE heifers and the maximum, minimum and average temperatures of vulva were higher in HE animals. Water consumption (L/day) was higher (11 L/day) for LE animals for RFI. The morphometric measurements and the blood metabolites did not show differences between the FE and LE groups for the indices evaluated. The differences between the variables evaluated between the HE and LE groups differed according to the index adopted. The metrics; dry matter intake, surface temperature and water consumption correlated with the divergent groups of heifers for HE indexes, helping to identify FE heifers.

Key-words: behavior, feed efficiency, infrared thermography, methane, residual feed intake, residual gain

INTRODUÇÃO

Com a estimativa do crescimento mundial, aumentará relativamente a demanda por produtos de origem animal, trazendo desafios na produção de carne e leite para atender esta exigência (FAO 2015). No entanto, para que os sistemas se tornem competitivos no mercado este aumento deverá ser socialmente sustentável, com produtos de qualidade, segurança alimentar e viável economicamente.

O maior custo da pecuária leiteira é a alimentação, aliada a outras preocupações, como, emissões de gases e perdas de nutrientes pelas fezes dos animais Leip et al. (2015), orienta as pesquisas a buscarem alternativas que preencham estas lacunas para viabilizar o sistema. Desta forma, identificar os animais com melhor eficiência na transformação dos nutrientes da dieta em produto final, seria uma opção para conseguir tais objetivos, pois esses consomem menos, há menos utilização de terras agricultáveis para pecuária, menos produção de fezes, consequentemente diminui impactos negativos para o meio ambiente, aliado a melhorias no desempenho animal.

As pesquisas sobre eficiência alimentar têm avançado nas últimas décadas, embora ainda seja um desafio o avanço para bovinocultura de leiteira. Uma das razões é a dificuldade na mensuração do consumo de alimentos, pelo seu alto custo para medir com precisão em um grande número de vacas. As características de eficiência alimentar são ideais para a seleção genômica, desde que o consumo de matéria seca seja medido juntamente com outras características, como o ganho de peso vivo em um subgrupo de animais representativos da população comercial. A equação de previsão genômica que é derivada pode então ser aplicada a outros animais que possuem genótipos e nenhum fenótipo (ou seja, nenhuma medida individual para o CMS).

Berry & Crowley (2013) revisaram diversas formas de calcular a eficiência alimentar. O consumo alimentar residual (CAR), é calculado pela diferença entre o consumo de matéria seca (CMS) real e previsto. O ganho de peso residual (GPR) é representado pelos resíduos de um modelo de regressão múltipla que regride o ganho médio diário (GMD) para o CMS e o peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), estas medidas foram propostas por Koch et al. (1963). E um novo índice, o consumo e o ganho residual (CGR) que mantém características favoráveis do CAR e GPR e é independente do peso corporal sugerido por (Berry & Crowley, 2013).

A utilização desses índices em pesquisas relacionados com bovinos leiteiros são

limitados a bovinos *Bos taurus taurus* e ainda são escassos em regiões de clima tropical (Davis et al. 2014; Green et al. 2013; Williams et al. 2011).

O estudo de diferentes medidas de EA e a identificação dos animais mais eficientes em relação ao aproveitamento de alimento, aliado a técnicas consistentes, acurada, não invasiva e relativamente de baixo custo para melhorar eficiência alimentar no sistema de produção, como a termografia infravermelha (Digiacoimo et al. 2014; Martello et al. 2015), método da máscara facial para avaliação de trocas gasosas e produção de calor (Leão et al. 2018), podem contribuir significativamente para o progresso nas pesquisas com animais mestiços criados em regiões tropicais.

Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da divergência fenotípica de novilhas F1 Girolando confinadas, para EA no consumo de alimento e água, comportamento, desempenho, trocas gasosas, produção de calor, emissão de CH₄ entérico, temperatura da superfície do corpo obtidas por termografia infravermelha e variáveis morfométricas.

MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos com animais experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Embrapa Gado de Leite (protocolo CEUA-EGL n. n° 3403210316).

Animais e Área Experimental

O experimento foi realizado entre maio e julho de 2016, na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil.

Foram avaliadas trinta e cinco novilhas Girolando F1 (Holandês x Gir) com 450 ± 30 dias de idade no início do período de testes e peso vivo inicial (PVI) de 348 ± 50 kg durante 60 dias de experimento.

Dieta e mensuração de consumo

As novilhas foram mantidas em uma área total de aproximadamente 0,2 hectare equipadas com 14 cochos eletrônicos (AF-1000 Master Gate, Intergado Ltd., Contagem, MG, Brasil) e 2 bebedouros eletrônicos (WD-1000, Intergado Ltd., Contagem, Minas Gerais, Brasil). Estes equipamentos monitoraram a alimentação individual, ingestão de água e o comportamento destes parâmetros através de um leitor de frequência de rádio Chizzotti et al. (2015).

Os animais utilizaram um botton com transponder eletrônico (FDX - ISO 11784/11785; Allflex, Joinville, SC, Brasil) para identificação individual. Os dados coletados de duração da visita e o número de visitas aos cochos de alimentação e água, ingestão de alimentação fresca e de água foram exportados para o Software Web Intergado ®.

A ração total misturada foi disponibilizada à vontade para os animais e ajustada diariamente para garantir aproximadamente 10% de sobras. Composta por 75% de silagem de milho e 25% de concentrado (MS), este constituído de farelo de soja (96%) e mistura de minerais (4%).

A dieta foi formulada de acordo com as recomendações do NRC (2001) para ganhos 900g/dia e foram oferecidos duas vezes ao dia (8:30h e 15:30h).

Durante o ensaio experimental foram coletadas semanalmente duas amostras da dieta e feitas compostas para posteriores análises químico-bromatológicas (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química e bromatológica da silagem e concentrado

	Silagem	Concentrado
¹ MS (g/kg)	330,2	900,6
CZ (g/kg ¹)	47,8	104,8
MO (g/kg ¹)	952,2	895,2
EE (g/kg ¹)	39,4	36,5
FDNcp(g/kg ¹)	403,9	129,9
FDA(g/kg ¹)	220,2	87,9
PB (g/kg ¹)	77,48	443,4
CNF (g/kg ¹)	434	285,5

¹MS: Matéria seca, CZ:Cinzas MO: Matéria orgânica, PB: Proteína bruta, EE: Extrato etéreo, FDNcp: Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, FDA: Fibra em detergente ácido, CNF: Carboidrato não fibroso.

Análises químico-bromatológicas

As amostras pré-secas foram processadas em moinho tipo Willey, com peneira de 1 mm e enviadas para as análises químico-bromatológicas no laboratório de análise de alimentos da Embrapa Gado de Leite para determinar os teores de matéria seca (MS), em estufa a 105°C (AOAC, 1995; método 934.01); cinzas (AOAC, 1995; método 942,05), proteína bruta (PB) pelo método Kjeldahl (AOAC, 1995; método 984,13); fibra detergente neutro (FDN) pelo método sequencial de Van Soest et al. (1991), adaptado para as condições do aparelho ANKOM220, Fiber Analyzer (Ankom Technology, 38 Fairport, NY), Extrato etéreo (EE) (AOAC, 1995; método 920.39). Para os cálculos de carboidratos não fibrosos (CNF) fibrosos foram calculados usando a equação proposta por Hall et al. (1999): $CNF_{cp} = 100 - (CP + FDN_{cp} + EE + cinza)$, em que cp representa correção para cinzas e proteínas.

Índices de Eficiência Alimentar

O CAR e o GPR foram calculados conforme metodologia proposta por Koch et al. (1963), sendo a diferença entre o CMS ou GMD observado e o esperado respectivamente.

O CMS e GMD esperado foi obtido por regressão linear múltipla com base no CMS ou GMD observado, em função do peso vivo metabólico = $PV^{0,75}$ e GMD, em que o intercepto β_0 e os coeficientes de regressão β_1 e β_2 são médios para o grupo e resíduo (ϵ), o erro de cada observação:

$$\text{CMS esp} = \beta_0 + \beta_1 \times (PV^{0,75}) + \beta_2 \times \text{GMD} + \epsilon$$

Ou

$$\text{GMD esp} = \beta_0 + \beta_1 \times (PV^{0,75}) + \beta_2 \times \text{CMS} + \epsilon$$

O consumo e o ganho de peso (CGR), associa o CAR e o GPR, esse foi calculado pela soma do CAR e multiplicado por -1 e o GPR (Berry & Crowley, 2013);

$$\text{CGR} = [\text{CAR} \times (-1)] + \text{GR}$$

A eficiência de conversão alimentar (ECA) foi calculada pela razão entre o CMS/GMD Korver (1988).

O consumo residual de água (CRA) foi calculado pela diferença do consumo de água real e consumo esperado de água. O CRA esperado foi predito por regressão linear com base no peso metabólico do grupo contemporâneo (Menezes et al., 2018).

Para a avaliação das associações dos parâmetros e os índices de eficiência alimentar as novilhas foram classificadas em grupos de alta eficiência CAR, considerando a EA $<0,5$ desvio padrão abaixo da média e de baixa eficiência quando $>0,5$ desvio padrão acima da média; já para os índices GPR, CGR e ECA as novilhas de alta eficiência apresentaram EA $>0,5$ do desvio padrão acima da média e as novilhas de baixa eficiência $<0,5$ desvio padrão abaixo da média.

Desempenho produtivo e medidas morfométricas

As novilhas foram pesadas diariamente em balanças eletrônicas acopladas aos bebedouros (WD-1000, Intergado Ltd., Contagem, Minas Gerais, Brasil) e geraram dados por 24 h, exportados para o Software Web Intergado ®.

As medidas morfométricas foram realizadas a cada 20 dias, utilizando hipômetro (Walmur, Porto Alegre, RS, Brasil) e os parâmetros avaliados foram: altura de cernelha (AC - distância vertical em cm entre o ponto mais alto da cernelha até o chão), altura do quadril (AQ - distância vertical em cm da coluna vertebral entre os íleos e o chão), largura entre íleos (LIL - distância horizontal em cm entre as protuberâncias dos íleos), profundidade do corpo (PC - distância mensurada na altura da última costela entre a linha dorsal do animal e a parte mais baixa de seu ventre) e circunferência do tórax (CT -

mensuração da circunferência do tórax, perpendicularmente à linha da base do dorso passando pelo osso externo) usando fita métrica flexível (Bovitec , São Paulo, SP, Brasil).

Termografia infravermelha

A cada 15 dias, durante o ensaio de EA avaliou-se as seguintes regiões anatômicas: olho e vulva, pela técnica de termografia por infravermelho, realizada com dispositivo portátil (FLIR T420, FLIR Systems, Inc., Wilsonville, OR, EUA). Padronizou-se a distância do termógrafo à região anatômica em 0,5 m, 20°C de temperatura de refletância e adotou-se 0,98 como valor de emissividade, conforme recomendação do fabricante para tecidos biológicos e de acordo com os valores utilizados por Montanholi et al. (2008, 2009). Os arquivos gerados foram processados e interpretados com software FLIR Tools 5.6 (FLIR Systems, Wilsonville, OR, USA).

Amostragem e Análise de Sangue

As amostras de sangue foram realizadas em três coletas, a cada 20 dias durante o ensaio, por punção da veia coccígea em dois tubos Vacutainer® de 5 mL após antissepsia local. Primeiro tubo contendo EDTA para análise de β hidroxibutirato e insulina e o segundo tubo contendo fluoreto de sódio e EDTA para análise de glicose. As amostras foram imediatamente homogeneizadas, armazenadas em gelo até serem centrifugadas a 3000 rpm durante 10 minutos. O plasma foi fracionado em dois tubos Eppendorf de 1,5 mL por animal e armazenado a -20 ° C até a análise.

Para a quantificação analítica das amostras, utilizou-se o equipamento espectrofotômetro de microplacas EON da Biotek (Biotek Instruments Inc., Vermont, EUA). A concentração plasmática de β - hidroxibutirato foi determinada pelo método enzimático (Kit Randox Ranbut, Randox Laboratories Ltd, Crumlin , Reino Unido). A glicose plasmática foi mensurada pelo método colorimétrico enzimático (Kovalent do Brasil Ltda., Rio de Janeiro / RJ) e os resultados de insulina foi obtido através do kit ELISA bovino (Mercodia , Uppsala, Suécia).

Mensurações com a máscara facial

Posteriormente a prova de eficiência alimentar, foram realizadas mensurações de

trocas gasosas e produção de calor com utilização de máscara facial conforme a metodologia descrita por Oss et al., 2016. Durante o período de coleta os animais foram conduzidos para um galpão do tipo tie stall e receberam a ração total misturada (RTM) de forma escalonada, com intervalo de 30 minutos para cada, após quatro horas, as mensurações foram realizadas por 20 minutos. Esse período foi precedido e sucedido de 5 minutos de amostragem do ar ambiente. O fluxo de ar através da máscara foi controlado e mensurado pelo fluxômetro de massa (TPP) (Flow-Kit 500, Sable Systems), sendo uma amostra deste fluxo (200 mL/min) direcionada para o analisador de vapor d'água (RH300, Sable Systems), dióxido de carbono (CA-10, Sable Systems), metano (MA-10, Sable Systems) e oxigênio (FC-10, Sable Systems). Os dados obtidos foram coletados pelo software Expedata (Sable Systems) e o consumo de O₂ foi calculado segundo a equação 1, e a emissão de CO₂ e metano segundo a equação 2 e 3 respectivamente.

$$\text{Consumo de O}_2 \text{ (mL/min)} = \text{Fluxo de ar (TPP)} * ([\text{O}_2]_{\text{máscara}} - [\text{O}_2]_{\text{ar-ambiente}})$$

(Eq. 1)

$$\text{Consumo de CO}_2 \text{ (mL/min)} = \text{Fluxo de ar (TPP)} * ([\text{CO}_2]_{\text{máscara}} - [\text{CO}_2]_{\text{ar-ambiente}})$$

(Eq. 2)

$$\text{Consumo de CH}_4 \text{ (mL/min)} = \text{Fluxo de ar (TPP)} * ([\text{CH}_4]_{\text{máscara}} - [\text{CH}_4]_{\text{ar-ambiente}})$$

(Eq. 3)

A produção de calor diária (PC, Kcal/dia) foi calculada conforme Brouwer (1965), desconsiderando o Nu (Leão et al. 2018):

$$\text{PC (kcal/dia)} = (3,866 \times \text{O}_2) + (1,200 \times \text{CO}_2) - (0,518 \times \text{CH}_4)$$

Variáveis comportamentais de consumo de dieta total e água

Para cada visita ao cocho, o sistema registrou através de um transponder individual (transponder passivo FDX - ISO 11784/11785; Allflex, Joinville, SC, Brasil) o número de visitas (frequência), a duração da visita (diferença entre o tempo inicial e final da visita), a ingestão do alimento ou água (diferença de peso da dieta ou da água no início e no final de cada visita ao cocho). Os dados foram obtidos e armazenados continuamente pelo software web Intergado®.

Procedimentos Estatísticos

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAS versão 9.2

((SAS Institute Inc., Cary, NC). O consumo de matéria seca e nutrientes, medidas morfométricas, termografia por infravermelho, parâmetros sanguíneos e consumo de água foram analisados como medidas repetidas utilizando o procedimento MIXED, considerando os animais dentro dos tratamentos índices CAR, GPR, CGR, ECA e CRA como efeito aleatório e índices e semanas como efeito fixo. Os dados de trocas gasosas e desempenho foram submetidos a ANOVA. A comparação entre as médias foi feita pelo teste de quadrados mínimos (LSMeans), ao nível de significância 5% ($P \leq 0,05$). Os coeficientes de correlação de Pearson entre as respostas variáveis e os índices avaliados foram obtidos por procedimento PROC CORR.

RESULTADOS

Consumo de matéria seca e nutrientes, desempenho e medidas morfométricas

As novilhas de AE e BE para CAR e CGR apresentaram diferenças quanto o consumo de matéria seca e nutrientes (Tabela 2).

As novilhas de eficientes para o CAR consumiram em média 12,93% (1,32kg MS/dia), 13,99% proteína (PB), 13,16% extrato etéreo (EE) e 12,95% fibra em detergente neutro (FDNcp) a menos que o grupo de baixa eficiência. Considerando o índice CGR, as novilhas de AE alimentar consumiram 9,03 kg MS/dia, 13% a menos que o grupo de BE (10,16 kg MS/dia). A ingestão de PB, FDN e CNF foram observadas diferenças de 13,1, 15,7 e 8,00% respectivamente a menos para o grupo de novilhas mais eficientes.

O ganho de peso diário foi similar para os grupos de AE e BE para o CAR, CGR e o CRA. Para os índices GPR e ECA os grupos de AE e BE apresentaram diferenças significativas. Para o GPR as novilhas de AE apresentaram o maior ganho de peso, (1,33 vs 0,94 kg/d) e correlação de 0,98 ($P < 0,01$). Verificou-se o maior ganho para as novilhas de AE, para ECA (1,33 vs 0,95 kg/d) e correlação de 0,91 ($P < 0,01$) em relação as novilhas de BE. O peso inicial e o peso final não diferiram entre os grupos de AE e BE para os índices de EA.

Os dados de mensurações morfométricas foram similares entre os grupos de AE e BE alimentar para eficiência alimentar (Tabela 3).

Trocas gasosas, produção de metano e de calor

Não foram observadas diferenças significativas (Tabela 4) na produção de CH₄ (g/kg PM), rendimento de CH₄ (CH₄ /CMS/g/dia) e produção de calor para os grupos divergentes de novilhas para os índices CAR, GPR, CGR, ECA . Para o CRA, foram observadas diferenças para volume de oxigênio (VO₂ L/min e VO₂ L/dia) e volume de dióxido de carbono (VCO₂ L/min e VCO₂ L/dia L/min)

As emissões de CH₄ por ganho médio de peso diário, diferiram entre os grupos divergentes fenotipicamente, 153 vs 219 g/dia/GMD para o GPR, 172 vs 199 g/dia/GMD para o CGR e 153 vs 214 g/dia/GMD para ECA, para os grupos de AE e BE respectivamente.

Termografia infravermelha

Os resultados apresentados na Tabela 5, demonstram que houve diferenças significativas para temperaturas superficiais.

Para o CAR novilhas de AE apresentaram menores temperaturas de olho mínima e ambiente em relação as de BE, (30,31°C vs 31,55 °C) e (26,44°C vs 27,29°C) respectivamente, mas para temperatura de vulva, máxima, mínima e média, foram maiores (37,35, 35,07 e 36,41°C) em relação as de BE (36,66, 33,91 e 35,81°C).

Para índice o GPR constatou-se maiores temperaturas ambiente e de vulva máxima para novilhas de AE em relação ao grupo de BE (28,11°C vs 26,85°C) e (37,33 vs 36,81).

Verificou-se para o CGR, menor temperatura de olho mínima para o grupo de AE 30,26°C vs 31,63 °C para novilhas BE. As temperaturas de vulva, máxima, mínima e média, foram maiores (37,36, 35,13 e 36,48°C) em relação ao grupo de BE (36,57, 34,03 e 35,81°C).

Considerando a ECA para as novilhas de AE denotou-se maiores temperaturas ambiente e de vulva máxima em relação ao grupo de BE (28,11°C vs 27°C) e (37,33 vs 36,77) respectivamente.

Consumo de água

O consumo de água (L/d) foi similar para os grupos divergentes de novilhas e diferentes índices analisados.

Para o consumo residual de água, verificou-se menor consumo (21,41 L/dia) para novilhas de AE, enquanto as novilhas de BE, o consumo médio foi de 32,18 L/dia (Tabela 6).

Variáveis comportamentais de consumo de dieta total e água

A tabela 7 apresenta os resultados de comportamento de consumo de dieta e de água. As variáveis estudadas, para o comportamento de consumo de dieta, foram semelhantes para os grupos de AE e BE alimentar considerando os índices CAR, GPR, CGR, ECA e CRA.

Quanto ao comportamento de consumo de água, o grupo de novilhas de BE

obtiveram maior número de eventos: frequência de visita, tempo total de visita ao bebedouro, visitas com consumo e tempo de consumo, em relação as novilhas de AE considerando o índice CAR.

Parâmetros sanguíneos

Os parâmetros metabólicos: glicose, insulina e betahidroxibutirato foram semelhantes entre grupos divergentes de novilhas F1 Girolando para os índices avaliados (Tabela 8).

Tabela 2. Consumo de matéria seca, consumo de nutrientes e desempenho em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)

Parâmetros	CAR				GPR				CGR				ECA				CRA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
CMS (Kg/dia)	8.89	10.21	0.22	0.0005	9.60	9.47	0.28	0.8258	9.03	10.16	0.24	0.0040	9.60	9.67	0.24	0.8582	9.60	9.99	0.30	0.3611
CMO (Kg/dia)	8.35	9.57	0.21	0.0006	9.03	8.88	0.26	0.6818	8.48	9.53	0.23	0.0048	9.03	9.60	0.23	0.9303	9.02	9.38	0.26	0.3598
CPB (Kg/dia)	1.23	1.43	0.03	0.0006	1.35	1.33	0.03	0.6860	1.27	1.42	0.03	0.0048	1.35	1.35	0.03	0.9550	1.35	1.41	0.04	0.3194
CFDNcp (Kg/dia)	3.16	3.63	0.08	0.0006	3.42	3.37	0.10	0.7158	3.21	3.61	0.08	0.0046	3.42	3.44	0.08	0.8846	3.42	3.56	0.10	0.3361
CEE (Kg/dia)	0.33	0.38	0.09	0.0007	0.36	0.35	0.36	0.7218	0.34	0.38	0.09	0.0067	0.36	0.36	0.09	0.8833	0.36	0.37	0.01	0.1774
CCNF(Kg/dia)	3.60	4.13	0.09	0.0005	3.88	3.83	0.11	0.7320	3.65	4.11	0.10	0.0044	3.88	3.91	0.10	0.8738	3.88	4.04	0.11	0.3511
PI(Kg)	438	438	10.87	0.9607	439	438	10.09	0.9689	438	442	10.74	0.7827	439	440	10.74	0.9451	449	458	12.20	0.6245
PF(Kg)	505	512	12.69	0.6750	513	504	11.35	0.5810	506	516	12.74	0.6184	513	506	12.13	0.6744	490	497	13.60	0.7176
GMD (kg/d)	1.13	1.14	0.06	0.9270	1.33	0.94	0.03	0.0001	1.19	1.08	0.005	0.1253	1.33	0.95	0.04	0.0001	1.10	1.14	0.07	0.6431

CMS=consumo de matéria seca, CMO=consumo de matéria orgânica, CPB= consumo de proteína bruta, CFDNcp=consumo de fibra insolúvel em detergente neutro corrigidas para cinzas e proteínas, CEE=consumo de extrato etéreo, CCNF= consumo de carboidratos não fibrosos, PI= peso inicial, PF= peso final, GMD=ganho médio diário

Tabela 3. Parâmetros respiratórios e emissão de metano em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)

Parâmetros	CAR				GPR				CGR				ECA				CRA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
VO ₂ (L/kg PV)	33	34	1.02	0.2830	34	32	0.61	0.2132	33	33	0.81	0.5996	34	32	0.67	0.2305	32	33	0.58	0.1389
VO ₂ (L/min)	2.50	2.57	0.26	0.4817	2.53	2.41	0.04	0.1397	2.49	2.54	0.04	0.3878	2.53	2.41	0.06	0.1911	2.39	2.63	0.05	0.0042
VO ₂ (L/dia)	3613	3714	171	0.6689	3646	3478	89.5	0.1397	3593	3664	129	0.5878	3646	3484	89.5	0.1911	3447	3787	77.2	0.0042
VCO ₂ (L/kg PV)	38	38	1.46	0.6729	37	35	0.93	0.2394	37	36	0.61	0.5234	37	35	0.93	0.1778	35	37	0.83	0.1616
VCO ₂ (L/min)	2.90	2.85	0.156	0.6689	2.79	2.63	0.09	0.1807	2.81	2.76	0.06	0.7243	2.79	2.62	0.09	0.1739	2.62	2.91	0.08	0.0161
VCO ₂ (L/dia)	4186	4104	225	0.6689	4026	3796	136	0.1807	4052	3986	182	0.7243	4026	3774	136	0.1739	3775	4198	117	0.0161
VCH ₄ (L/d)	289	302	19.8	0.4799	287	280	11.53	0.6900	295	299	16.6	0.8074	287	286	12.2	0.9453	283	296	11.2	0.3868
CH ₄ (g/dia)	206	215	14	0.4799	205	206	8.06	0.6900	210	214	11.9	0.8074	205	204	8.69	0.9453	202	211	8.03	0.3828
CH ₄ (g/dia/GMD)	182	186	6.7	0.8090	153	219	9.23	0.0001	172	199	9.65	0.0250	153	214	10	0.0001	196	176	12	0.1820
CH ₄ (g/ kg PM)	2.56	2.80	0.14	0.1269	1.91	1.90	0.05	0.6324	2.74	2.77	0.11	0.8061	2.67	2.70	0.11	0.8610	1.89	1.89	0.09	0.9797
CH ₄ /CMS (g/kg)	22	20	0.89	0.2360	21	22	2.11	0.7610	22	20	1.09	0.2060	20	20	0.81	0.9640	21	20	0.83	0.3090
CH ₄ /CMO (g/kg)	27	26	1.10	0.1759	27	26	2.75	0.5436	44	43	3.27	0.8041	45	43	3.43	0.5481	43	46	3.52	0.6548
CH ₄ /CFDNcp (g/kg)	101	111	72	0.1759	114	108	6.68	0.5436	112	109	8.18	0.8042	114	108	8.57	0.5481	109	155	8.80	0.7300
PC (kcal/dia)	1888	1199	296	0.7103	1877	1785	500	0.1410	1860	1879	706	0.7861	1879	1785	500	0.1742	1771	1952	422	0.1742
PC/PV ^{0.75}	174	177	5.61	0.5419	175	169	3.31	0.2007	173	174	4.35	0.8729	175	168	3.54	0.1930	166	174	3.89	0.9596

VO₂= Volume de Oxigênio, VCO₂= Volume de dióxido de carbono, VCH₄= Volume de metano, CH₄/CMS = Metano por consumo de matéria seca, CH₄/CMO= Metano por consumo de matéria orgânica, CH₄/CFDNcp=Metano por consumo de fibra insolúvel detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, PC=Produção de calor, PC/PV^{0.75}=Produção de calor por peso metabólico

Tabela 4. Temperatura de superfície de corpo obtida por termografia infravermelha em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)

Local (°C)	CAR				GPR				CGR				ECA				CRA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
Olho máx.	36.70	36.72	0.13	0.9217	36.90	36.84	0.11	0.7530	36.78	36.79	0.11	0.9510	36.90	36.88	0.11	0.9087	36.85	36.72	0.12	0.5095
Olho min.	30.31	31.55	0.33	0.0126	31.38	31.41	0.24	0.9303	30.26	31.63	0.33	0.0093	31.38	31.53	0.23	0.6791	31.35	30.95	0.24	0.2455
Olho med.	34.45	34.68	0.17	0.3485	34.84	34.65	0.12	0.3025	34.43	34.7	0.17	0.2940	34.84	34.67	0.12	0.3460	34.77	34.55	0.11	0.1730
Temp. ambiente	26.44	27.69	0.44	0.0531	28.11	26.85	0.28	0.0055	26.66	27.33	0.44	0.1746	28.11	27.07	0.25	0.0104	26.87	27.22	0.49	0.6098
Umidade relativa	65.76	63.47	0.85	0.0674	63.83	65.14	1.04	0.3842	65.71	64.1	0.88	0.2117	63.83	64.79	1.04	0.5322	64.01	63.99	1.36	0.9914
Vulva máx.	37.35	36.66	0.16	0.0059	37.33	36.81	0.16	0.0335	37.36	36.57	0.15	0.0017	37.33	36.77	0.16	0.0276	37.05	37.06	0.15	0.9629
Vulva min.	35.07	33.91	0.29	0.0087	34.87	34.52	0.32	0.4634	35.13	34.03	0.29	0.0143	34.87	34.4	0.33	0.3457	34.45	34.50	0.35	0.9284
Vulva med.	36.41	35.81	0.19	0.0406	36.52	36.04	0.19	0.0943	36.48	35.71	0.18	0.0086	36.52	35.97	0.18	0.0604	36.15	36.11	0.19	0.8784

Max. = máxima, min. = mínima, méd. = média, Temp.= temperatura, °C=graus Celsius

Tabela 5. Medidas morfométricas m grupos de alta eficiência (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)

Tratamentos (UN)	CAR				GPR				CGR				ECA				CRA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
ECC	3.96	3.86	0.05	0.1843	3.96	3.90	0.05	0.3907	3.98	3.87	0.05	0.1394	3.96	3.89	0.05	0.3397	3.9	3.91	0.06	0.6718
CTI (cm)	179	179	1.95	0.9917	181	179	0.34	0.3405	180	179	1.86	0.9049	181	180	1.53	0.6402	181	180	2.09	0.6742
AC (cm)	132	131	1.00	0.2948	133	131	1.00	0.1981	132	131	0.96	0.3754	133	132	0.93	0.3065	132	132	1.17	0.9267
AG (cm)	137	136	1.06	0.6767	138	136	1.10	0.2509	137	137	1.04	0.5848	138	137	1.06	0.3940	138	137	1.22	0.8818
LIL (cm)	46	45	0.46	0.2226	46	45	0.43	0.1302	45	45	0.47	0.4197	46	45	0.42	0.2295	46	45	0.42	0.2295
PC (cm)	73.20	72.50	0.96	0.6027	74.75	72.59	0.81	0.0889	73.08	72.32	0.92	0.5733	74.65	72.80	0.82	0.1354	73.83	73	1.05	0.5633
LP (cm)	45	44	0.61	0.4974	45	44	0.57	0.1515	44	44	0.59	0.6435	45	44	0.57	0.2102	45	45	0.69	0.7799

ECC: Escore de condição corporal, CTI: Circunferência do tórax, AC: Altura de cernelha, AG: Altura de garupa, LIL: Largura entre fêleos, PC: Profundidade do corpo, LP: Largura de peito

Tabela 6. Consumo de água em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)

Parâmetros	CAR				GPR				CGR				ECA				CRA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
CA (L/d)	23	27	1.82	0.1489	24	24	1.75	0.8351	22	23	0.98	0.2409	24	23	1.8	0.8018	21	32	1.72	0.002

CA: consumo de água

Tabela 7. Parâmetros de comportamento de consumo de água e comportamento consumo de dieta total de novilhas de alta e baixa eficiência para consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)

Parâmetros	CAR				GPR				CGR				ECA				CRA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
FVB (eventos/d)	3.54	4.13	0.16	0.0198	3.77	3.88	0.19	0.7145	3.48	4.10	0.16	0.0178	3.77	3.97	0.19	0.4919	3.79	4.3	0.26	0.1555
MDVB (min/evento)	2.92	3.47	0.26	0.1532	3.01	3.33	0.31	0.4799	2.92	3.27	0.29	0.4181	3.11	3.37	0.32	0.4397	3.21	2.9	0.27	0.5396
DVB (min/d)	10	14	1.19	0.0432	11	13	1.43	0.4074	10	13	1.34	0.1317	11	13	1.43	0.3077	2.37	2.8	1.51	0.8361
FVCAG (eventos/d)	3.49	4.04	0.17	0.0289	3.72	3.78	0.19	0.8346	3.3	3.99	0.17	0.3312	3.72	3.87	0.19	0.6171	3.70	4.2	0.26	0.1332
MDVCAG (min/evento)	10	13	1.15	0.0409	11.3	12	1.4	0.4343	10	13	1.31	0.1351	11	13	1.47	0.3332	12	12	1.50	0.7772
FVC (eventos/d)	94	93	8.5	0.967	88	94	7.9	0.6099	94	93	9.0	0.9598	88	99	7.4	0.2891	94	78	7.2	0.1589
MDVC (min/evento)	1.33	1.38	0.13	0.8117	1.4	1.39	0.11	0.9447	1.33	1.38	0.13	0.7815	1.4	1.32	0.11	0.5989	1.31	1.64	0.11	0.0655
DVB (min/d)	116	119	6.2	0.7053	122	118	6.3	0.7258	116	118	5.14	0.7303	122	122	6	0.9889	120	120	7.41	0.9499
FVCDT (eventos/d)	73	75	6.17	0.7584	70	74	5.6	0.6213	73	76	6.6	0.6962	70	79	4.9	0.2647	75	63	6.45	0.1775
MDVCDT (min/evento)	112	112	4.86	0.9991	114	115	4.9	0.8664	112	116	4.97	0.6381	114	118	4.44	0.5002	117	110	5.64	0.4177

FVB; eventos/d= Frequência de visita ao bebedouro, MDVB; min/evento= Média de visita ao bebedouro, DVB; min/d= Duração total de visita ao bebedouro FVCAG; eventos/d= Frequência de visitas com consumo de água, MDVCAG; min/evento= Duração da visita com CAG FVC; eventos/d =Frequência de visita ao cocho MDVC; min/evento=Média de visita ao cocho DVC; min/d =Duração total de visita ao cocho, FVCDT; eventos/d =Frequência de visitas com consumo de dieta total, MDVCDT; min/evento =Duração da visita com consumo de dieta total

Tabela 8. Metabólitos sanguíneos em grupos de alta (AE) e baixa eficiência (BE) de novilhas de acordo com consumo alimentar residual (CAR), ganho de peso residual (GPR), consumo e ganho residual (CGR), eficiência de conversão alimentar (ECA) e consumo residual de água (CRA)

Tratamentos (unidades)	CAR				GPR				CGR				ECA				CRA			
	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor	AE	BE	SEM	P-valor
Glicose (mg/L)	71	75	1.71	0.0697	72	74	1.55	0.5328	71	75	1.86	0.1796	71	75	1.86	0.1796	74	77	1.37	0.3300
Insulina (μ l/mL)	0.31	0.33	0.01	0.1387	0.33	0.33	0.01	0.6937	0.31	0.33	0.01	0.2091	0.31	0.33	0.01	0.2091	0.34	0.31	0.01	0.1710
BHB (mmol/L)	0.76	0.76	0.03	0.9735	0.73	0.78	0.03	0.3915	0.76	0.76	0.03	0.9322	0.76	0.76	0.03	0.9322	0.75	0.75	0.04	0.9639

BHB = Beta-hydroxybutyrato

DISCUSSÃO

Eficiência alimentar e consumo de matéria seca

As variações no CMS para os grupos divergentes para o CAR evidenciam a dependência fenotípica ($r = 0,61$, $P=0,001$). A razão para tais variações fenotípicas no CAR, mínima de $-1,44$ kg MS/dia para novilhas de AE e máximo de $1,21$ kg MS/dia para novilhas de BE, estão associadas a variações biológicas e mecanismos fisiológicos, tais como respostas ao estresse, *turnover* proteico, metabolismo dos tecidos, atividade, digestibilidade, incremento calórico, composição corporal e comportamento de alimentação. Os animais que apresentam CAR negativo possivelmente detêm menores exigências de manutenção e aproveitam melhor a dieta, resultando maior digestibilidade dos alimentos, enquanto animais de BE, possuem maior proporção da ingestão de energia metabolizável direcionada para a produção de calor e menor proporção para a retenção de energia (VandeHaar et al. 2016). Diferenças na eficiência digestiva podem contribuir para 10 a 20% das diferenças no CAR entre as vacas.

Esses resultados observados, são similares aos de trabalhos com bovinos em crescimento (Berry & Crowley, 2012; Grion et al. 2014; Manafiziar et al, 2015; Chaves et al., 2015; Leão et al., 2018) confirmando relação positiva entre o CAR e CMS.

Basarab et al. (2013) relatou o coeficiente de correlação fenotípica entre o CMS e o CAR de $0,60$ ($P = 0,0001$), em concordância com Ceacero et al. (2016) que relataram correlação fenotípica de $0,73$ e correlação genética de $0,68$ entre CMS e CAR em bovinos Nelore selecionados para peso pós-desmame. A adoção do CAR como índice de EA para novilhas Girolando F1 permite a seleção de animais mais eficientes, pois estas tendem a apresentar menor exigência de manutenção com base no peso metabólico, sem consequências negativas para peso final.

Quando avaliaram novilhos de CAR eficientes e ineficientes, Nascimento (2015) observaram que o consumo dos animais mais eficientes em kg/d foi no mínimo $11,2\%$ menor em relação aos menos eficientes com peso vivo e ganho de peso vivo similares. Zorzi et al. (2013) avaliando 59 novilhos Nelore relatou uma diferença de 10% no consumo entre os animais de alto e baixo CAR. Leão et al. (2018) avaliando classificação fenotipicamente divergente de novilha Holstein x Gir, para índices de eficiência

alimentar, encontraram para os animais de AE alimentar, 13% menor que BE ($P < 0,01$) e correlação entre CMS e CAR de 0,60 ($P < 0,01$)

Para o índice CGR, o CMS diferiu entre os grupos divergentes, no entanto não foram encontradas diferenças para o ganho de peso, ou seja, a escolha dos animais com base nesse índice pode implicar em animais de crescimento mais lento, como reportado para o CAR. Berry & Crowley (2012) trabalhando com CGR encontraram que os animais eficientes consumiram em média 5,45% menos alimentos em kg/MS (11,0 kg/d vs 10,4 kg/d).

Como esperado, o CAR não apresentou relação significativa ($P < 0,05$) com o peso vivo metabólico. No entanto, para o CGR, seria vantajoso esta relação, pois esperava-se menor CMS e o maior ganho de peso, possivelmente por ser calculado com associação do CAR e esse é ajustado para peso metabólico e ganho de peso, levou a independência fenotípica deste índice e do peso vivo metabólico, ou seja, ao serem utilizados como critério de seleção de animais eficientes o CAR e CGR, possivelmente não irão alterar o crescimento e tamanho adulto do rebanho. A escolha de animais de AE com menor consumo de acordo com CAR ou CGR, presume-se que não irão afetar a maturidade do rebanho ou aumentar as exigências de manutenção, trazendo impacto positivo a rentabilidade do sistema.

Para os grupos divergentes de GPR o CMS foi similar, mas houve diferenças no ganho de peso, resultados almejados, pois o ganho de peso é ajustado para peso metabólico e para a ingestão de alimentos. Indicando, que as diferenças entre indivíduos para GMD serão independentes de diferenças na quantidade de alimento ingerido e no peso vivo. Desta forma, as variações no GMD ocorre devido as variações na capacidade de melhor conversão do alimento Gomes et al. (2012).

No presente trabalho houve correlação positiva, $r = 0,91$ ($P = 0,001$) entre ECA e GMD, mas com CMS similar e sem afetar o peso final. Berry & Crowley et al. (2013) observaram correlação genética negativa entre ECA e GMD (-0,53) e correlação positiva entre ECA e PV (0,34). Sugerindo que a seleção a partir destas medidas de eficiência alimentar, indiretamente, aumenta a taxa de crescimento e tamanho do animal adulto, implicando no aumento das exigências de alimentação para o rebanho (Lancaster et al., 2009).

Trocas de gases, produção de metano e de calor

Foram identificadas diferenças para as variáveis de trocas gasosas para o CRA e emissão de metano expresso em g/dia/GMD entre os grupos divergentes para os diferentes índices GPR, CGE e ECA. Mercadante et al. (2015) estudaram a relação entre o CAR e emissão de CH₄ entérico em bovinos da raça Nelore e concluíram que não há evidências de animais mais eficientes emitirem menos CH₄ entérico, mesmo com menor CMS e desempenho igual ao de sua contraparte ineficiente. Lu et al. (2018) relataram rendimento de CH₄ (g / kg CMS) semelhante para novilhas de alto e baixo CAR (26,5 vs 26,5 g/kg CMS, P = 0,99). Da mesma forma, Charmley et al. (2016) realizaram metanálise usando dados de CH₄ coletados de mais de 1.000 animais alimentados com dietas com 70% de forrageiras e relataram que o rendimento de CH₄ (média de 20,7 g / kg de CMS) não foi afetado pelo CMS. No geral, a inconsistência entre os estudos sobre a relação entre CAR e emissão de CH₄ de ruminantes implica em estudos adicionais necessários para investigar menores emissões de metano, quando os bovinos são selecionados para EA.

A produção de metano em ruminantes pode ser influenciada por vários fatores, dentre elas, podemos citar fatores nutricionais, que estão relacionados com a quantidade e tipo de carboidratos na dieta, nível de ingestão de alimento, presença de lipídios e fatores metabólicos, como: a taxa de passagem da digesta, fatores ambientais, manejo dos animais, além de estado fisiológico, tamanho corporal e principalmente a população de microrganismos ruminais como protozoários e bactérias (PRIMAVESI et al. 2004). Sendo assim, o uso de maiores quantidades de alimentos volumosos ou de alimentos concentrados, levando em conta a qualidade destes, pode apresentar impacto sobre a produção de metano pelos bovinos. Assim, as menores emissões de CH₄/g/dia podem estar relacionado com a melhor utilização dos nutrientes por estes animais, bem como a alteração da microflora ruminal, o que permite maior retenção de energia, diminuindo as perdas por metano, proporcionando o melhor desempenho animal e, conseqüentemente, menor produção de metano por unidade de produto

Termografia infravermelha

A temperatura obtida por TIV demonstrou possuir relação com a EA e ao metabolismo e gasto energético Herd et al. (2004).

Os resultados de temperatura mínima para olho de grupos divergentes para CAR e CGR no presente trabalho corroboram com Montanholi et al. (2009) que investigaram

três grupos de CAR para determinar a relação entre TIV com a variação na eficiência alimentar e CMS, mediram a temperatura da superfície corporal de 154 novilhos *Bos taurus taurus* e reportaram menor temperatura de olho para novilhos de AE. Sustentando a hipótese de que o gado menos eficiente tem temperatura mais alta da pele, o que pode estar relacionado a maiores necessidades de energia para manutenção e maior produção de calor.

No entanto, considerando o CAR e o CGR e as variáveis: temperaturas máxima, mínima e média de vulva e os índices GPR e ECA e as temperaturas máxima de vulva e ambiente observou-se que foram maiores para o grupo de AE colaborando com resultados encontrados por Leão et al. (2018) que avaliou a classificação fenotípica divergente de novilhas para eficiência alimentar e suas correlações com produção de calor e termografia e Martello et al. (2016) que utilizaram a termografia por infravermelho para avaliar a temperatura da superfície corporal e sua relação com a eficiência alimentar em bovinos *Bos taurus indicus* em condições tropicais e também observaram que as temperaturas medidas por TIV na pele foram menores ($P < 0,01$) para animais de BE para CAR, e que a maiores temperaturas para animais de AE, pode estar relacionado a melhoria da eficiência de mecanismos de termorregulação e que esta temperatura da pele reflete a dissipação de calor. Esses autores sugeriram que a maior temperatura da pele em animais de AE aumentou provavelmente devido a um efeito de dissipação de calor. Embora o valor médio da temperatura retal encontrado não tenha sido indicativo de estresse calórico ($39,8^{\circ}\text{C}$).

A correlação encontrada para temperatura mínima de olho com CAR foi baixa ($r = 0,29$, $p < 0,05$) enquanto a correlação com a temperatura ambiente foi maior e positiva ($r = 0,67$ $p = 0,001$), demonstrando, portanto, a maior influência da temperatura ambiente na variação da temperatura de olho.

Já as temperaturas máxima, mínima e média de vulva apresentaram correlação de $-0,34$, $-0,32$ e $-0,29$ ($p < 0,05$) com o CAR, indicando a dependência fenotípica entre essas.

A discordância entre os resultados encontrados, possivelmente se deve aos mecanismos termorreguladores do animal para ganhar ou perder calor em condições tropicais, já que nessas condições há diferenças de temperaturas ocorrida no dia da mensuração (DiGiacomo et al. 2014). O aumento na temperatura de pele leva maior perda de calor por irradiação e convecção, porque há o aumento de fluxo sanguíneo na pele e nos membros de animais homeotérmicos, em resposta ao estresse pelo calor a vasodilatação (Cunningham, 2004).

Medidas morfométricas

Não foram observadas correlações entre os índices CAR, GPR, CGR, ECA e CRA e variáveis morfométricas. Assim pode-se inferir que para novilhas Girolando, possivelmente esta característica é independente dos índices de eficiência avaliados. Ceacero et al. (2016) estimou expressiva herdabilidade para características de crescimento (altura e perímetro torácico), sendo que a altura apresentou valor de 0,61 enquanto o perímetro torácico 0,31 de herdabilidade, porém Connor (2015) afirma que correlações genéticas para perímetro torácico entre CAR e características de conformação são pequenas e variáveis. Sobre as raças mestiças de leite em regiões tropicais e subtropicais os estudos não são suficientes para explicar como as características morfométricas se relacionam geneticamente com a eficiência alimentar.

Consumo de água

Os índices CAR, GPR, CGR e ECA não influenciaram o consumo de água (L/d) para os grupos de AE e BE das novilhas F1 Girolando. O consumo de água foi maior para animais de BE para o CRA, cerca de 10 L a mais em relação as novilhas de AE, mas nenhum estudo foi encontrado na literatura com parâmetros de consumo de água e eficiência alimentar. Este maior consumo de água por animais de BE pode ser justificado pelo maior consumo de matéria seca por esses, isso possivelmente ocorre para obter a termorregulação na faixa de neutralidade, já que se verifica o aumento de incremento calórico com a maior quantidade de alimento consumido, assim os animais procuram aumentar a capacidade de vaporização para perder o calor do corpo (NRC, 2001). Neste estudo o CMS apresentou correlação moderada com o consumo de água ($r=0,35$, $P<0,0001$). O aumento da eficiência da utilização de água por animais, pode ser estratégico, especialmente, a longo prazo. Segundo Nardone et al. (2010), todo o efeito do aquecimento global sobre a disponibilidade de água poderia forçar o setor pecuário a estabelecer uma nova prioridade na produção de animais que precisam de menor quantidade água, sem influenciar o seu desempenho.

Variáveis comportamentais de consumo de dieta total e água

As variáveis de comportamento de consumo da dieta total, não demonstraram ter associação com CAR em novilhas F1 Girolando, já Montanholi et al. (2010) observaram menor tamanho das refeições e menor frequência de visitas diárias ao cocho em novilhos *Bos taurus taurus* de peso inicial 313 kg de baixo CAR. Lin et al. (2013) avaliaram novilhas Holstein-Friesian (n = 842) e suas características de comportamento da consumo de dieta e relações com a ingestão de alimento residual e verificou que todas as características apresentaram herdabilidade moderada (0,45–0,50). Assim indicaram que o comportamento alimentar pode diferir entre animais de AE e BE.

As variáveis relacionadas ao consumo de água, com exceção da média de visita ao bebedouro, demonstraram ter associação com CAR em novilhas F1 Girolando. Animais de BE apresentaram maior número de frequência de visita ao bebedouro com consumo de água (FVCAG) e maior duração de visita com consumo de água (DVCAG). Possivelmente, com o maior número de eventos, estes animais provavelmente utilizam mais energia em relação aos animais de AE, demonstrado pela correlação positiva e moderada entre o peso vivo e FVCAG ($r=0,41$, $P < 0,005$) e a correlação positiva, moderada do peso vivo com a produção de calor ($r=0,66$ $P < 0,005$). Houve correlação positiva e moderada ($r=0,59$ $P < 0,005$) entre a FVCAG e frequência de visitas com consumo de dieta total, indicando que o consumo de água aumentou quando aumento o CMS de animais de BE.

A FVCAG encontrada corrobora com valores reportados na literatura de 9,4 eventos / d (Huzzey et al., 2005) e foi maior que dados verificados por Cardot et al. (2008) que avaliando o comportamento de ingestão de água em vacas em lactação e previsão de ingestão de água encontrou uma frequência de 7,3 eventos/d. No entanto, dados avaliando comportamento de consumo de água e relação com eficiência alimentar para novilhas leiteiras não foram encontrados.

Parâmetros sanguíneos

Nesse trabalho não foram encontradas associações de metabolitos sanguíneos com os índices avaliados. Kelly et al. (2010), analisaram o plasma sanguíneo de novilhas do cruzamento Limousin e Holandês e encontraram correlações significativas para os índices de EA (CAR e ECA) e as concentrações de β -hidroxibutirato (BHBA), mas não para insulina e concluíram que alguns processos biológicos do animal podem contribuir para a variação da eficiência alimentar. Em concordância com esta pesquisa, não foram

encontradas associações do perfil celular sanguíneo com o CAR em animais zebuínos (Santana et al. 2014).

CONCLUSÕES

Os testes de divergência de eficiência alimentar são aplicáveis para novilhas Girolando F1. O consumo de matéria seca, ganho de peso, emissões de metano, temperatura de olho e vulva por TIV, consumo de água e comportamento de consumo de água e comportamento de consumo de alimentos podem auxiliar os divergentes grupos de acordo com o índice de EA adotado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** fAOAC International. 1995. 16th ed. Chapter 4: Animal Feed. Windham, W. R. AOAC International, Arlington, VA

BASARAB, J.A., K.A. BEAUCHEMIN, V.S. BARON, K.H. OMINSKI, L.L. GUAN, S.P. MILLER, AND J.J. CROWLEY. 2013. Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: effects on economically important traits and enteric methane production. **Animal: an international journal of animal bioscience**, v. 7 Suppl 2, p. 303–315, 2013.

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. CELL BIOLOGY SYMPOSIUM : Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle 1. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 1594–1613, 2013.

BROUWER, E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors. Pages 441–443 in Energy Metabolism. EAAP Publ. No. 11. **Academic Press**, New York, NY.

CARDOT, V.; LE ROUX, Y.; JURJANZ, S. Drinking behavior of lactating dairy cows and 225 prediction of their water intake. **Journal of Animal Science.**, v.91, p.2257-2264, 2008

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:e0161366

CONNOR, E. E. Invited review: Improving feed efficiency in dairy production: Challenges and possibilities. **Animal**, v. 9, n. 3, p. 395–408, 2015.

CHARMLEY, E., S. R. O. WILLIAMS, P. J. MOATE, R. S. HEGARTY, R. M. HERD, V. H. ODDY, P. REYENGA, K. M. STAUNTON, A. ANDERSON, AND

M. C. HANNAH. 2016. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. **Animal Production Science** (inpress).

CHIZZOTTI, M. L.; MACHADO, F. S.; VALENTE, E. E. L.; et al. Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 5, p. 3438–3442, 2015. American Dairy Science Association.

CUNNINGHAM, J.G. Tratado De Fisiologia Veterinária. 3 edi Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.579, 2008.

DAVIS, S. R.; MACDONALD, K. A.; WAGHORN, G. C.; SPELMAN, R. J. Residual feed intake of lactating Holstein-Friesian cows predicted from high-density genotypes and phenotyping of growing heifers. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1436–1445, 2014. Elsevier.

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

GOMES, R. C.; SAINZ, R. D.; SILVA, S. L.; et al. Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. **Livestock Science**, v. 150, n. 1–3, p. 265–273, 2012.

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. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 5, p. 3098–3107, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030213001732>>.

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 Nellore cattle. **Journal of Dairy Science Anim. Sci.** 92:955–965. doi:10.2527/jas.2013-6682.

HALL, M. B., W. H. HOOVER, J. P. JENNINGS, AND T. K. M. WEBSTER. 1999. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal Science Food and Agriculture** 79:2079–2086.

HERD, R.M.; BISHOP, S.C. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 63, p. 111-119, 2000.

HERD, R. M.; ODDY, V. H.; RICHARDSON, E. C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 4–5, p. 423–430, 2004.

KELLY, A.K., M. MCGEE, D.H. CREWS, A.G. FAHEY, A.R. WYLIE, AND D.A. KENNY. 2010. 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. review: Sustainability of the US dairy industry. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 9, p. 5405–5425, 2013.

KOCH, R. M., L. A. SWIGER, D. CHAMBERS, AND K. E. GREGORY. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal Animal Science** 22:486–494.

KORVER, S. Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: A review. **Livestock Production Science**, v. 20, n. 1, p. 1–13, 1988.

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. **Journal Animal Science** 87:1528–1539. doi:10.2527/jas.2008-1352.

LEÃO, J. M.; COELHO, S. G.; MACHADO, F. S.; et al. Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography. **Journal of Dairy Science**, p. 1–9, 2018. American Dairy Science Association. Disponível em:

<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030218302236>>. .

LEIP, A.; BILLEN, G.; GARNIER, J.; et al. Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 11, 2015.

LU, Y.; VANDEHAAR, M. J.; SPURLOCK, D. M.; et al. Genome-wide association analyses based on a multiple-trait approach for modeling feed efficiency. **Journal of Dairy Science**, , n. 2015, p. 1–15, 2018.

MANAFIAZAR, G.; BASARAB, J. A.; BARON, V. S.; et al. Effect of post-weaning residual feed intake classification on grazed grass intake and performance in pregnant beef heifers. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 95, p. 369–381, 2015.

MARTELLO, L. S.; GOMES, C.; RUEGGER, R.; CORTE, 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. , 2015.

MENEZES, G. R. O.; GOMES, R. C.; RIBAS, M. N.; JUNIOR, R. A. A. T.; JUNIOR, J. A. F. **Genetic and phenotypic parameters for feed and water efficiency in Senepol cattle**. , p. 0–4.

MERCADANTE, M. E. Z.; CALIMAN, A. P. DE M.; CANESIN, R. C.; et al. Relationship between residual feed intake and enteric methane emission in Nelore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, n. 7, p. 255–262, 2015. Sociedade Brasileira de Zootecnia.

MEYER, A. M.; KERLEY, M. S.; KALLENBACH, R. L. The effect of residual feed intake classification on forage intake by grazing beef cows. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 10, p. 2670–2679, 2008.

MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468–475, 2008.

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

NARDONE, A., B. RONCHI, N. LANCETER, M.S. RANIERI & U. BARNABUCCI, 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. . **Livestock Science**. 130: 57-69. *Sci*. 130: 57-69.

NASCIMENTO, M.L. **Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore**. 2011. 118 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NASCIMENTO, M. L.; SOUZA, A. R. D. L.; CHAVES, A. S.; et al. Feed efficiency indexes and their relationships with carcass, non-carcass and meat quality traits in Nelore

steers. **Meat Science**, v. 116, p. 78–85, 2016. Elsevier Ltd.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL-NRC. 2007. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. **National Academic Press**, Washington, D.C

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

OSS, D. B.; MARCONDES, M. I.; MACHADO, F. S.; et al. Technical note: Assessment of the oxygen pulse and heart rate method using respiration chambers and comparative slaughter for measuring heat production of cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 11, p. 8885–8890, 2016. American Dairy Science Association.

POTTS, S. B.; BOERMAN, J. P.; LOCK, A. L.; ALLEN, M. S.; VANDEHAAR, M. J. Relationship between residual feed intake and digestibility for lactating Holstein cows fed high and low starch diets. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 1, p. 265–278, 2017. American Dairy Science Association.

SANTANA, M.H.A.; ROSSI JUNIOR, P.; ALMEIDA, R.; SCHUNTZEMBERGER, M.A.S. Blood cell and metabolic profile of Nelore bulls and their correlations with residual feed intake and feed conversion ratio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, p. 527-537, 2014.

WILLIAMS, Y. J.; PRYCE, J. E.; GRAINGER, C.; et al. **Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia**. *Journal of Dairy Science*, v. 94, n. 9, p. 4715–4725, 2011. Elsevier.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Mais pesquisas devem ser realizadas com animais Girolando envolvendo animais de diferentes composições raciais e em diferentes estádios fisiológicos, assim será possível inferir quais as variáveis que auxiliam a divergência fenotípica de eficiência alimentar, quais métodos indiretos e correlações com as variáveis que auxiliam na identificação de animais de alta eficiência e vantagens e desvantagens de cada índice e quais utilizar para os sistemas, assim estruturar o banco de dados com variáveis fenotípicas e genotípicas envolvendo características de EA que possam ser utilizadas em programas de melhoramento genético de bovinos leiteiros para produção de leite sustentável em países de clima tropical.