**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relações entre eficiência alimentar e características de carcaça,
qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio
em bovinos**

Amália Saturnino Chaves

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2013**

Amália Saturnino Chaves
Zootecnista

Relações entre eficiência alimentar e características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **DANTE PAZZANESE DUARTE LANNA**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Chaves, Amália Saturnino

Relações entre eficiência alimentar e características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos / Amália Saturnino Chaves.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.

132 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Consumo alimentar residual 2. Consumo e ganho residual 3. Produção de calor
4. Batimento cardíaco 5. Consumo de oxigênio I. Título

CDD 636.2
C512r

A **Deus**, autor da minha vida, por estar sempre ao meu lado e por tornar tudo possível. Aos meus pais, **Clóvis e Glória**, que renunciaram aos seus sonhos, para que, muitas vezes, eu pudesse realizar os meus, e que iluminaram essa caminhada com incentivos e afeto para que a trilhasse sem medos e cheios de esperança. Ao meu marido **Igor**, que sempre me incentivou e esperou com paciência as ausências e distâncias com carinho e compreensão. Ao meu irmão querido **Vinícius**, pelo amor, por sempre acreditar no meu trabalho e se orgulhar de mim.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus, que sempre esteve ao meu lado durante esta caminhada.

Ao meu orientador Professor Dr. Dante Lanna pela orientação e pela confiança em mim depositada para a condução deste trabalho.

Ao Dr. Rymer Tullio pelo incondicional auxílio durante o experimento e pelos ensinamentos transmitidos. Sua ajuda foi fundamental para realização deste trabalho.

À Michele Nascimento, pela orientação, incentivos e auxílio na execução e finalização do projeto, além das inúmeras dúvidas solucionadas e valiosas sugestões.

Aos estagiários Alexandre Marini, Chafic Mustafe, Juliana Pila, Murilo Fogaça e Rodolfo, pelo auxílio na execução do trabalho de campo, sem vocês o trabalho seria muito mais difícil.

Aos colegas do LNCA: Maria Antônia, Andréa Souza, Tiago Albertini, Mariana Caetano, Antônio Carlos e Veridiana Lourenço.

Às amizades feitas durante o curso, que proporcionaram momentos de alegria e descontração: Fabiane Costa, Pâmela Rizzo, Carolina Guerra, Rafaela Pereira, Camila Delveaux, Deise Furlan, Fernanda Lopes, Cléo Fialho e Lucas Chagas.

À Escola Superior de “Agricultura Luiz de Queiroz” e ao programa Ciência Animal e Pastagens pela oportunidade e acolhimento para realizar o curso.

À Embrapa Pecuária Sudeste e aos funcionários pelo espaço cedido para realização do experimento e pela ajuda na execução do trabalho.

A CAPES e CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À FAPESP pelo financiamento do projeto.

A todos que não foram citados, mas contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

**A recompensa da humildade e do temor do Senhor
são a riqueza, a honra e a vida. “Provérbios 22:4”**

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	17
LISTA DE SIGLAS.....	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Alternativas para medir eficiência alimentar.....	25
2.1.1 Consumo Alimentar Residual (CAR).....	28
2.1.1.1 Correlações entre CAR e índices de eficiência alimentar.....	30
2.1.1.2 Correlações entre CAR, consumo de matéria seca e peso vivo.....	31
2.1.1.3 Impactos na seleção para CAR.....	32
2.1.2 Ganho Residual (GR).....	34
2.1.3 Consumo e Ganho Residual (CGR).....	35
2.2 Características produtivas e eficiência alimentar.....	37
2.2.1 Características de carcaça e composição corporal.....	37
2.2.2 Eficiência alimentar e impactos na qualidade da carne.....	41
2.3 Produção de calor.....	44
2.3.1 Calorimetria indireta.....	46
2.3.2 Metodologia do Pulso de O ₂ (O ₂ P).....	48
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
3.1 Obtenção das famílias de meio-irmãos.....	53
3.2 Cronograma Experimental.....	55
3.3 Animais, instalações, manejo alimentar e coletas.....	55
3.4 Características Avaliadas.....	58
3.4.1 Desempenho.....	58
3.4.2 Consumo de matéria seca e energia metabolizável.....	59
3.4.3 Energia líquida da dieta consumida.....	59
3.4.4 Medidas de eficiência alimentar.....	60
3.4.5 Composição corporal, energia retida e composição do ganho.....	62
3.4.6 Estimativa de produção de calor pela metodologia do Pulso do O ₂	63
3.4.7 Avaliação sanguínea.....	65
3.4.8 Manejo pré-abate e abate.....	66

3.4.9 Características de qualidade da carne.....	67
3.4.10 Cálculo da lucratividade dos animais confinados	69
3.5 Análise Estatística.....	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
4.1 Desempenho, consumo e eficiência.....	75
4.2 Partição de energia, composição do ganho e energia retida.....	84
4.3 Estimativa de produção de calor pela metodologia do Pulso do O ₂	88
4.4 Avaliação sanguínea	94
4.5 Características de carcaça.....	95
4.6 Características de qualidade da carne.....	100
4.7 Avaliação econômica.....	107
4.8 Animais top 10% mais eficientes.....	113
5 CONCLUSÕES.....	117
REFERÊNCIAS.....	119

RESUMO

Relações entre eficiência alimentar e características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos

O interesse quanto ao uso de índices de eficiência alimentar na seleção de bovinos é crescente, pela sua associação com o custo de produção e impacto ambiental. O objetivo deste trabalho foi avaliar dois índices de eficiência, o consumo alimentar residual (CAR) e consumo e ganho residual (CGR) e suas relações com desempenho, características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos Nelore. Foram avaliados 84 animais para desempenho, peso de carcaça, rendimento, área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, peso de vísceras e gordura interna. Foi avaliada a qualidade da carne de amostras não maturadas e maturadas (pH, força de cisalhamento, cor, perdas por cocção, capacidade de retenção de água, índice de fragmentação miofibrilar e gordura intramuscular). Para estimar a produção de calor (PC) pela metodologia do Pulso de O_2 (O_2P), 39 animais foram monitorados para frequência cardíaca, que foi calibrada para consumo de O_2 em 18 deles. A PC foi estimada multiplicando-se o total de batimentos cardíacos diários pelo volume de O_2 /batimento e pela constante 4,89 kcal/ LO_2 . Foram estudados os coeficientes de inclinação das retas entre CAR e CGR e as variáveis estudadas. O CAR não foi associado com o peso vivo e ganho de peso ($P>0,05$), porém animais eficientes consumiram 16,1% menos alimento ($P<0,0001$). Animais eficientes para CGR apresentaram consumo 11,7% menor e ganharam mais peso ($P<0,01$). O CGR não foi associado ao peso vivo metabólico médio ($P>0,05$), contudo foi associado ao peso vivo final ($P=0,06$). A PC estimada pela diferença entre energia retida e consumo de energia metabolizável foi maior nos animais ineficientes ($P<0,0001$), porém não foi diferente quando estimada pela metodologia do O_2P ($P>0,05$). A frequência cardíaca (FC) e consumo de O_2 não foram associados ao CAR e CGR ($P>0,05$), contudo a FC foi menor nos animais eficientes durante a calibração do O_2 ($P<0,05$). Ambos os índices foram associados com mudanças na composição corporal; animais eficientes para CAR apresentaram menor teor de gordura subcutânea avaliada por ultrassom ($P=0,08$), e os eficientes para CGR apresentaram maior AOL ($P<0,05$). As características de qualidade da carne não foram associadas ao CAR, mas animais eficientes para CGR apresentaram intensidade da cor vermelha na carne menor e na gordura maior ($P<0,05$). Animais eficientes quanto ao CAR apresentaram menor peso de fígado e de gordura interna ($P<0,05$) sendo este efeito não observado para CGR. Os animais eficientes em ambos, CAR e CGR, apresentaram menor custo de produção resultando em aumento no lucro ($P<0,01$). O lucro foi fortemente associado à conversão alimentar, CGR e ganho de peso ($r=-0,812$; $0,72$ e $0,61$; $P<0,0001$) enquanto sua associação com CAR foi menor ($r=-0,46$; $P<0,0001$). As correlações fenotípicas sugerem que seleção de animais eficientes para CAR ou CGR pode reduzir custos na produção de bovinos de corte, com alteração na coloração da carne. O lucro tem maior correlação com o CGR que com CAR. Porém o CGR tem a possível desvantagem de ser fenotipicamente associado ao maior peso final o que pode indicar uma correlação genética para peso adulto.

Palavras-chave: Consumo alimentar residual; Consumo e ganho residual; Produção de calor; Batimento cardíaco; Consumo de oxigênio

ABSTRACT

Relationships between feed efficiency and carcass characteristics, meat quality, heart rate and oxygen consumption in beef cattle

There is growing interest in the use of feed efficiency in beef cattle, due to its relationship to production costs and environmental impact. Identification of variation in energy losses can explain differences in efficiency. The objective of this study was to evaluate measures of feed efficiency (residual feed intake – RFI and residual intake and gain – RIG) and their relationships with performance, carcass characteristics, meat quality, heart rate and oxygen use in Nellore bulls. A group of 84 animals were evaluated for performance, carcass characteristics (weight, yield, loin eye area, fat thickness, weight of visceral and internal fat) and meat quality in fresh and aged meat samples (pH, shear force, cooking loss, water retention capacity, myofibrillar fragmentation index and intramuscular fat). To estimate heat production (HP) by O₂ pulse methodology (O₂P), 39 animals were monitored for heart rate (HR). A subgroup of 18 animals which was calibrated for O₂ consumption determined over in 18 of them. HP was estimated multiplying daily heart beats by O₂ volume per beat, assuming 4.89 kcal/LO₂ as constant. The slope coefficient for each variable against RFI and RIG was studied. There was no association of RFI with weight ($P>0.05$) and weight gain ($P>0.05$), but efficient animals consumed 16.1% less feed ($P<0.0001$). Efficient animals for RIG consumed 11.7% less food ($P<0.0001$), but gained more weight than inefficient animals ($P<0.01$). There was no association between RIG and average metabolic weight ($P>0.05$), however RIG was related to final weight ($P=0.06$). HP estimated by the difference between retained energy and metabolic energy intake was higher for inefficient animals ($P<0.001$), for both RFI and RIG. However there was no effect on HP estimated by the O₂P methodology ($P>0.05$). Heart rate (HR) and O₂ consumption were not associated with RFI and RIG ($P>0.05$), but HR was lower in efficient animals during O₂ calibration ($P<0.05$). There was a positive association of efficiency with a leaner gain composition, where efficient animals for RFI had of lower ultrasound subcutaneous fat ($P=0.08$), while efficient animals for RIG had higher loin eye area ($P<0.05$). There was no effect on meat quality parameters for RFI but in efficient animals for RIG, there was an effect on meat and fat color ($P<0.05$) compared to inefficient animals. Internal fat and liver weights were decreased in efficient animals according to RFI ($P<0.05$), but unchanged according to RIG ($P>0.05$). Efficient animals for RFI and RIG had lower cost of production resulting in increased profit ($P<0.01$). Profit was strongly associated with feed intake, RIG and weight gain ($r = -0.81, 0.72$ and 0.61 , $P<0.0001$), whereas its association with RFI was lower ($r = -0.46$, $P<0.0001$). Efficient animals for RFI and RIG are more profitable with small decreases in fat and small increases in muscle content. Profit is better related to RIG than RFI. However, RIG had the disadvantage of increasing final test weight which could be genetically associated with mature weight.

Keywords: Residual feed intake; Residual feed intake and gain; Heat production; Heart rate; Oxygen consumption

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre consumo predito e observado de matéria seca de novilhos Nelore (Fonte: Nascimento, 2011; N=288).....	33
Figura 2 - A e B) Pulso de oxigênio ($\mu\text{l}/\text{batimento} \cdot \text{kg}^{0,75}$) e frequência cardíaca (batimentos/minuto) de seis novilhas confinadas em descanso alimentadas com dietas de baixa e alta energia metabolizável, respectivamente. C e D) Novilhas em exercício utilizando uma esteira, alimentadas com dieta de baixa e alta energia metabolizável, respectivamente. Adaptado de Brosh et al. (1998).....	49
Figura 3 - Baías cobertas.....	56
Figura 4 - Baías descobertas.....	56
Figura 5 - Eletrodo ajustado ao tórax do animal por intermédio de uma cinta de elástico.....	64
Figura 6 - Mensuração do consumo de oxigênio.....	64
Figura 7 - Relação entre consumo predito e observado de matéria seca de novilhos Nelore (N=82).....	76
Figura 8 - a) Relação entre consumo alimentar e peso vivo médio metabólico de novilhos Nelore, b) Relação entre consumo e ganho residual e peso vivo médio metabólico de novilhos Nelore (N=82).....	77
Figura 9 - Relação entre CAR e ganho de peso diário de novilhos Nelore, sendo que a classificação de eficientes, intermediários e ineficientes é representada pelos animais divididos em CGR (N=82).....	80
Figura 10 - Perfil nictemeral dos batimentos cardíacos de 4 bovinos Nelore durante 24 horas do dia.....	91
Figura 11 - Comparação do consumo de matéria seca predito e consumo de matéria observado (N= 82). Top CAR - animais 10% mais eficientes (N=8) para consumo alimentar residual; Top GR - 10% mais eficientes (N=8) para ganho residual; Top CGR - 10% mais eficientes (N=8) para consumo e ganho residual.....	114
Figura 12 - Comparação do ganho de peso diário predito e ganho de matéria seca observado (N=82). Top CAR - animais 10% mais eficientes (N=8) para consumo alimentar residual; Top GR - 10% mais eficientes (N=8) para ganho residual; Top CGR - 10% mais eficientes (N=8) para consumo e ganho residual.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alternativas para mensurar eficiência alimentar e suas definições.....	25
Tabela 2 - Exemplo de estudos mostrando correlações (r) entre CA (conversão alimentar) ou CAR (consumo alimentar residual) e área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS).....	38
Tabela 3 - Proporção e custo dos ingredientes na dieta experimental.....	56
Tabela 4 - Composição bromatológica da dieta experimental e silagem de milho ofertada aos animais.....	58
Tabela 5 - R ² parciais para cada variável utilizada do modelo.....	63
Tabela 6 - Média, desvio padrão, mínimo e máximo das principais características de desempenho em bovinos Nelore.....	75
Tabela 7 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para as características de desempenho e consumo de novilhos Nelore para animais classificados em CAR (Consumo alimentar residual) e CGR (Consumo e ganho residual).....	78
Tabela 8 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para os índices de eficiência de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	83
Tabela 9 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) da área do <i>Longissimus</i> e espessura de gordura inicial, final e deposição em novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	85
Tabela 10 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para composição do ganho em novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	87
Tabela 11 - Número de animais, média, desvio padrão, mínimo e máximo das características de frequência cardíaca, consumo de oxigênio e produção de calor em bovinos Nelore.....	89
Tabela 12 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para as características batimentos cardíacos, consumo de oxigênio e produção de calor (PC) para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	92
Tabela 13 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR), valores e erro padrão (EP) para avaliação sanguínea de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	94

Tabela 14 - Média, desvio padrão, mínimo e máximo para as características de espessura de g gordura subcutânea (EGS) e área de olho de lombo (AOL) mensuradas na carcaça (N=81).....	95
Tabela 15 - Coeficientes de regressão linear (β 1-CAR) e (β 1-CGR) valores e erro padrão (EP) para características de carcaça de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	96
Tabela 16 - Coeficientes de regressão linear (β 1-CAR) e (β 1-CGR) valores e erro padrão (EP) do peso de vísceras de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	98
Tabela 17 - Coeficientes de regressão linear (β 1-CAR) e (β 1-CGR) valores e erro padrão (EP) das características de qualidade de carne de amostras não maturadas, maturadas por 7 ou por 14 dias de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	101
Tabela 18 - Coeficientes de regressão linear (β 1-CAR) e (β 1-CGR) valores e erro padrão (EP) da avaliação econômica de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.....	108
Tabela 19 - Estatística descritiva para as características de desempenho, carcaça, vísceras, batimentos cardíacos e lucratividade dos animais 10% mais eficientes ranqueados de acordo com CAR, GR e CGR.....	112
Tabela 20 - Coeficientes de correlação parcial entre características de lucro, desempenho, consumo, eficiência, composição da carcaça de novilhos Nelore (N=82).....	113

LISTA DE SIGLAS

a* - intensidade da cor vermelha
AOL - área de olho de lombo
b* - intensidade da cor amarela
CA - conversão alimentar
CAR - consumo alimentar residual
CEM - consumo de energia metabolizável
CGR - consumo e ganho residual
CMS - consumo de matéria seca
CRA - capacidade de retenção de água
EA - eficiência alimentar
ECVZ - energia retida no corpo vazio
ED - energia digestível
EE - extrato etéreo
EFM - eficiência para manutenção
Eg - exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia)
EGP - eficiência de ganho de peso
EGS - espessura de gordura subcutânea
ELg = energia líquida de ganho da dieta consumida (Mcal/kg de MS)
ELm = energia líquida de manutenção da dieta consumida (Mcal/kg de MS)
Em = exigência de energia líquida para manutenção (Mcal/dia)
EM - energia metabolizável
EPC - eficiência parcial de crescimento
ER - energia retida
FC - força de cisalhamento
FDA - fibra solúvel em detergente ácido
FDN - fibra solúvel em detergente neutro
FRC - frequência cardíaca
GPD - ganho de peso diário
GR - ganho residual
IFM - índice de fragmentação miofibrilar
IK - índice de kleiber
L* - luminosidade
NDT - nutrientes digestíveis totais
O₂P - pulso de oxigênio
PB - proteína bruta
PC - produção de calor
PCR - peso de carcaça resfriada
PCVZ - peso do corpo vazio
PVFJ - peso vivo final em jejum
PVMM - peso vivo metabólico médio
TGI - trato gastrointestinal
TRC - taxa relativa de crescimento
VO₂ - consumo de oxigênio

1 INTRODUÇÃO

As projeções para o mercado de carnes no Brasil apontam que esse setor deve apresentar intenso crescimento nos próximos anos, sendo que o aumento projetado para consumo da carne bovina é de 2% ao ano entre 2011/2012 a 2021/2022 (BRASIL, 2012). Isso significaria um consumo interno de 9,4 milhões de toneladas daqui a 10 anos. Quanto às exportações, as projeções indicam elevadas taxas de crescimento, sendo que as exportações de carne bovina devem crescer em uma média anual de 2,1% (BRASIL, 2012).

Diante deste cenário, existe um crescente interesse quanto ao uso de índices de eficiência alimentar (EA) em bovinos em crescimento, devido ao fato de a conversão de alimento (CA) em produto de origem animal durante esta fase ter uma larga influência no custo de produção (HERD et al., 2003), uma vez que a rentabilidade é dependente dos “inputs” e dos “outputs” do sistema, e o fornecimento de alimentos é o input de maior custo na maioria dos empreendimentos pecuários (ARTHUR et al., 2004). Com isso, a identificação de animais mais eficientes na fase de crescimento é de grande importância para melhorar economicamente e ambientalmente a indústria de bovinos de corte (HERD et al., 2003; ARTHUR et al. 2004).

A indústria de aves e suínos tem reconhecido este viés da produção animal e tem melhorado de forma significativa a eficiência alimentar nesses animais onde o custo de alimentação, e a própria avaliação do consumo individual são mais facilmente quantificados (LUITING et al., 1994). Além disso, o intervalo de gerações nestas espécies é muito menor, ou seja, em 3 a 4 anos já se pode ver o resultado de programas de melhoramento, ao contrário de bovinos, que podem chegar a mais de 15 anos.

Ao contrário da indústria de aves e suínos, tradicionalmente programas de melhoramento genético em bovinos têm focado em outputs, tais como pesos a diversas idades, ganho de peso diário, circunferência escrotal, características de carcaça e até mesmo no desempenho reprodutivo (HERD et al., 2003; LANNA; ALMEIDA, 2004), sem se atentar para a diminuição dos custos com alimentação. Isso se deve principalmente ao fato de que os dados desses fenótipos são facilmente disponíveis, e também, porque o custo de mensuração da eficiência em bovinos individualmente em confinamentos comerciais ou em pesquisas científicas é

relativamente alto, limitando o uso da inclusão da eficiência alimentar em programas de melhoramento de bovinos (HERD et al., 2003; ARTHUR, et al. 2004).

A relevância do aumento da EA também se expande à medida que a produção de poluentes ambientais como o esterco e o metano são reduzidos (BASARAB et al., 2003), questão esta de grande importância, visto que o foco da produção animal atualmente está a favor da sustentabilidade dos recursos naturais.

Desde 1960, mais de uma dúzia de índices e cálculos alternativos para medir EA tem sido proposta na literatura científica (ARCHER et al. 1999), entre os índices estão CA, eficiência parcial de crescimento (EPC), taxa relativa de crescimento (TRC), índice de Kleiber (IK), eficiência para manutenção (EFM), ganho residual (GR) e consumo alimentar residual (CAR). Pelas limitações dos tradicionais índices de eficiência, um novo parâmetro, o consumo e ganho residual (CGR), foi proposto recentemente por Berry e Crowley (2012). Archer et al. (1999) em revisão sobre alguns desses índices, não recomendam a utilização de um único índice de eficiência quando a seleção genética para animais mais eficientes é esperada, assim como diferentes índices são apropriados para diferentes propostas. Entretanto, a eficiência alimentar é um parâmetro óbvio para ser incluído em índices de melhoramento genético, visando aumentar a rentabilidade e a sustentabilidade da bovinocultura de corte.

Além da importância da eficiência alimentar na produção de bovinos de corte, o custo energético de manutenção, perdido na forma de calor, pode representar 70-75% do consumo total de energia (FERRELL; JENKINS, 1984; NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1984), e as diferenças nas exigências de manutenção, que podem variar de 10 a 12% em bovinos de corte, são componentes chaves que definem as variações na eficiência entre animais (HOTOVY et al., 1991; SWANSON; MILLER, 2008). Estas variações, juntamente com as estimativas de herdabilidade de moderada a alta ($h^2 = 0,22$ a $0,71$), sugerem amplo espaço para melhorias através de seleção também de animais com menor exigência de manutenção, ou seja, animais que perdem menos energia na forma de calor (CARSTENS et al., 1989; BISHOP et al., 1991).

Embora a produção de calor (PC) de um animal possa ser medida de forma acurada por meio de câmara calorimétrica (RODRIGUEZ et al., 2007), ou uso de água duplamente marcada (FANCY et al., 1986), estes métodos, além de serem praticados em condições artificiais, são extremamente caros e requerem

considerável experiência e infraestrutura, o que pode tornar impraticável a seleção de animais com menor exigência. Neste contexto, ao longo das últimas décadas esforços significantes têm sido somados por pesquisadores na tentativa de desenvolver métodos para estimar a produção de calor de animais em seus ambientes naturais. Muitos pesquisadores exploraram a possibilidade de prever a produção de calor a partir da frequência cardíaca (FRC) (WEBSTER, 1967; BRADFIELD et al., 1971; PAYNE et al., 1971; WARNOLD; LENNER, 1977), uma vez que a maior parte do O₂ utilizado por animais homeotermos é transportada aos tecidos pela ação do coração, órgão este cuja atividade representa cerca de 10% da produção total de calor. O uso da frequência cardíaca, sem a calibração para o volume de O₂ consumido por batimento cardíaco, pode apresentar estimativas de baixa acurácia, no entanto, a produção de calor estimada por esta calibração em humanos é altamente correlacionada com a mensuração direta na câmara calorimétrica ($r = 0,943$) (CEESAY et al., 1989). Como a frequência cardíaca varia de acordo com as características de cada indivíduo a calibração deve ser feita individualmente (MCCRORY et al. 1997; BROSH et al., 1998ab). Dessa forma, a frequência cardíaca calibrada para consumo de oxigênio poderia ser utilizada na identificação de animais com menor produção de calor, e consequentemente mais eficientes quanto à utilização do alimento (BROSH, 2007).

Diante disso, o objetivo no presente estudo foi avaliar o desempenho, características de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos Nelore em um rebanho de meio irmãos avaliados quanto ao consumo alimentar residual e consumo e ganho residual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Alternativas para medir eficiência alimentar

Existe uma variedade de índices para descrever a eficiência alimentar, os quais, cada um a sua maneira, refletem diferenças biológicas e aspectos matemáticos, bem como suas interações com o ambiente (ARTHUR et al. 2004). Desde 1960, mais de uma dúzia de índices e cálculos alternativos para medir eficiência alimentar tem sido proposta na literatura científica (ARCHER et al. 1999), sendo alguns deles apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Alternativas para mensurar eficiência alimentar e suas definições

Mensurações	Definição
CA	$CA = CMS / GPD$
CAR	$CAR = CMS_o - CMS_p$ ($CMS_p = \beta_0 + \beta_1 \times GPD + \beta_2 \times PVMM$)
EPC	$EPC = GPD / (CMS - E(CMS_m))$
IK	$IK = GPD / PV^{0,75}$
EFM	$EFM = GPD / CMS_m$
GR	$GR = GPD_o - GPD_p$ ($\beta_0 + \beta_1 \times (PVMM) + \beta_2 \times (CMS)$)
CGR	$CGR = -1 \times CAR + GR$

CA=conversão alimentar; CAR=consumo alimentar residual; EPC=Eficiência parcial de crescimento; IK=Índice de Kleiber; EFM=Eficiência para manutenção; GR=Ganho residual; CGR=Consumo e ganho residual; CMS=consumo de matéria seca; CMS_o=CMS observado; CMS_p = CMS predito; PVMM=peso vivo metabólico médio; GPD=ganho peso diário; GPD_o = GPD observado; GPD_p =GPD predito; CMS_m=CMS para manutenção; PV=peso vivo; Adaptado de Hill (2012)

A principal desvantagem da grande maioria dos índices de eficiência alimentar é a necessidade de medir consumo individual dos animais (com exceção do IK). Precisão de registro de dados e correto período de tempo para mensuração para todos os índices também é importante (ROBINSON; ODDY, 2004), como é o caso de todas as medidas de desempenho. O período de tempo de mensuração necessária para obter estimativas acuradas de eficiência alimentar tem sido discutido em alguns trabalhos (ARCHER et al., 1997; WANG et al., 2006). Archer et al. (1997) concluíram que um período de 70 dias para teste, com os animais pesados a cada duas semanas, foi suficiente para medir a eficiência alimentar em bovinos.

Eficiência alimentar ou conversão alimentar estão entre os parâmetros mais conhecidos e são tradicionalmente os índices mais utilizados para mensurar eficiência alimentar em bovinos de corte (BERRY, 2008), sendo que eficiência alimentar em sistemas de produção de carne é obtida pela razão entre ganho de peso diário (GPD) e o alimento consumido e (ARCHER et al., 1999). A CA foi bastante utilizada nos EUA em testes tradicionais de touro e em confinamentos comerciais, e tem sido bem documentado que a CA é fenotipicamente e geneticamente correlacionada com os aspectos de produção (ARCHER et al., 1999; ROBINSON; ODDY, 2004; CREWS, 2005). A seleção para CA pode melhorar a eficiência alimentar durante a fase de crescimento e terminação, contudo isso não necessariamente irá melhorar a eficiência ou rentabilidade do sistema de produção como um todo. Animais que possuem altas taxas de crescimento devido à seleção para conversão alimentar, tendem a ter elevado peso a maturidade e consequentemente altas exigências alimentares no rebanho (ARCHER et al., 1999). Existem muitos estudos na literatura mostrando o impacto do aumento do tamanho adulto com a seleção para CA (SUNDSTROM, 2004; CARSTENS et al., 2002), com a geral conclusão que um aumento no peso na idade adulta pode levar a impactos nos sistemas de produção (ARCHER et al., 1999), como por exemplo, pode comprometer a eficiência reprodutiva (LANNA et al., 2003). Archer et al. (1999) afirmam que a conversão alimentar pode ser um bom índice para mensurar eficiência alimentar em algumas situações, como em confinamentos experimentais, ou onde algumas raças são utilizadas para fornecer reprodutores, ou também em estudos de nutrição em que genéticas uniformes são utilizadas, ou seja, em situações em que, futuramente o tamanho adulto do rebanho não seja comprometido.

A eficiência para manutenção pode ser mensurada como a razão do peso corporal para consumo com ganho de peso zero. Apesar da importância de mensurar este índice, existem dificuldades práticas associadas a essa mensuração (ARCHER et al., 1999). Uma delas é que ele não deve ser mensurado em animais em crescimento, porque a exigência de ganho de peso zero não é satisfeita. Com isso, para obter a verdadeira mensuração da eficiência de manutenção é necessário manter animais em constante peso corporal, um processo que pode levar até dois anos em gado de corte (TAYLOR et al., 1981). Existe uma grande variação na EFM entre os animais, e estas diferenças estão correlacionadas com variações no

potencial produtivo do animal (FERREL; JENKINS, 1984; TAYLOR et al., 1986; MONTAÑO-BERMUDEZ et al., 1990). Frisch e Vercoe (1984) encontraram que touros Hereford x Shorthorn de 15 meses de idade tiveram 20% menor consumo de alimento para manutenção que touros Brahman com mesmo peso corporal, mas os animais Hereford x Shorthorn apresentaram maiores taxas de crescimento quando alimentados acima da manutenção, e então a EFM foi negativamente associada com o potencial produtivo. Entretanto, Russel e Wright (1983) não encontraram diferenças na eficiência de manutenção entre animais Hereford x Friesians e White Shorthorn x Galloways. Taylor et al. (1981) encontraram um coeficiente de variação genética de 6,4% para EFM, usando 22 bovinos Ayrshire gêmeos, enquanto Carstens et al. (1989) encontraram significativa variação em gêmeos Angus x Hereford e Barzona x Hereford, com herdabilidade estimada de $0,71 \pm 0,17$ e $0,49 \pm 0,22$ aos 9 e 12 meses de idade, respectivamente. Existem poucas informações sobre a variação genética em EFM, devido principalmente a dificuldade e custo para mensuração desta característica com adequado número de animais.

Enquanto investigava o metabolismo energético, Kleiber (1936) descreveu mais um índice de eficiência alimentar, denominado Índice de Kleiber, o qual não necessita de mensuração individual de consumo e tem sido utilizado para identificar animais com alta eficiência de crescimento relativo ao tamanho corporal. Um alto valor indica uma maior diluição das exigências de manutenção. Isso implica em que o ganho de peso diário aumenta em detrimento do aumento do peso vivo metabólico, consequentemente maior crescimento corporal é obtido sem aumento do custo da energia de manutenção. Ele é calculado como $IK = GPD/PV^{0,75}$, em que $PV^{0,75}$ é o peso vivo metabólico durante o período de crescimento usado na avaliação (ARCHER et al., 1999). Uma meta-análise de cinco publicações científicas que avaliaram o IK demonstrou que a herdabilidade estimada para o IK varia de 0,21 a 0,52 em animais em crescimento (BERRY; CROWLEY, 2013). Entretanto esse índice também pode impactar de forma negativa o aumento do tamanho adulto, já que ele leva em consideração o GPD e PV para seu cálculo.

A eficiência parcial de crescimento proposta por Kellner (1909) apud Berry e Crowley (2013) é caracterizada pela eficiência de crescimento após a contabilização das exigências para manutenção, e pode ser calculada como a relação entre GPDe consumo do alimento acima da exigência de manutenção. As exigências de manutenção podem ser calculadas usando tabelas de alimentos (ex. NRC, 1996) e média de

ganho de peso durante a mensuração (BERRY; CROWLEY, 2013). As relações deste índice de eficiência alimentar com índices de produção foram estudados por alguns autores (ARTHUR et al. 2001b; NKRUAMAH et al., 2004; LANCASTER et al., 2009a). Lancaster et al. (2009a) encontraram que a EPC foi moderadamente correlacionada com CMS (-0,37) e GPD (0,38), mas menos com o peso vivo (-0,20). Todavia, Arthur et al. (2001b) e Nkruamah et al. (2004) encontraram forte correlação de EPC com CMS e fraca correlação com GPD e PV. Além disso, a eficiência parcial de crescimento foi fortemente correlacionada com CA (ARTHUR et al., 2001b; NKRUAMAH et al., 2004; LANCASTER et al., 2009a). A EPC pode ser um potencial índice para medir eficiência alimentar em confinamentos, mas sua relação com a taxa de crescimento pode ser uma desvantagem para eficiência produtiva em animais maduros devido ao possível aumento no consumo alimentar dos animais (NKRUAMAH et al., 2007). E devido aos divergentes resultados encontrados, as respostas para seleção por EPC podem não ser independentes do crescimento e tamanho corporal, bem como das respostas para seleção de CAR (LANCASTER et al., 2009a).

2.1.1 Consumo Alimentar Residual (CAR)

O CAR tem crescido em popularidade como índice para mensurar eficiência alimentar (BERRY, 2008), e tem sido proposto como um método que pode ser utilizado na seleção genética de animais mais eficientes (ARCHER et al., 1997; ARTHUR et al., 2001a), desde que foi primeiramente sugerido para o uso em bovinos por KOCH et al. (1963).

O CAR é calculado como sendo a diferença entre o consumo individual observado e aquele predito por regressão múltipla do CMS observado em função do GPD e peso vivo metabólico (KOCH et al., 1963). Desta forma, essa medida tem o importante benefício de ser ajustada para peso e ganho do animal, o que não acarretaria em aumento do peso adulto, comparado, por exemplo, com conversão alimentar. Assim sendo, animais mais eficientes têm um CAR negativo (consumo observado menor do que o predito para o ganho observado) e os menos eficientes têm um CAR positivo (consumo observado maior do que o predito).

O consumo alimentar pode ser dividido em dois parâmetros: 1) consumo previsto para o nível de produção (ganho de peso e peso) e manutenção, e 2) uma

parcela residual, que poderia ser utilizada para identificar animais que tenham desvio do nível de consumo esperado (KOCH et al., 1963). Portanto, com esse índice é possível identificar animais que apresentem diferença entre a exigência nutricional estimada e observada e classificá-los como animais eficientes aqueles que se mantêm e crescem com consumo inferior ao estimado, e animais ineficientes, aqueles que se mantêm e crescem consumindo acima do valor estimado para tal (DEL CLARO, 2010). Com isso, animais mais eficientes apresentam CAR negativo e consomem menos alimento que seus contemporâneos, para expressarem o mesmo ganho de peso para a mesma faixa de peso vivo.

Para adequada estimativa do CAR, deve-se garantir a acurácia das determinações de consumo individual e ganho de peso dos animais avaliados. Para a estimativa acurada do consumo individual, Archer et al. (1997) constataram que seriam necessários no mínimo 35 dias de avaliação para animais taurinos. Para a raça Nelore considerou-se que 28 dias de avaliação são suficientes (CASTILHOS et al. 2011). No entanto, para o ganho de peso, deve-se ter um período mínimo de avaliação de 70 a 84 dias em função da maior variação desta característica no tempo (devido às diferenças de conteúdo gastrointestinal entre pesagens) quando comparado ao consumo. Por esta razão o CAR deve ser determinado por um período mínimo de 70 dias (ARCHER; BERGH, 2000; CASTILHOS et al., 2011).

Resultados de vários estudos indicam que este índice é moderadamente herdável e geneticamente independente das características de crescimento, e ainda, que existe uma considerável variação genética para CAR e características produtivas, o que sugere que este índice pode ser explorado na identificação e seleção de animais geneticamente superiores em relação ao uso dos alimentos para produção de carne (HERD; BISHOP, 2000; ARTHUR et al., 2001a; SCHENKEL et al., 2004; NKRUMAH et al., 2007; AHOLA et al., 2011). Estima-se que a herdabilidade para CAR está entre 0,13 e 0,82 (JENSEN et al., 1992; ARTHUR et al., 2001a, 2001b; ROBINSON; ODDY, 2004; NKRUMAH et al., 2007; LANCASTER et al., 2009a; CROWLEY et al., 2010). Arthur et al. (2001a, 2001b) analisando consumo individual em machos e fêmeas da raça Angus e Charolês relataram estimativa de herdabilidade para CAR de $0,39 \pm 0,03$, em ambos os estudos. Robinson e Oddy (2004), com grande número de machos castrados e fêmeas provenientes de raças adaptadas aos trópicos e de raças temperadas, relataram estimativa de herdabilidade inferior (0,18) para CAR, provavelmente pelo fato dos

animais serem mais velhos e mais pesados que nos estudos anteriores. Enquanto, Nkrumah et al. (2007) relataram estimativa de herdabilidade para CAR de $0,42 \pm 0,15$ em machos castrados provenientes de cruzamentos entre *Bos taurus*. Com isso, estes dados confirmam a existência de considerável variabilidade genética da característica CAR em vários genótipos e ambientes.

Ainda assim, a melhoria na eficiência de produção por meio da variação genética do CAR é dependente não somente da existência de variação genética para CAR entre os animais, mas também da correlação genética com as características de produção. Essas características incluem, relação com outros índices de eficiência alimentar, crescimento e consumo alimentar durante o confinamento e características de carcaça, qualidade de carne ao abate, fertilidade e tamanho da vaca adulta (HERD et al., 2003).

2.1.1.1 Correlações entre CAR e índices de eficiência alimentar

As relações entre CAR e outros índices de eficiência alimentar foram discutidas anteriormente e relataram que a correlação genética entre CAR e o tradicional parâmetro de conversão alimentar é moderada ($r_g=0,50$), sugerindo que genes diferentes estão ligados a estas características (NKRUMAH et al., 2004, 2007; LANCASTER et al., 2009a; CROWLEY et al., 2010).

Quando avaliaram a relação entre CAR e EPC, Lancaster et al. (2009a) relataram que CAR foi fortemente correlacionado com EPC ($r=-0,84$) em touros Angus, e os animais com baixo CAR apresentaram média 43% maior EPC comparado com os animais de alto CAR. Correlações fenotípicas do CAR com EPC também foram relatadas por Arthur et al. (2001b) e Nkrumah et al. (2004) apresentando valores de -0,65 e -0,89, respectivamente, em bovinos da raça Angus em crescimento. Resultados contraditórios em relação às correlações fenotípicas e genéticas entre CAR e EPC podem existir e indicam que resposta a seleção para EPC podem ou não ter benefícios similares em termos de redução de consumo como o CAR (NKRUMAH et al., 2004).

Em uma compilação de 39 publicações científicas, Berry e Crowley (2013) observaram que a correlação genética média entre CA e CAR foi de 0,75, com um intervalo em correlações de -0,21 a 0,93. Além disso, a correlação fenotípica e genética entre GR e CAR foi -0,40 e -0,46, respectivamente, sendo que as

respectivas correlações fenotípica e genética entre GR e CA foram -0,39 e -0,89. Também, o CAR foi fracamente correlacionado com IK. Diante disso, pode-se notar que existe uma grande variação nas correlações entre as características, que pode ocorrer em decorrência na variação de amostragem, ou também interações entre genótipo e ambiente que afetam os parâmetros populacionais (BERRY; CROWLEY, 2013).

2.1.1.2 Correlações entre CAR, consumo de matéria seca e peso vivo.

As correlações fenotípicas e genotípicas entre CAR e CMS podem variar de 0,13 a 0,81 e 0,24 a 0,85, respectivamente (ROBINSON; ODDY, 2004; SCHENKEL et al., 2004; ZAMANI et al., 2008; ROLFE et al., 2010; AHOLA et al., 2011), mostrando que existe de moderada a forte correlação entre elas e considerável variação para esta característica existe entre os animais. Castro Bulle et al. (2007), trabalhando com animais com predominância Angus x Hereford, encontraram diferenças entre animais de alto e baixo CAR de 15,3% no consumo de matéria seca (7,52 vs. 6,37 kg/d) durante 120 dias de experimento. Em animais Nelore, estes resultados também foram observados (FARJALLA, 2009; DEL CLARO, 2011; NASCIMENTO, 2011; GOMES et al., 2012; SOUZA, 2012). Farjalla (2009), avaliando 75 novilhos Nelore com aproximadamente 18 meses de idade, relatou que animais com CAR baixo consumiram 20% menos que os animais com CAR alto. Avaliando 60 machos Nelore com idade inicial média de 309 dias, em teste de 70 dias, Del Claro (2011) relatou uma diferença de 12% no consumo de matéria seca observado. Nascimento (2011) observou em 310 novilhos Nelore, que o consumo dos animais mais eficientes em kg/dia foi no mínimo 11,2% menor em relação aos menos eficientes. E ainda, Souza (2012) encontrou que os animais Nelore mais eficientes consumiram 7,10 Kg MS/dia enquanto os ineficientes consumiram 8,13 Kg MS/dia, uma diferença de 1 kg MS por dia de consumo entre eles.

Os valores encontrados de correlação genética entre CAR e peso vivo metabólico médio (PVMM) podem variar de -0,20 a 0,33 (ROBINSON; ODDY, 2004; LANCASTER et al., 2009b), enquanto as correlações genéticas entre CAR e GPD podem variar de -0,15 a 0,27 (CROWLEY et al., 2010; ROLFE et al., 2010), mostrando fraca correlação destas características com o CAR. Todavia, a correlação fenotípica para ambas as características e CAR em estudos anteriores foram

próximas de 0,00 (KOCH et al., 1963; ARTHUR et al., 2001a, 2001b; BASARAB et al., 2003; BAKER et al., 2006; AHOLA et al., 2011) indicando independência entre elas na maioria dos estudos. Em trabalhos realizados com Angus, Arthur et al. (2001a), Baker et al.(2006) e Ahola et al.(2011) relataram que o PVMM e GPD foram fenotipicamente e geneticamente independentes do CAR. Assim, com o uso do CAR é possível obter animais mais eficientes dentro dos limites desejáveis, e dessa forma a seleção não conduz a aumentos no tamanho adulto dos animais (SUNDSTROM, 2004).

As diferenças encontradas nos valores das variâncias genéticas e fenotípicas do CAR entre os estudos podem ser devido a diferenças nas medidas de consumo e principalmente ao tipo de dieta (NKRUMAH et al., 2007). Portanto, as diferenças de CAR podem refletir a eficiência biológica, e, se a composição do peso corporal e do ganho de peso for conhecida e levada em consideração, pode-se reduzir a variação do CAR.

2.1.1.3 Impactos na seleção para CAR

A seleção para baixo CAR é ainda relevante quando são considerados não só os impactos econômicos diretos da redução do consumo de alimentos sem afetar a produtividade dos animais, como também os efeitos do impacto ambiental da produção de carne pela redução da produção do metano proveniente da fermentação entérica dos ruminantes (DEL CLARO, 2011). Nkrumah et al. (2006) relataram diferenças significativas em emissão de metano entre animais de baixo e alto CAR, sendo que os primeiros (mais eficientes) produziram 28% menos metano que os menos eficientes (alto CAR). Com isso, a identificação e a seleção de animais baseada no valor genético do CAR oferece um mecanismo para reduzir as emissões de metano entérico sem comprometer a produtividade animal (HEGARTY et al., 2007).

Apesar de todas as vantagens citadas, o CAR apresenta uma limitação de utilização quando se observa a dispersão dos dados da relação entre o consumo observado e predito (Figura 1). É possível verificar dentro do grupo de animais eficientes (valores destacados em azul, abaixo da reta) existem indivíduos com valores de consumo variando entre 6,0 e 11,0 kg MS/dia.

Figura 1 - Relação entre consumo predito e observado de matéria seca de novilhos Nelore (Fonte: Nascimento, 2011; N=288).

Estes resultados obtidos por Nascimento (2011) sugerem que é possível selecionar animais eficientes pelo CAR, porém os indivíduos com faixa de consumo entre 6,0 e 7,0 kg MS provavelmente apresentam menor ganho de peso, posto que o consumo seja resposta da demanda de energia para manutenção e crescimento (NRC, 1996). Assim, por mais que todos os animais de CAR negativo sejam eficientes, esses indivíduos com menor consumo e ganho podem ser menos lucrativos, pois o ganho de peso é determinante do grau de acabamento e tempo de confinamento. Para eliminar este problema, seria necessário que o CAR fosse capaz de identificar indivíduos eficientes de maior desempenho, porém isso não ocorre justamente por ser um índice ajustado para ganho, tornando-o fenotipicamente independente do nível de produção.

Essa independência pode ter impacto sobre o lucro, pois para o aumento do retorno econômico no confinamento existe a necessidade de identificar indivíduos eficientes e com maior ganho de peso, pois esta variável é fortemente correlacionada com lucratividade (NASCIMENTO, 2011).

2.1.2 Ganho Residual (GR)

Tendo o mesmo conceito utilizado na mensuração do CAR, o GR é obtido pela diferença entre o ganho individual observado daquele predito por equação de regressão composta pelo CMS e o PVMM (KOCH et al., 1963). Neste caso, os fenótipos desejados são os animais com GR positivo, ou seja, aqueles que ganham mais peso que o esperado e, portanto, mais eficientes que seus contemporâneos (BERRY; CROWLEY, 2013).

Apesar de ter sido proposto juntamente com o CAR, que se tornou o índice mais utilizado na literatura de bovinos desde então, e mesmo tendo sido apontado pelo próprio autor como uma descrição matemática mais acurada de causa e efeito no estudo sobre eficiência (KOCH et al., 1963) o GR só atualmente tem sido mais estudado (CROWLEY et al., 2010; BERRY; CROWLEY, 2012, 2013). Devido a isso, apenas duas estimativas de herdabilidade para ganho residual existem na literatura para bovinos em crescimento, e estes foram apresentados por Koch et al. (1963) ($h^2=0,28$) e Crowley et al. (2010) ($h^2= 0,62$).

Crowley et al. (2010) ao avaliarem o fenótipo de 2605 touros de dados coletados durante 24 anos na central de teste de desempenho na Irlanda, observaram que os animais mais eficientes, ou seja, de alto GR, apresentaram CMS ligeiramente maior em relação aos animais de médio e baixo GR (10,8 vs 10,7 e 10,6 kg/d), juntamente com o maior GPD (1,89 vs. 1,66 e 1,41 kg/d). Entretanto, os animais de alto GR apresentaram menor peso vivo inicial e maior peso vivo final, e de acordo com o autor o ganho compensatório pode ter sido a razão da superioridade no GR destes animais. Além disso, os animais de alto GR também apresentaram eficiências superiores na conversão alimentar e taxa relativa de crescimento.

Uma importante característica deste índice é que ele está altamente correlacionado com o ganho de peso, e, portanto, pode ser confundido por sua forte correlação com outras características produtivas. E ainda, o GR foi associado com taxas de crescimento mais rápidas, mas por outro lado, não foi capaz de detectar diferenças de consumo de alimentos entre os indivíduos, que também é uma variável determinante do lucro (CROWLEY et al., 2010).

2.1.3 Consumo e Ganho Residual (CGR)

Diante das limitações mencionadas quanto à utilização tanto do CAR quanto do GR, Berry e Crowley (2012) propuseram um índice de eficiência alimentar que tem como objetivo principal identificar animais de crescimento rápido e que ao mesmo tempo, consumam proporcionalmente menos alimento que o esperado, sem diferenças no peso vivo do animal. 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 GR com consumo alimentar cria uma situação similar (BERRY; CROWLEY, 2013). Por combinação do CAR e GR, o CGR pode ser calculado pela soma de $-1 \times \text{CAR}$ e GR, e as classes de eficiência podem ser estabelecidas como nos estudos do CAR, considerando 0,5 de desvio padrão acima ou abaixo da média, como os limites entre as classes. A independência com o peso vivo deveria ser mantida, e CGR deveria ser negativamente correlacionado com consumo alimentar e positivamente correlacionado com ganho de peso (BERRY; CROWLEY, 2012). Ou seja, os animais eficientes quanto ao CGR apresentam menor consumo de matéria seca, apresentam maior ganho de peso e são considerados mais eficientes que seus contemporâneos. Neste sentido, é possível identificar animais que permaneçam menos tempo no confinamento com baixo consumo alimentar (BERRY; CROWLEY, 2012).

Berry e Crowley (2012) estudaram o fenótipo e genótipo de 2.605 novilhos confinados em uma estação experimental na Irlanda e encontraram claras diferenças em CMS e GPD entre os grupos de CGR. Os autores observaram que os animais mais eficientes (CGR positivo) apresentaram menor ingestão de matéria seca em relação aos animais ineficientes (CGR negativo), 10,4 vs 11,0 kg/dia; respectivamente, e ganho de peso superior (1,81 vs 1,40 kg/dia, respectivamente). Assim, animais com baixo CGR consumiram em média menos, e cresceram mais lentamente, enquanto os animais de alto CGR consumiram mais e tiveram maior taxa de crescimento. Embora observado um maior consumo diário nos animais de alto CGR em relação aos animais mais eficientes classificados no CAR, a quantidade total de alimento consumida durante todo o período testado foi menor nos animais superiores para CGR em comparação com os superiores para CAR e

GR. Isso ocorreu em detrimento do objetivo duplo do CGR para identificar, os animais de crescimento mais rápido que consomem, em média, menos alimento por dia (BERRY; CROWLEY, 2012).

Assim como CAR e GR, o GCR é moderadamente herdável, com significativa variação genética. Berry e Crowley (2012) e Retallick (2013) encontraram herdabilidade de $0,36 \pm 0,06$ e $0,22 \pm 0,10$, respectivamente, valor próximo aos observados para o CAR (KOCH et al., 1963; ARCHER et al., 1999; ARTHUR et al., 2001ab) e outros índices de eficiência alimentar. A forte correlação genética encontrada entre CGR e CAR (-0,87) e GR (0,83) era esperada já que existe completa relação entre eles. O CGR foi positivamente correlacionado com ganho médio diário ($r = 0,40$) Esses resultados sugerem que a seleção genética para CGR pode ser praticada e que a utilização de animais eficientes pelo CGR, sem alterar o tamanho adulto do rebanho, pode melhorar consideravelmente rentabilidade da produção de carne bovina (BERRY; CROWLEY, 2012).

Apesar da intenção desse índice manter a independência com o peso vivo, Berry e Crowley (2012) observaram maior peso vivo final nos animais de alto CGR, que, de acordo com o autor, podem estar relacionadas ao efeito fixo de raça incluído no modelo estatístico para estimar as médias.

No atual cenário de produção de bovinos de corte, com margem estreita de lucro, o interessante é identificar e selecionar animais geneticamente mais eficientes, com menor consumo e maior ganho de peso, pois estas variáveis são componentes chaves para redução dos custos de produção. E tão importante quanto a lucratividade, a produção de carcaças com carne de qualidade é fundamental para que os benefícios alcançados com a redução dos custos de produção no confinamento não sejam afetados por alterações na composição da carcaça e maciez da carne.

Pesquisas relacionando o impacto da seleção pelo CGR sobre as características de carcaça e qualidade de carne não existem na literatura. Berry e Crowley (2012) foram os primeiros pesquisadores a relacionar o CGR com características de desempenho de novilhos confinados, mas infelizmente os autores não apresentaram as associações entre CGR e dados de lucratividade, composição corporal e qualidade de carne. Se existirem antagonismos entre CGR, características de carcaça e qualidade de carne, esses devem ser identificados, pois

podem reduzir o benefício econômico alcançado pela seleção de animais eficientes para diminuição dos custos com alimentação.

2.2 Características produtivas e eficiência alimentar

2.2.1 Características de carcaça e composição corporal

Diferenças na composição corporal podem contribuir para variação na eficiência alimentar, já que o tecido magro necessita de menor quantidade de energia por unidade de ganho que o tecido adiposo, devido à baixa densidade da energia na forma de proteína, água e mineral comparado com gordura (1,24 vs 9,39 kcal/g) (CARSTENS; KERLEY, 2009). Muitos pesquisadores têm avaliado possíveis relações entre o CAR e as medidas e/ou estimativas da composição corporal, com objetivo de identificar se a seleção para CAR trará mudanças genéticas correlacionadas em outras características de produção e desempenho. Por exemplo, se os animais selecionados para baixo CAR coincidem com uma redução significativa na espessura de gordura subcutânea (EGS), então a seleção para CAR poderá ser prejudicial para o grau de acabamento (DEL CLARO, 2011).

Alguns trabalhos demonstram que parte da variação do consumo alimentar residual pode ser explicada pela variação na composição corporal. Richardson e Herd et al. (2004) apontaram que a composição corporal pode explicar até 5% da variação no CAR em bovinos Angus alimentados com dieta a base de alfafa peletizada, enquanto Lancaster et al. (2009a) e Basarab et al. (2003) encontraram que a variação nas características de carcaça medidas no ultrassom podem contribuir com 9% da variação do CAR. Em uma compilação de dados com 570 animais Nelores foram observados um maior efeito que aquele sugerido na literatura, ou seja, em animais de alto e baixo CAR com diferença de consumo de 1,45 kg/dia, os autores observaram que a composição do ganho pode explicar até 22,2% da variação no CAR (NASCIMENTO et al., 2013).

Apesar disso, as relações entre CAR e características de carcaça, principalmente características relacionadas à gordura, tem sido muito controversos desde a introdução do conceito do CAR (BASARAB et al., 2003). Alguns experimentos tem mostrado correlações fenotípicas e genotípicas entre CAR, CA e características de carcaça e gordura corporal (Tabela 2), e usualmente essas

correlações são baixas e o desvio padrão relativamente alto (BASARAB et al., 2003), sugerindo que esses dados devem ser interpretados cautelosamente.

Tabela 2 - Exemplo de estudos mostrando correlações (r) entre CA (conversão alimentar) ou CAR (consumo alimentar residual) e área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS).

Referências	Caract	Correlação (r com CA)	P- value	Correlação (r com CAR)	P- value
CARSTENS et al. 2002	EGS ^a	-0,02	0,8	0,22	0,004
SCHENKEL et al. 2004		-0,14	<0,05	-0,01	N.S.
BAKER et al., 2006		0,13	0,36	0,00	1,00
NKRUMAH et al. 2007		0,04	N.S.	0,25	<0,01
AHOLA et al. 2011		0,09	0,32	0,00	0,96
NASCIMENTO, 2011		-0,05	N.S.	-0,00	N.S.
SOUZA, 2012	AOL ^b	.	.	0,25	<0,001
CARSTENS et al. 2002		0,06	0,48	0,03	0,68
SCHENKEL et al. 2004		0,07	<0,05	0,01	N.S.
BAKER et al., 2006		0,12	0,38	-0,09	0,52
NKRUMAH et al. 2007		0,09	N.S.	0,09	N.S.
AHOLA et al. 2011		0,02	0,84	-0,12	0,15
NASCIMENTO, 2011		-0,13	<0,05	-0,06	N.S.
SOUZA, 2012		.	.	-0,02	N.S.

a=espessura de gordura subcutânea medida por ultrassom entre 12 e 13 costela; b=área de olho de lombo determinada na carcaça ou via ultrassom. N.S.= não significativo. Adaptado de Hill (2012)

Outros estudos também demonstram estas correlações. Em touros e novilhas divergentes em CAR, espessura de gordura foi correlacionado geneticamente ($r_g=0,17$) e fenotipicamente ($r_f=0,14$) com CAR (ARTHUR et al., 2001a). Nkrumah et al. (2007) relataram correlações genéticas de -0,04 entre CAR-genético e espessura de gordura, e -0,65 entre CAR e área do *longissimus dorsi*. BARWICK et al.(2009) encontraram valores de 0,33 e -0,07 para a correlação genética do CAR com espessura de gordura na costela e área do *longissimus*. Esses dados evidenciam que animais de baixo CAR podem apresentar baixa EGS e, além disso, esse índice está associado com composição do ganho, em que os animais mais eficientes tendem a apresentar carcaças mais magras (MCDONAGH et al., 2001; BASARAB et al., 2003; NKRUMAH et al., 2004). Se esta correlação genética com EGS é expressa na progênie destinada para abate ou em suas filhas, então a seleção para baixo CAR pode afetar o desempenho reprodutivo da progênie

(HERD et al., 2003), apesar de alguns dados não demonstrar prejuízos ao desempenho e fertilidade nos animais (HERD et al., 1998; RICHARDSON et al., 1998). Adicionalmente, em bovinos Nelore também foram observadas associações positivas entre EGS e CAR (NASCIMENTO, 2011; GOMES et al., 2012; SANTANA et al., 2012; SOUZA, 2012), enquanto Almeida (2005) observaram associações fracas, mas presentes entre CAR e deposição de espessura de gordura subcutânea.

Por outro lado, resultados presentes na literatura em relação ao CAR e composição corporal são inconsistentes e alguns trabalhos não têm mostrado diferenças entre as médias de espessura de gordura subcutânea e intramuscular, e também na quantidade de gordura renal, pélvica e inguinal, de animais de alto e baixo CAR (HERD et al., 1998; BRANCO et al., 2008; BONILHA et al., 2009; ZORZI et al., 2013). Com isso, o CAR pode ou não comprometer as especificações do mercado em relação à gordura presente na carcaça (RICHARDSON et al., 1998).

Considerando a significativa correlação entre CAR e gordura subcutânea, alguns autores sugerem que o CAR deve ser ajustado para características de carcaça, ou seja, o modelo de regressão para o cálculo do CAR a partir do consumo esperado deve incluir o ganho em espessura de gordura subcutânea e em área do músculo *longissimus dorsi*, juntamente com o peso metabólico e o ganho em peso (BASARAB et al., 2003; BAKER et al., 2006; LANCASTER et al., 2009a). Basarab et al. (2003) e Barker et al. (2006) observaram um aumento de aproximadamente três pontos percentuais no coeficiente de determinação quando gordura subcutânea obtida por ultrassom foi incluída juntamente com CMS, GPD e PVMM na regressão do modelo. Entretanto, Lancaster et al. (2009a) mostraram que, apesar do aumento do coeficiente de determinação do modelo com a inclusão de características relativas à gordura na carcaça não ter sido maior que no estudo anterior, a redução do desvio-padrão do CAR foi numericamente maior. E ainda, estimativas de CAR, obtidas com ou sem ajuste pela composição corporal, são altamente relacionadas (0,94 e 0,97) e, portanto, não se esperam mudanças expressivas na classificação dos animais, a ponto de considerar imprescindível a necessidade de inclusão das características de composição corporal na estimativa do consumo alimentar residual (RICHARDSON et al., 2001; ARTHUR et al., 2003; HERD et al., 2003; BASARAB et al., 2003).

Muitos estudos (Tabela 2) também têm mostrado divergentes correlações entre deposição de músculo, expresso em área de olho de lombo (AOL) e CAR ou

EA em bezerros, touros e novilhas. Existe a hipótese que animais de baixo CAR tem menor exigência de manutenção, possivelmente devido ao potencial genético da conversão de alimento em tecido magro via deposição de proteína (RICHARDSON; HERD, 2004). Uma pequena mudança nas taxas de síntese e degradação de proteína pode ter um grande impacto na quantidade de energia necessária para suportar as exigências de manutenção (WELCH et al., 2012). Com isso, animais mais eficientes podem ter a habilidade de converter os nutrientes do alimento em massa muscular a uma taxa mais eficiente que seus contemporâneos (WELCH et al., 2012), justificando que o CAR pode estar associado ao aumento no tecido muscular (RICHARDSON et al., 2001; CARSTENS et al., 2002; BASARAB et al., 2003; CREWS et al., 2003; KELLY et al., 2011). Kelly et al. (2011) estudando 302 touros divergentes em CAR encontraram correlações positivas entre CAR e deposição do músculo. CREWS et al. (2003) observaram correlações genéticas entre AOL e CAR em animais em fase de crescimento e terminação de 0,15 e 0,52, respectivamente. Entretanto outros autores (ARTHUR et al., 2001a; BASARAB et al., 2003; NKURUMAH et al., 2004) encontraram associações negativas para essa característica. As diferenças na deposição muscular observadas pode ser resultado da alta taxa de crescimento muscular em diferentes rebanhos, além das diferenças no local de mensuração e da relativa pequena população mensurada (KELLY et al., 2011).

Diferenças em gasto energético associados com crescimento de órgãos e vísceras como fígado, trato gastrointestinal e coração também podem contribuir em diferenças no CAR, visto que as atividades metabólicas desses tecidos consomem cerca de 50% da energia destinada para manutenção, enquanto os tecidos da carcaça 23% (CARSTENS; KERLEY, 2009). A variação nas exigências de manutenção podem ser parcialmente explicadas pela variação da atividade metabólica desses tecidos, particularmente fígado e trato digestivo (WELCH et al., 2012). É estimado que a combinação desses tecidos possa representar aproximadamente de 40 a 50% do total de energia requerida pelo animal, o que é proporcionalmente grande se considerarmos que o fígado e o trato gastrointestinal representam 10% da massa corporal (ARCHER et al., 1999; CATON et al., 2000). Novilhos de baixo CAR apresentaram 8% a menos de peso no fígado e trato gastrointestinal (TGI) total que os animais de alto CAR (BASARB et al., 2003). Bonilha et al.(2009) observaram menor peso do coração, rins e (trato gastrointestinal) TGI em bovinos Nelore de

baixo CAR, enquanto Sainz et al. (2006) observaram menor peso de coração, fígado e rins. Diante disso, animais mais eficientes podem apresentar menor gasto energético, resultado do menor tamanho de vísceras presentes na carcaça.

Associações entre CGR e composição do ganho também não estão presentes na literatura, mas de acordo com Berry e Crowley (2012) novilhos eficientes classificados de acordo com CGR podem apresentar maior AOL e consequentemente maior rendimento de carcaça na indústria.

2.2.2 Eficiência alimentar e impactos na qualidade da carne

Programas de melhoramento genético focam primeiramente no crescimento e características de carcaça dos animais. Entretanto, é importante salientar que no processo de seleção para eficiência alimentar sejam considerados também, os impactos na qualidade do produto final ao consumidor. Atualmente pouco ou nenhum efeito negativo na qualidade da carne como consequência da seleção para CAR tem sido encontrado (SHACKELFORD et al., 2001). Entretanto existe uma preocupação se o ranking dos animais baseado em seleção para baixo CAR irá mudar em longo prazo as características da qualidade da carne final ao consumidor.

O pH é a mais importante característica observada quando se considera a qualidade da carne, sendo que, o pH 6,0 tem sido considerado como linha divisória entre o corte normal e o do tipo DFD (*dark, firm and dry*, ou seja, escura, consistente e não exsudativa). No Brasil, os frigoríficos só exportam carne com pH < 5,8, avaliado diretamente no músculo *Longissimus dorsi*, 24 horas *post-mortem* (ROÇA, 2001), sendo esse, o valor ideal para evitar que a qualidade da carne seja comprometida (PFLANZER; FELÍCIO, 2009).

Essa característica interfere diretamente na capacidade de retenção de água (CRA), a qual é definida como a habilidade da carne em reter água durante a aplicação de forças externas como corte, aquecimento, moagem e pressão. A formação de ácido láctico e a redução do pH são responsáveis pela diminuição da CRA da carne em reter água durante a aplicação de forças (LAWRIE, 2004). Em pH 5,2-5,3 (ponto isoelétrico das proteínas musculares, com equilíbrio de cargas positivas e negativas), a carne apresenta menor capacidade de retenção de água. Em pH maior que 5,5 existe excesso de cargas negativas que determinam a repulsão para as molecular de água, reduzindo a força mecânica necessária para o corte e as perdas durante o cozimento (LAWRIE, 2004).

O pH também influencia diretamente a coloração do músculo. A escala CIELAB atualmente utilizada na indústria de alimentos é igualmente relacionada à capacidade de percepção do olho humano. Com isso o valor L^* (luminosidade) determina a posição do ponto sobre o eixo vertical de claridade; o valor de a^* (intensidade da cor vermelha) é o ponto sobre o eixo (-) verde/vermelho (+); e o valor de b^* (intensidade da cor amarela), do ponto correspondente sobre o eixo (-) azul/amarelo (+) (RAMOS; GOMIDE, 2007). Em geral, a cor tem negativa correlação com valores de pH, ou seja, quando pH da carne é alto, o valor de L^* é baixo. Carnes com pH abaixo de 5,5 apresentaram maior luminosidade ($L^* > 42$), carnes com pH acima de 6,0 apresentam menor luminosidade e carnes com pH entre 5,5 e 6,0 apresentam luminosidade intermediária ($36 < L^* < 40$) (ABRIL et al., 2001). Sendo que esta característica afeta diretamente a escolha do consumidor na hora de comprar a carne.

Estudos da qualidade da carne geralmente são focados no consumidor e, pensando nisso, dentre as características de qualidade da carne bovina, a maciez assume posição de destaque, sendo considerada a característica organoléptica de maior influência na aceitação da carne por parte dos consumidores (HUFFMAN et al., 1996). A maciez da carne pode ser identificada por meio das análises objetivas, como força de cisalhamento (FC) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM), e também subjetivas por meio do painel sensorial.

A força de cisalhamento é um método objetivo que utiliza um texturômetro, o qual mede a força necessária para o cisalhamento de uma seção transversal de carne e, quanto maior a força dispensada, menor é a maciez apresentada pelo corte de carne. Valores abaixo de $4,1 \text{ kgf/cm}^2$ indicam que a amostra da carne é macia (HUFFMAN et al., 1996). Entretanto, médias acima desse valor ($6,7 \text{ kgf./cm}^2$) são encontrados em amostras de carne de bovinos Nelore (ABULARACH et al., 1998; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012). Valores elevados de FC são comuns em animais zebuínos e essa característica possivelmente está associada a maior atividade da enzima calpastatina, que possui efeito inibidor sobre as calpaínas, responsáveis pela proteólise *post-mortem* e, portanto, pelo amaciamento da carne (RUBENSAM et al., 1998).

O índice de fragmentação miofibrilar, mensurado pela homegeinização do músculo seguida pela determinação do índice de proteína e da medida de turvação das amostras ajustadas a uma concentração comum de proteína (HOPKINS et al.,

2000), reflete a intensidade da proteólise das miofibrilas. IFM maior que 60 indica carne extremamente macia, enquanto valores entre 50 e 60 indicam carnes moderadamente macias, e valores abaixo de 50 indicam carnes duras (CULLER et al., 1978). Os valores de FC e IFM mostram uma inversa relação, pois baixos níveis de FC estão associados a altos valores de IFM. A força de cisalhamento pode diminuir 0,027 kg por unidade de aumento no IFM (MCDONAGH et al., 2001). O maior índice de fragmentação miofibrilar e menor FC podem resultar em uma carne de maior qualidade, melhorando a palatabilidade e aumentando o valor de mercado da carcaça.

Quando consideradas as relações entre qualidade de carne e CA, percebe-se que poucos dados estão disponíveis na literatura. Um exemplo de um estudo fornece uma indicativa de que não existe uma interação entre CA e atributos sensoriais e organolépticos da carne (AHOLA et al., 2011). Dados de 133 novilhos não mostram correlação ($r=0,00$; $P=0,96$) entre força de cisalhamento e CA. Similarmente, escores de painel sensorial não detectou nenhuma correlação de maciez com CA (AHOLA et al., 2011).

Estudos têm mostrado que a seleção para CAR tem levado a uma diminuição na EGS, onde os animais mais eficientes (CAR negativo) tendem a apresentar carcaças mais magras, com menor acabamento e gordura intramuscular (BASARAB et al., 2003; RICHARDSON; HERD, 2004; LANCASTER et al., 2009a; NASCIMENTO, 2011). Isso pode influenciar diretamente na qualidade e maciez da carne, sendo que a menor quantidade de gordura na carcaça, mensurada em termos de espessura subcutânea, ou avaliada visualmente como cobertura de gordura, pode não exercer adequadamente o seu papel de isolante térmico da carcaça, e levar a um encurtamento das fibras musculares pelo frio, resultando em menor maciez (PFLANZER; FELÍCIO, 2009). Pflanzer e Felício (2009) determinaram os efeitos sobre a qualidade da carne de animais em dois diferentes grupos quanto à quantidade de gordura na carcaça (leve ou média). Eles observaram que os bifes das carcaças avaliadas com pouca gordura (1-3 mm) apresentaram maior FC em relação aos bifes das carcaças com maior cobertura de gordura (4-6 mm).

No entanto, de acordo com dados disponíveis na literatura a seleção para CAR provavelmente não afeta negativamente a qualidade da carne da progênie (MCDONAGH et al., 2001; BARKER et al., 2006; AHOLA et al., 2011; BEHRENS et al., 2011; ZORZI et al., 2013). O estudo de Ahola et al. (2011) sugere que a FC e

estimativas do painel sensorial não foram relacionados ao CAR. Behrens et al. (2011) também não encontraram diferenças entre força de cisalhamento em novilhas de alto e baixo CAR. Ao avaliarem bifes de novilhos Angus classificados em alto, médio e baixo CAR por intermédio de painel sensorial, Barker et al. (2006) observaram que todos os bifes apresentaram uma qualidade aceitável em termos de aparência e palatabilidade, e apesar de não serem encontradas diferenças quanto à FC, houve uma tendência dos bifes dos animais de alto CAR serem mais suculentos ($P < 0,10$). Além disso, os valores de b^* foram maiores e a L^* da carne tendeu a ser maior em animais de alto CAR. McDonagh et al. (2001) estudaram a progênie de novilhos selecionados para alto e baixo CAR e não encontraram diferenças na FC nem na cor da carne, tampouco da gordura em bovinos Angus. Contudo o IFM foi menor nas amostras do músculo *Longissimus dorsi* em animais com baixo CAR, uma diminuição que se manteve também nas carnes maturadas aos 14 dias.

Zorzi et al. (2013) com o objetivo de identificar possíveis associações entre CAR, características de carcaça e propriedades físico-químicas da carne de 59 Nelores em confinamento, não encontraram valores significativos entre animais de alto e baixo CAR para pH, comprimento de sarcômero, luminosidade e cor da carne. Apesar disso, os autores observaram que os animais de baixo CAR apresentaram valores mais altos de FC em carnes não maturadas (4.00 ± 0.182 vs 4.50 ± 0.172) e maturada durante 7 (3.61 ± 0.144 vs 4.22 ± 0.137) e 21 dias (2.69 ± 0.151 vs 3.27 ± 0.143), e, além disso, menor IFM em carnes não maturadas (42.0 ± 2.13 vs 37.0 ± 2.02), indicado carnes menos macias em animais de baixo CAR.

Como pode ser observado, as relações entre eficiência alimentar e qualidade da carne de bovinos são ainda contraditórias e pouco conhecidas. Se antagonismos entre melhorarias na eficiência alimentar e influência nestas características existem, eles precisam ser identificados, e é essencial que se continue a monitorar a qualidade da carne para assegurar um produto de alta aceitabilidade no mercado.

2.3 Produção de calor

Características de desempenho e suas correlações com eficiência alimentar são bem documentadas na literatura, entretanto as bases biológicas para variação no CAR são pouco conhecidas. Estima-se que 14, 9, 5 e 5% da variação do CAR

pode ser relativa ao processo de digestão, incremento calórico, composição corporal e atividades físicas, respectivamente (HERD et al., 2004). Então, 67% da variação do CAR permanece ainda inexplicável, e pode estar relacionada com a energia requerida pelos processos biológicos, como bombeamento de prótons na mitocôndria, *turnover* proteico e bombeamento de íons (HERD et al., 2004). Portanto, o uso da energia via processos biológicos parece ter um potencial de contribuição com substancial proporção na variação individual da eficiência alimentar (HILL; HERD, 2003).

Tem sido aceito na literatura que os principais fatores que afetam a partição de energia nos ruminantes são: nível de consumo alimentar, condições ambientais, gasto energético ou PC, nível de produção de leite ou ganho em tecido corporal e variabilidade individual entre animais com respeito à eficiência de utilização de energia para manutenção e produção (BERMAN, 2005; BROSH, 2007). Ao calcular o equilíbrio energético do animal, a produção de calor representa um componente substancial do balanço de energia dos ruminantes (CASTRO BULLE et al., 2007). Em estudos de metabolismo energético a produção de calor dos animais é estimada como produção de calor total, que inclui o calor utilizado para manutenção, adicionado ao calor despendido na forma de incremento calórico (RODRIGUEZ et al., 2007). A exigência de manutenção pode ser definida como a quantidade de energia necessária para animais com zero de ganho de peso (FERRELL; JENKINS, 1984). Mais especificamente, essas necessidades representam a quantidade de energia necessária para manter os processos do metabolismo basal (síntese e degradação proteica, transporte de íons, sinalização celular, etc.), função de órgãos vitais, movimentos voluntários e termo regulação (THOMPSON et al. 1983).

O custo energético de manutenção, perdido na forma de calor, pode representar 70-75% do consumo total de energia (FERRELL; JENKINS, 1984; NRC, 1984), e as diferenças nas exigências de manutenção, que podem variar de 10 a 12% em bovinos de corte, são componentes chaves que definem as variações na eficiência entre animais (HOTOVY et al., 1991; SWANSON; MILLER, 2008). Estas variações, juntamente com as estimativas de herdabilidade de moderada a alta ($h^2 = 0,22$ a $0,71$), sugerem amplo espaço para melhorias através de seleção também de animais com menor exigência de manutenção, ou seja, animais que perdem menos energia na forma de calor (CARSTENS et al., 1989; BISHOP et al., 1991).

A PC pode ser mensurada por calorimetria direta, ou seja, medição direta do calor liberado pelo animal, ou indireta em câmara calorimétrica (RODRIGUEZ et al., 2007), ou uso de água duplamente marcada (PRENTICE et al., 1984). A calorimetria direta é simples na teoria, mas difícil na prática. Projetos calorimétricos para estimar produção de calor em animais são baseados no mesmo princípio da bomba calorimétrica, em que o calor liberado é utilizado para aumentar a temperatura que circula no meio (KLEIBER, 1961). Dentro da câmara, os gases são analisados para determinar, indiretamente, o metabolismo dos alimentos e, diretamente, a dissipação de calor (evaporação, radiação, condução e convecção) pelo aumento da temperatura da água circundante na câmara (KLEIBER, 1961), sendo que um kcal de energia equivale ao aumento da temperatura de um grama de água de 14,5 para 15,5°C em condições normais de temperatura e pressão (KLEIBER, 1961). Esse não é um método que possa ser utilizado a campo, além de ser complexo e de custo elevado.

2.3.1 Calorimetria indireta

A calorimetria indireta é uma técnica que quantifica o calor gerado pelas reações químicas, ou seja, é uma medida metabólica da oxidação de compostos orgânicos. Ela foi desenvolvida na virada do século XIX para o XX, como uma aplicação da termodinâmica para vida animal (VAN SOEST, 1982). É baseada no conhecimento da combustão do substrato energético ingerido e necessário pelo organismo. Os diferentes tipos de nutrientes têm quantidades específicas de O_2 consumido e CO_2 produzido, portanto, a produção de calor é obtida por meio do quociente respiratório (QR), o qual é determinado pelo balanço conjunto de oxigênio e carbono, ou das perdas e ganhos de tecidos pelos animais (KLEIBER, 1961; VAN SOEST, 1982).

Existem diversas técnicas de se medir as trocas gasosas na respiração, sendo que todas elas levam em consideração o consumo de oxigênio (VO_2) e a produção de CO_2 por unidade de tempo. Os aparelhos de calorimetria que medem VO_2 e CO_2 analisando o ar inspirado e expirado podem ser classificados em equipamentos de circuito fechado ou circuito aberto, e têm sido utilizados desde 1900 em humanos e animais (KLEIBER, 1961). Nos equipamentos de circuito fechado, o VO_2 e CO_2 são medidos por alterações no volume dentro de um

reservatório fechado contendo oxigênio. Os aparelhos consistem de um espirômetro de selo d'água contendo oxigênio a 100%, um filtro com cal-sodada para absorver o gás carbônico e um circuito respiratório com válvula inspiratória e válvula expiratória (FERRANNINI, 1988). O indivíduo respira continuamente o gás contido no espirômetro por meio do sistema de válvulas direcionais. A redução no volume do gás contido no espirômetro, no período do exame, permite determinar o consumo do oxigênio. Embora ainda utilizados para estudos de calorimetria de pequenos animais, poucos equipamentos para uso em bovinos empregam esse princípio (FERRANNINI, 1988).

Na calorimetria indireta de circuito aberto, ambos os extremos do sistema se comunicam com o ambiente. O ar inspirado é mantido separado do ar expirado por meio de um sistema de válvulas unidirecionais. Nos estudos de fisiologia e, ocasionalmente, em estudos clínicos, o ar expirado é coletado em bolsa de Douglas ou espirômetro de Tissot e, depois, analisado por titulação por métodos convencionais ou analisadores eletrônicos (KLEIBER, 1961). Os tradicionais métodos que utilizam a calorimetria indireta para mensurar o gasto energético são as câmeras calorimétricas de circuito aberto onde os animais são alojados individualmente. Embora seja uma medida acurada, essas câmeras não representam o real ambiente do animal e restringem as atividades dos animais, o que pode afetar as exigências de energia e seu uso de acordo com NRC (1996).

Técnicas como água duplamente marcada e incubação traqueal são algumas formas para estimar produção de calor por calorimetria indireta sem uso de aparelhos. A água duplamente marcada pode ser utilizada para determinar a produção de CO₂, e mensurar a taxa metabólica em condições naturais dos animais, contudo tem custo elevado e o método contem erros de 8 a 11% (NAGY, 1989). Incubação traqueal para mensurar o consumo de oxigênio (YOUNG; WEBSTER, 1963) e infusão de [¹⁴C] bicarbonato (CORBETT et al., 1971; YOUNG; WEBSTER, 1972) tem restrita aplicação e custo elevado para o uso em grandes animais. Além disso, esses métodos interferem no comportamento normal dos animais.

Embora a produção de calor de um animal possa ser medida de forma acurada por meio de câmara calorimétrica e água duplamente marcada, esses métodos, além de serem praticados em condições artificiais, são extremamente caros e requerem considerável experiência e infraestrutura, o que pode tornar impraticável a seleção de animais com menor exigência.

2.3.2 Metodologia do Pulso de O₂ (O₂P)

O uso de FRC como indicador de gasto energético, comumente chamado de produção de calor, em ovelhas e bovinos foi sugerido anteriormente (WEBSTER, 1967; YAMAMOTO et al., 1979). Recentes desenvolvimentos em microeletrônica permitiram que a frequência cardíaca dos animais fosse monitorada em seu ambiente natural, incluindo animais sobre pastejo ou confinados (BROSH et al., 1998a; AHARONI et al., 1999). A correlação entre produção de calor e FRC em humanos (ANDREWS, 1971) e animais (WEBSTER, 1967), e a relativa simplicidade de mensuração da FRC, fizeram com que a contínua mensuração de FRC pudesse ser uma técnica em potencial para determinar a produção de calor em animais em seus ambientes naturais.

Porém, ao utilizar somente a FRC como preditora da PC, a mesma pode fornecer estimativas incorretas devido aos efeitos do nível de atividade, variações diárias e individuais dos animais, dietas e outras condições fisiológicas não consideradas (YAMAMOTO, 1989; BROSH, 2007).

Em mamíferos o oxigênio usado é transportado para os tecidos pelo coração, e esse órgão representa 10% do consumo total de energia corporal. Portanto, ao ajustarmos individualmente a FRC pelo consumo de oxigênio é possível acessar o volume de O₂ bombeado por batimento (Pulso de O₂ - O₂P). Portanto, o O₂P, e esse por sua vez multiplicado pelo total de batimentos diários é capaz de produzir estimativas da produção de calor de maneira bastante acurada, tanto em humanos sob condições de exercícios e descanso (CEESAY et al., 1989; LIVINGSTONE, 1997), quanto em animais na pecuária (AHARONI et al., 2003, 2005, 2006; ARIELI et al., 2002; BROSH et al. 1998a, 1998b, 2002, 2004). A PC estimada pelo método do O₂P é altamente correlacionada com aquela obtida diretamente na câmara calorimétrica ($r = 0,943$) (CEESAY et al., 1989).

Para reduzir o estresse durante a coleta do consumo de oxigênio Taylor et al. (1982) sugeriram a utilização de uma máscara na face do animal. Usando esse método, Aharoni et al. (2003) e Brosh et al. (1998) sugeriram que para uma adequada estimativa do volume de O₂ consumido por dia, e conseqüentemente da PC, o batimento cardíaco deve ser monitorado por cerca de 4 dias consecutivos e o consumo de oxigênio por batimento cardíaco (O₂P) por um período de 15 a 20 minutos.

O que permite que essa metodologia seja utilizada em períodos curtos de avaliação é o fato que o O_2P de cada indivíduo é considerado constante, desde que o animal não esteja em condições de estresse (AHARONI et al., 2003). Se os animais estiverem estressados ao ponto de elevar a FRC em mais de 20% daquela expressa em condições normais (BROSH, 2007) o O_2P deixa de ter uma relação linear com a frequência cardíaca e passa a ter uma relação quadrática, o que produz estimativas superestimadas da produção de calor (Figura 2). É importante, então, que as pessoas que lidam com os animais tanto no momento da mensuração do oxigênio, quanto no manejo diário, estejam cientes desse problema e minimizem ao máximo o estresse dos animais. Ainda, as mensurações de oxigênio devem ser realizadas somente depois que a FRC normal do animal foi estabelecida, por isso é importante que a média diária da FRC individual de cada animal seja mensurada e conhecida antes da avaliação do consumo de oxigênio (AHARONI et al., 2003; BROSH, 2007).

Figura 2 - A e B) Pulso de oxigênio ($\mu\text{L}/\text{batimento}\cdot\text{kg}^{0.75}$) e frequência cardíaca (batimentos/minuto) de 6 novilhas confinadas em descanso alimentadas com dietas de baixo e alto energia metabolizável, respectivamente. C e D) Novilhas em exercício utilizando uma esteira alimentadas com dieta de baixa e alta energia metabolizável, respectivamente. Adaptado de Brosh et al. (1998)

Além da condição de estresse dos animais a acurácia desta metodologia pode ser afetada por algumas variáveis, tais como, a variação do O_2P ao longo do dia e sob diferentes condições ambientais, principalmente em termos de temperatura e número de calibrações por animal. Alguns autores avaliaram as variações de O_2P durante os períodos da manhã e a tarde e não observaram mudanças de O_2P nos animais avaliados (BROSH et al., 1998b; AHARONI et al., 2003). Aharoni et al. (2003) avaliando bezerros e cordeiros observaram que mudanças no horário de mensuração do VO_2 levaram a significativas flutuações de FRC, porém o O_2P permaneceu constante. Além disso, nos animais submetidos a estresse térmico a FRC foi afetada, e houve uma tendência de mudança no consumo de O_2 , mas O_2P não foi alterado. O erro estimado quando o O_2P é mensurado somente uma vez é de 10%, enquanto, mensuração de O_2P mais que uma vez no mesmo animal/dia pode diminuir o erro por um fator raiz quadrada de n , quando n representa o número de mensurações (AHARONI et al., 2003).

Vários trabalhos estudaram o uso do O_2P para mensurar produção de calor em ruminantes. Brosh et al. (1998b) avaliaram 6 novilhas Hereford em diferentes condições, a sombra ou expostas a radiação solar, alimentadas com dietas de alta e baixa energia, sendo que, as avaliações de consumo de oxigênio foram realizadas no período da manhã ou tarde. Eles observaram que a média diária da FRC (52 ± 4 bat./min) e a média do gasto energético diário (380 ± 9 KJ/kg^{0,75}) em animais alimentados com baixa densidade energética na dieta foi menor em relação aos animais alimentados com dieta de alta energia ($94,4 \pm$ bat/min vs 653 ± 9 KJ/kgPV^{0,75}). Além disso, eles observaram que o O_2P foi pouco afetado pelo nível de energia da dieta e não houve mudanças do O_2P entre as mensurações feitas de manhã ou à tarde. Eles recomendaram que sempre que o gasto energético é estimado pela FRC, o O_2P de cada animal deve ser mensurado sob condições similares, e ainda concluíram que para aumentar a acurácia desta análise, a relação entre FRC e PC deve ser estabelecida para cada animal individualmente.

Adicionalmente, Aharoni et al. (2003) realizaram três experimentos, um com bezerros machos com 2 meses de idade, outro com cordeiros com 5 meses e o terceiro com vacas de leite, para avaliar o O_2P nos diferentes momentos do dia e debaixo de diferentes cargas de calor. O estresse calórico afetou a FRC e tendeu a afetar o VO_2 , mas não alterou o O_2P nos bezerros e cordeiros. Por outro lado, a FRC e O_2P foram fortemente relacionados com estresse calórico nas vacas de leite.

Com o objetivo de demonstrar o potencial da produção de calor para caracterizar eficiência da energia bruta e líquida em animais Holandeses ou animais cruzados Holandês x Montbeliarde, Aharoni et al. (2006) observaram que os animais cruzados apresentaram menor FRC, contudo isso não refletiu em diferenças no O_2P e na produção de calor dos animais. Porém encontraram menor consumo de oxigênio por unidade de peso vivo metabólico nos animais cruzados em relação aos Holandeses puros.

Apesar de o gasto energético, também poder ser mensurado por outros métodos como o abate comparativo ou pela diferença entre consumo de energia metabolizável e energia retida (ER), a utilização é limitada devido à dificuldade de estimar a ER em animais em seus ambientes naturais por curto período de tempo. Com isso, a metodologia utilizando FRC pode ser aplicada em rebanhos comerciais em maior escala, ao contrário de quando se utiliza normalmente medições individuais de consumo para estimar o consumo de energia metabolizável (CEM) (AHARONI et al., 2006). Arieli et al. (2002) conduziram um experimento com cordeiros com o objetivo de validar o método de FRC para estimar a PC em relação àquela obtida pelo método de abate comparativo. A produção de calor obtida pelo O_2P foi 6,7% maior em relação ao abate comparativo. Contudo, quando se estima produção de calor por calorimetria e abate comparativo, os valores podem variar de 2 a 10% (CLOSE, 1990).

Dados na literatura relacionando produção de calor e índices de eficiência alimentar são escassos, principalmente quando a produção de calor é mensurada pela metodologia de O_2P . Somente duas dissertações (PADDOCK, 2010; HAFLA, 2012) foram encontradas para ilustrar esta relação. Hafla (2012) não estudou a relação do CAR com a produção de calor, mas observou como a classificação do CAR pode afetar algumas características de desempenho em 48 novilhas Bonsmara no meio da gestação, dentre elas a FRC. O autor observou que a FRC das fêmeas classificadas em baixo CAR foi 7% menor em relação às fêmeas classificadas em alto CAR (66,1 vs 71,1 bat./min).

Paddock (2010) estudou 16 novilhas Brangus selecionadas para alto e baixo CAR e observaram maior FRC nos animais de alto CAR (89,6 vs 97,7 bat./min) em detrimento dos animais de baixo CAR. Além disso, as novilhas com alto CAR consumiram mais oxigênio por batimento cardíaco (ml/bat.) e como resultado, o gasto energético foi 17,4% maior nos animais de alto CAR comparado aos animais

de baixo CAR. Esse resultado concorda com outros autores que encontraram em animais eficientes menor produção de calor em relação aos ineficientes estimada por outras metodologias (BASARAB et al., 2003; ALMEIDA, 2005; NKRUMAH et al., 2006; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012). A produção de calor foi 21% menor para animais baixo CAR, quando comparados a animais alto CAR e, 10% menor para animais médio CAR, quando comparados a animais alto CAR, mostrando que um dos fatores que pode explicar a melhor eficiência dos animais baixo CAR é o menor gasto energético com produção de calor (NKRUMAH et al., 2006). Menor produção de calor nos animais eficientes está relacionado com menor exigência de manutenção, e isso pode ser consequência de muitos mecanismos biológicos, como baixa produção de metano durante a digestão (NKRUMAH et al., 2006), baixa atividade física (LUITING et al., 1994; BAREA et al., 2010) e menor resposta ao estresse (KNOTT et al., 2008, 2010).

Com estas observações, podemos sugerir que a mensuração diária de FRC combinada com a calibração do O_2P individual é confiável e pode ser um método útil para determinar produção de calor em ruminantes. Dessa forma, os valores de frequência cardíaca corrigida para VO_2 poderiam ser utilizados na identificação de animais com menor produção de calor, ou seja, com menor exigência de manutenção, para dada produção, e conseqüentemente mais eficientes quanto à utilização do alimento (BROSH, 2007). Devido à importância do gasto energético e a da motivação da indústria para produzir animais mais eficientes, é importante identificar as relações entre índices de eficiência alimentar e produção de calor, bem como suas interações com outras características de produção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento fez parte do Projeto Componente “Estratégias genéticas para melhoria da eficiência de produção e da qualidade da carne bovina no Brasil” do Macro Programa 1 – Grandes Desafios Nacionais - coordenado pela Embrapa. Os objetivos gerais do Macro Programa são a avaliação da existência de variação genética aditiva e identificação dos genes relacionados às características de qualidade da carne e eficiência alimentar da raça Nelore. O Macro Programa foi concebido para compor uma rede multidisciplinar de pesquisa composta pela integração de conceituados centros como a Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Gado de Corte e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP.

Para que os objetivos propostos pudessem ser alcançados, o Projeto Componente foi dividido em planos de ação que contemplaram abordagens fenotípicas, de genética quantitativa e molecular. No primeiro plano foram selecionados touros da raça Nelore, que teriam sua progênie avaliada, e na formação, propriamente dita, da família de meio-irmãos. A segunda etapa consistiu na avaliação da progênie produzida, para a obtenção das características de desempenho, consumo e eficiência alimentar em confinamento, características de carcaça e qualidade da carne, informações essas que permitirão fazer a avaliação da variação genética aditiva para essas características.

As informações fenotípicas e genéticas serão utilizadas para a identificação de possíveis marcadores moleculares e genes candidatos para características estudadas. As avaliações fenotípicas de desempenho, consumo, eficiência alimentar em confinamento, características de carcaça e qualidade da carne foram realizadas em duas estações experimentais: Embrapa Pecuária Sudeste (CPPSE) e Embrapa Gado de Corte (CNPGC). As informações apresentadas nesta tese são referentes às avaliações realizadas na Embrapa Pecuária Sudeste, no ano de 2011.

3.1 Obtenção da família de meios-irmãos

O Macro Programa começou a ser executado no ano de 2006, com a escolha de 30 touros da raça Nelore para produzir, em três safras (três anos), 800 filhos machos para avaliação de desempenho em confinamento e características de carcaça e qualidade da carne. A seleção dos touros foi feita a partir de consultas ao Sumário Nacional de Touros da Raça Nelore (BRASIL, 2005), editado pela

Associação Brasileira dos Criadores de Zebu e Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, sob a coordenação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Os reprodutores foram escolhidos para representar os touros ativos na população, com sêmen disponível no mercado, cujas genealogias fossem representativas das principais linhagens que compõem a raça Nelore. O valor comercial da dose do sêmen também foi levado em consideração onde o limite máximo foi de R\$ 50,00, na tentativa de representar, dentro da raça, touros com maior chance de uso em escalas comerciais.

Outra estratégia utilizada na seleção dos touros foi a formação de grupos divergentes, considerando os coeficientes de parentesco entre os animais (a partir da análise de parentesco de cerca de 600 animais com sêmen disponível), de modo a maximizar as chances de encontrar diferenças relacionadas às características de eficiência e qualidade da carne. Para obtenção do número de progênie experimentais, foi considerado um número de cerca de 20 filhos por touro, coerente com a disponibilidade de infraestrutura para avaliações em confinamento e com a contribuição relativa de cada linhagem na composição da raça.

Os acasalamentos foram feitos ao acaso, em matrizes da raça Nelore da própria Embrapa (CNPGC e CPPSE) bem como de parceiros privados (Fazenda Novo Horizonte, Coxim, MS; Fazenda do Sagrado Coração de Jesus, Vila Bela da Santíssima Trindade, MT, e Fazenda Bodoquena, Miranda, MS), atentando-se para a necessidade de obtenção do número de produtos machos por touro, para a produção das famílias.

Os machos foram criados e recriados a pasto nas fazendas de origem, desmamados com média de 8 meses de idade, pesados na desmama, no sobre ano e na castração ($\pm$ 17 meses de idade) e transportados para as estações experimentais, CPPSE ou CNPGC com aproximadamente 18 meses de idade. Os animais produzidos nas unidades da Embrapa permaneceram nas próprias unidades e aqueles oriundos das fazendas parceiras foram divididos e alocados nas estações experimentais, em função da paternidade, para garantir sua representatividade nos diferentes locais de avaliação. Os animais da primeira safra foram confinados em 2009 (n=285, sendo 138 na CPPSE), os da segunda em 2010 (n=347, sendo 172 na CPPSE) e os da safra 3 (n=200, sendo 85 na CPPSE) foram confinados em 2011. A

identificação dos touros foi feita por códigos de modo a se preservar o sigilo dos dados.

3.2 Cronograma Experimental

Para a realização deste trabalho foram acompanhadas as avaliações fenotípicas referentes à safra 3 conduzida na Unidade da Embrapa Pecuária Sudeste, entre os meses de agosto e dezembro de 2011. O período experimental, compreendido entre o início das avaliações e o abate, foi determinado em função do grau de acabamento que os animais deveriam atingir, sendo determinado em 5mm de espessura de gordura subcutânea. Segundo o protocolo australiano (ARTHUR et al., 2001b) são necessários pelo menos 70 dias de avaliação de consumo e ganho de peso para determinar o consumo alimentar residual. Por esta razão foram destinados 84 dias do período experimental, à avaliação do CAR.

Os animais foram submetidos a um período mínimo de 28 dias de adaptação à dieta e posteriormente foram alocados às instalações em baias individuais, onde se iniciou imediatamente a mensuração do consumo individual. Durante a adaptação à dieta os animais permaneceram em piquete coletivo e receberam inicialmente dieta somente com volumoso, com aumento gradativo da proporção de concentrado de modo que ao final de 21 dias os animais estivessem consumindo a dieta experimental.

3.3 Animais, instalações, manejo alimentar e coletas

Foram confinados 84 animais, filhos de 14 touros. Após a adaptação à dieta, os animais foram destinados às instalações experimentais e distribuídos aleatoriamente em baias individuais cobertas (Figura 3), com sistemas de cancelas eletrônicas, em que as cancelas permaneceram abertas durante todo o experimento, e baias individuais descobertas (Figura 4). A idade inicial dos animais no período experimental foi em média 20 meses.

Figura 3 - Baías cobertas

Figura 4 - Baías descobertas

Os animais foram confinados com dieta de relação volumoso: concentrado 40:60 em base de matéria seca (Tabela 3), sendo alimentados duas vezes ao dia, cuja oferta individual foi ajustada diariamente em função das sobras, mantidas em 5% para garantir o consumo à vontade.

Tabela 3 - Proporção e custo dos ingredientes na dieta experimental

Ingredientes	Proporção (% na MS)	Custo (R\$/kg) ¹	
		Matéria Natural	Matéria Seca
Silagem de milho	44,03	0,066	0,200
Grão de milho moído	29,45	0,583	0,644
Casca de soja	9,25	0,600	0,694
Caroço de algodão	7,76	0,550	0,623
Farelo de soja 45%	8,18	0,630	0,700
Calcário calcítico	0,45	0,200	0,200
Ureia	0,23	1,200	1,200
Núcleo mineral ²	0,63	1,280	1,280
Monensina sódica ³	0,03	32,00	32,00
Total	100,0	-	0,488

¹Os preços dos insumos, em reais, foram atualizados considerando o valor para o estado de São Paulo, Scot Consultoria (2011). ² Composição por quilograma: Fósforo (85g), Cálcio (130g), Magnésio (5g), Enxofre (25g), Sódio (156g), Cloro (240g), Zinco (5000mg), Cobre (1500mg), Ferro (1700mg), Manganês (1250mg), Cobalto (120mg), Iodo (120mg), Selênio (15mg). ³ 28 mg/kg de matéria seca da dieta

As amostras da dieta total, dos ingredientes e das sobras de cada animal foram coletadas semanalmente e, posteriormente, suas frações (proporcionais à quantidade de sobras de cada semana amostrada) constituíram amostras compostas. As amostras semanais foram secas em estufa de ventilação forçada a $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 72 horas e processadas em moinho do tipo Willey com peneira de 1 mm.

As amostras compostas da dieta e sobras foram analisadas quanto aos teores de matéria seca a 105°C , matéria mineral e proteína bruta de acordo com a Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2006); fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) e lignina de acordo com metodologia sugerida por Van Soest et al. (1991); nitrogênio ligado à fração FDN e nitrogênio ligado à fração FDA segundo Licitra et al. (1996). O teor de extrato etéreo foi quantificado usando o procedimento da AOCS Am 5-04 (2005), com o extrator Ankom (Modelo XT20).

As análises bromatológicas foram baseadas nas frações exigidas para estimar os nutrientes digestíveis totais (NDT), pela equação proposta por Weiss et al. (1992). O NDT foi então convertido em energia digestível (ED), considerando-se que 1 kg de NDT corresponde a 4,409 Mcal de ED, e posteriormente em energia metabolizável (EM), onde EM corresponde a 0,82 da ED (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1984) (Tabela 4).

Tabela 4 - Composição bromatológica da dieta experimental e silagem de milho ofertada aos animais

Item	Dieta	Silagem de Milho
Matéria seca ¹	59,19	38,50
Matéria orgânica ²	95,81	94,75
Proteína bruta ³	15,73	8,43
Proteína insolúvel em detergente neutro ⁴	16,65	17,31
Proteína insolúvel em detergente ácido ⁴	7,95	15,77
Extrato etéreo ³	4,22	4,90
Fibra insolúvel em detergente neutro ³	43,39	47,54
FDNp ^{3,5}	40,78	46,07
Fibra insolúvel em detergente ácido ³	31,14	30,26
Lignina ³	3,76	4,60
Carboidratos não-fibrosos ³	35,09	35,35
Nutrientes digestíveis totais ^{3,6}	71,03	65,73 ⁸
Energia digestível ⁷	3,20	3,06
Energia metabolizável ⁷	2,63	2,51

¹% na matéria natural, ³% na MS; ⁴ % da PB; ⁵FDNp - FDN corrigida para proteína ; ⁶Estimado segundo equação proposta por Weiss et al. (1992); ⁷Mcal/kg de matéria seca da dieta. ⁸ Utilizou-se p fator de ajuste para processamento =0,95.

3.4 Características Avaliadas

3.4.1 Desempenho

O peso vivo dos animais foi obtido a cada duas semanas, com pesagens realizadas no período matutino, sem jejum hídrico e alimentar, antes do arraçãoamento a fim de minimizar as diferenças de enchimento entre os animais. As pesagens no início e final da avaliação do CAR, assim como a pesagem no pré-abate foram realizadas com jejum hídrico e alimentar de 16 horas. O peso vivo inicial (PVji, kg) e o final em jejum (PVjf, kg) no final da avaliação do CAR, foram utilizados para o cálculo do PVMM. Os valores individuais de PVMM foram obtidos utilizando a seguinte fórmula:

$$PVMM = \frac{PV_{jf} - PV_{ji}}{2}^{0,75} \quad (\text{eq.1})$$

O GPD, tanto do período de avaliação do CAR quanto no período até o abate, foi calculado para cada animal a partir do coeficiente de inclinação da reta resultante da regressão das medidas individuais de peso vivo sem jejum em função do tempo utilizando o procedimento REG do pacote estatístico do SAS (SAS INSTITUTE, 2009).

3.4.2 Consumo de matéria seca e energia metabolizável

O consumo diário individual de alimento em kg de matéria seca foi obtido pela diferença entre a quantidade de MS ofertada e a quantidade de MS da sobra. O teor de matéria seca da dieta e das sobras foi determinado semanalmente, sendo a correção para matéria seca a 105°C feita ao final do período experimental a partir das amostras compostas de sobras de cada animal e da dieta.

O teor estimado de energia metabolizável da matéria seca consumida, e consequente o consumo estimado de energia metabolizável durante o período de avaliação do consumo alimentar residual, foi obtido pela diferença entre o teor estimado de energia metabolizável da dieta ofertada e nas sobras de cada animal.

3.4.3 Energia líquida da dieta consumida

A exigências de energia para ganho (Eg) e de manutenção (Em) dos animais durante a avaliação do CAR (eq. 2 e 3), foram calculadas levando em consideração o GPD (kg/dia) e PVMM (kg^{0,75}). A partir desses valores, calculou-se a energia líquida da dieta consumida (Mcal/kg de MS) para ganho (ELg) e manutenção (ELm), segundo metodologia proposta por Zinn e Chen (1998), (eq. 4 e 5).

$$Eg = [0,0493 \times PVMM] \times GPD^{1,097}; \text{ (NRC, 1984)} \quad (\text{eq. 2})$$

$$Em = 0,077 \times PVMM; \text{ (LOFGREEN; GARRET, 1968)} \quad (\text{eq. 3})$$

$$ELm = (-b - ((b^2) - (4ac))^{0,5}) / (2c); \text{ (ZINN; SHEN, 1998)} \quad (\text{eq. 4})$$

$$a = -0,41 \times Em$$

$$b = 0,877 \times Em + 0,41 \times CMS + Eg$$

$$c = -0,877 \times CMS$$

$$ELg = 0,877 \times ELm - 0,41; \text{ (ZINN; SHEN, 1998)} \quad (\text{eq. 5})$$

Em que:

Eg = exigência de energia líquida para ganho (Mcal/dia)

Em = exigência de energia líquida para manutenção (Mcal/dia)

ELm = energia líquida de manutenção da dieta consumida (Mcal/kg de MS)

ELg = energia líquida de ganho da dieta consumida (Mcal/kg de MS)

O consumo diário de matéria seca necessário para a manutenção (CMSm, kg/dia) foi obtido pela razão entre a exigência diária para manutenção (Em) e o teor de energia líquida para manutenção da dieta (ELm), enquanto o consumo de matéria seca destinado ao ganho (CMSg, kg/dia) foi obtido pela diferença entre o consumo de matéria seca total e o consumo para manutenção.

3.4.4 Medidas de eficiência alimentar

Os parâmetros de eficiência alimentar avaliados foram: conversão alimentar, eficiência alimentar, eficiência parcial de crescimento, eficiência de manutenção, eficiência de ganho de peso (EGP), taxa relativa de crescimento, índice de kleiber, consumo alimentar residual, ganho residual e ganho e consumo residual.

A conversão alimentar foi calculada pela razão entre a média de consumo de matéria seca diário (CMS, kg) e o ganho de peso médio diário (GPD, kg) e a eficiência alimentar média foi obtida pelo inverso desta relação. A eficiência parcial de crescimento foi obtida pela razão entre o GPD e consumo médio para ganho (ARTHUR et al., 2001b). A eficiência de ganho de peso, que representa a capacidade do animal em utilizar a energia metabolizável consumida para ganhar peso, foi calculada dividindo-se o GPD (g/dia) pelo consumo de energia metabolizável (Mcal/dia). Para o cálculo da taxa de crescimento relativo (FITZHUGH; TAYLOR, 1971), a equação utilizada levou em consideração o PVI e PVF do animal e a duração do período de avaliação do CAR em cada experimento, como representado a seguir:

$$TCR = 100 * (\log PV \text{ final} - \log PV \text{ inicial}) / \text{dias em experimento} \quad (\text{eq. 6})$$

O índice de Kleiber foi calculado como GPD dividido pelo PVMM (ARTHUR et al., 2001a; KLEIBER, 1936).

O consumo alimentar residual foi obtido a partir do consumo predito de matéria seca, utilizando o procedimento MIXED do pacote estatístico do SAS (SAS INSTITUTE, 2009), onde foi obtida uma regressão conjunta do consumo diário de matéria seca em função do peso vivo médio metabólico e GPD dos animais. A partir da regressão obtida, foram estimados os valores preditos de consumo de matéria seca e calculado consumo alimentar residual para cada animal, como sendo o consumo observado menos o consumo predito, ou seja, o valor correspondente ao erro da estimativa de CMS, ε .

$$\text{CMS predito} = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{PVMM}) + \beta_2 \times (\text{GPD}) + \varepsilon \quad (\text{eq. 7})$$

O ganho residual foi obtido a partir do ganho de peso predito, utilizando o procedimento MIXED do pacote estatístico do SAS (SAS INSTITUTE, 2009), onde foi obtida uma regressão conjunta do ganho médio diário em função do peso vivo médio metabólico e do consumo de matéria seca.

$$\text{GMD predito} = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{PVMM}) + \beta_2 \times (\text{CMS}) + \varepsilon \quad (\text{eq.8})$$

O consumo e ganho residual de cada indivíduo foi obtido pela soma do consumo alimentar residual multiplicado por -1 e do ganho residual de cada animal, ambos previamente padronizados para variância 1.

$$\text{CGR} = -1 * \text{CAR} + \text{GR} \quad (\text{eq. 9})$$

A multiplicação do CAR por -1 e a soma com o GR favorece a identificação de indivíduos eficientes dentro de um grupo de animais com ganho superior. Para o cálculo desse índice não foram ponderados os efeitos citados anteriormente, já que esses foram considerados na estimativa do CAR e GR.

3.4.5 Composição corporal, energia retida e composição do ganho

Nas pesagens inicial, intermediária e final do período de avaliação do CAR, assim como na pesagem de pré-abate, foram coletadas imagens ultrassonográficas de EGS e AOL no dorso do animal, entre a 12^a e a 13^a costela, com o equipamento da marca Aquila Pie Medical (Pie Medical, Inc. Maastricht, The Netherlands) equipado com sonda específica. Utilizou-se óleo vegetal para facilitar o contato acústico com corpo do animal. As imagens foram armazenadas e posteriormente interpretadas com o software ODT Eview® (Pie Medical, Inc. Maastricht, The Netherlands).

O teor de energia inicial e final no corpo vazio dos animais, no período de avaliação do CAR e total, foram estimados a partir da equação desenvolvida por Berndt, Alencar e Lanna (dados não publicados) a partir de dados obtidos pela moagem completa de animais da raça Nelore (eq. 10). Apesar de existirem outras equações que estimam a composição corporal (CHIZZOTTI et al., 2008), estas estimam a energia do corpo vazio utilizando o peso do animal como uma das variáveis dependentes que mais afetam o teor de energia. Porém, como o CAR é independente desta variável, optou-se por utilizar a equação oriunda da regressão múltipla (Tabela 5) entre o teor de energia total do corpo vazio (ECVZ, Mcal) e as características de composição da carcaça absolutas e relativa ao peso do corpo vazio mensuradas pelo ultrassom (espessura de gordura subcutânea - EGS, mm e EGS/100PCVZ, mm/100kg carcaça; e área de olho de lombo - AOL, cm² e AOL/100PCVZ, cm²/100 kg carcaça).

$$ECVZ = 551,93 + 15,64 * AOL + 81,07 * EGS - 38,676 * (AOL/100PCVz) - 235,512(EGS/100PCVz) ; R^2 = 0,9472; P<0,0001 \quad (eq. 10)$$

Tabela 5 - R² parciais para cada variável utilizada do modelo

Variável ¹	R ² Parcial	P
AOL	0,0347	0,0219
EGS	0,6477	<0,001
AOL/100PCVz	0,0791	<0,001
EGS/100PCVz	0,1858	<0,001

¹AOL=Área de olho de lombo, cm²; EGS=espessura de gordura subcutânea, mm; 100PCVz= Peso do corpo vazio em relação a100 Kg carcaça (Berndt, Alencar e Lanna, dados não publicados).

O peso de corpo vazio (PCVZ) foi estimado segundo NRC (1984). A energia retida no corpo vazio foi então calculada pela diferença entre a energia final e a inicial do corpo vazio dos animais no período do CAR e no período total. A quantidade de energia retida total no período de avaliação do CAR foi obtida pela diferença entre energia retida inicial e final e a energia retida por kg de ganho de peso diário de corpo vazio foi calculado pela relação entre energia retida diária e média de ganho de peso corpo vazio diário. A proporção de proteína e gordura no ganho foi estimada assumindo composição constante da matéria desengordurada, 22% de proteína, 73% de água e 5% de minerais no corpo vazio (REID et al. 1968). Foram considerados valores energéticos de 9,4 e 5,6 quilocalorias por grama de extrato etéreo e proteína, respectivamente (GARRETT; HINMAN, 1969).

3.4.6 Estimativa de produção de calor pela metodologia do pulso de O₂

Foi utilizado o protocolo estabelecido por Brosh et al. (1998). A partir do terço médio do experimento 39 animais foram monitorados por pelo menos 4 dias quanto à frequência cardíaca, utilizando frequencímetros da marca POLAR® modelo RS400, cujos eletrodos foram ajustados ao tórax do animal por intermédio de uma cinta de elástico (Figura 5). Os dados foram gravados em intervalos de 1 minuto, e posteriormente transmitidos para o computador por sensor infravermelho.

Figura 5 - Eletrodo ajustado ao tórax do animal por intermédio de uma cinta de elástico

O oxigênio consumido por batimento cardíaco foi calculado a partir da mensuração simultânea da frequência cardíaca e do volume consumido de O_2 , em 18 animais, por um período de 10 a 15 minutos de acordo com Brosh et al. (1998) (Figura 6).

Figura 6 - Mensuração do consumo de oxigênio

As medidas de VO_2 foram realizadas em horários diferentes ao longo do dia. A fim de evitar medidas viesadas, uma vez que o O_2P só é constante em condições de não estresse, a calibração para o consumo de oxigênio por batimento só era iniciada quando o batimento cardíaco estivesse próximo à média obtida nos quatro dias de observação prévia nos animais nas baias. O VO_2 foi obtido com o equipamento EXHALYZER® (ECOMedics, Suíça), o qual é composto por uma

máscara em sistema respiratório aberto (Figura 6) (TAYLOR et al., 1982), acoplada a um analisador de gases, sendo a aferição feita com gás de concentração conhecida e o volume calibrado com seringa de volume conhecido. Antes das mensurações, o sistema foi calibrado para os níveis de oxigênio do ambiente de 20,9%. Um gás contendo 19,5% de oxigênio foi utilizado para verificar o sistema.

O consumo diário de O₂ foi obtido pela multiplicação do consumo de O₂ por batimento pela média de batimentos diários. A produção de calor diária foi obtida multiplicando o consumo total de O₂ pela constante 4,89 kcal/L de O₂ (NICOL e YOUNG, 1990), e foi expresso em função do peso metabólico (kcal/kg PV^{0.75}.dia). A produção de calor foi então estimada pela equação:

$$PC \frac{\text{kcal}}{\text{dia} \times \text{kg de PV}^{0,75}} =$$

$$(\text{BCD} \times \text{O}_2 \text{ BC} \times 4,89 \text{ kcal/L de O}_2) / (\text{kg de } [PV]^{0,75}) \quad (\text{eq.11})$$

Onde: BCD = média batimentos cardíacos em 24 horas; O₂ BC = consumo de O₂ por batimento cardíaco (L/batimento).

3.4.7 Avaliação sanguínea

Devido ao fato de estar relacionado com a capacidade de transporte de oxigênio pela corrente sanguínea, e possivelmente interferir nas medidas de consumo de O₂ e batimentos cardíacos, o hematócrito e a porcentagem de hemoglobina no sangue foram determinados. Para este fim, foram coletadas amostras de 5 ml de sangue no terço inicial do período experimental, mediante venipunção da jugular, com agulha 30 x15, esterilizada em tubos a vácuo, contendo anticoagulante etilenodiaminotetracético, sal dissódico (EDTA). Essas amostras foram mantidas refrigeradas até o momento da realização dos exames, sendo que o hematócrito foi realizado no mesmo dia da coleta, e a análise de hemoglobina foi concluída antes de decorridos 7 dias de conservação.

A determinação do hematócrito foi realizado por meio da técnica do microhematócrito utilizando tubos capilares Perfecta® e centrifugação a 3000 rpm durante 10 minutos. Após a centrifugação os capilares foram lidos contra uma régua

de microhematócrito, alinhando-se o menisco superior (plasma) com a linha superior da régua, deslizando até coincidir o limite inferior da régua, sendo o valor expresso em porcentagem, e a leitura feita com régua graduada específica para este fim, desta forma, a porção do hematócrito foi expressa em porcentagem do volume total. A determinação da hemoglobina foi realizada pela metodologia colorimétrica do cianeto de hemoglobina, utilizando-se os kits comerciais (Hemoglobina Labtest e Padrão de Hemoglobina Labtest) com leitura por espectrofotometria (Espectrofotômetro Shimadzu UV-1601PC) a 525 nm.

3.4.8 Manejo pré-abate e abate

Os animais foram abatidos ao atingirem o acabamento mínimo de 5 mm de EGS, determinado através de imagens de ultrassom. No dia anterior ao embarque, os animais foram submetidos a um jejum hídrico e alimentar 16 horas para a obtenção do peso vivo em jejum no pré-abate. Após a pesagem, os animais foram alimentados e em seguida transportados para o Frigorífico Friburdogue LTDA, localizado na cidade de Bariri, a 130 km da estação experimental de São Carlos. Foram realizados 2 abates, com 41 animais cada, em intervalo de 7 dias.

Após 12 horas de permanência nos boxes do frigorífico, os animais foram encaminhados para linha de abate. O sacrifício foi realizado por insensibilização através da concussão cerebral, em seguida os animais foram ensanguinhados, retirados cabeça, pés, couro e vísceras, das quais coração, rins, fígado, as gorduras perirrenal, inguinal e pélvica foram pesados. Após a evisceração as meias-carcaças foram levadas à câmara fria (5°C).

Após 24 h de resfriamento, as carcaças foram pesadas e mensuradas quanto ao comprimento, medido do bordo anterior do púbis ao bordo anterior da primeira costela, e a profundidade da carcaça na altura da quinta costela, do bordo superior ao bordo inferior. O rendimento de carcaça resfriada (RCF) foi calculado pela razão entre o peso da carcaça resfriada e o peso vivo do animal em jejum no pré-abate.

As meias-carcaças foram divididas em dianteiro e traseiro entre a quinta e a sexta costelas, cuja incisão foi feita a igual distância das referidas costelas, alcançando a região esternal (peito) e da coluna vertebral, à altura do quinto espaço intervertebral. Para a obtenção do traseiro especial, a ponta de agulha foi separada,

começando o corte pela virilha, dirigindo-se para o lombo e seguindo paralelamente a linha dorsal (BARROS; VIANNI, 1979). No traseiro especial da meia-carcaça esquerda foi feito um corte transversal, entre a 12^a e 13^a costelas, para expor o músculo *Longissimus* utilizado como padrão para a medida da espessura de gordura subcutânea, e da área de olho de lombo. Utilizou-se o desenho do perímetro do músculo, em papel vegetal, para a determinação da AOL, cuja área foi medida por contagem de pontos com o auxílio de uma grade quadriculada impressa em folha transparente, onde cada quadrado mede 0,25 cm². A EGS, obtida no terceiro quarto da altura desse músculo a partir da coluna vertebral, foi mensurada com o auxílio de uma régua.

3.4.9 Características de qualidade da carne

Para as avaliações das características de qualidade de carne foi retirada da carcaça esquerda de cada animal uma amostra correspondente às 10^a, 11^a e 12^a costelas, a qual foi desossada e retirada somente a porção referente ao músculo *Longissimus dorsi*. A amostra foi então dividida em três bifes de 2,5 cm de espessura, dois de cerca de um cm, sendo um para a determinação do índice de fragmentação miofibrilar, e o outro para determinação da umidade da amostra através de liofilização e posterior determinação do teor de extrato etéreo intramuscular. Também foi utilizada uma amostra de cerca de 10 g para determinação da capacidade de retenção de água.

Dois dos bifes de 2,5 cm foram embalados à vácuo e maturados em câmara fria à temperatura média de 2°C, por 7 dias e 14 dias. Após o período de maturação, os bifes foram congelados para posteriores análises das características de qualidade de carne.

O bife que não foi maturado teve as características de qualidade mensuradas no mesmo dia da retirada da amostra, ou seja, após as 24 horas de refrigeração das carcaças em câmara fria. Para a avaliação das amostras maturadas, as mesmas foram previamente descongeladas sob refrigeração (5°C) por cerca de 18 horas até atingirem a temperatura interna de cerca de 4°C.

Trinta minutos antes das determinações foi realizado um corte transversal ao músculo, para exposição da mioglobina ao oxigênio e consequente transformação

para oximioglobina. Na porção exposta foi medida a cor da carne utilizando-se um colorímetro portátil (HunterLab, modelo Miniscan XE plus), em três diferentes pontos da amostra (RAMOS; GOMIDE, 2007). A cor da gordura de cobertura foi medida em apenas um ponto e avaliada somente nas amostras não maturadas.

O colorímetro foi calibrado com a colocação na porta de reflectância dos dispositivos protetor de luz, azulejo preto calibrado e azulejo branco calibrado, respectivamente. Para o cálculo das coordenadas de cor foi estabelecidos o iluminante D65 (luz do dia, 6.500K), o ângulo de 10° para o observador e o sistema de cor CIELAB (L , a^* e b^*).

O pH foi medido na porção muscular com um peagâmetro digital (Texto, modelo R 230), sendo tomadas medidas em pelo menos três diferentes pontos da amostra. A capacidade de retenção de água, % em relação à umidade total, foi obtida por diferença entre os pesos de uma amostra de carne, de aproximadamente 2 g, antes e depois de ser submetida à pressão de 10 kg, durante 5 minutos, sendo levada em consideração a umidade da amostra.

Após a medida de cor e de pH, os bifes foram pesados e assados em forno industrial elétrico (Tedesco, modelo TC06/ELT) à temperatura de 170°C , até atingir 70°C em seu centro geométrico, o que foi monitorado com o auxílio de um termopar digital; após esfriarem os bifes foram novamente pesados. As perdas na cocção (exsudação + evaporação) foram obtidas pela diferença de peso dos bifes antes e após o cozimento.

Os bifes assados foram embalados e resfriados em refrigerador doméstico a 5°C . Após uma noite sobre refrigeração, foram retirados, de cada bife, pelo menos oito cilindros paralelos à direção das fibras musculares, com o auxílio de uma sonda metálica de 1,27 cm de diâmetro, para determinação da força de cisalhamento em texturômetro digital (Exponent modelo TAXT plus) com lâmina de 1 mm segundo a metodologia de Wheeler et al. (2005).

A determinação do índice de fragmentação miofibrilar (IFM) foi realizada conforme metodologia descrita por Hopkins et al. (2000).

O extrato etéreo (EE) intramuscular foi quantificado em amostras previamente liofilizadas usando o procedimento da AOCS Am 5-04 (2005), com o extrator Ankom (Modelo XT20).

3.4.10 Cálculo da lucratividade dos animais confinados

Foram contabilizadas despesas e receitas diárias durante o período de confinamento, do início do experimento ao abate, sendo a estrutura de custos baseada nas despesas fixas, que independem da quantidade produzida, e nas variáveis que se incorporam totalmente ao produto no curto prazo, não sendo aproveitados para outro ciclo produtivo.

O custo variável relativo à alimentação foi calculado em função do custo da dieta (Tabela 1) e do consumo de matéria seca (kg/dia), considerando 15% de perdas com sobras e distribuição da dieta.

Foram contabilizados os juros sobre o capital investido na compra dos animais e de alimentos, com a taxa de 0,8% ao mês, sendo os juros sobre o alimento calculado somente para a metade do período, visto que o desembolso ocorre de forma parcelada. Para o valor de compra dos animais, foi utilizado o valor médio de R\$ 98,4/@", cotação da arroba do boi magro no mês de agosto de 2011(SCOT CONSULTORIA, 2011).

O levantamento de custos para o ano de 2010, disponibilizado pelo confinamento comercial do grupo Marca, localizado no estado de Mato Grosso, foi tomado como referência para a estimativa dos custos fixos e variáveis que não estão relacionados ao desembolso direto com a compra do alimento ou dos animais. Desta maneira, foi considerado, como referência, um custo diário de R\$ 0,50/animal, correspondente a um período médio de 90 dias de confinamento e um consumo médio de 9,78 kg de MS/dia. Desse valor, 33% foram considerados custo fixo (R\$ 0,165/animal), 33% diluível em função do tempo de permanência no confinamento, e os outros 33% diluíveis em função do consumo de matéria seca. Os custos reais diluíveis foram então calculados relativos aos valores de referência. Assim como segue:

$$\text{Custo fixo (R\$/dia)} = \text{R\$ } 0,165$$

$$\text{Custo diluível (R\$/dia)} = (\text{R\$ } 0,165 \times \text{tempo de confinamento}) / 90$$

$$\text{Custo diluível relativo ao consumo (R\$/dia)} = (\text{R\$ } 0,165 \times \text{CMS}) / 9,78$$

O custo total então foi representado pela soma dos custos com alimentação, juros sobre o capital investido na compra de animais e alimentos, custos diluíveis em função do tempo de permanência e do consumo, e os custos fixos.

A receita bruta diária dos animais (R\$/dia) foi calculada em função do ganho de peso médio diário (GPD), rendimento total do ganho (RTG) e do preço da arroba do boi gordo em R\$, como segue:

$$\text{Receita Bruta Diária (R\$/dia)} = (\text{GPD} * \text{RTG} * \text{preço da arroba})/15 \quad (\text{eq. 12})$$

O rendimento total do ganho foi calculado em função do peso vivo em jejum inicial e no pré-abate, do rendimento inicial e final de carcaça. Como segue:

$$\text{RTG} = \frac{\text{RCf} - \frac{\text{PVji}}{\text{PVjf}} \times 100 \times \text{RCi}}{100 - 100 \times \frac{\text{PVji}}{\text{PVjf}}} \quad (\text{eq.13})$$

Em que:

RCF = rendimento de carcaça resfriada final em porcentagem;

PVji = peso vivo em jejum ao início do experimento em kg;

PVjf = peso vivo em jejum no final do experimento kg;

RCi = rendimento de carcaça fria inicial, assumiu-se igual a 51% para todos os animais.

O valor de venda do boi gordo adotado para a análise econômica foi o preço médio de R\$ 98,03 por arroba em julho de 2011 cotada pelo CEPEA-ESALQ. Matematicamente, adotando-se a estrutura do custo total, o lucro diário (R\$/dia) pôde ser calculado pela diferença entre a receita total diária e o custo total diário.

3.5 Análises estatísticas dos dados

Para o cálculo do ganho de peso diário foi utilizando o procedimento REG do programa estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2009), sendo obtidas regressões lineares individuais do peso vivo sem jejum em função do tempo, o ganho de peso foi correspondente à inclinação da reta (*slope*) de cada animal.

O consumo alimentar residual e ganho residual foram obtidos a partir do procedimento MIXED do SAS, utilizando o tipo de baia como efeito fixo, gerando a seguintes equações:

$$CMS = -0,863 + 0,092PMM + 1,22GMD + \varepsilon_1 \quad (\text{eq. 14})$$

$$GMD = -0,07579 + 0,07653PMM + 0,1192CMS + \varepsilon_2 \quad (\text{eq. 15})$$

Onde ε_1 representa o consumo alimentar residual (CAR) e ε_2 o ganho residual (GR).

Para a obtenção do consumo e ganho residual (CGR), foi utilizada a seguinte expressão: $CGR = -1 \cdot CAR + GR$. em que CAR e GR foram previamente padronizados para variância 1 utilizando o procedimento STARDARD do SAS (SAS INSTITUTE, 2009).

Para avaliar as diferenças entre os animais segundo o CAR e CGR é comum encontrar na literatura a comparação entre grupos de eficiência classificados para alto, médio e baixo, porém o critério utilizado para essa classificação, cujos limites são de $\pm 0,5$ desvios-padrão em relação à média do CAR e CGR, é arbitrário e não possibilita estudar o comportamento das variáveis em função da variação desses índices de eficiência. Por esta razão, a abordagem utilizada nesse trabalho foi baseada na análise da regressão linear entre as variáveis estudadas, consideradas dependentes ou variáveis resposta (Y), e o CAR e CGR, considerado variável independente (X).

Para a composição da análise utilizou-se o procedimento de modelos mistos, cuja metodologia tem como principal característica a estimação concomitante dos efeitos fixos, como grupo de contemporâneos, por exemplo, e aleatórios, como efeitos genéticos de touros. Esse modelo é chamado modelo touro, onde os dados das progênies são incluídos de forma agregada para os respectivos pais, e permite a

solução para touros baseada no valor BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) e avaliação da variância genética para as características incluídas no modelo.

O modelo utilizado, portanto, considerou o efeito de touro como aleatório, o CAR ou CGR e o tipo de baia como efeitos fixos e a idade inicial como covariável. Conforme o modelo estatístico a seguir:

$$y_{ijkt} = \mu + \beta_i + \gamma_j + \rho_k + \alpha_t + e_{ijtk}$$

Onde μ é o efeito fixo da média, β_i o efeito fixo do CAR ou do CGR, γ_j o efeito fixo de tipo de baia, ρ_k o efeito da idade inicial como covariável, α_t o efeito aleatório de touro e e_{ijtk} é o erro aleatório associado com y_{ijkt} .

Para as variáveis avaliadas após o abate, como características de carcaça e qualidade de carne, foi incluído ao modelo anterior o tempo de experimento como efeito aleatório.

$$y_{ijktu} = \mu + \beta_i + \gamma_j + \rho_k + \alpha_t + \sigma_u + e_{ijktu}$$

Onde μ é o efeito fixo da média, β_i o efeito fixo do CAR ou do CGR, γ_j o efeito fixo de tipo de baia, ρ_k o efeito da idade inicial como covariável, α_t o efeito aleatório de touro, σ_u o efeito aleatório de tempo de experimento e e_{ijktu} é o erro aleatório associado com y_{ijktu} .

A interpretação do coeficiente regressão com o CAR (β_1) e CGR (β_1) representa a variação esperada para a característica de interesse em resposta à variação de uma unidade no CAR (kg de MS/dia) e CGR. Apenas para ilustrar as diferenças entre as classes de animais eficientes, intermediários e ineficientes quanto ao CAR e CGR, os mesmos foram classificados adotando os limites clássicos da literatura de $\pm 0,5$ desvios-padrão em relação à média do CAR e CGR. As médias de CAR e CGR das referidas classes foram então utilizadas nas equações de regressão geradas para cada característica a fim de estimar o valor da variável quando o CAR ou o CGR assumir o valor correspondente à média da classe (eficiente, intermediária ou ineficiente), pela função ESTIMATE do PROC MIXED do SAS utilizando a idade inicial média dos animais.

Logo, se o coeficiente β_1 for significativo, a distância entre os extremos e as comparações dos valores acima de + 0,5 desvio padrão e abaixo de -0,5 desvio padrão em relação à média também difere entre si.

A análise de correlações entre as medidas de eficiência, desempenho, ganho de peso, consumo, composição corporal e lucro foram feitas mediante análise dos coeficientes de correlação parcial de Spearman, que mede a força de associação entre o ranking para duas variáveis, controlando o efeito de outras variáveis utilizando o procedimento CORR do SAS (SAS INSTITUTE, 2009). A correlação parcial entre duas variáveis, após o controle de variáveis declaradas como parciais, é equivalente à correlação de Spearman entre os resíduos das duas variáveis após a regressão sobre as variáveis de controle. Foram utilizados como efeitos parciais os efeitos de tipo de baia e idade inicial dos animais, os mesmos utilizados no modelo de regressão.

Para análise dos dados de batimentos cardíacos e produção de calor, calculou-se o CAR, GR e CGR apenas para os animais que tiveram o batimento cardíaco mensurado (N=39), e então foi realizado o estudo da regressão das variáveis de interesse em função desses CAR e CGR. Então foram utilizadas equações de CAR e GR específicas para os animais que tiveram a frequência cardíaca mensurada.

$$\text{CMS} = -2,3630 + 0,1080\text{PMM} + 1,3393\text{GMD} + \varepsilon_1 \quad (\text{eq. 16})$$

$$\text{GMD} = 0,8107 - 0,00162\text{PMM} + 0,1087\text{CMS} + \varepsilon_2 \quad (\text{eq. 17})$$

Onde ε_1 representa o consumo alimentar residual (CAR) e ε_2 o ganho residual (GR).

O ganho de peso, CAR e CGR foram calculados utilizando os mesmos modelos descritos no item anterior. As variáveis relacionadas aos batimentos cardíacos e produção de calor não apresentaram distribuição do tipo normal e por esta razão utilizou-se o procedimento de modelos mistos generalizados (PROC GLIMMIX do SAS) seguindo recomendações sugeridas por Gbur et al. (2012), de acordo com a característica dos dados, assumiu-se, a distribuição gamma para essas variáveis. Os efeitos de baia e de CAR ou CGR foram considerados como fixos, a idade inicial como covariável e o período do dia (manhã ou tarde) em que o consumo de oxigênio foi medido como efeito aleatório.

$$y_{ijkt} = \mu + \beta_i + \gamma_j + \rho_k + \eta_t + e_{ijtk}$$

Onde μ é o efeito fixo da média, β_i o efeito fixo do CAR ou do CGR, γ_j o efeito fixo de tipo de baía, ρ_k o efeito da idade inicial como covariável, η_t o efeito aleatório do período do dia em que a medida foi coletada e e_{ijkt} é o erro aleatório associado com y_{ijkt} . Assumindo distribuição tipo Gama.

Para o batimento cardíaco (batimentos/minuto), foram considerados somente os efeitos fixos citados anteriormente e a covariável. Devido ao pequeno número de graus de liberdade para essa análise, o modelo considerando o efeito de touro não convergiu, e, por esta razão, esta fonte de variação foi desconsiderada no modelo.

As interpretações foram feitas com um nível de significância de 5% para nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho, consumo e eficiência

Os animais ganharam e consumiram em média $1,62 \pm 0,254$ e $8,82 \pm 0,978$ em kg/dia ou $2,57 \pm 0,224$ em % PV, respectivamente (Tabela 6). Esses valores foram semelhantes aos valores médios obtidos na maioria dos trabalhos relatados com taurinos e zebuínos. Nkrumah et al. (2007) trabalhando com 464 animais *Bos taurus* cruzados obtiveram valores de 1,46 kg/dia para GPD e 10,45 kg/dia para CMS, e Lancaster et al. (2009a) observaram em bovinos Angus, valores de 1,40 kg/dia e 8,45 kg/dia, respectivamente, para essas duas características. Em trabalho com 59 animais Nelore, Zorzi et al. (2013), encontraram 7,13 kg/dia para CMS e 1,67 em % PV.

Tabela 6 - Média, desvio padrão, mínimo e máximo das principais características de desempenho em bovinos Nelore.

Característica	Média	DP	Mín.	Máx.
N=82				
Idade inicial, dias	610,6	28,35	561	658
Idade Final, dias	693,6	28,35	644	741
Peso vivo inicial, kg	298,7	29,25	233,1	369,9
Peso vivo final, kg	434,5	39,20	350,0	522,9
GPD, kg/dia	1,62	0,254	0,982	2,33
CMS, kg/dia	8,82	0,978	6,4	10,7
CMS, % PV	2,57	0,224	2,08	3,09
CNDT, kg/dia ¹	5,80	0,742	4,17	7,24
CA ²	5,55	0,763	4,13	7,60
EA ³	0,183	0,025	0,13	0,24
CAR ⁴	0,00	0,658	-1,31	1,82
GR ⁵	0,00	0,205	-0,465	0,451
CGR ⁶	0,00	1,662	-4,91	3,45

¹Consumo de NDT, estimado segundo equação de Weiss et al., (1992); ²Conversão alimentar - kg de matéria seca consumida/kg de ganho; ³ Eficiência alimentar- kg de ganho/kg de matéria seca consumida; ⁴Consumo alimentar residual; ⁵ Ganho Residual; ⁶Consumo e ganho residual

Fenotipicamente o CAR variou de -1,31 kg/dia a 1,82 kg/dia, uma amplitude de 3,13 kg/dia de consumo, enquanto o CGR variou fenotipicamente de -4,91 a 3,45, uma diferença de 8,37 unidades, indicando que a variabilidade fenotípica para estas características estão presentes (Tabela 6). Esses valores são muito próximos

daqueles demonstrados em trabalhos publicados com Nelore estratificados quanto ao CAR (ALMEIDA, 2005; FARJALLA, 2009; NASCIMENTO, 2011; GOMES et al., 2012; SOUZA, 2012; COSTA; SILVA et al., 2013). Gomes et al.(2012) encontraram valores mínimo e máximo para CAR em Nelores de -2,72 kg/dia e 1,54 kg/dia, uma variação de 4,26 kg/dia de consumo entre os animais, enquanto Costa e Silva et al. (2013) encontraram diferença de 2,0 kg/dia.

De acordo com esta classificação utilizada, 26% apresentaram CAR menor que -0,5 desvio-padrão (CAR = -0,8295; N=21) e 33% dos animais apresentaram CAR acima de +0,5 kg desvio-padrão (CAR = 0,6939; N=27), enquanto os demais apresentaram CAR entre -0,5 e 0,5 desvio-padrão (CAR = -0,0398; N=33).

A relação entre o consumo de matéria seca predito e o consumo observado apresentou um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,5474$ (Figura 7). Esse valor indica que as variâncias de outros fatores não incluídos no modelo, tais como diferenças no *turnover* proteico, composição do ganho, digestibilidade, entre outros, explicariam os outros 45,2% da variação.

Figura 7 - Relação entre consumo predito e observado de matéria seca de novilhos Nelore (N=82).

Do total de animais avaliados quanto ao CGR, 32% apresentaram CGR menor que -0,5 desvio-padrão em relação à média e foram considerados ineficientes (CGR= -1,7771; N = 26), e 28% dos animais apresentaram CGR acima de +0,5 desvio-padrão e foram considerados eficientes (CGR = 2,1143; N = 23), enquanto os demais apresentaram média de CGR entre -0,5 e 0,5 desvio-padrão (CGR = -0,0757; N = 32) e foram considerados intermediários.

Conforme esperado, tanto o consumo alimentar residual quanto o consumo e ganho residual não apresentaram relação significativa ($P>0,05$) com o PVMM (Figura 8). O fato de o CAR ser ajustado para peso vivo metabólico e ganho de peso, e ainda do CGR ser calculado levando o CAR em consideração, torna esses dois índices fenotipicamente independentes 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. O que representa uma vantagem da utilização desses índices em relação a outros índices de eficiência, como por exemplo, a conversão alimentar, que é correlacionada ao peso adulto dos animais (HERD; BISHOP, 2000).

Figura 8 - a)Relação entre consumo alimentar e peso vivo médio metabólico de novilhos Nelore, b) Relação entre consumo e ganho residual e peso vivo médio metabólico de novilhos Nelore (N=82).

Tanto o CAR como CGR foram relacionados com CMS e consumo de NDT (Tabela 7). Os animais mais eficientes de acordo com o CAR consumiram 16,1% menos alimentos em kg/dia, enquanto para o CGR os animais eficientes consumiram 11,7% menos alimentos em relação aos ineficientes.

Tabela 7 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para as características de desempenho e consumo de novilhos Nelore para animais classificados em CAR (Consumo alimentar residual) e CGR (Consumo e ganho residual).

Característica	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N = 82										
CAR, kg/dia	-0,830	0,694	..	..	..	..	..	..	..	..
CGR	..	..	..	..	..	1,777	2,114	..	..	..
IDI, dias ¹	605	605	3,19	..	..	611	611	3,19	..	..
IDF, dias ²	694	694	3,19	..	..	694	694	3,19	..	..
PVI, kg ³	279	280	4,0	0,780	0,87	275	283	3,97	-2,074	0,27
PVF, kg ⁴	410	410	6,0	0,354	0,96	416	404	5,8	3,193	0,23
Altura, m	1,42	1,43	0,009	0,002	0,82	1,43	1,42	0,009	0,002	0,50
GPD, kg/dia	1,64	1,63	0,052	-0,058	0,89	1,75	1,49	0,042	0,065	<0,001
CMS, kg/dia	8,00	9,53	0,129	1,004	<0,0001	8,28	9,25	0,162	-0,249	<0,001
CMS, % PV	2,33	2,77	0,017	0,294	<0,0001	2,39	2,71	0,032	-0,080	<0,0001
CNDT, kg/dia ⁵	5,14	6,35	0,091	0,789	<0,0001	5,38	6,12	0,119	-0,189	<0,001
EM, Mcal/kg MS ⁶	2,33	2,41	0,091	0,053	<0,0001	2,35	2,39	0,011	-0,010	0,02
ELmd, Mcal/kg MS ⁷	2,01	1,74	0,024	-0,177	<0,0001	2,05	1,70	0,011	0,091	<0,0001
ELgd, Mcal/kg MS ⁸	1,36	1,12	0,021	-0,155	<0,0001	1,39	1,08	0,010	0,079	<0,0001
CMSm, kg/dia ⁹	3,04	3,55	0,035	0,331	<0,0001	2,99	3,62	0,017	-0,160	<0,0001
CMSg, kg/dia ¹⁰	4,95	5,99	0,138	0,681	<0,0001	5,28	5,64	0,152	-0,092	0,13

¹Idade inicial; ²Idade final; ³Peso vivo inicial; ⁴Peso vivo final; ⁵Consumo de NDT, estimado segundo equação de Weiss et al., (1992); ⁶Energia metabolizável estimada por kg de MS ingerida; ⁷Energia líquida de manutenção da dieta estimada segundo Zinn e Shen, 1998; ⁸Energia líquida de ganho da dieta, estimada segundo Zinn e Shen, 1998; ⁹Exigência de ELM/ELM da dieta. ¹⁰Diferença entre CMS total e CMS para manutenção

Vários estudos confirmam que o CAR (CASTRO BULLE et al., 2007; FARJALLA, 2009; AHOLA et al., 2011; NASCIMENTO, 2011; SANTANA et al., 2012; LUCILA SOBRINHO et al., 2011; GOMES et al., 2012; WELCH et al., 2012; ZORZI et al., 2013) e CGR (BERRY; CROWLEY, 2012; RETALLICK, 2013) são positivamente correlacionado com CMS. Castro Bulle et al. (2007), trabalhando com animais predominantemente Angus x Hereford, encontraram diferenças entre animais de alto CAR e baixo CAR de 15,3% no consumo de matéria seca (7,52 vs. 6,37 kg/d de MS) durante 120 dias de experimento. Quando avaliaram novilhos de CAR eficiente e ineficiente, Nascimento (2011) observaram que o consumo dos animais mais eficientes em kg/d foi no mínimo 11,2% menor em relação aos 23% 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. Berry e 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).

A redução de 1 kg de MS/dia no CAR contribuiu para redução do CMS em 1,0 kg/dia e 0,294 unidades percentuais em relação ao peso vivo final. Enquanto o aumento de 1 unidade no CGR promoveu uma redução do CMS em 0,249 kg/dia e 0,080 unidades percentuais em relação ao peso vivo. O mesmo comportamento foi observado para o consumo NDT, cujas relações com CAR e CGR foram 0,789 e - 0,189 kg/dia, respectivamente. Em um experimento de seleção genética, Arthur et al. (2001b) observaram um decréscimo anual de 0,240 kg/dia de consumo alimentar pelos animais de um rebanho selecionado para baixo CAR (alta eficiência) em relação aos animais do rebanho selecionado para alto CAR (baixa eficiência). Quando avaliou novilhos Nelores de CAR eficiente e ineficiente, Nascimento (2011) observou redução de 0,98 kg/dia no consumo de matéria seca. Berry e Crowley (2012) observaram que embora os animais eficientes segundo CGR apresentem maior consumo por dia em relação aos animais mais eficientes classificados no CAR, a quantidade total de alimento consumida durante o período total avaliado foi menor nos animais superiores para CGR em comparação com os superiores para CAR e GR, devido ao objetivo duplo do CGR para identificar os animais de crescimento mais rápido que consomem, em média, menos por dia.

Como esperado o peso vivo final e ganho de peso vivo ($P>0,05$) não foram relacionados ao CAR, corroborando com resultados de vários estudos (KOCH et al.,

1963; ARTHUR et al., 2001a, 2001b; BASARAB et al., 2003; AHOLA et al., 2011; LUCILA SOBRINHO et al., 2011; SANTANA et al., 2012; GOMES et al., 2012; WELCH et al., 2012; ZORZI et al., 2013), mais uma vez evidenciando que o CAR é fenotipicamente independente da taxa de crescimento e peso corporal.

Contudo, pelo fato do CGR também ser obtido em função do ganho residual, o coeficiente de inclinação da reta entre esse índice e o GPD foi positivamente significativo (Figura 9), em que o aumento de cada unidade no CGR foi capaz de promover uma melhora no ganho de peso de 65 g/animal/dia, ou ainda, os animais mais eficientes expressaram um ganho em média 14,8% maior em relação aos ineficientes (Tabela 7). Berry e Crowley (2012) encontraram um ganho de peso 17,7% maior nos animais eficientes divididos para CGR. Retallick (2013) também observaram maiores ganhos de peso em animais eficientes selecionados para CGR.

Figura 9 - Relação entre CAR e ganho de peso diário de novilhos Nelore, sendo que a classificação de eficientes, intermediários e ineficientes são representados pelos animais divididos em CGR (N=82).

Menor consumo em animais mais eficientes classificados de acordo com CAR pode causar positivo impacto na rentabilidade, e a independência do tamanho corporal desse índice assegura que a seleção para CAR não irá afetar a maturidade do rebanho ou negativamente aumentar as exigências de manutenção (GOMES et al., 2012). Todavia, indivíduos com menor consumo de matéria seca provavelmente apresentam menor ganho de peso, já que o consumo é resposta da demanda de

energia para manutenção e crescimento (NASCIMENTO, 2011). Assim, por mais que todos os animais de CAR negativo sejam eficientes, esses indivíduos com menor consumo e ganho podem ser menos lucrativos, pois o ganho de peso é determinante do grau de acabamento e tempo de confinamento. Para eliminar esse problema, seria necessário que o CAR fosse capaz de identificar indivíduos eficientes de maior desempenho, porém isso não ocorre justamente por ser um índice ajustado para ganho, tornando-o fenotipicamente independente do nível de produção. O CGR ao contrário do CAR é capaz de identificar os animais com maior ganho de peso, menor consumo, CAR negativo e sem relação com o peso vivo metabólico (Figura 9). Desta forma, esse pode ser um benefício claro da combinação entre CAR e GR, sugerindo que por meio do CGR é possível identificar animais de crescimento rápido no confinamento (BERRY; CROWLEY, 2012). E ainda, a identificação de animais eficientes por meio do CGR é uma maneira de preencher a lacuna do CAR, que é por definição, fenotipicamente não correlacionado com ganho de peso, e, entretanto, pode resultar em pobre aceitação da indústria devido ao baixo ganho de peso que alguns animais de baixo CAR podem apresentar (BERRY; CROWLEY, 2012).

Foi observada relação entre teor de energia metabolizável da dieta consumida nos dois índices de eficiência avaliados (Tabela 7). Os resultados de energia da dieta indicam que independente do índice de eficiência alimentar avaliado, os animais mais eficientes consumiram menor teor de energia metabolizável, mas apesar disso, mantiveram seu desempenho satisfatório. Tanto CAR quanto CGR foram relacionados ao teor de energia líquida de manutenção e ganho da dieta (Tabela 7). Os animais mais eficientes quanto ao CAR apresentaram menores CMS tanto para ganho quanto para manutenção ($P < 0,0001$), sendo que da diferença total de 1,53 kg de MS/dia entre os animais eficientes e ineficientes, 33% representam a diferença de CMS para a manutenção, os demais 67% estão relacionados às diferenças quanto ao CMS para ganho. Isso demonstra, que diferença de CMS estaria mais relacionada a uma possível mudança na composição do ganho, ou fatores metabólicos que determinam à ineficiência quanto ao uso da energia para ganho de peso em detrimento à simples diminuição da exigência de manutenção.

O CMS para a manutenção dos animais eficientes quanto ao CGR foi 17,4% menor ($P < 0,0001$), demonstrando que a diferença observada no CMS pode ser

parcialmente explicada por uma maior diluição da manutenção. Além disso, apesar de os animais eficientes quanto ao CGR terem apresentado o mesmo CMS para o ganho que os ineficientes ($P>0,05$), o ganho de peso foi 14,8% maior, evidenciando, portanto, também uma maior eficiência de ganho de peso (Tabela 8).

O CAR foi significativamente relacionado com CA, EA, EFM, EPC e EGP ($P<0,0001$), entretanto não diferiu em relação ao IK e TRC (Tabela 8). Os animais ineficientes tiveram CA 16,4% maior em relação aos animais eficientes e apresentaram uma melhoria de 16,3% na EA, sendo que a redução de 1 kg MS/dia do CAR aumentou 0,022 kg de ganho/kg de alimento na EA e diminuiu em 0,640 kg de alimento/kg de ganho na CA (Tabela 8). A diferença na eficiência alimentar nesse estudo está próximo da observada por Lucila Sobrinho et al. (2011), que encontraram valores 13% para novilhos divergentes em consumo alimentar residual. Nascimento (2011) quando avaliaram novilhos Nelore observaram uma melhoria de pelo menos 12,2% na eficiência alimentar dos animais.

A EPC e EGP nos animais mais eficientes foi em média 18,5% em relação aos ineficientes (Tabela 8). Nkruamah et al. (2007) encontraram alta correlação entre CAR, CA e EPC em animais cruzados. A alta correlação fenotípica e genética entre CAR e EPC era de se esperar já que esses dois índices utilizam componentes do consumo alimentar para manutenção e crescimento (NKRUAMAH et al., 2007). Lucila Sobrinho et al. (2011) encontraram alta correlação desta característica com peso vivo inicial (-0,44) e final (-0,39), entretanto de acordo com esses autores a resposta à seleção para eficiência parcial de crescimento pode não ser independente do tamanho e peso corporal com encontrado na seleção para consumo alimentar residual.

Relação entre CAR, IK e TRC também não foram observadas em outros trabalhos (NASCIMENTO, 2011; LUCILA SOBRINHO et al., 2011; SOUZA, 2012). IK e TRC podem não identificar óbvias diferenças na eficiência energética entre os animais, e a seleção baseada nesses índices pode resultar em aumentos na exigência de manutenção dos animais, que irão consequentemente consumir mais alimentos, especialmente quando o tamanho adulto é atingido (ARCHER et al. 1999; NKRUAMAH et al., 2004).

Tabela 8 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para os índices de eficiência de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Caract.	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
CA ¹	4,95	5,92	0,131	0,640	<0,0001	4,69	6,26	0,059	-0,402	<0,0001
EA ²	0,203	0,170	0,0041	-0,022	<0,0001	0,211	0,160	0,0018	0,013	<0,0001
EFM ³	0,541	0,467	0,0202	-0,048	<0,01	0,582	0,416	0,0124	0,043	<0,0001
EPC ⁴	0,330	0,270	0,0350	-0,039	<0,0001	0,334	0,264	0,0016	0,018	<0,0001
EGP ⁵	87,5	71,1	1,655	-10,70	<0,0001	90,0	67,5	0,651	5,782	<0,0001
IK ⁶	0,0194	0,0201	0,0006	0,000	0,44	0,0210	0,0186	0,00051	0,001	0,01
TRC ⁷	0,202	0,200	0,0049	-0,002	0,72	0,214	0,186	0,0042	0,007	<0,0001

¹ Conversão alimentar - kg de matéria seca consumida/kg de ganho. ² Eficiência alimentar- kg de ganho/kg de matéria seca consumida. ³ Eficiência de manutenção - kg de ganho/ kg de MS consumida para a manutenção ⁴ Eficiência parcial de crescimento - kg de ganho/kg de MS consumida acima da manutenção. ⁵ Eficiência de ganho de peso - g de ganho/ Mcal de energia metabolizável consumida. ⁶ Índice de Kleiber - kg de ganho/ kg de peso vivo metabólico. ⁷ Taxa relativa de crescimento %/dia

Adicionalmente os animais classificados em CGR tiveram melhorias significativas em todos os índices de eficiência alimentar estudados, inclusive IK e TRC (Tabela 8). Os animais eficientes apresentaram CA 25% menor, e uma melhoria na EA de 24,2 % em relação aos animais ineficientes, enquanto EFM, EPC e EGP nos animais mais eficientes foram em média 28,5%, 21% e 25% maiores em relação aos ineficientes, respectivamente. Berry e Crowley (2012) encontraram uma melhoria média de 20,8% nos índices de eficiência alimentar analisados (CA, TRC e IK) nos animais eficientes. O IK e TRC levam em consideração o peso, ganho de peso e dias de experimento, com isso era de se esperar valores significativos para estas características nos animais avaliados quanto ao CGR, visto que o GPD foi diferente entre as classes de CGR.

Em síntese pode-se ressaltar que os animais mais eficientes tanto quanto ao CAR quanto CGR, têm menor consumo de matéria seca, demandam menor quantidade de alimento por kg de ganho e, portanto, melhoram a CA e a EA. Com isso, a melhoria na eficiência alimentar do rebanho pode ter uma grande influência na rentabilidade do sistema de produção de bovinos de corte, uma vez que os custos com alimento são um dos mais representativos na rentabilidade da cadeia comercial da carne bovina.

4.2 Partição de energia, composição do ganho de peso e energia retida

Não houve relação entre CAR e as medidas iniciais e finais de área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea, bem como a deposição em AOL, obtidas pelo ultrassom ($P > 0,05$). Entretanto, os animais de CAR mais alto apresentarem maior deposição de EGS ($P = 0,08$) sob o *Longissimus dorsi*, sugerindo uma mudança na composição do ganho entre os animais eficientes e ineficientes (Tabela 9). O maior ganho em EGS nos animais ineficientes é consistente com os resultados observados em experimentos com *B. taurus* (HERD; BISHOP, 2000; ARTHUR et al., 2001; CARTENS et al., 2002; LANCASTER et al., 2009a) e também em Nelore (NASCIMENTO, 2011; GOMES et al., 2012; SANTANA et al., 2012; SOUSA, 2012) cujos autores observaram menor EGS em animais de baixo CAR.

Tabela 9 – Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) da área do *Longissimus* e espessura de gordura inicial, final e deposição em novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Caract.	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
<i>Área do Longissimus dorsi¹, cm²</i>										
Inicial	43,0	43,2	1,01	0,128	0,91	41,9	44,2	1,02	-0,581	0,19
Final	53,9	52,5	0,88	-0,937	0,38	53,8	52,6	0,88	0,299	0,47
Deposição	10,8	9,00	0,657	-1,151	0,16	11,7	8,37	0,748	0,861	0,01
<i>Espessura de gordura subcutânea¹, mm</i>										
Inicial	2,53	2,61	0,103	0,052	0,68	2,42	2,70	0,110	-0,071	0,17
Final	4,53	5,15	0,198	0,407	0,09	4,69	5,01	0,201	-0,080	0,40
Deposição	1,97	2,61	0,208	0,418	0,08	2,23	2,36	0,206	-0,034	0,71

¹ Obtidas por ultrassom entre a 12^a e 13^a costela

No entanto, em outros estudos com novilhos da raça Nelore (BONILHA et al., 2009; ZORZI et al., 2013) essas diferenças não foram observadas. Possivelmente porque os animais não eram castrados e apresentaram uma idade média de 570 dias, inferior à observada no presente estudo, ou seja, a avaliação da composição corporal dos animais possivelmente foi avaliada em um período que a deposição de EGS ainda é reduzida.

O CGR não foi relacionado à EGS, contudo maior deposição muscular foi encontrada nos animais eficientes (Tabela 9). Berry e Crowley (2012) apesar de não terem avaliado a composição corporal no trabalho, afirmaram que novilhos eficientes classificados quanto ao CGR podem apresentar maior AOL, e, além disso, a seleção para CGR pode não influenciar os níveis de gordura subcutânea na carcaça. Desse modo, a seleção para CGR pode representar maior rendimento de carcaça na indústria.

Os animais eficientes, tanto para CAR quanto para CGR apresentaram menor consumo de energia metabolizável ($P < 0,0001$). Contudo, essas diferenças foram independentes da porcentagem do ganho de proteína e gordura nos animais classificados quanto ao CAR, resultando em ausência de efeitos na energia retida para esses animais. Apesar disso, os animais mais eficientes quanto ao CGR retiveram 13,5% mais energia em Mcal/dia, sendo que essa energia foi mais utilizada para ganho em tecidos que para PC (Tabela 10). A variação na composição corporal dos animais é um dos fatores que vem sendo apontado como limitante na seleção para eficiência baseada no CAR (HERD; PITCHFORD, 2011), sendo que essa pode explicar até 5% da variação no consumo alimentar residual (RICHARDSON; HERD, 2004). Em uma compilação de dados com 570 animais Nelores foram observadas um maior efeito que esse sugerido acima, ou seja, em animais de alto e baixo CAR com diferença de consumo de 1,45 kg/dia, os autores observaram que a composição do ganho pode explicar até 22,2% da variação no CAR (NASCIMENTO et al., 2013).

Tabela 10 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para composição do ganho em novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Característica	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
CEM, Mcal/dia	18,6	22,9	0,330	2,852	<0,0001	19,4	22,1	0,431	-0,683	<0,001
E. Inicial, Mcal ^{2,3}	518	522	13,03	2,347	0,88	509	531	12,93	-5,784	0,35
E. Final, Mcal ^{2,3}	899	902	16,37	2,133	0,92	915	887	16,27	7,167	0,35
E.R, Mcal ³	380	382	10,83	1,435	0,89	404	357	9,42	12,04	0,03
ER, Mcal/dia ³	4,52	4,55	0,129	0,017	0,89	4,81	4,25	0,112	0,144	<0,001
ER, Mcal/kg ganho ³	3,24	3,26	0,056	0,009	0,87	3,21	3,29	0,055	-0,020	0,32
% gordura ganho ^{3,4}	24,6	24,8	0,687	0,112	0,86	24,3	24,2	0,671	-0,250	0,32
% proteína ganho ^{3,4}	16,6	16,6	0,154	-0,011	0,94	16,6	16,5	0,150	0,049	0,37
PC, Mcal/dia	14,1	18,4	0,263	2,865	<0,0001	14,6	17,9	0,367	-0,838	<0,0001
PC, Mcal/kg ganho ³	10,2	13,3	0,296	2,033	<0,0001	9,78	13,9	0,133	-1,066	<0,0001
PC, % ⁵	75,8	80,3	0,483	2,943	<0,0001	75,3	80,8	0,403	-1,421	<0,0001
PC (NRC), Mcal/dia	10,6	15,4	0,159	3,185	<0,0001	10,8	15,1	0,233	-1,106	<0,0001

¹ CEM – consumo de energia metabolizável; ER – energia retida; PC - produção de calor. ² E. Inicial - energia retida no início de avaliação do CAR; E. Final - energia retida no final de avaliação do CAR - Estimado segundo equação de Berndt, Alencar e Lanna (dados não publicados) cuja equação leva em consideração a espessura de gordura, área de olho de lombo e peso do corpo vazio; ³ Relativo ao peso de corpo vazio, estimado segundo NRC (1984). ⁴ Estimado assumindo composição constante da matéria desengordurada (REID et al., 1968) ⁵ Proporcional ao consumo de energia metabolizável por dia. ⁶ PC (NRC) – Produção de calor estimado pelo NRC (1984)

Em animais zebuínos Gomes et al. (2013), também não encontraram efeitos do CAR na % de gordura e proteína no ganho, estimada usando a metodologia de óxido de deutério (D_2O). Castro Bulle et al. (2007) observaram que taxas de proteína no ganho foram similares entre os animais de alto e baixo CAR, contudo os animais de baixo CAR ganharam ($P=0,08$) menos gordura que os animais de alto CAR.

A produção de calor nos animais de acordo com CAR e CGR foi maior nos animais ineficientes em detrimento dos eficientes (Tabela 10). Esses resultados concordam com de outros autores que encontram em animais eficientes menor produção de calor em relação aos ineficientes (BASARAB et al., 2003; ALMEIDA, 2005; NKRUMAH et al., 2006; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012). Nkrumah et al. (2006) encontraram que a produção de calor foi 21% menor para animais baixo CAR, quando comparados a animais alto CAR e, 10% menor para animais de médio CAR, quando comparados a animais alto CAR, mostrando que um dos fatores que pode explicar a melhor eficiência dos animais baixo CAR é o menor gasto energético com produção de calor. No balanço energético a produção de calor representa um substancial componente do gasto energético em ruminantes, sendo que a fração da energia de manutenção total perdida como calor geralmente representa em torno de 70% em bovinos em crescimento. Com isso, menor produção de calor nos animais eficientes está relacionada diretamente com menor exigência de manutenção, e isso pode ser consequência de muitos mecanismos biológicos, como baixa produção de metano durante a digestão (NKRUMAH et al., 2006), baixa atividade física (LUITING et al., 1994; BAREA et al., 2010) e menor resposta ao estresse (KNOTT et al., 2008, 2010).

4.3 Estimativas de produção de calor pela metodologia do pulso de O_2

Dos 39 animais utilizados, 35,9% foram considerados ineficientes (CAR= 0,656; N=14) e 33,3% eficientes quanto ao CAR (CAR= -0,755; N=13), enquanto de acordo com CGR, 33,3% foram considerados ineficientes (CAR= -1,810; N=13) e 30,8% eficientes (CGR=2,012; N=12).

A FRC durante a mensuração de oxigênio foi similar em relação à média da estimativa diária durante os 4 dias de mensuração sugerindo que os animais não

estavam em condição de estresse durante a mensuração de oxigênio (Tabela 11). O pulso de oxigênio pode ser considerado constante se o animal estiver na faixa de batimento cardíaco até 20% maior daquele expresso em condições normais (BROSH, 2007).

Tabela 11 - Número de animais, média, desvio padrão, mínimo e máximo das características de frequência cardíaca, consumo de oxigênio e produção de calor em bovinos Nelore.

Característica	N	Média	DP	Mín.	Máx.
<i>Período de calibração de O₂¹</i>					
Frequência Cardíaca, bpm	20	87,5	11,93	65,9	118,3
Consumo de O ₂ , ml/bat.	18	21,5	5,84	11,8	31,5
VO ₂ , ml/min/kgPV ^{0,75}	31	21,74	4,90	13,5	32,7
O ₂ pulse, µl O ₂ /bat./kgPV ^{0,75}	18	227,6	52,49	140,2	329,5
<i>Período de avaliação²</i>					
Frequência Cardíaca; bpm ³	39	89,4	8,27	76,8	106,9
Consumo de O ₂ , L/dia	18	2739	626,7	1606	3809
PC, Mcal/dia ⁴	18	13,4	3,06	7,9	18,6
PC, kcal/dia. kgPV ^{0,75}	18	142,5	27,61	83,5	194,9
PC, kJ/dia. kgPV ^{0,75}	18	596,2	115,6	349,7	815,7
PC, Mcal/kg de ganho	18	8,31	1,95	5,23	12,02

¹Período mínimo de 15 minutos. ²Período mínimo de 4 dias de avaliação dos batimentos cardíaco. ³Batimentos/minuto. ⁴Ajustado para consumo de energia metabolizável

Os animais apresentaram FRC e O₂P médio de 89,4 ± 8,27 e 227,6 ± 52,5. Brosh et al. (1998) avaliando 6 novilhas Hereford com peso de 345±10.8 kg encontraram média semelhante ao encontrado no presente trabalho, sendo FRC (94 bat./min) e O₂P (238 µlO₂/PV^{0,75}/bat.), nos animais alimentados com 80% de concentrado e 20% de sorgo. Além disso, em vacas com batimentos na faixa de 61 a 88 bat./dia, os valores de volume de oxigênio apresentados por Brosh (2007) são em média 20 a 30 ml/min/kgPV^{0,75}, também próximo do observado neste trabalho.

A produção de calor média observada foi de $13,4 \pm 3,06$ ou $596,2 \pm 115,6$ em Mcal/dia ou $\text{kJ}/\text{dia}/\text{kgPV}^{0,75}$. Estudos com vacas em lactação mostram uma PC média similar à observada neste estudo (BROSH et al., 2002, 2004). Brosh et al. (2002) estudando o uso de FRC para estimar produção de calor em 6 vacas em diferentes estados reprodutivos, observaram uma média de PC de $340 \pm 18,4 \text{ kJ}/\text{dia}/\text{kgPV}^{0,75}$. Adicionalmente Brosh et al.(2004) observaram em vacas não lactantes uma média de $481 \pm 53 \text{ KJ kJ}/\text{dia}/\text{kgPV}^{0,75}$ alimentadas sobre pastagens no fim do verão. As diferenças de PC nos estudos observados pode ser devido a diferenças no metabolismo, FRC e consumo de energia metabolizável dos animais estudados. Os animais no estudo de BROSH et al. (2002) apresentaram FRC média de $44,9 \pm 1,81 \text{ bat.}/\text{min}$, enquanto neste estudo a média observada foi $89,4 \pm 8,27 \text{ bat.}/\text{min}$. E de acordo com o autor, maior PC pode ser observado em animais que apresentem maior FRC. Ainda, Brosh et al.(2002) observaram que a PC e FRC aumentaram em animais que consumiram maior energia metabolizável .

O perfil nictemeral dos batimentos cardíacos esteve dentro do padrão normal, estabelecido para as condições de alimentação desenvolvidas no experimento, cujos picos foram equivalentes há 2 horas após a alimentação, que aconteceram as 8:00 e as 15:00 h (Figura 10). Em condições estáveis, ou seja, sem fatores promotores de estresse, ou mudanças bruscas no alimento ingerido, o padrão diário de batimentos cardíacos é similar ao longo dos dias (BROSH, 2007), o que foi evidenciado no presente estudo.

Figura 10 – Perfil nictemeral dos batimentos cardíacos de 4 bovinos Nelore durante 24 horas do dia, sendo que cada cor representa um animal.

A FRC diária durante a calibração de O_2 foi menor quanto maior a eficiência de acordo com o CAR ($P < 0,05$), enquanto no período de avaliação de 4 dias, apesar de numericamente menor nos animais eficientes, a FRC não foi relacionado ao CAR (Tabela 12). Os animais ineficientes apresentaram batimento cardíaco médio 3% maior no momento da calibração em relação ao batimento medido no período de avaliação, que pode ser devido à maior resposta ao stress nesses animais. Os animais ineficientes quanto ao CGR apresentaram maior batimento cardíaco no período de calibração do oxigênio ($P = 0,07$), enquanto no período de avaliação de 4 dias essa relação não foi significativa (Tabela 12).

Alguns estudos demonstraram (LANCASTER et al., 2005; PADDOCK, 2010; HAFLA, 2012) em que animais de alto CAR apresentaram maior frequência cardíaca em detrimento dos animais de baixo CAR. Fatores relacionados a esta diferença de FRC não são claros, mas ela pode estar relacionada à maior exigência de manutenção ou à maior resposta ao estresse que os animais ineficientes podem apresentar. A circulação do cortisol sanguíneo é negativamente relacionada ao temperamento e calma nos animais, indicando grande responsividade ao estresse, e pode contribuir para variação do CAR em Nelores (GOMES et al., 2013). Alguns estudos com ovinos (KNOTT et al., 2008, 2010) e bovinos Nelore (GOMES et al., 2013) observaram altos níveis de cortisol circulante no plasma de animais ineficientes.

Tabela 12 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para as características batimentos cardíacos, consumo de oxigênio e produção de calor (PC) para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Característica	N	CAR					CGR				
		Efic	Inef	EP	β1	P>F	Efic	Inef	EP	β1	P>F
Período de calibração ²											
Frequência Cardíaca, bpm	20	80,7	91,6	4,27	1,094	0,03	81,0	88,6	5,27	0,977	0,07
Consumo de O ₂ , ml/bat.	18	20,4	23,0	2,91	1,091	0,15	20,6	22,1	2,85	0,982	0,33
VO ₂ , ml/min. kg ^{0,75}	31	21,4	22,0	1,92	1,020	0,71	21,5	21,9	1,93	0,996	0,83
O ₂ pulse, µl O ₂ /bat.kg ^{0,75}	18	217	234	27,4	1,057	0,22	218	229	27,71	0,988	0,38
Período de avaliação ²											
Frequência Cardíaca, bpm	39	87,0	89,2	1,73	1,018	0,41	89,7	90,2	1,79	0,998	0,87
Consumo de O ₂ , L/dia	18	2598	3016	367,0	1,112	0,18	2661	2931	344,2	0,975	0,40
PC, Mcal/dia	18	12,7	14,8	1,79	1,112	0,18	13,0	14,3	1,683	0,975	0,40
PC, kcal/dia. kg ^{0,75}	18	133	157	17,08	1,121	0,13	139	150	15,56	0,981	0,51
PC, kJ/dia. kg ^{0,75}	18	558	656	71,48	1,121	0,13	582	627	65,12	0,981	0,51
PC, Mcal/kg de ganho	18	8,27	9,20	0,938	1,078	0,44	7,84	9,64	1,002	0,947	0,13

¹Período mínimo de 15 minutos ²Período mínimo de 4 dias de avaliação dos batimentos cardíaco.

O consumo de O_2 tanto em L/dia quanto em ml/bat. não se mostrou relacionado ao CAR tampouco ao CGR, consequentemente os valores de VO_2 e O_2P foram similares nos dois índices avaliados (Tabela 12). Entretanto, pode-se observar uma diferença em média 9% menor consumo de O_2 , VO_2 e O_2P nos animais mais eficientes nos dois índices avaliados. Possivelmente, devido ao pequeno número de observações para essas características (N=18), não detectamos diferença significativa entre essas relações. Paddock (2010) avaliando 16 novilhas classificadas em alto e baixo CAR observou que os animais de alto CAR apresentaram maior O_2P e consumo de oxigênio em relação aos animais de baixo CAR.

Por ser uma característica individual do animal, o O_2P , de acordo com alguns autores (BROSH et al., 1998, 2004), pode mudar durante o dia se os animais estiverem em intensa atividade física ou estresse. Neste trabalho, não foram observadas atividades físicas intensas ou estresse por parte dos animais, já que eles permaneceram alojados em baias individuais durante todo o experimento. Então, pode-se deduzir que o uso de um valor constante de O_2P , para o cálculo da produção de calor, pode representar adequadamente a produção de calor diária. Não houve efeito significativo do CAR e CGR para produção de calor avaliada por esta metodologia (Tabela 12). Paddock (2010) também utilizando a metodologia do O_2P , observaram que a PC foi 17,4% maior em animais de alto CAR comparado com os animais de baixo CAR. Todavia, Aharoni et al. (2003) observaram em vacas em lactação que a produção de calor não aumentou proporcionalmente com o aumento da FRC. Além disso, Aharoni et al. (2006) estudou o potencial da produção de calor para caracterizar eficiência da energia bruta e líquida em animais Holandeses ou cruzamento Holandês x Montbeliarde, e observaram que os animais cruzados apresentaram menor FC, contudo isso não refletiu em diferenças no O_2P e na produção de calor dos animais. Com isso, a diferença de 2,5% da FRC observada neste estudo entre os animais ineficientes e eficientes durante a calibração, e a similaridade entre os valores de O_2P , pode não ter sido suficiente para observar diferenças significativas na produção de calor nos animais durante o período de coleta, o qual foi no terço final do período de avaliação do CAR.

4.4 Avaliação sanguínea

Os animais eficientes tanto do CAR quanto do CGR apresentaram menor porcentagem no hematócrito e menor concentração de hemoglobina (Tabela 13).

Tabela 13 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR), valores e erro padrão (EP) para avaliação sanguínea de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Caract.	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
HE ^a , %	41,6	44,4	0,95	1,985	0,07	40,4	45,1	0,87	-1,227	<0,01
HB ^b , g/dl	14,4	15,5	0,39	0,773	0,08	14,1	15,7	0,37	-0,432	0,01

a=hematócrito%; b=hemoglobina

Diante disso, pode-se inferir que os animais mais eficientes possuem menor quantidade volume globular ou hematócrito e menor concentração de hemoglobina no sangue (Tabela 13). Richardson et al. (1996) com o objetivo de encontrar possíveis indicadores fisiológicos para eficiência alimentar, estudou alguns constituintes do sangue de novilhas e touros Angus classificados em alta e baixa eficiência alimentar. Eles observaram os animais mais eficientes possuem maior quantidade de células vermelhas sanguíneas, em contrapartida a proporção de hemoglobina e hematócrito encontradas nas células vermelhas foram menores em relação aos animais ineficientes. Richardson et al. (2000) também observaram menor concentração de hemoglobina ($11,7 \pm 0,15$ vs $12,3 \pm 0,13$; $P<0,01$) e hematócrito ($31,4 \pm 0,50$ vs $33,3 \pm 0,42$; $P<0,01$) em touros Angus de baixo CAR em relação aos de alto CAR.

Com isso, a menor taxa de hematócrito nos animais mais eficientes pode sugerir que eles possuem maior número de células vermelhas e menor número de outras células, ou seja, células brancas, em relação aos animais ineficientes. Estas diferenças podem estar associadas com a capacidade de transporte de oxigênio.

4.5 Características de carcaça

Os animais apresentaram média de AOL e EGS de 55,7 cm² ($\pm 8,55$) e 6,67 mm ($\pm 1,89$), respectivamente (Tabela 14). Até os 70 dias de avaliação do CAR os animais eficientes apresentaram menor EGS no ganho ($P=0,08$; Tabela 9), mas até o abate foram capazes de atingir o mesmo grau de acabamento que os ineficientes com mesmo número de dias, ou seja, não foram observadas relações significativas ($P>0,05$) em relação à EGS tanto para CAR e CGR medidas na carcaça até o abate (Tabela 15).

Tabela 14 - Média, desvio padrão, mínimo e máximo para as características espessura de gordura subcutânea (EGS) e área de olho de lombo (AOL) mensuradas na carcaça (N=81).

Característica ¹	Média	DP	Mín.	Máx.
AOL, cm ²	55,7	8,55	45,8	69,8
EGS, mm	6,67	1,89	4,0	12,0

¹Medida diretamente na carcaça

Nesse contexto, os animais eficientes possivelmente direcionaram a mesma quantidade da gordura do ganho para deposição de espessura de gordura subcutânea que os animais ineficientes, mas as diferenças de consumo observadas entre os grupos evidenciam que o maior aporte de energia ingerido pelos animais de CAR positivo (ineficientes) foi resultado da maior demanda para deposição de gordura intramuscular (NASCIMENTO, 2011). Além disso, valores similares de EGS eram de se esperar dado que o objetivo era abater os animais ao mesmo grau de acabamento.

A AOL foi indiretamente proporcional ao CAR ($P>0,05$) e diretamente proporcional ao CGR ($P>0,05$), indicando que quanto mais eficiente é o animal maior é a capacidade desse animal em depositar músculo (Tabela 15). Menor deposição de AOL em animais de alto CAR também foi encontrada por TREJO et al. (2010), que observaram diferenças entre as médias de área de olho de lombo (92,88; 87,88 e 89,46 cm²) entre animais de baixo, médio e alto CAR e espessura gordura subcutânea semelhante (1,32; 1,28 e 1,26 mm).

Tabela 15 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) para características de carcaça de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Característica	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
PVFJ, kg	431	424	6,3	-4,464	0,54	438	418	6,1	5,292	0,06
PCR, kg	243	238	3,5	-3,326	0,43	247	236	3,4	2,883	0,07
RCF, %	56,5	56,0	0,00	-0,003	0,08	56,3	56,3	0,00	-0,000	0,94
Profundidade, cm	38,5	38,5	0,57	0,031	0,89	38,4	38,6	0,58	-0,030	0,73
Comprimento, cm	123	122	0,7	-0,539	0,46	123	122	0,7	0,436	0,13
Traseiro especial, kg	117	114	1,6	-1,842	0,36	119	113	1,6	1,521	0,05
Dianteiro, kg	97,2	94,8	1,48	-1,605	0,37	98,3	93,8	1,44	1,135	0,10
Ponta de Agulha, kg	29,4	29,3	0,78	-0,051	0,93	29,8	28,9	0,82	0,227	0,34
% Traseiro especial	48,1	47,9	0,23	-0,168	0,38	48,2	47,9	0,22	0,074	0,31
% Dianteiro	39,8	39,8	0,39	-0,022	0,89	39,7	39,8	0,40	-0,025	0,67
% Ponta de agulha	12,1	12,3	0,26	0,123	0,36	12,1	12,3	0,23	-0,000	0,54
AOL ² , cm ²	59,4	53,8	1,29	-3,729	0,02	59,4	53,8	1,29	1,460	0,02
EGS ² , mm	6,22	6,70	0,583	0,310	0,39	6,43	6,50	0,641	-0,017	0,90

¹ PVFJ – peso vivo final em jejum no pré-abate; PCR – peso de carcaça resfriada; RCF – rendimento de carcaça resfriada; AOL – área de olho de lombo; EGS – espessura de gordura subcutânea. ² Medida diretamente na carcaça

Adicionalmente Ahola et al. (2011) ao classificar novilhos Angus em eficientes, intermediários e ineficientes não observaram diferenças na EGS medida na carcaça após o abate, entretanto a AOL foi maior nos animais eficientes em relação aos ineficientes.

As médias de rendimento de carcaça, peso de carcaça resfriada e dos cortes traseiro e dianteiro foram similares ($P>0,05$) entre os animais eficientes e ineficientes quanto ao CAR. Não houve diferenças significativas entre comprimento e profundidade da carcaça desses animais (Tabela 15). A não significância entre esses dados é consequência do CAR ser ajustado para ganho e peso vivo, pois estas variáveis são determinadas pelo tamanho corporal do animal e peso da carcaça. DINIZ et al. (2010) definiram que uma carcaça adequada deve conter 45 a 50% de traseiro, 38 a 43% de dianteiro e 12 a 16% de ponta de agulha em relação ao peso da carcaça. Valores proporcionalmente similares foram encontrados neste estudo, 48%, 40% e 12%, respectivamente. Outros autores também não observaram associação entre CAR e características de carcaça em bovinos (MCDONAGH et al., 2001; NKRUMAH et al., 2004; BACHER et al., 2006; NASCIMENTO, 2011; GOMES et al., 2012; SOUSA, 2012; WELCH et al., 2012; ZORZI et al., 2013).

Apesar disso, nos animais eficientes, quanto ao CGR foram observados maior peso vivo ao final do período experimental e uma maior peso de carcaça resfriada ($P=0,06$; Tabela 15). Esses dados não eram de se esperar já que de acordo com Berry e Crowley (2012) o CGR não estaria correlacionado com peso vivo final, e ainda, o CGR não foi relacionado com o peso vivo metabólico (Figura 8). Berry e Crowley (2012) também observaram maior peso vivo final nos animais de alto CGR, que de acordo com o autor podem estar relacionadas ao efeito fixo de raça incluído no modelo estatístico para estimar as médias. Além disso, os animais eficientes apresentaram maior peso do traseiro especial ($P<0,05$) e maior peso do dianteiro ($P=0,10$). Com isso, o CGR deve ser observado com cautela, por apresentar uma possível associação com peso vivo final.

O peso do coração, rins, fígado, e gorduras perirrenal, inguinal, pélvica e total expresso em kg não foi relacionado ao CAR ($P>0,05$) tampouco foi relacionado ao CGR (Tabela 16).

Tabela 16 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) do peso de vísceras de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Característica	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
<i>Peso das vísceras, Kg</i>										
Coração	1,43	1,43	0,037	0,001	0,98	1,44	1,43	0,038	0,004	0,73
Rins	0,74	0,74	0,017	0,001	0,94	0,754	0,731	0,0159	0,006	0,41
Fígado	4,61	4,78	0,090	0,113	0,22	4,73	4,66	0,089	0,018	0,62
Gordura perirrenal	2,93	3,16	0,142	0,152	0,24	3,08	3,04	0,163	0,012	0,83
Gordura inguinal	6,33	6,68	0,276	0,233	0,30	6,46	6,51	0,191	-0,013	0,89
Gordura pélvica	4,55	5,00	0,310	0,299	0,16	4,83	4,83	0,270	-0,001	0,99
Gordura total	14,0	14,8	0,537	0,537	0,26	14,4	14,4	0,38	-0,003	0,99
<i>Peso de vísceras, kg / 100 kg de carcaça resfriada</i>										
Coração	0,589	0,604	0,0123	0,009	0,29	0,586	0,607	0,0122	-0,005	0,12
Rins	0,305	0,312	0,005	0,005	0,46	0,306	0,311	0,0056	-0,001	0,62
Fígado	1,89	2,01	0,021	0,078	<0,01	1,92	1,98	0,022	-0,016	0,12
Gordura perirrenal	1,19	1,33	0,051	0,090	0,07	1,25	1,29	0,062	-0,010	0,62
Gordura inguinal	2,57	2,79	0,093	0,145	0,09	2,61	2,77	0,078	-0,042	0,20
Gordura pélvica	1,86	2,13	0,141	0,172	0,02	1,95	2,06	0,113	-0,028	0,33
Gordura total	5,71	6,25	0,230	0,358	0,02	5,82	6,16	0,187	-0,087	0,15

Entretanto, ao expressar o peso das vísceras em kg por 100 kg de carcaça resfriada, a relação com o CGR permaneceu ainda nula ($P < 0,05$), no entanto, animais eficientes quanto ao CAR apresentaram proporções de fígado, gordura pélvica e gordura total em 5,97%, 12,7% e 8,64% menores que os ineficientes, respectivamente ($P < 0,05$; Tabela 16). Além disso, a proporção de gorduras inguinal e perirrenal também foram menores nos animais eficientes ($P = 0,09$ e $P = 0,07$, respectivamente; Tabela 16).

Diferenças em gasto energético associados com crescimento de órgãos e vísceras como fígado, trato gastrointestinal e coração também podem contribuir em diferenças no CAR, dado que as atividades metabólicas desses tecidos consomem cerca de 50% da energia destinada para manutenção, enquanto os tecidos da carcaça 23% (CARTENS; KERLEY, 2009). Assim, a menor ingestão de alimentos nos animais eficientes pode estar relacionada ao menor *turnover* proteico dos tecidos viscerais. Além da contribuição do *turnover* proteico para as variações na eficiência, estas também podem estar relacionadas ao peso e atividade metabólica dos órgãos viscerais (FERREL; JENKINS, 1998).

O fígado, coração e rins são os órgãos de elevadas taxas metabólicas, e desses, o fígado apresenta o maior gasto energético. Basarab et al. (2003) encontraram em novilhos de baixo CAR 8% menos de peso no fígado e trato gastrointestinal total que os animais de alto CAR. Bonilha et al. (2009) observaram menor peso do coração, rins e TGI em bovinos Nelore de baixo CAR, enquanto Sainz et al. (2006) observaram menor peso de coração, fígado e rins.

As variações na eficiência alimentar dos animais poderia ser explicado pela redução da deposição de gordura interna, visto que o consumo de energia para deposição de gordura é um processo menos eficiente que para deposição de proteína (LOFGREEN; GARRETT, 1968). Além disso, esse efeito pode ser atribuído ao maior consumo de matéria seca e energia pelos animais ineficientes, e o consumo alimentar além das exigências pode levar ao aumento na deposição de gordura interna. Gomes et al. (2012) também observaram que os animais de baixo CAR apresentaram menor quantidade de gordura no TGI e menor quantidade de gordura pélvica e inguinal. A gordura interna pode ser um importante componente na variação de CAR em novilhos Nelore e que como a indústria não paga diretamente por esses componentes de

carcaça, redução da conversão alimentar para gordura visceral pode ser desejada (GOMES et al., 2012). Por outro lado, é importante ressaltar que a gordura visceral pode ser bastante importante para a manutenção reprodutiva de vacas em sistemas de produção a pasto, cuja sazonalidade de produção forrageira pode limitar o aporte de nutrientes para os animais. Portanto, melhorar a eficiência é importante desde que seja estudado até que ponto a seleção para CAR pode ou não afetar a reprodução de fêmeas.

Algumas variações na manutenção estão mais associadas com peso e atividade metabólica dos órgãos viscerais, como intestino e fígado, que com proteína e gordura corporal ou composição do ganho (FERRELL; JENKINS, 1984). Possivelmente por isso, observamos maior peso das vísceras nos animais ineficientes, enquanto não foi evidenciada diferenças na composição do ganho nesses animais (Tabela 9).

4.6 Características de qualidade da carne

Os valores de pH médio das amostras de carne não maturadas, maturadas por 7 ou 14 dias foram $5,49 \pm 0,02$, $5,51 \pm 0,009$ e $5,52 \pm 0,009$, respectivamente, e não foram relacionadas ao CAR nem ao CGR (Tabela 17). Esses valores estão dentro do padrão recomendado pela indústria (pH final abaixo de 5,7) como ideal para evitar que a qualidade da carne não seja comprometida, e ainda estão dentro dos valores encontrados na literatura para bovinos Nelore (PFLANZER; FELÍCIO, 2009; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012; ZORZI et al., 2013). O pH é um dos fatores mais observados quando se considera qualidade da carne, porque ele interfere diretamente nas características físicas e organolépticas da carne. Um dos fatores que o pH pode afetar é a capacidade de retenção de água. A formação de ácido láctico durante a transformação de músculo em carne *post-mortem*, consequentemente a redução do pH, é responsável pela diminuição da capacidade da carne em reter água durante a aplicação de forças (LAWRIE, 2004).

Tabela 17 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) das características de qualidade de carne de amostras não maturadas, maturadas por 7 ou por 14 dias de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes. (continua)

Característica	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
<i>Amostras não maturadas</i>										
EE intramuscular	3,47	3,83	0,424	0,237	0,27	3,41	3,89	0,418	-0,125	0,13
pH	5,49	5,49	0,024	0,000	0,99	5,48	5,50	0,029	-0,004	0,31
CRA, %	74,1	72,9	0,58	-0,764	0,28	74,0	73,0	0,58	0,252	0,36
L* carne	37,9	37,9	0,35	-0,002	0,99	38,3	37,5	0,41	0,206	0,08
a* carne	14,7	15,0	0,21	0,233	0,11	14,5	15,2	0,14	-0,184	<0,01
b* carne	12,6	12,7	0,38	0,165	0,32	12,5	12,9	0,35	-0,082	0,23
a*/b* carne	1,17	1,18	0,027	0,008	0,59	1,16	1,18	0,024	-0,005	0,35
L* gordura	75,8	76,7	0,57	0,553	0,18	75,8	76,7	0,62	-0,216	0,18
a* gordura	7,53	6,97	0,326	-0,367	0,14	7,70	6,86	0,375	0,215	0,04
b* gordura	16,2	16,1	0,32	-0,064	0,79	16,2	16,1	0,32	0,025	0,80
Perda por cocção, %	25,7	26,2	1,25	0,354	0,50	25,2	26,7	1,18	-0,382	0,08
FC, kgf./cm ²	8,02	7,64	0,732	-0,251	0,35	7,82	7,72	0,736	0,025	0,81
IFM	57,3	65,9	4,82	5,600	0,24	60,4	62,5	5,80	-0,547	0,77
<i>Amostras - 7 dias de maturação</i>										
pH	5,51	5,50	0,010	-0,004	0,67	5,50	5,51	0,011	-0,002	0,52
CRA, %	61,2	61,1	0,73	-0,081	0,89	61,4	61,0	0,70	0,104	0,65
L* carne	40,0	39,4	0,70	-0,438	0,29	40,3	39,2	0,55	0,265	0,10
a* carne	16,7	16,9	0,21	0,170	0,43	16,6	17,0	0,22	-0,108	0,21
b* carne	14,9	15,0	0,22	0,058	0,81	15,0	14,9	0,24	0,040	0,68
a*/b* carne	1,12	1,13	0,025	0,011	0,40	1,10	1,15	0,027	-0,011	0,02

Tabela 17 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) das características de qualidade de carne de amostras não maturadas, maturadas por 7 ou por 14 dias de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Característica	CAR					CGR					(conclusão)
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	
N=82											
Perda por cocção, %	26,2	26,9	0,52	0,460	0,47	26,3	26,9	0,52	-0,162	0,51	
FC, kgf./cm ²	5,33	5,12	0,205	-0,138	0,58	5,23	5,20	0,205	0,007	0,94	
<i>Amostras 14 dias de maturação</i>											
pH	5,52	5,53	0,009	0,008	0,44	5,51	5,54	0,009	-0,007	0,09	
CRA, %	60,7	61,2	1,32	0,378	0,69	60,6	60,6	1,12	-0,002	0,99	
L* carne	40,4	40,4	0,70	0,001	0,99	40,9	39,9	0,77	0,257	0,16	
a* carne	17,7	17,3	0,22	-0,284	0,14	17,5	17,5	0,28	-0,014	0,86	
b* carne	15,8	15,6	0,23	-0,085	0,72	15,9	15,6	0,30	0,073	0,50	
a*/b* carne	1,12	1,11	0,026	-0,006	0,69	1,10	1,13	0,034	-0,007	0,26	
Perda por cocção, %	26,5	27,0	0,92	0,344	0,76	26,7	26,3	0,93	0,093	0,83	
FC, kgf./cm ²	4,23	3,80	0,269	-0,279	0,20	4,18	3,84	0,294	0,088	0,29	

EE – extrato etéreo intramuscular; CRA – capacidade de retenção de água; L* - luminosidade; a* - intensidade da cor vermelha; b* - intensidade da cor amarela; FC – força de cisalhamento; IFM – índice de fragmentação miofibrilar.

Em pH 5,2-5,3 (ponto isoelétrico das proteínas musculares, com equilíbrio de cargas positivas e negativas), a carne apresenta menor CRA, enquanto em pH maior que 5,5 existe excesso de cargas negativas que determinam a repulsão para as moléculas de água, reduzindo a força mecânica necessária para o corte e as perdas durante o cozimento (LAWRIE, 2004). Como o pH obtido nesse estudo coincidiu com o ponto isoelétrico das proteínas, não foram observadas relações entre CAR, CGR e capacidade de retenção de água entre os animais nas carnes maturadas e não maturadas, e o valor médio observado nas amostras de carne não maturada ($73,4 \pm 3,8$) está dentro dos valores encontrados na literatura para bovinos Nelore (FERNANDES et al., 2009; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012).

Além disso, o pH e suas consequências sobre a coloração do músculo e da gordura são aspectos importantes a serem considerados na avaliação de animais eficientes, pois a cor é um critério utilizado para escolha e aceitabilidade da carne pelo consumidor (CONFORTH, 1994). Em geral, a cor tem negativa correlação com valores de pH, quando pH da carne é alto, o valor de L^* é baixo. Abril et al. (2001) observaram que carnes com pH abaixo de 5,5 apresentaram maior luminosidade ($L^* > 42$), carnes com pH acima de 6,0 apresentam menor luminosidade e carnes com pH entre 5,5 e 6,0 apresentam luminosidade intermediária ($36 < L^* < 40$).

Neste trabalho observamos que os aspectos visuais da carne mensurados como luminosidade (L^*), intensidade do vermelho (a^*) e intensidade do amarelo (b^*) entre animais eficientes e ineficientes não foram relacionados com o CAR, tanto nas carnes não maturadas quanto nas maturadas. Os valores médios de L^* , a^* e b^* ($38,1 \pm 1,6$; $14,8 \pm 0,8$; $12,7 \pm 0,9$, respectivamente) indicam característica de carnes mais claras (NASCIMENTO, 2011; ZORZI et al., 2013), e ainda, a luminosidade da carne esteve dentro da faixa prevista para o pH final observado de acordo com Abril et al. (2001). Esses valores estão dentro do descrito por Muchenje et al. (2009), que observaram em bovinos, médias de L^* na faixa de 33,2 a 41,0, a^* na faixa de 11,1 a 23,6 e b^* na faixa de 6,1 a 11,3. Outros autores também não encontraram diferenças entre animais de alto e baixo CAR em animais Angus e Nelore para luminosidade e cor da carne (MCDONAGH et al., 2001; SOUZA, 2012; ZORZI et al., 2013). Todavia, Nascimento (2011) observou que os animais ineficientes apresentaram a carne mais clara quando se

mediu a luminosidade em amostras não maturadas ou maturadas por 7 dias, possivelmente pelo maior teor de extrato etéreo intramuscular observado.

A intensidade do vermelho (a^*) foi menor nos animais eficientes classificados de acordo com o CGR ($P < 0,05$) nas amostras de carne não maturadas, apesar das amostras maturadas aos 7 e 14 dias e os valores de intensidade do amarelo (b^*) não apresentarem relação com o CGR ($P > 0,05$) (Tabela 17). A diferença no a^* da carne não era de se esperar, já que o pH, o qual também pode afetar a intensidade do vermelho (a^*) e intensidade do amarelo (b^*) da carne, não foi correlacionado com CGR. Provavelmente como os animais mais eficientes quanto ao CGR apresentaram menor teor de hemoglobina no sangue (Tabela 13), essa característica pode ter interferido diretamente na coloração da carne desses animais. Além disso, os dados de a^* da carne foram fortemente agrupados ao redor da média, e a diferença numericamente pequena, a qual possivelmente tem precisão apenas analítica e não seria passível de percepção pelo consumidor, não impactaria negativamente a aparência dessa carne.

Não houve diferenças entre a relação a^*/b^* entre animais eficientes e ineficientes ($P > 0,05$) classificados de acordo com o CAR (Tabela 17). Entretanto, o CGR foi relacionado a esta característica nas amostras de carne maturada durante 7 dias ($P < 0,05$). Os animais eficientes apresentaram menor relação a^*/b^* da carne quando comparados com os ineficientes para o CGR. A relação a^*/b^* estima indiretamente os teores de oximioglobina (pigmento reduzido, de cor vermelho-cereja brilhante) e metamioglobina (pigmento oxidado, de cor marrom acinzentado) (MANCINI; HUNT, 2005). Logo, maiores valores da razão a^*/b^* nos animais ineficientes do GCR indicam maior conteúdo de oximioglobina e menor conteúdo de metamioglobina, o que é indesejável na hora da escolha da carne na gôndola pelo consumidor.

Características de coloração da gordura também não foram relacionados com CAR. McDonagh et al. (2001), Nascimento (2011) e Souza (2012) também não observaram diferenças na cor da gordura de animais de alto e baixo CAR, e os valores dessas características obtidas nesse estudo foram semelhantes aos encontrados em Nascimento (2011) para bovinos da raça Nelore.

Diferentemente, CGR foi relacionado com a intensidade da cor vermelha (a^*) da gordura. Os animais eficientes apresentaram 10,9% maior índice a^* em detrimento dos

animais ineficientes. Os outros valores de coloração da gordura expresso como L^* e b^* não foram relacionados com o CGR. Como o pH apresentado no presente trabalho foi abaixo de 6 e não foi relacionado ao CGR, a influência negativa na cor da gordura quando os animais são classificados em CGR pode não ser comprometida na prática.

Os valores de perdas por cocção estão dentro da faixa preconizada para bovinos, entre 20,3% e 31,5% (ROCHA; FELÍCIO, 1998) e não foram relacionados com o CAR e CGR ($P>0,05$). Outros trabalhos que relacionaram CAR e qualidade de carne também não encontraram diferenças para essas características nos animais eficientes e ineficientes (NASCIMENTO, 2011; GOMES et al., 2012; SOUZA, 2012;).

Os valores de força de cisalhamento em qualquer período da maturação avaliado, e índice de fragmentação miofibrilar não diferiram entre os animais e não foram relacionados ao CAR nem ao CGR ($P>0,05$), apesar de observamos um maior valor numérico na FC nos animais eficientes (Tabela 17). A FC pode ser influenciada por diversos fatores, entre eles a menor quantidade de gordura na carcaça, mensurada em termos de espessura subcutânea, ou avaliada visualmente como cobertura de gordura. A baixa quantidade de gordura subcutânea pode não exercer adequadamente o seu papel de isolante térmico da carcaça, e permitir o encurtamento das fibras musculares pelo frio, resultando em menor maciez da carne (PFLANZER; FELÍCIO, 2009). Esse efeito não foi observado uma vez que a EGS ao abate esteve acima dos 3 mm preconizados e não apresentou relação com CAR ou CGR.

Dados anteriores têm sido inconsistentes quando se estuda a relação entre CAR, FC e IMF, sugerindo que variação no CAR pode ou não estar relacionado com a maciez da carne em bovinos. Trabalhos envolvendo raças taurinas (MCDONAGH et al., 2001; BARKER et al., 2006; AHOLA et al., 2011) e zebuínas (FARJALLA, 2009; NASCIMENTO, 2011; GOMES et al., 2012; SOUZA, 2012; WELCH et al., 2012) não encontraram relações entre CAR e força de cisalhamento. No entanto, Zorzi et al. (2013), avaliando 59 Nelores, observaram que os animais de baixo CAR apresentaram maior força de cisalhamento em carnes não maturadas e maturadas durante 7 e 21 dias. McDonagh et al. (2001) e Barker et al. (2006) não encontraram diferenças na força de cisalhamento durante a maturação de 0 a 14 dias, porém o IFM foi menor nas amostras do músculo *Longissimus* em animais com baixo CAR, uma diminuição que se manteve

também nas carnes maturadas aos 14 dias. Adicionalmente, em estudos com a raça Nelore foram observados que os animais de baixo CAR apresentaram menor índice de fragmentação miofibrilar em carnes não maturadas e maturadas durante 7 e 14 dias, indicado carnes menos macias em animais de baixo CAR (GOMES et al., 2012; ZORZI et al., 2013).

A média da FC para carnes não maturadas, e maturadas 7 dias ($7,76 \pm 1,56$ e $5,22 \pm 1,38$ kgf./cm², respectivamente) apresentadas neste estudo, são consideradas como duras, visto que estão acima dos valores aceitáveis ($< 4,1$ kgf./cm²) para uma carne de qualidade nos padrões dos consumidores norte americanos (HUFFMAN et al., 1996). Todavia estão dentro da média ($6,7$ kgf./cm²) encontrada em novilhos Nelore (NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012). Segundo Felício (1999), em animais zebuínos nas condições tropicais, esse limite é $5,0$ kgf./cm², sendo que neste estudo apenas as amostras maturadas por 14 dias apresentaram-se abaixo desse valor e foram consideradas macias. Valores elevados de FC são comuns em animais zebuínos e essa característica possivelmente está associada a maior atividade da enzima calpastatina, que possui efeito inibidor sobre as calpaínas, responsáveis pela proteólise *post-mortem* e, portanto, pelo amaciamento da carne (RUBENSAM et al., 1998). Outros fatores como idade do animal, a cobertura de gordura da carcaça e características genéticas também são determinantes sobre essa característica (LAWRIE, 2004). Neste trabalho, o acabamento de carcaças dos animais permaneceu acima de 5 mm, dessa forma, outros fatores que não acabamento interferiram de maneira mais significativa na maciez, e tiveram efeitos mais pronunciados no complexo enzimático do músculo.

O processo de maturação pode melhorar a maciez da carne pela ação das proteínas proteolíticas, particularmente calpaína, que mostra ser o mais o sistema responsável pela maciez *post-mortem* (MOHAMMAD, 2004), o que foi observado neste estudo, quando as amostras de carnes não maturadas passaram de $7,76 \pm 1,56$ kgf./cm² para $5,22 \pm 1,38$ e $3,92 \pm 1,14$ kgf./cm² nas carnes maturadas 7 e 14 dias, respectivamente.

Quando consideramos o IFM como indicador de maciez da carne, Culler et al. (1978) citam que IFM maior que 60 indicam carnes extremamente macias, enquanto valores entre 50 e 60 indicam carnes moderadamente macias, e valores abaixo de 50

indicam carnes duras. Então, no presente estudo, quando classificamos as amostras de carne nesse índice, elas são consideradas moderadamente macias. Esta classificação contradiz os valores de FC obtidos, e ainda, os valores médios de IFM encontrados neste trabalho foram acima dos valores encontrados na literatura. Zorzi et al. (2013) e Gomes et al. (2012) encontraram no músculo *Longissimus* de Nelores não castrados valores em média de 39,5 e 47,4 para carnes não maturadas, respectivamente. Os altos valores encontrados neste estudo, pode estar relacionado ao transporte e descongelamento das amostras, que pode ter acarretado em proteólise das proteínas miofibrilares.

Adicionalmente não foram observadas diferenças nos animais eficientes e ineficientes em relação ao EE intramuscular para os animais avaliados tanto para CAR e CGR (Tabela 17). A gordura intramuscular é um importante componente da qualidade da carne em sistemas de produção de bovinos. Isso está diretamente ligado a palatabilidade da carne e valor da carcaça, os quais são chaves para determinar tendências do mercado e retorno do investimento (WELCH et al., 2012). Contudo, resultados na literatura de relações entre CAR e gordura intramuscular também não são conclusivas. Estudos anteriores mostram nenhuma correlação entre CAR e gordura intramuscular (MCDONAGH et al., 2001; CARTENS et al., 2002; BAKER et al., 2006; REIS et al., 2010; ZORZI et al., 2013), enquanto outros autores mostram que existe correlação entre CAR e essa variável (RICHARDSON et al., 2001; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012; WELCH et al., 2012). A diferença em resultados entre esses estudos pode ser devido a diferenças em idade e maturidade dos animais quando as características foram mensuradas, ou podem sugerir que outras variáveis indefinidas podem influenciar na composição do ganho dessas populações.

4.7 Avaliação econômica

Os animais eficientes tanto quanto ao CAR quanto CGR foram mais tardios para atingir o acabamento de 5 mm de espessura de gordura subcutânea em que cada unidade diminuída no CAR ou CGR aumentou em cerca de três dias o período de confinamento (Tabela 18).

Tabela 18 - Coeficientes de regressão linear (β_1 -CAR) e (β_1 -CGR) valores e erro padrão (EP) da avaliação econômica de novilhos Nelore para CAR e CGR em animais eficientes e ineficientes.

Característica	CAR					CGR				
	Efic	Inef	EP	β_1	P>F	Efic	Inef	EP	β_1	P>F
N=82										
Dias de confinamento	106,8	101,5	0,911	-3,461	0,03	105,8	102,4	0,945	0,869	0,06
Ganho de peso, Kg/dia	1,48	1,44	0,069	-0,024	0,57	1,58	1,33	0,081	0,065	<0,0001
@ produzidas	6,80	6,52	0,160	-0,179	0,24	7,10	6,20	0,130	0,233	<0,0001
<i>Receita</i>										
R\$/kg de ganho	4,39	4,35	0,105	-0,028	0,64	4,28	4,47	0,083	-0,048	0,04
R\$/dia	6,48	6,22	0,421	-0,168	0,28	6,79	5,91	0,460	0,227	<0,0001
<i>Custo com Alimento</i>										
R\$/@	69,4	85,0	3,685	10,29	<0,0001	68,2	86,3	3,062	-4,658	<0,0001
R\$/dia	4,54	5,32	0,104	0,515	<0,0001	4,73	5,15	0,177	-0,109	<0,01
R\$/kg	3,13	3,73	0,101	0,398	<0,0001	2,98	3,92	0,076	-0,240	<0,0001
<i>Custo Total</i>										
R\$/@	73,2	89,6	4,81	10,78	<0,0001	71,0	92,3	4,300	-5,471	<0,0001
R\$/kg de ganho	3,29	3,93	0,147	0,425	<0,0001	3,10	4,18	0,133	-0,278	<0,0001
R\$/dia	4,77	5,62	0,074	0,560	<0,0001	4,91	5,49	0,128	-0,149	<0,01
<i>Lucro</i>										
R\$/@	25,1	8,72	4,81	-10,78	<0,0001	27,3	5,98	4,30	5,471	<0,0001
R\$/kg de ganho	1,11	0,389	0,2251	-0,473	<0,0001	1,19	0,287	0,202	0,232	<0,0001
R\$/dia	1,68	0,621	0,368	-0,696	<0,0001	1,85	0,413	0,341	0,369	<0,0001

O aumento da eficiência dos animais, em ambos os índices, está relacionado com a diminuição do CMS, e por esta razão o custo com alimento (R\$/dia, R\$/kg de ganho e R\$/@) é menor quanto maior a eficiência dos animais ($P<0,05$). Como esse custo representa a maior parte do custo total esse por sua (R\$/@, R\$/kg de ganho ou R\$/dia) também foi menor quanto maior a eficiência ($P<0,05$), tendo os animais eficientes quanto ao CAR apresentado, um custo predito por arroba produzida 18,4% menor em relação aos ineficientes, e os eficientes quanto ao CGR 23% menor.

Em ambos os índices a diminuição do CMS e a consequentemente redução do custo de produção, proporcionaram um maior lucro oriundo dos animais mais eficientes ($P<0,0001$), os animais eficientes quanto ao CAR apresentaram um lucro predito de cerca de 2,9 vezes maior, os animais eficientes quanto ao CGR apresentaram uma diferença ainda maior (lucro 4,5 vezes maior) pelo fato de aliar diminuição do custo de produção com uma receita maior.

Vários autores apresentaram a relação significativa entre CAR e lucro (CARSTENS; TEDESCHI 2006; CREWS, 2006; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012). Esta relação era de se esperar visto que esse índice está diretamente relacionado com consumo, o qual representa em torno de 77% do custo diário total do confinamento.

Fazendo uma análise simplista pode-se comparar na prática a utilização dos dois índices avaliados em confinamentos. A relação de maior ganho de peso diário nos animais mais eficientes de acordo com CGR forneceu a eles uma vantagem de produção de 5,49% @ a mais ($P<0,05$) em relação aos animais médios da população, que representou em média 6,71@ (Tabela 18). Enquanto para os animais divergentes em CAR não observamos essa diferenciação, já que o ganho de peso não foi correlacionado com esse índice (Tabela 7). Considerando que o Brasil abateu em 2012, cerca de 7,2 milhões de cabeças e que o peso médio das carcaças foi 232,9 kg/carcaça, sendo o peso acumulado de carcaças de 1,681 milhões de toneladas (BRASIL, 2012), os animais selecionados para CGR poderiam aumentar a produção em 92 mil toneladas por ano no Brasil.

Mas apesar do ganho em @ dos animais classificados em CGR, se consideramos a redução do consumo, o CAR reduz o consumo dos animais mais expressivamente. Neste trabalho o custo médio com alimentação foi R\$3,84/ kg de

alimento, o qual representou 77% do custo diário total do confinamento (Tabela 18). Com isso, considerando um consumo médio de 8,82kg/dia, uma redução de 10,5% no consumo dos animais eficientes classificados em CAR em relação à média da população ou redução de 5,9% no consumo dos animais eficientes classificados de acordo com CGR em relação à média da população (Tabela 7), durante o período médio de 100 dias de confinamento, poderia resultar em uma possível economia no custo com alimentação de R\$ 355,6 ou R\$ 199,82 por animal, respectivamente. Em um estudo que mensurou CAR em touros por 140 dias, Liu et al. (2000) reportaram que o custo com alimentação para os animais menos eficientes foi US\$ 58,33 maior comparados aos animais mais eficientes, para mesmo nível de ganho de peso. CREWS (2006) demonstrou ser possível uma economia anual de US\$ 26,25/animal (US\$ 0,18/animal/dia) no custo da alimentação para os animais eficientes (baixo CAR) durante um período de 150 dias de terminação. Carstens e Tedeschi (2006) avaliaram novilhos confinados por um período de 120 dias e observaram estimativas maiores para animais baixo CAR, que apresentaram economia de US\$ 38,00/animal. Considerando que o Brasil confinou em 2012 em torno de 4,2 milhões de cabeças (BRASIL, 2012), a seleção para CAR ou CGR poderia salvar a indústria brasileira 1,5 bilhões ou 835 milhões por ano, respectivamente.

Apesar das vantagens lucrativas observadas nos dois índices de eficiência alimentar, esses resultados devem ser observados com cautela porque, os dados apresentados deste confinamento experimental, são diferentes das condições dos confinamentos comerciais, onde o período médio de permanência dos animais é inferior a 85 dias e a dieta utilizada geralmente contém maior teor energético. Além disso, em confinamento comercial são utilizados animais inteiros, que apresentam melhor conversão e permanecem confinados até atingirem o acabamento mínimo de 3 mm, exigido pelos frigoríficos e metade do período estão em crescimento compensatório (NASCIMENTO, 2011).

Pelo estudo dos coeficientes de correlação parcial (Tabela 19) conclui-se que o lucro é mais fortemente associado às variáveis de conversão alimentar, CGR e ganho de peso, nessa ordem ($r = -0,812$; $0,724$ e $0,607$; e $P < 0,0001$) enquanto sua associação com CAR foi menor ($r = -0,448$; $P < 0,0001$). O CGR não foi associado ao peso vivo final,

porém foi positivamente correlacionado com ganho médio diário ($r = 0,402$; $P < 0,05$), o que explica a maior associação com o lucro em detrimento ao CAR. Outros autores (NUÑEZ et al., 2005; NASCIMENTO, 2011; SOUZA, 2012), também observaram que a lucratividade é mais bem correlacionada com ganho de peso e CA do que com o CAR. Cruz et al. (2010) observaram o CAR representa apenas 18% da variação no custo enquanto GPD e CMS representam 98,5%, sugerindo que o CAR não seria um critério de seleção economicamente viável e um indicador de eficiência e rentabilidade em confinamento. Como o CGR está relacionado tanto com o aumento dos outputs quanto com a diminuição dos inputs, o que torna sua associação com lucratividade alta, talvez ele seja considerado um índice economicamente mais viável que o CAR, apesar de não ter a mesma associação com o lucro que a CA.

O lucro apresentou uma associação pequena, porém significativa, com AOL tanto no final de avaliação do CAR quanto no abate avaliado na carcaça, evidenciando que os animais mais lucrativos possuem maior AOL ($P < 0,05$).

De acordo com Nascimento (2011) que também observou maior associação de AOL e lucro, os animais que possuem uma maior deposição de tecido muscular estão associados à maior lucratividade, devido à maior eficiência energética para deposição de músculo em detrimento à deposição de tecido adiposo.

Tabela 19 - Coeficientes de correlação parcial entre características de lucro, desempenho, consumo, eficiência, composição da carcaça de novilhos Nelore (N=82).

	Lucro	PVF	CMS	GPD	CA	CAR	CGR	AOLc	AOLa	EGSc	EGSa	EE	GT	Texp
Lucro		0,283†	0,010	0,607**	-0,812**	-0,448**	0,724**	0,278†	0,237†	0,223	0,077	-0,127	-0,204	-0,262†
PVF	„	„	0,680**	0,732**	-0,271†	-0,050	0,199	0,239†	0,390*	0,137	0,203	-0,244†	0,125	0,020
CMS	„	„	„	0,611**	0,125	0,665**	-0,404*	0,108	0,085	0,333*	0,329*	-0,263†	0,183	-0,385*
GPD	„	„	„	„	-0,638**	0,010	0,402*	0,372*	0,266†	0,309*	0,249†	-0,247†	0,054	-0,213
CA	„	„	„	„	„	0,582**	-0,904**	-0,333*	-0,221	-0,098	-0,023	-0,025†	0,060	-0,086
CAR	„	„	„	„	„	„	-0,858**	-0,111	-0,271†	0,185	0,172	-0,078	0,204	-0,367*
CGR	„	„	„	„	„	„	„	0,272†	0,273†	-0,030	-0,083	0,035	-0,144	0,258†
AOLc	„	„	„	„	„	„	„	„	-0,019	0,029	-0,113	0,025	0,029	0,089
AOLa	„	„	„	„	„	„	„	„	„	-0,113	-0,101	-0,126	-0,044	0,096
EGSc	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	0,714**	-0,163	-0,084	-0,413*
EGSa	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	-0,110	-0,099	-0,292†
EE	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	-0,042	0,268†
GT	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	„	0,129

P>0,05; †P<0,05; *P<0,01; **P<0,0001. Lucro (R\$/dia); PVF - peso vivo final (kg); CMS - consumo de matéria seca (kg/dia); GPD - ganho de peso (kg/dia); CA - conversão alimentar; CAR - consumo alimentar residual (kg de MS/dia); CGR - consumo e ganho residual; AOLa - área de olho de lombo abate (cm²), AOLc - área de olho de lombo no período de avaliação do CAR (cm²); EGSa - espessura de gordura subcutânea (mm) final abate; EE - extrato etéreo intramuscular (%) no período de avaliação do CAR; GT - gordura interna total (kg), Texp=tempo de experimento

4.8 Animais Top 10% mais eficientes

Baseado nos resultados deste estudo foi selecionado os 10% animais mais eficientes de acordo com CAR, GR e CGR. , Os animais ranqueados de acordo com CGR apresentaram valores intermediários em relação ao CMS, GPD e tempo de experimento quando comparado ao CAR e CGR (Tabela 20).

Tabela 20 - Estatística descritiva para as características de desempenho, carcaça, vísceras, batimentos cardíacos e lucratividade dos animais 10% mais eficientes ranqueados de acordo com CAR, GR e CGR

Características	TOP 10		
	CAR (N=8)	GR (N=8)	CGR (N=8)
CAR, kg/dia ¹	-1,17	-0,405	-0,923
GR, kg/dia ²	0,171	0,357	0,282
CGR ³	2,61	2,35	2,77
Tempo experimento, dias	110	107	108
GPD, kg/dia	1,66	1,96	1,80
PVMM, kg ^{0,75}	80,6	79,0	79,4
CMS, kg	7,75	8,76	8,06
CMSpv, %	2,22	2,57	2,35
CA	4,67	4,46	4,46
EGS final, mm	5,30	4,33	4,50
EGS ganho, mm	2,56	2,03	1,92
AOL final, cm ²	53,4	53,6	56,0
AOL ganho, cm ²	11,4	12,9	12,9
Fígado, kg/kg carcaça	1,93	1,96	1,87
Coração, kg/kg carcaça	0,573	0,575	0,569
Rim, kg/kg carcaça	0,308	0,311	0,304
GT, kg/kgcarcaça ⁴	6,08	5,73	6,00
Batimentos/minuto	91,5	105,8	89,9
Lucro, R\$/@	25,0	27,6	27,5

¹Consumo alimentar residual; ² Ganho residual; ³Consumo e ganho residual; ⁴Gordura interna total.

Os animais ranqueados de acordo com GR consumiram mais alimentos diariamente, enquanto os animais do CAR consumiram menos e do CGR apresentaram consumos intermediários. Ao contrário, os animais ranqueados de acordo com GR ganharam mais peso, enquanto os do CAR ganharam menos e do CGR apresentaram ganhos intermediários. Esses resultados foram similares em

outros estudos que ranquearam os 10% top animais de acordo com CAR, CGR e GR (BERRY; CROWLEY, 2011; COSTA; SILVA et al., 2013).

Esse comportamento também pode ser observado nas Figuras 11 e 12 em que os animais 10% mais eficientes são destacados no gráfico. Na Figura 11 está representado a comparação entre o consumo de matéria seca predito e consumo de matéria seca observado dos 84 animais, sendo que estão destacados os 10% animais (N=8) mais eficientes para consumo alimentar residual (Top CAR), 10% animais (N=8) mais eficientes para ganho residual (Top GR) e 10% animais (N=8) mais eficientes para consumo e ganho residual (Top CGR).

Figura 11 - Comparação do consumo de matéria seca predito e consumo de matéria observada (N= 82). Top CAR - animais 10% mais eficientes (N=8) para consumo alimentar residual; Top GR - 10% mais eficientes (N=8) para ganho residual; Top CGR - 10% mais eficientes (N=8) para consumo e ganho residual

Enquanto na Figura 12 está representado a comparação entre o ganho de peso diário predito e ganho de peso diário observado (regressão) dos 84 animais, sendo que estão destacados os 10% animais (N=8) mais eficientes para consumo alimentar residual (Top CAR), 10% animais (N=8) mais eficientes para ganho residual (Top GR) e 10% animais (N=8) mais eficientes para consumo e ganho residual (Top CGR).

Figura 12 - Comparação do ganho de peso diário predito e ganho de matéria seca observado (N=82). Top CAR - animais 10% mais eficientes (N=8) para consumo alimentar residual; Top GR - 10% mais eficientes (N=8) para ganho residual; Top CGR - 10% mais eficientes (N=8) para consumo e ganho residual

Adicionalmente AOL final apresentou-se maior para CGR em relação ao CAR e GR, mostrando mais uma vez que o CGR pode selecionar animais com maior rendimento de carcaça. Além disso, os animais ranqueados de acordo com GR apresentaram maiores valores para FRC e para vísceras representados pelo fígado coração e rins, enquanto os animais CGR apresentaram menores valores e CAR valores intermediários.

Como mostrou a correlação de lucratividade entre as variáveis os animais selecionados para CAR apresentarem lucro menor de R\$2,00/@ em relação aos animais top GR e CGR, já que o CAR não está relacionado com o ganho de peso e esta é a característica que mais afeta a lucratividade dos animais.

5 CONCLUSÕES

Aumentos na eficiência, expressos tanto pelo índice CAR quanto CGR, resultam em carcaças com maior área de olho de lombo, indicando uma alteração na composição corporal com aumento do teor de proteína do ganho.

Consistente com o aumento de tecido magro, à medida que melhora a eficiência dos animais para CAR ocorre uma diminuição nos teores de gordura interna. Contudo não há redução na espessura de gordura subcutânea.

Os animais eficientes quanto ao CGR apresentam maior peso vivo final, e, portanto a utilização desse parâmetro de eficiência deve considerar esta associação.

A produção de calor, estimada pela metodologia da composição do ganho, é maior nos animais ineficientes para os dois índices avaliados (CAR e CGR). Entretanto, quando a PC é estimada pela metodologia do O₂P não se observa o mesmo efeito.

Animais mais eficientes quanto ao CAR e CGR são mais lucrativos, demonstrando um potencial de redução de custos para a indústria da carne bovina. Ficou demonstrado que o lucro apresenta maior correlação com o CGR do que com o CAR.

REFERÊNCIAS

- ABRIL, M.; CAMPO, M.M.; ÖNENÇ, A.; SAÑUDO, C.; ALBERTI, P.; NEGUERUELA, A.I. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. **Meat Science**, Barking, v. 58, p. 69-78, 2001.
- ABULARACH, M.L.S.; ROCHA, C.E.; FELÍCIO, P.E. Características de qualidade do contrafilé (m. *L. dorsi*) de touros jovens da raça Nelore. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 205-210, 1998.
- AHARONI, Y.; BROSH, A.; EZRA, E. Effects of heat load and photoperiod on milk yield and composition in three dairy herds in Israel. **Animal Science**, Liverpool, v. 69, p. 37-47, 1999.
- AHARONI, Y.; BROSH, A.; HARARI, Y. Night feeding for high-yielding dairy cows in hot weather: effects on intake, milk yield and energy expenditures. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 92, p. 207-219, 2005.
- AHARONI, Y.; BROSH, A.; KAFCHUK, E. The efficiency of utilization of metabolizable energy for milk production: a comparison of Holstein with F1 Montbeliarde X Holstein cows. **Animal Science**, Liverpool, v. 82, p. 101-109, 2006.
- AHARONI, Y.; BROSH, A.; KOURILOV, P.; ARIELI, A. The variability of the ratio of oxygen consumption to heart rate in cattle and sheep at different hours of the day and under different heat load conditions. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 79, p. 107-117, 2003.
- AHOLA, J.K.; SKOW, T.A. ; HUNT, C.W.; HILL, R.A. Relationship between residual feed intake and end product palatability in longissimus steaks from steers sired by Angus bulls divergent for intramuscular fat expected progeny difference. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v. 27, p. 109-115, 2011.
- ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005. 181 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- AMERICAN OIL CHEMISTRYS SOCIETY. **Official procedures of the American Oil Chemists Society**. Approved Procedure Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. Urbana, 2005. 2 p.
- ARCHER, J.A.; BERGH, L. Duration of performance tests for growth rate, feed intake and feed efficiency in four biological types of beef cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 65, p. 47-55, 2000.
- ARCHER, J.A.; RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Science**, Collingwood, v. 50, p. 147-161, 1999.

ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; PARNELL, P.F.; PITCHFORD, W.S. Optimum post weaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 75, p. 2024-2032, 1997.

ARIELI, A.; KALOUTI, A.; AHARONI, Y.; BROSH, A. Assessment of energy expenditure by daily heart rate measurement: validation with energy accretion in sheep. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 78, p. 99-105, 2002.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M. Feed intake and efficiency in beef cattle: overview of recent Australian research and challenges for the future. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 44, p. 361-369, 2004.

ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; ARCHER, J.A. Should measures of body composition be included in the model for residual feed intake in beef cattle. In: ASSOCIATION ADVANCEMENT ANIMAL BREEDING GENETICS, 2003, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: Livestock Library, 2003. p. 306-309.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M.; MELVILLE, G.J. Response to selection for net feed intake in beef cattle. In: ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS, 14., 2001, Queenstown. **Proceedings...** Queenstown: Livestock Library, 2001a. p. 135-138.

ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; JOHNSTON, D.J.; RICHARDSON, E.C.; PARNELL, P.F. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency and other post weaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 79, p. 2805-2811, 2001b.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18th ed. Gaithersburg, 2006. 3000 p.

ANDREWS, R.B. Net heart rate as a substitute for respiratory calorimetry. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 24, p. 1139-1147, 1971.

BAKER, S.D.; SZASZ, J.I.; KLEIN, T.A.; KUBER, P.S. Residual feed intake of purebred Angus steers: effects on meat quality and palatability. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p. 938-945, 2006.

BAREA, R.; DUBOIS, S.; GILBERT, H.; SELLIER, P.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, p. 2062-2072, 2010.

BARROS, G.C.; VIANNI, M.C.E. **Tecnologia aplicada às carnes bovina, suína e de aves, da produção ao consumo**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1979. 116 p.

BARWICK, S.A.; WOLCOTT, M.L.; JOHNSTON, D.J.; BURROW, H.M.; SULLIVAN, M.T. Genetics of steer daily and residual feed intake in two tropical beef genotypes, and relationships among intake, body composition, growth and other post-weaning measures. **Animal Production Science**, Collingwood, v. 49, p. 351-366, 2009.

BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; AALHUS, J.L.; OKINE, E.K.; SNELLING, W.M.; LYLE, K.L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, p. 189-204, 2003.

BERRY, D.P. Improving feed efficiency in cattle with residual feed intake. In: GARNSWORTHY, P. (Ed.). **Recent advances in animal nutrition**. Nottingham: University of Nottingham Press, 2008. P. 67-99.

BERRY, D.P.; CROWLEY, J.J. Residual intake and gain; a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 90, p. 109-115, 2012.

_____. Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 91, p.1594-613, 2013.

BISHOP, M.D.; DAVIS, M.E.; HARVEY, W.R.; WILSON, G.R.; Van STAVERN B.D. Divergent selection for post weaning feed conversion in Angus beef cattle: II. Genetic and phenotypic correlations and realized heritability estimate. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 69, p. 4360-4367, 1991.

BONILHA, S.F.M.; BRANCO, R.H.; CORVINO, T.L.S.; ALLEONI, G.F.; FIGUEIREDO, L.A.; RAZOOK, A.G. Relationships between residual feed intake and internal organs of Nelore bulls. In: JOINT ANNUAL MEETING ASAS, 2009, Quebec. **Proceedings..** Quebec: ASAS; ADSA, 2009. p. 295-295.

BRADFIELD, R.B.; CHAN, H.; BRADFIELD, N.E.; PAYNE, P.R. Energy expenditure and heart rates of Cambridge boys at school. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 24, p. 1461-1466, 1971.

BRANCO, R.H.; RAZOOK, A.G.; FIGUEIREDO, L.A.; LANNA, D.P.D.; TROVO, J.B.F.; BONILHA, S.F.M.; BONILHA NETO, L.M. Avaliação do consumo alimentar residual de fêmeas Nelore submetidas à seleção para peso pós-desmame. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008. Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 2008. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil projeções do agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. Brasília, 2012. 51p.

BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 1213-1227, 2007.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; SHARGAL, E.; SHARIR, B.; GUTMAN, M.; CHOSHNIAK, I. Energy balance of grazing beef cattle in Mediterranean pasture, the effects of stocking rate and season. 2. Energy expenditure as estimated from heart rate and oxygen consumption, and energy balance. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 90, p. 101–115, 2004.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; DEGEN, A.; WRIGHT, D.; YOUNG, B.A. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 3054–3064, 1998a.

_____. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 2671-2677, 1998b.

BROSH, A.; AHARONI, Y.; HOLZER, Z. Energy expenditure estimation from heart rate: Validation by long-term energy balance measurement in cows. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 77, p. 287–299, 2002.

CARSTENS, G.E.; JOHNSON, D.E.; JOHNSON, K.A.; HOTOVY, S.K.; SZYMANSKI, T.J. Genetic variation in energy expenditures of monozygous twin beef cattle at 9 and 20 months of age. In: ENERGY METABOLISM OF FARM ANIMALS SYMPOSIUM, 11., 1989, Luterén. **Proceedings...** p. 312-315. Pudoc: Wageningen, 1989. (EAAP Publication, 43).

CARSTENS, G.; TEDESCHI, L. Defining feed efficiency in beef cattle. In: BEEF IMPROVEMENT FEDERATION BOARD OF DIRECTORS. **2005–2006**. Raleigh, 2006. P. 12-21.

CARSTENS, G.E.; THEIS, C.M.; WHITE, M.B.; WELSH JR, T.H.; WARRINGTON, B.G.; MILLER, R.K.; RANDEL, R.D.; FORBES, T.D.A.; LIPPKE, H.; GREENE, L.W.; LUNT D.K. Relationships between net feed intake and ultrasound measures of carcass composition in growing beef steers. **Beef Cattle Research in Texas**, Kleberg, v. 75, n. 3, p. 31-34, 2002.

CASTILHOS, A.M.; BRANCO, R.H.; RAZOOK, A.G.; BONILHA, S.F.M.; MERCADANTE, M.E.Z.; FIGUEIREDO, L.A. Test post-weaning duration for performance, feed intake and feed efficiency in Nelore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 2, p. 301-307, 2011.

CASTRO BULLE, F.C.; PAULINO, F.C.P.; 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**, Savoy, v. 85, p. 928-936, 2007.

CEESAY, S.M.; PRENTICE, A.M.; DAY, K.C.; MURGATROYD, P.R.; GOLDBERG, G.R.; SCOTT, W.; SPURR, G.B. The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 61, p. 175–186, 1989.

CHIZZOTTI, M.L.; PAULINO, P.V.R.; VALADARES FILHO, S.C. Possibilidade do uso de ultrasonografia para estimação da composição corporal de bovinos. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 2008. 1 CD-ROM.

CLOSE, W.H. The evaluation of feedstuffs through calorimetry studies. In: WISEMAN, J., COLE, D.J.A. (Ed.). **Feedstuffs evaluation**. London: Butterworths, 1990. p. 21–39.

CORBETT, J.L.; FARRELL, D.J.; LENG, R.A.; MCCLYMONT, G.L.; YOUNG, B.A. Determination of energy expenditure of penned and grazing sheep from estimates of carbon dioxide entry rate. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.26, p. 277–291, 1971.

COSTA E SILVA, L.F.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E.; ROTTA, P.P.; ZANETTI, D.; VILLADIEGO, F.A.C.; PELLIZZONI, S.G.; PEREIRA, R.F.G. Performance, growth, and maturity of Nelore bulls. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 45, p. 795–803, 2013.

CREWS, D.H. Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: a review. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 4, p. 152–165, 2005.

_____. The genetics of feed efficiency in beef cattle. In: BEEF IMPROVEMENT FEDERATION BOARD OF DIRECTORS. **2005–2006**. Raleigh, 2006. p. 22–30.

CREWS JR., D.H.; SHANNON, N.H.; GENSWEIN, B.M.A.; CREWS, R.E.; JOHNSON, C.M.; KENDRICK, B.A. Genetic parameters for net feed efficiency of beef cattle measured during post weaning growing versus finishing periods. **Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science**, Savoy, v. 54, p. 125–128, 2003.

CROWLEY, J.J.; MCGEE, M.; KENNY, D.A.; CREWS, D.H.; EVANS JR., 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**, Savoy, v. 88, p. 885–894, 2010.

CRUZ, G.D.; RODRIGUEZ-SANCHEZ, J.A.; OLTJEN, J.W.; SAINZ, R.D. Performance, residual feed intake, digestibility, carcass traits, and profitability of Angus-Hereford steers housed in individual or group pens. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, p. 324–329, 2010.

CULLER, R.D.; PARRISH, F.C.; SMITH, G.C.; CROSS, H.R. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal of Food Science**, New York, v. 43, p. 1177–1180, 1978.

DEL CLARO, A.C. **Avaliação do consumo alimentar residual de bovinos Nelore dentro e entre grupos contemporâneos**. 2010. 68 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Instituto de Zootecnia APTA/SAA, Nova Odessa, 2010.

DINIZ, L.L.; VALADARES FILHO, S.C.; CAMPOS, J.M.S.; VALADARES, R.F.D.; SILVA, L.D.; MONNERAT, J.P.L.S.; BENEDETI, P.B.; DE OLIVEIRA, A.S.; PINA, D.S. Effects of castor meal on the growth performance and carcass characteristics of beef cattle. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, Seul, v. 23, p. 1308–1318, 2010.

FANCY, S.G.; BLANCHARD, J.M.; HOLLEMAN, D.F.; KOKJER, K.J.; WHITE, R.G. Validation of doubly labeled water method using a ruminant. **American Journal of Physiology**, Bethesda, v. 251, p. 143-149, 1986.

FARJALLA, Y.B. **Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore estratificados pela eficiência alimentar através do consumo alimentar residual**. 2009. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FELÍCIO, P.E. Qualidade da carne bovina: características físicas e organolépticas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. 1 CD-ROM.

FERNANDES, A.R.M.; SAMPAIO, A.A.M.; WIGNEZ, H.; OLIVEIRA, E.A.; OLIVEIRA, R.V.; LEONEL, F.R. Composição em ácidos graxos e qualidade da carne de tourinhos Nelore e Canchim alimentados com dietas à base de cana-de-açúcar e dois níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 328-337, 2009.

FERRANNINI, E. The theoretical basis of indirect calorimetry: a review. **Metabolism**, Pisa, v.37, p. 287–301, Mar. 1988.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 58, p. 234–243, 1984.

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

FRISCH, J.E.; VERCOE, J.E. An analysis of growth of different cattle genotypes reared in different environments. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 103, p. 137-153, 1984.

GARRETT, W.N.; HINMAN, N. Re-evaluation of the relationship between carcass density and composition of beef steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 28, p. 1-5, 1969.

GBUR, E.E. **Analysis of generalized linear mixed models in the agricultural and natural resources sciences**. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America; Crop Science Society of America, 2012. 283 p. Disponível em: <http://books.google.com.br/books/about/Analysis_of_Generalized_Linear_Mixed_Model.html?id=MR9FLGK0jboC&redir_esc=y>. Acesso em : 05 jun. 2013.

GOMES, R.C.; SAINZ, R.D.; LEME, P.R. Protein metabolism, feed energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in Nellore steers with high and low residual feed intake. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 42, n. 1, p. 44-50, 2013.

GOMES, R.C.; SAINZ, R.D.; SILVA, S.L.; CESAR, M.C.; BONIN, M.N.; LEME, P.R. 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**, Amsterdam, v. 150, p. 265–273, 2012.

HAFLA, A.N. **Examining mechanisms contributing to the biological variation of residual feed intake in growing heifers and bulls and in mid-gestation females**. 2012. 132 p. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Texas A&M University, College Station, Texas, 2012.

HEGARTY, R.S.; GOOPY J.P.; HERD, R.M.; McCORKELL B. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 1479, 2007.

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.; PITCHFORD, W.S. Residual feed intake selection makes cattle leaner and more efficient. **Recent Advances in Animal Nutrition**, Armidale, v. 18, p. 45-58, 2011.

HERD, R.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: opportunity and challenges to application. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 81, p. 9-17, 2003.

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

HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; HEGARTY, R.S.; WOODGATE, R.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Pasture intake by high versus low net feed efficient Angus cows. **Animal Production**, Cambridge, v. 22, p. 137-140, 1998.

HILL, R.A. **Feed efficiency in the beef industry**. Ames: John Wiley, 2012. 311 p.

HILL, R.A.; HERD, R.M. Variation in the endocrine system that might influence feed efficiency. In: FEED EFFICIENCY IN BEEF CATTLE. PROCEEDINGS OF THE FEED EFFICIENCY WORKSHOP, 2003, Armidade. **Proceedings...** Armidade: University of New England, 2003. p. 51-54.

HOPKINS, D.L.; LITTLEFIELD, P.J.; THOMPSON, J.M. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. **Meat Science**, Barking, v. 56, p. 19-22, 2000.

HOTOVY, S.K.; JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E.; CARSTENS, G.E.; BOURDON, R.M.; SIEDEL, G.E. Variation among twin beef cattle in maintenance energy requirements. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 69, p. 940–946, 1991.

HUFFMAN, K.L.; MILLER, M.F.; HOOVER, L.C.; WU, C.K.; BRITTIN, A.H.C.; RAMSEY, C.B. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 74, p. 91–97, 1996.

JENSEN, J.; MAO, I.L.; ANDERSEN, B.B.; MADSEN P. Phenotypic and genetic relationships between residual energy intake and growth, feed intake, and carcass traits of young bulls. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 70, p. 386-395, 1992.

KELLNER, O. **The scientific feeding of animals**. New York: MacMillan, 1909. 404 p.

KELLY, A.K.; MCGEE, M.; CREWS JR., D.H.; LYNCH, C.O.; WUYLIE, A.R.; EVANS, R.D.; KELLY, A.K. Relationship between body measurements, metabolic hormones, metabolites and residual feed intake in performance tested pedigree beef bulls. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 135, p. 8–16, 2011.

KLEIBER, M. Problems involved in breeding for efficiency of food utilization. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 1936, p. 247-258, 1936.

_____. **The fire of life: an introduction to animal energetics**. New York: Wiley, 1961. 454 p.

KNOTT, S.A.; CUMMINSB, L.J.; DUNSHEA, F.R.; LEURY, B.J. Feed efficiency and body composition are related to cortisol response to adrenocorticotropin hormone and insulin-induced hypoglycemia in rams. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 39, p. 137-146, 2010.

_____. Rams with poor feed efficiency are highly responsive to an exogenous adrenocorticotropin hormone (ACTH) challenge. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 34, p. 261-268, 2008.

KOCH, R.M.; SWINGER, L.A.; CHAMBERS, GREGORY, D.K.E. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 22, p. 486-494, 1963.

LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E.; RIBEIRO, F.R.B.; TEDESCHI, L.O.; CREWS, D.H. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass characteristics in growing bulls. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 87, p. 1528-1539, 2009a.

LANCASTER, P.A.; SCHILLING, B.R.; CARSTENS, G.E.; BROWN, E.G.; CRAIG, T.M.; LUNT, D.K. Correlations between residual feed intake and carcass traits in finishing steers administered anthelmintic treatments. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, p. 263, 2005.

LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E.; CREWS, D.H.; WELSH JR., T.H.; FORBES, T.D.A.; FORREST, D.W.; TEDESCHI, L.O.; RANDEL, R.D.; ROUQUETTE, F.M. Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass characteristics of Brangus heifers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 87, p. 3887-3896, 2009b.

LANNA, D.P.D.; ALMEIDA, R. Exigências nutricionais e melhoramento genético para eficiência alimentar: experiências e lições para um projeto nacional. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. p. 248-259.

LANNA, D.P.D.; CALEGARE, L.; ALMEIDA, R.; BERNDT, A. Conversão alimentar: eficiência econômica de vacas de corte de raças puras e cruzadas. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE, 3., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. p. 87-110.

LAWRIE, R.A. **Ciência da carne**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 384 p.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v. 57, p. 347-358, 1996.

LIU, M.F.; GOONEWARDENE, L.A.; BAILEY, D.R.C.; BASARAB, J.A.; KEMP, R.A.; ARTHUR, P.F.; OKINE, E.K.; MAKARECHIAN, M. A study on the variation of feed efficiency in station tested beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 80, p. 435-441, 2000.

LIVINGSTONE, M.B.E. Heart-rate monitoring: The answer for assessing energy expenditure and physical activity in population studies. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 78, p. 869-871, 1997.

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 27, p. 793, 1968.

LUCILA SOBRINHO, T.; BRANCO, R.H.; BONILHA, S.F.M.; CASTILHOS, A.M.; FIGUEIREDO, L.A.; RAZOOK, A.G.; MERCADANTE, M.E.Z. Residual feed intake and relationships with performance of Nellore cattle selected for post weaning weight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 4, p. 929-937, 2011.

LUITING, P.; URFF, E.M.; VESTERGEN, M.W.A. Between animal variations in biological efficiency as related to residual feed consumption. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Netherlands, v. 42, p. 59-67, 1994.

MANCINI, R.A. ; HUNT, M.C. Current research in meat color. **Meat Science**, Barking, v. 71, p. 100-121, 2005.

McCRORY, M.A.; MOLE, P.A.; NOMMSEN-RIVERS, L.A.; DEWEY, K.G. Between-day and within-day variability in the relation between heart rate and oxygen consumption: effect on estimation of energy expenditure by heart-rate monitoring. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 66, p. 18–25, 1997.

McDONAGH, M.B.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; ODDY, V.H.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Meat quality and the calpain system of feedlot steers following a single generation of divergent selection for residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 41, p. 1013-1021, 2001.

MOHAMMAD, A.I.; BEKHIT, A.E.; BICKERSTAFFE, R. The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain III during post mortem. **Meat Science**, Barking, v. 66, p. 387-397, 2004.

MONTAÑO-BERMUDEZ, M.; NIELSEN, M.K.; DEUTSCHER, G.H. Energy requirements for maintenance of crossbred beef cattle with different genetic potential for milk. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 68, p. 2279-2288, 1990.

MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P.E.; HUGO, A.; RAATS, J.G. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: a review. **Food Chemistry**, Barking, v. 112, n. 2, p. 270-289, 2009.

NAGY, K.A. Field bioenergetics: accuracy of models and methods. **Physiological Zoology**, Chicago, v. 62, p. 237-251, 1989.

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**. 6th ed. Washington: National Academic Press, 1984. 90 p.

_____. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington: National Academic Press, 1996. 244 p.

NICOL, A.M.; YOUNG, B.A. Short-term thermal and metabolic responses of sheep to ruminal cooling: effects of level of cooling and physiological state. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 70, p. 833-843, 1990.

NKRUMAH, J.D.; BASARAB, J.A.; WANG, Z.; LI, C.; PRICE, M.A.; OKINE, E.K.; CREWS, D.H.; MOORE, S.S. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and different measures of feed efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, p. 2711–2720, 2007.

NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; WANG, Z.; MOORE, S.S. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behaviour with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p. 145–153, 2006.

NKRUMAH, J.D.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; OKINE, E.K.; AMMOURA, A.; GUERCIO, S.; HANSEN, C.; LI, C.; BENKEL, B.; MURDOCH, B.; MOORE, S.S. Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 82, p. 2451-2459, 2004.

NUÑEZ, A.J.C.; ALMEIDA, R. de; LANNA, D.P.D. Correlações fenotípicas entre lucro e variáveis de desempenho em confinamentos de bovinos de corte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 13., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2005. Disponível em: <<http://www.usp.br/siicusp>>. Acesso em: 29 abr. 2013.

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.

PAYNE, P.R.; WHEELER, E.F.; SALVOSA, C.B. Prediction of daily energy expenditure from average pulse rate. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 24, p. 161-170, 1971.

PFLANZER, S.B.; DIAS, M.P.; FELÍCIO, P.E. Efeito do pH final na força de cisalhamento e na perda de peso por cocção da carne de touros jovens Nelore e Cruzados F1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE CARNES, 2009, São Paulo. **Anais...** Campinas : CTC; ITAL, 2009. p. 124-127.

RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias.** Viçosa: Ed. UFV, 2007. 559 p

REID, J.T.; BENSADOUN, A.; BULL, L.; GLEESON, P.A.; HAN, I.K.; YOO, Y.D.; JOHNSON, D.E.; McMANUS, W.R.; PALADINES, O.L.; STROUD, J.H.; TYRRELL, H.F.; VAN NIEKERK, B.D.H.; WELLINGTON, G.W. Some peculiarities in the body composition of animals. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Body composition in animal and man.** Washington: National Academy Press, 1968. p. 19-44.

RETALLICK, K. **Evaluation of feedlot feed efficiency relationships as well as genetic and phenotypic performance, carcass, and economic outcomes.** 2013. 102 p. Dissertation (PhD in Animal Sciences) – University of Illinois, Urbana-Champaign, 2013. Disponível em: <<https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/42433>>. Acesso em: 16 maio 2013.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 44, p. 431-440, 2004.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARCHER, J.A.; WOODGATE, R.T.; ARTHUR, P.F. Steers bred for improved net feed efficiency eat less for the same feedlot performance. **Animal Production in Australia**, Melbourne, v. 22, p. 213–216, 1998.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; COLDITZ, I.G.; ODDY, V.H.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. **Red cell profiles of angus steers selected for and against residual feed intake**. Disponível em: <<http://www.globethics.net/web/asian-australasian-journal-of-animal-sciences>>. Acesso em: 16 maio 2013.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ODDY, V.H.; THOMPSON, J.M.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 41, p. 1065–1072, 2001.

RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F.; WRIGHT, J.; XU, G.; DIBLEY, K.; ODDY, V.H. Possible physiological indicators for net feed conversion efficiency in beef cattle. **Australian Society of Animal Production**, Wagga Wagga, v. 21, p. 103-106, 1996.

ROBINSON, D.L.; ODDY, V.H. Genetic parameters for feed efficiency, fatness, muscle area and feeding behaviour of feed lot finished beef cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 90, n. 2/3, p. 255-270, 2004.

ROÇA, R.O. **Modificações pós-morte da carne**. 2001. Disponível em: <<http://pucrs.campus2.br/~thompson/Roca105.pdf>> Acesso em: 05 fev. 2013.

RODRIGUEZ, N.M.; CAMPO, W.E.; LACHICA, M.L.; BORGE, I.; GONÇALVE, L.C.; BORGES, A.L.C.C.; SALIBA, E.O.S. A calorimetry system for metabolism trials. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 2, p. 495-500, 2007.

ROLFE, K.; NIELSEN, M.K.; FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. **Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and other traits in growing beef cattle**. Nebraska Beef Cattle Reports, 2010. (Paper, 583). Disponível em: <<http://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/583>>. Acesso em: 18 fev. 2013.

RUBENSAM, J.M.; FELÍCIO, P.E.; TERMIGNONI, C. Influência do genótipo *Bos indicus* na atividade da calpastatina e na textura da carne de novilhos abatidos no sul do Brasil. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 405-409, 1998.

RUSSEL, A.J.F.; WRIGHT, I.A. Factors affecting maintenance requirements of beef cows. **Animal Production**, Cambridge, v. 37, p. 329 -334, 1983.

SAINZ, R.D.; CRUZ, G.D.; MONTEIRO, R.B.; RODRIGUEZ, J.A.; MONTEIRO, D.B.; GUIDI, V.; ANARUMA, R.J. Carcass composition and visceral organs are similar at harvest in low-and high-residual feed intake groups of Angus-Hereford steers. In: NATIONAL ANIMAL SCIENCE MEETINGS, 2006, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: American, Western Section, 2006. p. 217-218.

SANTANA, M.H.A.; ROSSI JR., P.; ALMEIDA, R.; CUCCO, D.C. Feed efficiency and its correlations with carcass traits measured by ultrasound in Nellore bulls. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 145, p. 252–257, 2012.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: guide of personal computers; version 9.2. Cary, 2009. v. 1.

SCHENKEL, F.S.; MILLER, S.P.; WILTON, J.W. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, p. 177-185, 2004.

SOUZA, A.R.D.L. **Relações entre eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade de carne de Novilhos Nelore confinados**. 2012. 86 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SUNDSTROM, B. **Net feed intake**: a feed efficiency measure (Now with IGF-1). 2004. Disponível em: <http://www.angusaustralia.com.au/netfeed_intakeebvs.htm> Acesso em: 20 jan. 2013.

SWANSON, K.; MILER, S. Factors regulating feed efficiency and nutrient utilization in beef cattle. In: FRANCE, J.; KEBREAB, E. **Mathematical modeling animal nutrition**. Cambridge: CAB International, 2008. p. 419-441.

TAYLOR, C.R.; HEGLUND, N.C.; MALOIY, G.M.O. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion as a function of speed and body size in birds and mammals. **Journal Experimental Biology**, London, v. 97, p. 1-21, 1982.

TAYLOR, ST. C.S.; THIESSEN, R.B.; MURRAY, J. Inter-breed relationship of maintenance efficiency to milk yield in cattle. **Animal Production**, Cambridge, v. 43, p. 37-61, 1986.

TAYLOR, ST. C.S.; TURNER, H.G.; YOUNG, G.B. Genetic control of equilibrium maintenance efficiency in cattle. **Animal Production**, Cambridge, v. 33, p. 179–194, 1981.

TREJO, C.O.; FAULKNER, D.; DAHLQUIST, J.M.; NASH, T.G. Influence of residual feed intake, breed of sire and dam on the performance and carcass characteristics of early weaned steers during the feedlot phase. In: NATIONAL ANIMAL SCIENCE MEETINGS, 2010, Denver. **Proceedings...** Denver: American, Western Section, 2010. p. 685-685.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Corvallis: O & Books, 1982. 476 p.

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.

WANG, Z.; NKRUMAH, J.D.; LI, C.; BASARAB, J.A.; GOONEWARDENE, L.A.; OKINE, E.K.; CREWS, D.H.; MOORE JR., S.S. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 84, p. 2289-2298, 2006.

WARNOLD, L.; LENNER, R.A. Evaluation of the heart rate method to determine the daily energy expenditure in disease: a study in juvenile diabetics. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 30, p. 304-315, 1977.

WEBSTER, A.J. Continuous measurement of heart rate as an indicator of the energy expenditure of sheep. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 21, p. 769–785, 1967.

WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, N.R. St. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 39, p. 95-110, 1992.

WELCH, C.M.; AHOLA, J.K.; HALL, J.B.; MURDOCH, G.K.; CREWS JR, D.H. ; DAVIS, L.C; DOUMIT, M.E.; PRICE, W.J.; KEENAN, L.D.; HILL, R.A. Relationships among performance, residual feed intake, and product quality of progeny from Red Angus sires divergent for maintenance energy EPD. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 90, p. 5107-5117, 2012.

WHEELER, T.L.; KOOMARIE, M.; SHALCKELFORD, S.D. **Standardized Warner-Bratzler shear force procedures for meat tenderness measurement**. 2005.

Disponível em:

<<http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/protocols/ShearForceProcedures.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

YAMAMOTO, S. Estimation of heat production from heart rate measurement of free living farm animals. **Ibaraki**, v. 23, p. 134-143, 1989. Disponível em: <<http://journalseek.net/cgi-bin/journalseek/journalsearch.cgi?field=issn&query=0021-3551>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

YAMAMOTO, S.; MCLEAN, J.A.; DOWNIE, A.J. Estimation of heat production from heart rate measurements in cattle. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 42, p. 507-513, 1979.

YOUNG, B.A.; WEBSTER, M.E.D. A technique for the estimation of energy expenditure in sheep. **Australian Journal Agriculture Research**, Melbourne, v. 14, p. 867-873, 1963.

ZAMANI, P.; MIRAEI-ASHTIANI, S.R.; MOHAMMADI, H. Genetic parameters of residual energy intake and its correlations with other traits in Holstein dairy cattle. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Science**, Cambridge, v. 32, p. 255-261, 2008.

ZINN, A.; SHEN, Y.A. An evaluation of ruminal degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, n.5, p. 1280-1289, 1998.

ZORZI, K.; BONILHA, S.F.M.; QUEIROZ, A.C.; BRANCO, R.H.; LUCILA SOBRINHO, T.; DUARTE, M.S. Meat quality of young Nellore bulls with low and high residual feed intake. **Meat Science**, Barking, v. 93, p. 593–599, 2013.