

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

RODRIGO DA COSTA GOMES

Metabolismo protéico, composição corporal, características de
carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore (*Bos indicus*)
em função de seu consumo alimentar residual

Pirassununga

2009

RODRIGO DA COSTA GOMES

Metabolismo protéico, composição corporal, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore (*Bos indicus*) em função de seu consumo alimentar residual

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Leme

Pirassununga

2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo

G633m Gomes, Rodrigo da Costa
Metabolismo protéico, composição corporal,
características de carcaça e qualidade de carne de
novilhos Nelore (*Bos indicus*) em função de seu consumo
alimentar residual / Rodrigo da Costa Gomes. --
Pirassununga, 2009.
93 f.
Tese (Doutorado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Zootecnia.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade
Animal.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Leme.

1. Calpastatina 2. Gado de corte 3. Eficiência
alimentar 3. Consumo alimentar líquido 4. Maciez
5. Reciclagem protéica. I. Título.

DEDICATÓRIA

"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar."

(Anatole France)

*Aos meus amados pais, Jandir e Marina, e
a meu amado irmão, Júnior.*

*Fontes de amor, exemplos de caráter e de
dedicação.*

*Que sempre acreditaram no meu
propósito e me permitiram sonhar.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aqui expresso gratidão a todos aqueles com quem pude contar direta e indiretamente para a realização do doutorado e para o desenvolvimento deste estudo.

Em especial, ao professor Paulo Roberto Leme, por ter oferecido a oportunidade da realização do doutorado e também pela confiança, amizade, apoio e ensinamentos.

Ao professor Roberto Daniel Sainz, pela parceria, confiança e oportunidades proporcionadas.

Ao Saulo, ao Ivan, ao Lucas, ao Tiago e à Camila Nogueira, pela amizade sincera, pelo companheirismo e pelo apoio em momentos importantes.

Aos amigos, Laura, Fabiano, Zé Henrique, Helena, Camila Guedes, Fernanda Paiva, Pedro Ratto, Lígia, Pedro Zillig, Paulo Fantinato, Miguel, Gustavo Cruz, Michael Ballou, Renata, Yuri e Priscila, pelo prazer de suas companhias e pelo apoio.

Aos professores Antônio Evaldo Lencioni Titto e José Carlos Machado Nogueira Filho, pela amizade, ensinamentos e apoio.

A todos os estagiários, pelo comprometimento com o experimento.

Aos funcionários e professores da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP e da Prefeitura do Campus de Pirassununga – PCAPS, que se dedicaram ao trabalho.

À FAPESP, pela bolsa de estudos e recursos para a pesquisa.

RESUMO

GOMES, R.C. **Metabolismo protéico, composição corporal, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore (*Bos indicus*) em função de seu consumo alimentar residual**. 2009. 93 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

O consumo alimentar residual (CAR) é uma medida de eficiência alimentar independente do crescimento e do peso à maturidade. O melhoramento genético para CAR pode reduzir o custo de alimentação de bovinos, porém uma melhor compreensão dos processos biológicos relacionados ao CAR é necessária. Além disso, associações entre CAR e qualidade de carcaça têm sido pouco investigadas em raças zebuínas. Desta forma, o objetivo com este estudo foi avaliar o metabolismo protéico, a composição corporal, as características de carcaça e a qualidade de carne em bovinos zebuínos com alto e baixo CAR. Adicionalmente, foi testada a hipótese da existência de interações entre CAR e peso vivo ao abate para características de carcaça e composição corporal. Setenta e dois novilhos da raça Nelore (16 a 21 meses de idade, 334 ± 19 kg de peso vivo inicial [PV]) foram mantidos em confinamento e alimentados *ad libitum* (74,5% NDT; 14,3%PB) por 70 dias. O consumo de matéria seca (CMS) e o ganho médio de peso (GMD) diários foram medidos individualmente. Os 12 novilhos com maior CAR e os 12 com menor CAR foram classificados como grupos de alto e baixo CAR, respectivamente (fase de seleção) e foram alimentados até quando alcançassem pesos vivo ao abate de 460, 490, 520 e 550 kg (fase de terminação). Antes do abate, foi realizada colheita total de urina para a determinação da excreção diária de 3-metil-histidina e da taxa fracional de degradação miofibrilar. A composição química corporal foi estimada pelo método de diluição isotópica utilizando óxido de deutério. A maciez objetiva da carne e a atividade de proteases cálcio-dependentes foram determinadas no músculo *Longissimus*. Na fase de seleção, novilhos com baixo CAR tiveram menores CMS, conversão alimentar, CAR e ganho de gordura sobre a garupa que novilhos com alto CAR, mas nenhuma diferença foi observada no GMD, no PV final, na gordura subcutânea e na área do *Longissimus*. Na fase de terminação, nenhuma interação

foi observada entre CAR e PV ao abate. Não houve diferenças entre animais mais e menos eficientes quanto ao peso e rendimento de carcaça, gordura renal, pélvica e inguinal, vísceras, área de *Longissimus*, gordura subcutânea, marmorização, aparas e porção comestível. Novilhos com baixo CAR apresentaram menos gordura sobre o trato gastrintestinal (TGI) que novilhos com alto CAR. Não foram observadas diferenças quanto ao índice de fragmentação miofibrilar, força de cisalhamento e atividade do sistema calpaína. As taxas fracionais de degradação, síntese e acréscimo protéico foram similares entre os grupos de CAR. Novilhos Nelore com baixo CAR depositaram menos gordura subcutânea na carcaça em pesos vivos entre 340 e 460 kg. Em pesos mais elevados (460-550 kg), as características de carcaça e a composição corporal não foram influenciadas pelo CAR, mas indivíduos menos eficientes apresentaram maior massa de gordura visceral. A seleção de bovinos zebuínos para baixo CAR pode diminuir a ingestão de alimentos e melhorar sua eficiência alimentar, sem comprometer a qualidade da carne.

Palavras-chave: calpastatina, consumo alimentar líquido, eficiência alimentar, gado de corte, maciez, reciclagem protéica

ABSTRACT

GOMES, R.C. **Protein metabolism, body chemical composition, carcass traits and meat quality of Nellore steers (*Bos indicus*) as a function of their residual feed intake**. 2009. 93 p. Thesis (Doctoral). College of Animal Science and Food Engineering, University of Sao Paulo, Pirassununga, 2009.

Residual feed intake (RFI) is a feed efficiency trait that is independent of growth rate and mature weight. Genetic improvement in RFI may reduce the costs of feeding cattle, however a better understanding of biological processes underlying variation in RFI is necessary. Moreover, associations between RFI and carcass quality have been poorly investigated in Zebu breeds. Therefore, this study aimed to evaluate protein metabolism, body composition, carcass traits and meat quality in high- and low-RFI Zebu cattle. In addition, the hypothesis that there are interactions between RFI and harvest body weight for carcass traits and body composition was investigated. Seventy-two Nellore steers (16 to 21 month-old, 334 ± 19 kg initial body weight [BW]) were fed a finishing ration (74.5% TDN, 14.3%CP) on an *ad libitum* basis, for 70 days. Daily dry matter intake (DMI) and body weight gain (ADG) were measured individually. The 12 lowest and the 12 highest RFI steers were classed as low- and high-RFI groups, respectively (selection phase), and were fed until reaching slaughter BW of 460, 490, 520 and 550 kg (finishing phase). Before slaughter, total urine was collected for determination of daily 3-methylhistidine excretion and myofibrillar protein breakdown rates. Body chemical composition was estimated by the isotope dilution method using deuterium oxide. Objective tenderness and Ca^{+2} -dependent protease activities were measured on Longissimus muscle. In the selection phase, low-RFI steers had lower DMI, feed:gain, RFI, and ultrasound rump fat thickness gain than high-RFI cattle, but no differences were observed for ADG, final BW, ultrasound fat thickness and Longissimus area. In the finishing phase, no interactions were observed between RFI and slaughter BW. No differences between more and less efficient cattle were observed for hot carcass weight, dressing percentage, kidney, pelvic and inguinal fat, visceral mass, Longissimus area, backfat thickness, marbling score, trimmings and retail product yield. Low-RFI steers presented less fat on the gastrointestinal tract (GIT) than high-RFI cattle. No differences were observed for myofibrillar fragmentation index, Warner-Bratzler shear

force and calpain system activities. Fractional rates of protein degradation, synthesis and accretion were similar between high- and low-RFI cattle. Low-RFI Nellore steers may store less subcutaneous carcass fat at body weights ranging from 340 and 460 kg. At higher body weights (460-550 kg), carcass traits and body composition are not affected by RFI, but least efficient cattle present greater visceral fat mass. Breeding zebu cattle for improved RFI may decrease feed intake and improve feed efficiency without compromising meat quality.

Key-words: beef cattle, calpastatin, feed efficiency, net feed intake, protein turnover, tenderness

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição percentual da dieta utilizada no experimento com base na matéria seca (MS)	35
Tabela 2 – Peso vivo e número de animais avaliados por grupo de eficiência em cada coleta de urina no ensaio de metabolismo protéico muscular	44
Tabela 3 – Características de desempenho em confinamento de novilhos Nelore com alto, médio e baixo CAR, avaliados na fase 1 do estudo.....	50
Tabela 4 – Características corporais e medidas de carcaça por ultra-som de novilhos Nelore com alto, médio e baixo CAR, avaliados na fase 1 do estudo	51
Tabela 5 – Características de desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, selecionados para a fase de terminação, avaliados na fase 1 do estudo.....	52
Tabela 6 – Características corporais e medidas de carcaça por ultra-som de novilhos Nelore com alto e baixo, selecionados para a fase de terminação, avaliados na fase 1 do estudo	53
Tabela 7 – Desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR) durante a fase de terminação, em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (continua).....	55
Tabela 7 – Desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR) durante a fase de terminação, em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (conclusão)	56
Tabela 8 – Características de carcaça de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (continua)	58
Tabela 8 – Características de carcaça de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (continuação)	59
Tabela 8 – Características de carcaça de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (conclusão)	60
Tabela 9 – Composição química do corpo vazio de novilhos Nelore, com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados	63
Tabela 10 – Características de desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, durante a terminação em confinamento, ajustadas para um peso vivo ao abate comum	64

Tabela 11 – Características de carcaça ao abate de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, ajustadas para um peso vivo ao abate comum.....	65
Tabela 12 – Peso vivo em jejum (PVj18h) e composição química do corpo vazio ao abate de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, ajustados para um peso vivo ao abate comum	66
Tabela 13 – Metabolismo protéico do músculo esquelético de novilhos Nelore com alto e baixo CAR.....	67
Tabela 14 – Peso vivo em jejum (PVj18h) e composição química do corpo vazio de novilhos Nelore com alto e baixo CAR ao início do período experimental, durante o ensaio de metabolismo muscular e ao abate	69
Tabela 15 – Ganho de peso diário e retenção química no corpo vazio de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, em três períodos distintos, com ajustes para dias em alimentação em comum.....	71
Tabela 16 – Maciez objetiva e perdas do músculo <i>Longíssimos</i> de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, não maturado (0 dia) e maturado por 7 dias	72
Tabela 17 – Atividade enzimática do sistema calpaína no músculo <i>Longissimus</i> de novilhos Nelore com alto e baixo CAR	73

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Cronograma do período experimental. Para cada etapa, “n” indica o número de unidades experimentais. As notações “min” e “max” referem-se ao número mínimo e máximo de dias em alimentação até abate, respectivamente.33

LISTA DE ABREVIATURAS

3MH	-	3-metil-histidina
AG	-	altura de garupa
AML	-	área do músculo <i>Longissimus</i>
AMLU	-	área do músculo <i>Longissimus</i> por ultra-som
CA	-	conversão alimentar
CAR	-	consumo alimentar residual
CMS	-	consumo de matéria seca
CMS _{obs}	-	consumo de matéria seca observado
CMS _{pred}	-	consumo de matéria seca predito
Cvz	-	corpo vazio
DP	-	desvio-padrão
EDT	-	espaço de deutério
EDT6h	-	espaço de deutério às 6 horas pós infusão
EE	-	extrato etéreo
EEC	-	escore de estrutura corporal
EGS	-	espessura de gordura subcutânea
EGSGU	-	espessura de gordura subcutânea na garupa por ultra-som
EGSLU	-	espessura de gordura subcutânea no lombo por ultra-som
EPM	-	erro-padrão da média
FC	-	força de cisalhamento
GMD	-	ganho de peso diário
h^2	-	herdabilidade
IFM	-	índice de fragmentação miofibrilar
MME	-	massa de músculo esquelético
MS	-	matéria seca
NDT	-	nutrientes digestíveis totais
PB	-	proteína bruta
PCQ	-	peso de carcaça quente
PCvz	-	peso do corpo vazio
PE	-	perdas da carne por exsudação
PMF	-	proteína miofibrilar
POCM	-	porção comestível
PT	-	perímetro torácico
PTC	-	perdas totais da carne por cozimento
PV	-	peso vivo
PVabate	-	peso vivo ao abate
PVcheio	-	peso vivo sem jejum
PVF	-	peso vivo final
PVi	-	peso vivo inicial
PVj18h	-	peso vivo após 18 horas de jejum
PVM	-	peso vivo médio
PVM ^{0,75}	-	peso vivo médio metabólico
RP	-	reciclagem protéica
TFA	-	taxa fracional de acréscimo protéico
TFD	-	taxa fracional de degradação protéica
TFS	-	taxa fracional de síntese protéica

TGI - trato gastrintestinal
TGIvz - trato gastrintestinal vazio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 <i>Eficiência alimentar em bovinos de corte.....</i>	17
2.2 <i>Problemas com o uso da conversão alimentar como parâmetro de seleção para eficiência alimentar.....</i>	18
2.3 <i>O consumo alimentar residual (CAR) como medida de eficiência em bovinos de corte.....</i>	19
2.4 <i>Base biológica da variação para CAR em bovinos de corte</i>	22
2.5 <i>Relação entre CAR, composição corporal e características da carcaça bovina..</i>	25
2.6 <i>Relação entre CAR, metabolismo protéico e qualidade da carne bovina</i>	26
3 OBJETIVOS.....	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 <i>Cronograma experimental</i>	33
4.2 <i>Ensaio de determinação do CAR.....</i>	33
4.2.1 <i>Animais e instalações.....</i>	33
4.2.2 <i>Alimentação</i>	34
4.2.3 <i>Características avaliadas</i>	34
4.3 <i>Classificação quanto ao CAR e seleção de animais para a fase de terminação .</i>	37
4.4 <i>Terminação dos bovinos com alto e baixo CAR</i>	37
4.4.1 <i>Manejo alimentar e instalações.....</i>	37
4.4.2 <i>Determinação do ponto de abate</i>	38
4.4.3 <i>Abate, desossa e amostragem.....</i>	38
4.4.4 <i>Características avaliadas</i>	39
4.4.4.1 <i>Desempenho</i>	39
4.4.4.2 <i>Vísceras.....</i>	40
4.4.4.3 <i>Carcaça</i>	40
4.4.4.4 <i>Composição química do corpo vazio</i>	40
4.4.4.5 <i>Maciez objetiva e perdas da carne</i>	41
4.4.4.6 <i>Atividade enzimática do sistema calpaína</i>	42
4.5 <i>Ensaio de metabolismo protéico do músculo esquelético.....</i>	42
4.5.1 <i>Características avaliadas</i>	42
4.5.2 <i>Determinação da excreção urinária diária de 3-metil-histidina.....</i>	43
4.5.2.1 <i>Procedimento de colheita total de urina.....</i>	43
4.5.2.2 <i>Determinação da concentração urinária de 3-metil-histidina</i>	44
4.6 <i>Estimativa da composição e retenção química corporal.....</i>	45
4.6.1 <i>Momentos das avaliações.....</i>	45

4.6.2 Metodologia de estimativa da composição química corporal	45
4.6.2.1 Determinação do espaço de deutério (EDT)	45
4.6.2.2 Estimativa da percentagem de gordura, proteína e energia no corpo vazio	46
4.6.3 Cálculo da composição química do ganho de peso	47
4.7 <i>Análise estatística dos dados</i>	47
5 RESULTADOS	49
5.1 <i>Ensaio de determinação do CAR</i>	49
5.1.1 Resultados gerais.....	49
5.1.2 Animais com alto e baixo CAR, selecionados para a fase de terminação.....	52
5.2 <i>Terminação de bovinos com alto e baixo CAR</i>	54
5.2.1 Resultados em função de pesos vivos ao abate pré-determinados	54
5.2.1.1 Desempenho	54
5.2.1.2 Características de carcaça	57
5.2.1.3 Composição química do corpo vazio	62
5.2.2 Resultados ajustados para pesos vivo ao abate comum	64
5.2.2.1 Desempenho	64
5.2.2.2 Características de carcaça	65
5.2.2.3 Composição química do corpo vazio	66
5.4 <i>Metabolismo protéico do músculo esquelético em bovinos com alto e baixo CAR</i>	66
5.5 <i>Composição química do ganho de peso em bovinos com alto e baixo CAR</i>	68
5.5.1 Composição corporal inicial, intermediária e final	68
5.5.2 Retenção química diária.....	70
5.6 <i>Qualidade da carne de bovinos com alto e baixo CAR</i>	72
5.6.1 Maciez objetiva e perdas da carne.....	72
5.6.2 Atividade enzimática do sistema calpaína.....	73
6 DISCUSSÃO	74
7 CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE	91

1 INTRODUÇÃO

A rentabilidade da produção de bovinos de corte é dependente dos “inputs” e dos “outputs” no sistema e o fornecimento de alimentos é o input de maior custo na maioria dos empreendimentos de produção de animais (ARTHUR, ARCHER, HERD; 2004).

Entretanto, praticamente todos os programas de melhoramento genético de bovinos de corte enfatizam a seleção para aumento dos outputs, tais como pesos a diversas idades, ganho de peso diário, circunferência escrotal, características de carcaça e até mesmo o desempenho reprodutivo (LANNA; ALMEIDA, 2004), sem se atentar para a diminuição dos custos com alimentação, o que pode ser obtido através do aumento da eficiência alimentar do rebanho (SHRECK et al., 2008).

Não menos importante, a eficiência alimentar animal também está relacionada com o impacto ambiental da atividade pecuária, uma vez que a área de pastagens para a produção de bovinos e a produção de poluentes como o esterco e o metano podem ser reduzidos com a diminuição das necessidades alimentares (BASARAB, 2003; NKRUMAH et al., 2006; HEGARTY et al., 2007).

Contudo, a eficiência alimentar definida como a razão entre o consumo e o ganho é uma medida bruta que apresenta limitações para ser utilizada como medida de seleção já que é correlacionada com peso vivo (ARTHUR et al., 2001), podendo levar a comprometimentos de eficiência no setor de cria como consequência do aumento no peso adulto do rebanho.

Uma alternativa é o consumo alimentar residual (CAR). Vários estudos foram realizados recentemente para avaliar esta medida de eficiência. Seu uso em programas de seleção é justificável principalmente por não apresentar a limitação de ser correlacionada com a taxa de ganho e o peso vivo e, assim, não incorrer nos problemas acima descritos.

Entretanto, as associações genéticas entre CAR, características de carcaça e maciez da carne são ainda pouco conhecidas. Se existem antagonismos entre um CAR melhorado e os atributos do produto final (qualidade da carcaça e da carne), eles devem ser identificados, uma vez que poderiam reduzir o benefício econômico

alcançado pela seleção para diminuição dos custos com alimentação animal (McDONAGH et al., 2001).

Assim, devido ao conhecimento incompleto dos mecanismos relacionados ao aumento em eficiência alimentar por animais selecionados para esta medida, é que estudos são necessários para avaliar as conseqüências de sua adoção, não só nas características de crescimento, mas também na qualidade da carne bovinos Nelore, grupo genético base do rebanho brasileiro. Este trabalho é também justificado por complementar os estudos brasileiros já realizados sobre o CAR por focar a qualidade da carne produzida, aspecto em que os animais zebuínos em geral são inferiores em relação às raças taurinas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Eficiência alimentar em bovinos de corte

Basicamente, os estudos em eficiência alimentar de bovinos tem o objetivo comum de diminuir os gastos com alimentação, seja através da nutrição, manejo ou da produção de genótipos superiores para tal característica.

Custos com alimentação representam cerca de 70% dos gastos de um empreendimento de terminação de bovinos de corte, sendo que o custo da energia pode compreender até 89% do total (LIU et al., 2000). Este alto custo de manutenção, aliado a baixas taxas reprodutivas, resulta na ineficiência produtiva de bovinos de corte observada quando estes são comparados a suínos e aves (BASARAB et al., 2003).

Por outro lado, evidências científicas indicam para a possibilidade do aumento da eficiência produtiva do sistema como um todo através da melhora da eficiência alimentar animal. Archer et al. (1999) afirmaram que dentre os meios de aumentar a eficiência alimentar dentro de um sistema produtivo estão a escolha de uma determinada raça ou cruzamentos entre raças ou, ainda, a seleção dentro de um mesmo grupo genético.

Segundo revisão de Ferrell e Jenkins (1985), cerca de 70 a 75% da necessidade energética anual total são exigidos para funções de manutenção do animal e a variação em exigências nutricionais parece ser positivamente relacionada com o potencial genético de medidas de produção como taxa de crescimento e produção leiteira. Tal inferência foi confirmada por Montano-Bermudez, Nielsen e Deutscher (1990) em um estudo objetivando avaliar diferenças nas exigências energéticas de manutenção de vacas de corte lactantes com diferentes potenciais de produção leiteira. Estes autores verificaram que aproximadamente 50% do total de energia exigido para a produção de bovinos de corte são utilizados para a manutenção da vaca e que existe variação genética para exigências de manutenção independente de diferenças em tamanho corporal tanto de vacas quanto de animais em crescimento.

Assim, existem evidências suficientes para sugerir a possibilidade da seleção de animais com menores requerimentos nutricionais e com produtividade semelhante, apresentando assim uma melhor eficiência alimentar.

2.2 Problemas com o uso da conversão alimentar como parâmetro de seleção para eficiência alimentar

Devido à produção de bovinos de corte se estender sobre uma grande amplitude de condições ambientais e incluir uma considerável gama de raças, cruzamentos e tipos biológicos, existem muitas características que são economicamente relevantes (CREWS, 2005). Conseqüentemente, não é recomendável que nenhum melhoramento genético foque em apenas uma característica. Uma importante consideração sobre os programas de melhoramento genético é se os efeitos genéticos entre as características são correlacionados. Esta consideração seria especialmente importante quando as correlações genéticas fossem antagonistas.

A medida indicadora da eficiência alimentar em bovinos de corte mais comumente utilizada é a conversão alimentar bruta (CA), valor este calculado como a fração entre consumo de matéria seca (CMS) e ganho de peso médio diário (GMD). Da mesma forma, o oposto desta medida, chamado de eficiência alimentar (GMD:CMS), também é bastante utilizado. Contudo, tem sido bem demonstrado que o uso destas medidas para selecionar animais mais eficientes pode ter implicações sobre o tamanho adulto do animal. Em revisão, Archer et al. (1999) demonstraram que existe alta correlação entre CA e aspectos produtivos como a taxa de crescimento em bovinos de corte.

Estudos anteriores (ARCHER et. al., 1998a, SALMON et al., 1990) observaram que a alta taxa de crescimento apresentada por alguns indivíduos é fortemente relacionada ao aumento no tamanho maduro (peso e tamanho) o que implicaria no aumento das exigências nutricionais do rebanho de cria. Frente a isso, o aumento na eficiência alimentar acompanhado do aumento na exigência nutricional do rebanho de cria poderia então não resultar em benefícios econômicos para o sistema produtivo como um todo.

Adicionalmente, em um estudo onde foram comparadas as respostas teóricas a uma seleção direta para características calculadas como frações, tal como a CA, e para um índice linear entre seus dois componentes, Gunsett (1984) observou que a pressão de seleção sobre os componentes da fração é colocada desproporcionalmente, resultando em respostas imprevisíveis. Ainda, o autor concluiu que a seleção para um índice linear derivado das duas características que compõe a fração esteve associada com uma maior resposta à seleção quando comparada à seleção baseada apenas na fração (CA).

2.3 O consumo alimentar residual (CAR) como medida de eficiência em bovinos de corte

Em vista da importância do aumento em eficiência produtiva nos sistemas de produção de bovinos de corte através da diminuição dos gastos com alimentação e dos problemas já discutidos da utilização da CA como medida de eficiência alimentar, vários estudos vem sendo desenvolvidos a fim de avaliar, em bovinos, o consumo alimentar residual (CAR).

Esta medida foi primeiramente sugerida no trabalho de Koch et al. (1963) onde os autores propuseram duas medidas de eficiência determinadas a partir do 1) CMS ajustado para diferenças em GMD e do 2) GMD ajustado para diferenças em CMS. O cálculo de ambas as medidas contemplou ajustes adicionais para peso vivo metabólico (PVM) como forma de retirar diferenças em exigências nutricionais. As medidas ajustadas representariam um valor esperado para aquela característica com base em GMD (no caso 1), CMS (no caso 2) e PVM (ambos os casos) semelhantes. O desvio do valor esperado em relação ao realmente observado é atribuído então a diferenças na utilização do alimento.

Nota-se que apesar dos autores não utilizarem esta nomenclatura, a medida número 1 refere-se ao consumo alimentar residual (ou consumo alimentar líquido, como também encontrado). Valores de desvios negativos são denominados como CAR negativo (baixo CAR) e referem-se a animais mais eficientes em razão de consumirem

menos que a quantidade necessária predita para um mesmo peso e ganho em peso, quando comparados a animais com consumo alimentar residual positivo (alto CAR).

Destaca-se que a conclusão de Koch e seus colaboradores foi que maior acurácia e maior herdabilidade foram obtidas quando a eficiência alimentar foi expressa como o GMD ajustado para diferenças em CMS. Apesar disso, das duas medidas ajustadas de eficiência propostas pelo trabalho, o CAR é o único amplamente explorado atualmente.

Durante os últimos 15 anos, a avaliação do uso do CAR como parâmetro de seleção para eficiência alimentar aconteceu com destaque, tendo considerável variação fenotípica e genotípica sido relatada. Além disso, alguns trabalhos demonstraram haver moderada herdabilidade (h^2) para esta característica.

Nos diferentes estudos encontrados, foram verificados desvio-padrão (DP) para o CAR de 0,74 em animais da raça Angus (ARTHUR et al., 2001), 0,76 em touros Charolês (ARTHUR; RENAND; KRAUSS, 2001a), 0,82 em novilhos cruzados (CARSTENS et al., 2002) e 0,66 kg/dia em novilhos de raças compostas (BASARAB et al., 2003). Com exceção ao trabalho de Basarab e colaboradores, nestas mesmas investigações foram ainda calculadas HE da característica de 0,39; 0,39-0,43 e 0,39, respectivamente. Liu et al. (2000) relataram considerável variação entre touros jovens de oito genótipos diferentes para consumo residual de matéria seca e herdabilidade de 0,33, enquanto que Koch et al. (1963) haviam anteriormente relatado valor menor de h^2 para CAR ($h^2=0,28$).

Em bovinos zebuínos também tem sido observado variação fenotípica satisfatória para CAR. Almeida, Leme e Lanna (2004) relataram valores mínimos e máximos para CAR em novilhos Nelore de -1,70 e +2,07 e DP de 1,05 kg/dia. Em estudo posterior, Almeida (2005) verificou DP de 0,41 e valores mínimo e máximo de -0,73 e +0,95. Em outro estudo com novilhos da mesma raça, verificaram-se os valores de -2,46, 1,52 e 0,71 kg/dia para mínimo, máximo e DP da característica CAR (GOMES; LEME, dados não publicados). Estimativas de h^2 para CAR em bovinos zebuínos não foram preditas até então.

Estudos avaliando as correlações fenotípicas (r_f) e genotípicas (r_g) entre CAR e características de crescimento e de eficiência alimentar tem demonstrado que a variação existente quanto ao CAR é fenotipicamente e também genotipicamente

independente do PV, PVM e GMD (ARTHUR et al., 2001; ARTHUR; RENAND e KRAUSS, 2001a; BASARAB et al., 2003). Tais resultados confirmam o conceito do CAR em relação a ser uma medida independente das características que o compõe. Além disso, Arthur et al. (2001) observaram em bovinos Angus r_g de 0,69 e 0,66 entre CAR, CMS e CA, respectivamente, demonstrando que a seleção genética para baixo CAR pode levar a animais com CMS e CA potencialmente menor.

O fato de que o CAR tem sido avaliado principalmente em animais em crescimento levou a alguns estudiosos a questionar as conseqüências da seleção para esta medida sobre o desempenho do rebanho de cria. Contudo, Herd e Bishop (2000) relataram que CAR determinado em animais na fase pós desmame é geneticamente independente do tamanho da vaca adulta. Posteriormente, Arthur et al. (2005) observaram que não houve diferenças entre as linhagens maternas selecionadas para baixo e alto CAR quanto às taxas de prenhez, parição e desmame, assim como para produção leiteira e peso de bezerro desmamado por vaca exposta à cobertura. Basarab et al. (2007) relataram que matrizes produzindo bezerros mais eficientes (baixo CAR) apresentaram mais gordura corporal, menos partos gemelares, menor mortalidade de seus bezerros e o mesmo peso de bezerro desmamado por vaca exposta, quando comparadas àquelas que deram origem à progênie menos eficiente (alto CAR).

Através dos resultados apresentados anteriormente, pode-se afirmar que existe evidência suficiente para a inclusão do CAR em programas de seleção de bovinos de corte, inclusive zebuínos, como forma de diminuir a quantidade de alimento ingerido para um mesmo nível de produção e aumentar a rentabilidade do empreendimento pecuário.

Segundo Exton, Herd e Arthur (2004), análises econômicas mostram que um aumento significativo no valor presente líquido dos benefícios para o setor de melhoramento e de confinamento da indústria de carne australiana pode ser esperado com a adoção do melhoramento genético para o CAR, principalmente a longo prazo. Basarab et al. (2003) também demonstraram que grandes benefícios econômicos poderiam ser alcançados através do melhoramento genético para o CAR em regiões produtoras de carne bovina no Canadá.

Recentemente, foi provado que o uso de touros superiores para CAR (baixo CAR, mais eficientes) resulta em progênie também mais eficientes em sistemas de terminação baseado em pastagens. Herd et al. (2004) especularam que touros com uma diferença esperada na progênie (DEP) para CAR de -1 kg/dia resultam em filhos com crescimento 19% mais rápido, sem nenhum aumento no consumo de matéria seca, com CAR 26% menor e CA 41% maior.

Deste modo, pode-se inferir que a pecuária brasileira poderia se beneficiar da utilização de animais melhoradores para o CAR, visto que seu sistema produtivo é marcadamente apoiado em pastagens tropicais. Os benefícios da adoção do CAR pela indústria de bovinos brasileira como parâmetro de seleção genética foram demonstrados por Lanna e Almeida (2004) através de simulação.

A seleção de animais melhoradores para CAR também parece ser possível através de programas de melhoramento genético assistida por marcadores moleculares. Uma varredura primária do genoma (NKRUMAH et al., 2005, 2007) encontrou QTL's (loco de característica quantitativa) para CAR e alguns cromossomos bovinos (BTA 2, 5, 10, 20 e 29) tem sido objeto de mapeamento fino com intervalos de confiança ainda menores (MOORE; CREWS; NKRUMAH, 2006). Alguns polimorfismos SNP (polimorfismo de nucleotídeo único) nestes cromossomos apresentaram associação com CAR (SHERMAN et al., 2008a,b) e QTL's para CAR também têm sido encontrados em outros cromossomos (SHERMAN et al., 2008c). Assim, o alto custo relacionado à medição do consumo e da eficiência alimentar poderia então ser minimizado pelo auxílio de marcadores moleculares, viabilizando a inclusão do CAR em programas de melhoramento genético.

2.4 Base biológica da variação para CAR em bovinos de corte

Apesar de haver reais evidências da existência de variabilidade em eficiência alimentar, independente de características de crescimento, a base biológica que dirige este processo ainda não foi completamente explicada.

Segundo Archer et al. (1999), a compreensão dos processos responsáveis pela variação observada em eficiência alimentar é importante 1) na predição de possíveis

respostas correlacionadas à seleção, fornecendo uma indicação útil de para onde os esforços da pesquisa devem ser concentrados, 2) na identificação de características que sejam fáceis e mais baratas de serem medidas que ingestão individual de alimentos e eficiência alimentar e que poderiam ser utilizadas como marcadores que auxiliam na seleção e 3) na sugestão de métodos não-genéticos alternativos para manipulação do metabolismo de bovinos e melhora na eficiência.

Neste sentido, diversos estudos foram realizados, identificando características correlatas ao CAR e auxiliando na compreensão da relação entre esta medida de eficiência alimentar e outras características de importância produtiva.

A regulação fisiológica do consumo alimentar residual está provavelmente sob o controle de muitas centenas de genes (HERD; ARTHUR, 2008) e existem pelo menos cinco processos principais pelos quais a variação em eficiência pode surgir (HERD, ODDY; RICHARDSON; 2004). De acordo com Richardson e Herd (2004), diferenças em digestão contribuem conservadoramente em 10% da variação, padrão de alimentação, em 2%, incremento calórico associado à digestão, em 9% e atividade, em 10%. Diferenças em transporte de íons contribuiria em 27% da variação no CAR.

Richardson et al. (2002) identificaram vários parâmetros sanguíneos que foram correlacionados com valores de DEP para CAR em touros de raças taurinas, evidenciando associação genética entre estes parâmetros e CAR. Segundo os autores, as diferenças encontradas entre animais divergindo quanto ao CAR são consistentes com animais menos eficientes tendo uma maior demanda por transporte de oxigênio e sendo menos adaptados ao ambiente de confinamento, quando comparados a animais mais eficientes (baixo CAR). No mesmo estudo, foi observado que os parâmetros de células vermelhas sanguíneas medidos antes e depois do transporte não apresentaram interação com CAR, indicando que animais com alto e baixo CAR respondem de forma semelhante a uma situação de estresse. Entretanto, quando avaliada a população de células brancas, foi sugerido que animais com baixo CAR podem ser menos susceptíveis ao estresse.

Posteriormente, Richardson et al. (2004) avaliaram os processos metabólicos que contribuem para a variação quanto ao CAR. Os autores relataram em animais com alto CAR maiores níveis de alguns metabólitos sanguíneos, tais como insulina, cortisol e

uréia e menores de triglicerídeos, o que foi sugerido serem respostas relacionadas a mudanças em composição corporal, reciclagem tecidual e na eficiência do uso de nutrientes devido à seleção divergente para CAR, além de serem associadas também a diferenças entre animais mais e menos eficientes quanto à resposta a situações de estresse.

Em animais da raça Nelore, a variação quanto ao CAR não esteve relacionada com parâmetros sanguíneos e nível de glicose plasmática em novilhos submetidos a estresse moderado (isolamento com privação de água e alimentos por 24 horas). Entretanto, foi verificado que indivíduos com baixo CAR apresentaram menor nível sérico do hormônio cortisol que animais com alto CAR (GOMES et al., 2008), indicando uma relação entre eficiência alimentar e o eixo hipotálamo-pituitário e uma menor susceptibilidade ao estresse por animais mais eficientes a qual foi anteriormente sugerida pelos pesquisadores australianos.

Diferenças genéticas quanto à digestão do amido dietético estão associadas à variação genética para CAR em bovinos. Channon, Rowe e Herd (2004) observaram que medidas indiretas da digestão do amido (pH fecal e matéria seca fecal) foram correlacionadas com as DEP's para CAR de touros, indicando que animais menos eficientes (alto CAR) apresentaram menor aproveitamento daquele carboidrato.

Nkrumah et al. (2006) identificaram diferenças significativas em emissão de metano entre animais que diferiram quanto ao CAR e observaram que novilhos com baixo CAR (mais eficientes) produziram 28% menos metano que animais com alto CAR (menos eficientes), sugerindo a possibilidade de diminuir o impacto ambiental da produção de bovinos. No mesmo estudo, verificou-se que novilhos com baixo CAR, quando comparados aos de alto CAR, apresentaram menor número de visitas ao cocho de alimentação, menor duração de cada visita e maior digestibilidade aparente da matéria seca e da proteína da dieta.

Assim como na investigação citada acima, diferenças no comportamento de bovinos Nelore com alto e baixo CAR também foram identificadas. Quando observados por um período completo de 48 horas, indivíduos mais eficientes despenderam menos tempo se alimentando e mais tempo sem atividade que animais do outro grupo de eficiência (TRETTEL et al., 2008).

Ligações entre respiração mitocondrial ineficiente e eficiência alimentar diminuída em aves e ratos, levaram à hipótese que esta relação poderia explicar diferenças quanto ao CAR em bovinos (KOLATH et al., 2006). Contudo, não foram observadas diferenças quanto à função mitocondrial e ao metabolismo de glicose em novilhos com alto e baixo CAR.

2.5 Relação entre CAR, composição corporal e características da carcaça bovina

Em geral, os diversos estudos realizados com raças taurinas apontam para uma relação positiva entre gordura corporal e CAR, indicando que animais mais eficientes apresentariam menor deposição de gordura e maior de proteína.

Porém, em sua maioria, esta associação tem sido pequena, levando a alguns autores a sugerirem que a seleção para CAR não levaria a perdas em qualidade de carcaça.

Por exemplo, Jensen et al. (1992) relataram correlações genéticas de -0,02 e -0,06 entre CAR e percentagem de porção comestível e de gordura na carcaça de tourinhos. Baixas correlações genéticas entre CAR e características indicativas da composição corporal também foram observadas em bovinos Angus por Arthur et al. (2001) que relataram r_g de 0,17; 0,06 e 0,09 para medidas de ultra-som da espessura de gordura subcutânea (EGS) entre as 12^a e 13^a costelas (EGSLU), EGS sobre garupa (EGSGU) e área do músculo *Longissimus* (AMLU), respectivamente. Carstens et al. (2002) observaram que CAR em novilhos de raças taurinas esteve correlacionado fenotipicamente com EGSLU e EGSGU ($r_f=0,22$ e $0,18$; respectivamente), mas não com AMLU e gordura intramuscular ($r_f=0,03$ e $0,10$; respectivamente).

Na investigação realizada por Basarab et al. (2003) com bovinos de raças compostas, foram observadas correlações fenotípicas significativas de 0,22; 0,22 e 0,26 entre CAR e ganhos em gordura subcutânea, em escore de marmorização e em gordura no corpo vazio. CAR também esteve correlacionado com energia retida ($r_f=0,28$) e produção de calor ($r_f=0,56$). Indivíduos menos eficientes apresentaram peso

ainda maior de alguns órgãos, como intestinos e estômago, e maior porcentagem de gordura intermuscular, quando comparados a animais com baixo CAR.

Avaliando bovinos da raça Angus, pequenas mudanças na proporção dos órgãos externos (couro, cabeça e patas) e dos ossos e em medidas de proteína e gordura foram relatadas com a seleção de bovinos para CAR, tendo novilhos menos eficientes apresentado maior área do músculo *Longissimus* (AML) ao início do teste, menor ALM ao fim do teste, menor quantidade de ossos em seu peso vivo final e depositado mais gordura e menos proteína que novilhos mais eficientes (RICHARDSON et al., 2001). Em outro estudo com animais da mesma raça (RIBEIRO et al., 2007) foi observado ainda que indivíduos com baixo CAR apresentaram peso menor do trato gastrintestinal, porém não diferiram em relação a bovinos com alto CAR quanto à porcentagem de gordura na carcaça e gordura interna.

Em bovinos zebuínos, Almeida, Leme e Lanna (2004) não observaram diferenças entre animais mais e menos eficientes da raça Nelore quanto à espessura de gordura subcutânea e a área de olho de lombo.

Posteriormente, Leme e Gomes (2007) relataram que novilhos Nelores mais eficientes (baixo CAR) apresentaram menor espessura de gordura subcutânea, menor peso de gordura renal pélvica e inguinal e maior área de olho de lombo quando comparados a animais menos eficientes (alto CAR). Os autores sugeriram que a discrepância entre seus resultados em relação àqueles apresentados por Almeida e colaboradores pode ser explicada por diferenças na maturidade fisiológica entre os animais utilizados por ambos. O que se quis dizer é que Almeida e colaboradores utilizaram animais com peso vivo inicial e ao abate maiores que o do estudo de Leme e Gomes (2007) (457 kg e 539 kg vs 339 kg e 471 kg, respectivamente), estando em uma fase mais avançada em sua curva de crescimento, na qual a composição do ganho corporal seria composta majoritariamente por gordura. Tal fato poderia então ter levado a menores diferenças entre os grupos de eficiência quanto à espessura de gordura subcutânea e de área de olho de lombo.

2.6 Relação entre CAR, metabolismo protéico e qualidade da carne bovina

A reciclagem protéica (RP) se refere à contínua degradação e renovação das proteínas celulares que são hidrolisadas a aminoácidos e substituídas por proteínas recentemente sintetizadas (Hawkins, 1991).

Em geral, este processo envolve gasto energético e os diferentes tecidos corporais são responsáveis por diferentes parcelas deste total. Loblely et al. (1980) estimaram em bovinos que RP pode representar até 30% da produção de calor e que 38-46% desta ocorre no trato gastrintestinal (TGI) e 19-22% no músculo esquelético. Davis, Barry e Hughson (1981) estimaram que o custo energético da síntese protéica no corpo total de cordeiros foi de aproximadamente 42% da produção de calor diária ou 35% da energia metabolizável ingerida. Posteriormente, Gill et al. (1989) simularam o gasto energético da RP em ovinos e estimaram que este processo corresponde a 19% do gasto em ATP no corpo total, sendo que destes o TGI representaria 25-27%, músculos, 21-26%, pele, 23-26% e fígado, 13%.

Avaliando a RP individualmente nos diversos tecidos do corpo, estes estudos concordam no fato que a soma entre músculo esquelético e TGI seria responsável por pelo menos metade de todo gasto de energético relacionado àquele processo.

Contudo, em animais destinados à produção de carne particularmente, o maior interesse científico tem acontecido a respeito do entendimento da RP inerente ao músculo esquelético, uma vez que este tecido compõe a maior parte do ganho de peso de animais em crescimento e seu acréscimo no corpo é determinado pelo balanço entre taxa de síntese e a taxa de degradação protéica (GOLL et al., 1998) a qual, neste caso, equivale-se à RP (HAWKINS, 1991).

Mais especificamente, a reciclagem das proteínas miofibrilares (PMF) tem sido estudada mais extensamente. Estas constituem aproximadamente 60% do tecido muscular em peso e formam a miofibrila, estrutura contráctil do músculo esquelético. Por serem responsáveis pela maioria das propriedades funcionais e culinárias do músculo e da carne, muitos estudos da RP muscular são focadas nas PMF (GOLL et al., 2008).

Em revisão recente, Goll et al. (2008) descreveram os processos enzimáticos envolvidos na RP das PMF. Em resumo, quatro são os sistemas proteolíticos em quantidades suficientes para serem candidatos a atuar na RP muscular, sendo eles os

sistemas lisossomal, das caspases, das calpaínas e da via proteassoma, contudo apenas os dois últimos parecem ser mais prováveis de estarem envolvidos na RP das PMF. A proteassoma seria responsável por até 90% da reciclagem das proteínas musculares, porém este sistema não é capaz de degradar PMF antes que estas tenham sido removidas da estrutura da miofibrila. Desta forma, o sistema das calpaínas tem sido sugerido como responsável pela iniciação do processo de degradação protéica no músculo esquelético uma vez que este degrada as proteínas que mantêm as PMF reunidas na estrutura miofibrilar resultando na liberação das PMF na forma de miofilamentos.

O sistema enzimático das calpaínas é composto por duas principais isoenzimas dependentes de Ca^{+2} , chamadas de μ -calpaína e m-calpaína, as quais diferem entre si quanto à concentração de Ca^{+2} necessária para seu funcionamento (micromolar e milimolar, respectivamente). Ambas são proteases de cisteína com pH ótimo de 7,2-8,2, tendo sua atividade regulada pela calpastatina, a qual também requer Ca^{+2} para se ligar às calpaínas. Calpastatina, μ - e m-calpaínas são localizadas exclusivamente intracelularmente e parecem ser associadas principalmente, mas não inteiramente, com organelas subcelulares tais como miofibrilas no músculo esquelético, citoesqueleto de células não musculares, vesículas e membranas plasmáticas (GOLL et al., 2003).

Em diversos estudos, tem sido demonstrado a existência de relações entre características de crescimento e eficiência alimentar em ruminantes e seu metabolismo protéico muscular, com especial foco sobre o sistema enzimático das calpaínas.

Morgan et al. (1993), avaliando o efeito da castração sobre a atividade de proteinases endógenas e reciclagem das proteínas miofibrilares em bovinos, observaram associação negativa entre taxas de degradação fracional das proteínas miofibrilares e as atividades dos inibidores de proteases calpastatina e cistatina. Neste estudo foi mostrado que as menores taxas de degradação das proteínas do músculo esquelético em touros contribuem para sua maior eficiência de crescimento, evidenciando uma relação entre as atividades das catepsinas e calpaínas e o crescimento muscular.

Associações entre reciclagem muscular, taxa de crescimento e eficiência alimentar também foram demonstradas por Oddy et al. (1998). Nesta investigação foi observado

que novilhos com alta taxa de crescimento apresentaram menores taxas de síntese e degradação protéica muscular que animais com baixa taxa de crescimento e que aproximadamente 70% das diferenças quanto a eficiência alimentar entre os grupos ocorre no músculo.

Em outro estudo, Thomson et al. (1997) verificaram uma associação negativa entre a taxa de degradação protéica e a atividade da μ -calpaína ($r = 0,61$) e uma associação positiva entre atividade de calpastatina e ganho protéico ($r = 0,44$) em cordeiros. Neste caso, uma atividade aumentada da calpastatina favoreceria o ganho corporal em proteína que tem sido observado em indivíduos com melhor eficiência alimentar e maior taxa de crescimento.

Tendo em vista que o “turnover” de proteínas corporais representa ao redor de 30% do gasto energético com manutenção (BALDWIN; SAINZ, 1995), este processo seria um dos mecanismos candidatos a ser responsável pelas variações na exigência de manutenção e em CAR. Trabalhando com novilhos Angus x Hereford, Castro Bulle et al. (2007) demonstraram que CAR pode estar negativamente correlacionado com exigências energéticas de manutenção (E_{m}) e que E_{m} foi positivamente relacionado com a taxa de reciclagem protéica muscular.

Segundo Richardson e Herd (2004), várias mensurações suportam a hipótese que as taxas de degradação protéica e de ganho em proteína no corpo total são relacionadas com variações no CAR em bovinos de corte. Correlações negativas foram encontradas entre CAR e a percentagem de proteína corporal, em adição de correlação negativa entre CAR e ganho protéico (RICHARDSON et al., 2001). Isto implica que animais mais eficientes possuem um mecanismo para deposição de proteína mais eficiente ou uma menor taxa de degradação comparada com os menos eficientes.

Foram observadas ainda, associações positivas entre valor genético estimado para CAR e concentração de uréia sanguínea, menor concentração de uréia sanguínea para animais de baixo CAR comparados aos de alto CAR e tendência para relação fenotípica positiva entre CAR e concentração de uréia sanguínea à desmama (RICHARDSON et al., 2004). Através destes resultados, sugere-se haver uma maior taxa de degradação protéica em animais menos eficientes quando comparados a animais mais eficientes.

Apesar de um mecanismo que favoreça a deposição protéica corporal ser interessante em termos produtivos, a taxa de dissociação de miofibrilas e o aumento nas medidas objetivas de maciez da carne têm se mostrado ser positivamente correlacionados com níveis da atividade proteolítica do sistema calpaína no músculo ao abate (McDONAGH et al., 2001).

Segundo Koohmaraie (1996), baseado em resultados de inúmeros experimentos, pode-se concluir que a proteólise das proteínas miofibrilares pela enzima μ -calpaína é o mecanismo fundamental do amaciamento da carne que ocorre durante a estocagem em temperaturas refrigeradas (maturação da carne).

No trabalho de McDonagh, Fernandez e Oddy (1999) foram observadas fortes correlações entre a relação μ -calpaína:calpastatina, que é uma estimativa da atividade proteolítica potencial da μ -calpaína, e a taxa de fragmentação miofibrilar ($r = 0,75$) e o ganho em maciez da carne ($r = -0,64$) em cordeiros.

Posteriormente, McDonagh et al. (2001) avaliaram a progênie de bovinos oriundos de seleção divergente para consumo alimentar residual e verificaram que amostras do músculo *Longissimus dorsi* de animais de baixo CAR (mais eficientes) apresentaram menores valores de índice de fragmentação miofibrilar e concentrações de calpastatina no músculo 13% maiores, quando comparados aos animais de alto CAR (menos eficientes).

Os autores concluíram que, em razão da progênie de uma única seleção divergente para CAR ter apresentado diferenças quanto às características acima descritas, uma seleção contínua para baixo CAR poderia afetar negativamente a maciez da carne.

Entretanto, Baker et al. (2006) avaliaram características de qualidade de carne em novilhos Angus com alto e baixo CAR e verificaram que amostras do músculo *Longissimus* de ambos os grupos de eficiência não diferiram quanto à composição química, às perdas por cozimento e à atividade enzimática da calpastatina. Além disso, novilhos diferindo em seu CAR apresentaram força de cisalhamento e escore de maciez e sabor semelhantes.

Tem sido provado que diferenças genéticas na maciez da carne são associadas com a variação na taxa e extensão da proteólise muscular que ocorre durante o

armazenamento *post mortem* da carne fresca (WHIPPLE et al., 1990; SHACKELFORD et al., 1994; WULF et al., 1996; O'CONNOR et al. 1997). Nos trabalhos de Pringle et al., (1997) e Shackelford et al. (1991) foi demonstrado que o aumento da participação de sangue zebuino em cruzamentos para bovinos tem efeitos negativos na maciez da carne principalmente por aumentar a atividade da calpastatina no músculo. Além disso, animais zebuínos (*Bos indicus*) têm sido considerados requerer entre 10% (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996) e 20% (SAINZ et al., 2006a) menos energia para manutenção que animais taurinos (*Bos taurus*).

Apesar das relações entre CAR, metabolismo protéico muscular e qualidade de carne bovina terem sido, de certa forma, já avaliadas, a inconsistência dos resultados obtidos e principalmente as diferenças existentes entre animais *Bos taurus* e *Bos indicus* fazem necessários maiores estudos em animais zebuínos.

3 OBJETIVOS

O objetivo com este trabalho foi avaliar as características de carcaça, a composição química corporal, o metabolismo protéico muscular e a qualidade de carne em novilhos Nelore (*Bos indicus*) com alto e baixo consumo alimentar residual.

As hipóteses do trabalho foram:

1. Novilhos com alto e baixo CAR diferem quanto à reciclagem protéica no músculo esquelético, resultando em diferenças quanto à composição química do ganho de peso e a características de carcaça, como espessura de gordura subcutânea e área do músculo *Longissimus*.

2. As relações entre CAR, características de carcaça e composição química corporal ao abate variam em função do peso vivo animal.

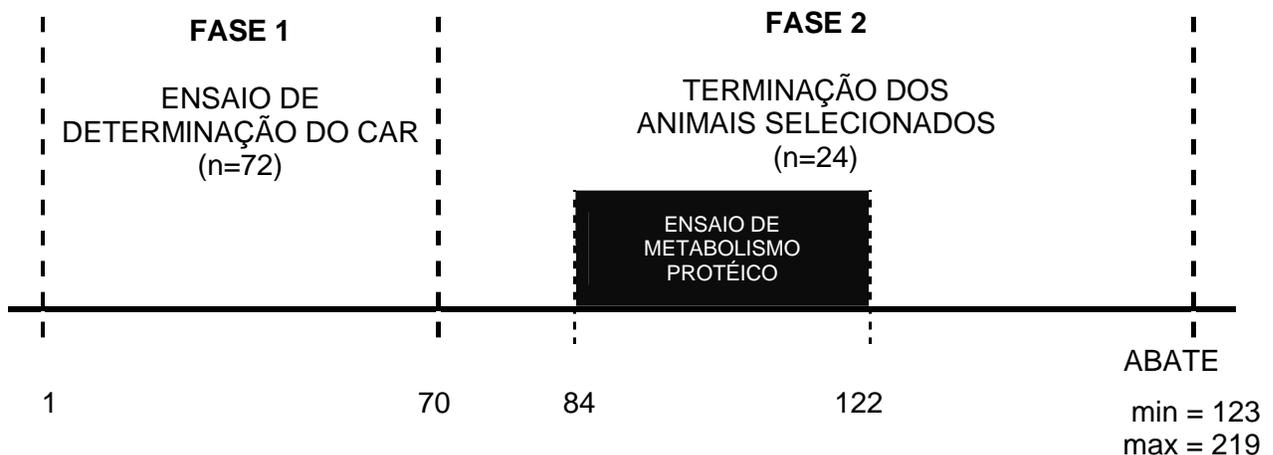
3. Novilhos com baixo CAR apresentam maior atividade enzimática da calpastatina e/ou menor das calpaínas. Por este complexo enzimático estar relacionado com a maciez da carne bovina, animais com baixo CAR apresentam menores valores de medidas objetivas de maciez do músculo *Longissimus*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Cronograma experimental

O estudo constou de duas etapas distintas e é representado temporalmente pela Figura 1 como fases 1 e 2. Inicialmente foi realizado um ensaio de alimentação utilizando-se 72 unidades experimentais, pelo qual o CAR de cada animal foi determinado (FASE 1). Então, uma sub-população de 24 indivíduos foi selecionada com base nos resultados de CAR para a fase de terminação (FASE 2) onde cada animal continuou sendo alimentado até que satisfizesse o critério para seu abate. Os animais avaliados nesta etapa foram ainda submetidos a um ensaio de metabolismo muscular. Detalhamento sobre as etapas é dado a seguir.

Todos os procedimentos com animais seguiram os princípios éticos postulados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal.



Tempo de alimentação em confinamento, dias

Figura 1 – Cronograma do período experimental. Para cada etapa, “n” indica o número de unidades experimentais. As notações “min” e “max” referem-se ao número mínimo e máximo de dias em alimentação até abate, respectivamente.

4.2 Ensaio de determinação do CAR

4.2.1 Animais e instalações

Foram utilizados 72 novilhos da raça Nelore, com 19 meses de idade (± 29 dias) e 334 ± 19 kg de peso vivo (PV), oriundos do rebanho de bovinos de corte da Prefeitura do Campus Administrativo da USP em Pirassununga (PCAPS).

Os animais foram alojados em dois confinamentos experimentais. O primeiro era composto de baias individuais com 50 m^2 de área cada, onde foram dispostos 36 animais. O segundo continha três baias coletivas de 230 m^2 de área, com capacidade de 12 animais cada. Neste último, estavam instalados comedouros dotados de sistema eletrônico para consumo individualizado tipo Calan Broadbent (American Calan Inc., Northwood, NH, EUA). Em ambos, os comedouros encontravam-se cobertos por telhas de fibrocimento ou metálicas e o piso do terreno era chão batido.

4.2.2 Alimentação

Realizou-se uma adaptação dos animais à dieta e ao local por 21 dias e então se iniciou o período de avaliação. Este se estendeu por 70 dias, como recomendado por Archer et al. (1997) para animais de raças britânicas.

O arraçoamento foi realizado em duas ocasiões diárias (8 e 16 h), com uma ração total misturada (Tabela 1) contendo feno de Coast-cross e concentrado numa relação de 25:75, fornecida *ad libitum*. Não foram adicionados à dieta quaisquer aditivos alimentares modificadores da fermentação ruminal ou promotores do crescimento.

O fornecimento da ração total misturada foi ajustado semanalmente de forma a manter sobras equivalentes a 10% do montante ofertado.

4.2.3 Características avaliadas

O consumo de alimentos, apresentado aqui com base na matéria seca (CMS), foi calculado como a diferença entre a quantidade fornecida diariamente e as sobras (retiradas três vezes por semana). O teor de matéria seca do concentrado, do feno e das sobras (amostra composta das sobras de todos os animais) foi determinado a cada duas semanas.

O ganho de peso médio diário (GMD) no período foi calculado através da regressão linear entre o tempo de confinamento e o PV individual medido nos dias 0, 21, 42 e 70. As pesagens não seguiram jejum hídrico ou de alimentos, com exceção das ocasiões de obtenção dos PV inicial (PVI, dia 0) e final (PVF, dia 70), utilizados para o cálculo do peso vivo metabólico médio do experimento ($PVM^{0,75}$; $PVM = \{(PVI+PVF)/2\}$). Neste caso, os animais foram anteriormente privados de alimentos e água por 18 horas (PVj18h).

Tabela 1 – Composição percentual da dieta utilizada no experimento com base na matéria seca (MS)

Ingredientes	% na MS
Feno de Coast cross	25,38
Milho grão seco, moído grosso	35,76
Farelo de soja 45%	2,19
Casca de soja	35,0
Uréia	1,07
Núcleo mineral	0,6
TOTAL	100,0
<hr/>	
Nutrientes	
Matéria seca ¹	73,2
Extrato etéreo	2,3
Fibra em detergente neutro	44,8
Fibra em detergente ácido	30,1
Matéria mineral	2,9
Proteína bruta	14,3
Proteína degradável no rúmen ²	9,8
Nutrientes digestíveis totais ³	74,5

¹com base na matéria natural.

²National Research Council (1996).

³estimado por intermédio de fórmula de Weiss, Conrad e St. Pierre (1992).

A altura de garupa (AG) foi registrada nos dias 0 e 70 do período experimental e o perímetro torácico apenas no último dia do confinamento, com auxílio de fita

milimetrada. O escore de estrutura corporal (EEC) foi determinado no primeiro dia do ensaio, utilizando equação de Horimoto et al. (2006):

$$EEC = -7,01993 + 0,06294*AG - 0,14870*PV + 0,00119*AG*PV$$

Onde:

PV = peso vivo (kg);

AG = altura de garupa (cm).

A área do *Longissimus* (AMLU) e a espessura de gordura subcutânea sobre este músculo (EGSLU) foram medidas na região compreendida entre as 12ª e 13ª costelas e a espessura de gordura subcutânea sobre a garupa (EGSGU) medida no músculo *Biceps femoris*. Tais medições foram tomadas concomitantemente a cada pesagem (dias 0, 21, 42 e 70) através de ultra-sonografia realizada no lado esquerdo do animal. Para isso, foi utilizado um aparelho de ultra-sonografia em tempo real, marca Piemedical, modelo Scanner 200 VET (Pie Medical, Inc., Maastricht, The Netherlands), equipado com transdutor linear de 3,5 MHz e 18 cm de comprimento, acoplado a uma guia acústica. Óleo vegetal foi usado como acoplante acústico para permitir uma melhor transmissão e recepção das ondas de ultra-som e assim, obter-se imagens de melhor qualidade. As imagens foram armazenadas em um microcomputador e analisadas através do software Eview® (Pie Medical, Inc., Maastricht, The Netherlands).

A conversão alimentar (CA) foi determinada como a razão entre CMS (kg/dia) e GMD (kg/dia).

O consumo alimentar residual de cada animal foi calculado como a diferença entre o CMS (kg/dia) observado (CMS_{obs}) e o CMS (kg/dia) predito com base na taxa de ganho de peso e no peso vivo médio metabólico (CMS_{pred}).

Os valores preditos de consumo de matéria seca foram obtidos através do procedimento REG do software estatístico SAS (SAS, 1998), sendo estimada a regressão do CMS_{obs} no PVM^{0,75} e GMD, como segue:

$$CMS_{obs} = \beta_0 + \beta_1 \times (PVM^{0,75}) + \beta_2 \times (GMD) + \varepsilon$$

A equação gerada para estimar o CMS_{pred} está apresentada abaixo:

$$CMS_{pred} = 0,07935 \times (PVM^{0,75}) + 2,12441 \times (GMD) \\ (R^2 = 0,99)$$

Para sua obtenção, foi determinada a ausência de intercepto, uma vez que inicialmente foi observado que este não havia sido significativamente diferente de zero ($P > 0,05$).

4.3 Classificação quanto ao CAR e seleção de animais para a fase de terminação

Os animais foram classificados como sendo de alto CAR aqueles cujo CAR foi 0,5 desvio-padrão maior que a média e de baixo CAR aqueles cujo CAR foi 0,5 desvio-padrão menor que a média. Animais com CAR entre -0,5 e 0,5 kg/dia foram classificados como CAR médio.

Para esta medida de eficiência alimentar, entende-se que indivíduos com alto CAR são menos eficientes, enquanto que os que apresentam baixo CAR são mais eficientes. Para fins de conveniência entende-se ao longo do texto o termo “grupo de eficiência” como as classes de consumo alimentar residual alto, média e baixa.

Os 12 animais mais eficientes (menores valores de CAR) e os 12 menos eficientes (maiores valores de CAR) foram selecionados para a avaliação do metabolismo protéico muscular e para a fase de terminação. A seleção dos 24 indivíduos ocorreu independente de que instalação estavam alojados durante a fase de determinação do CAR porque não foram observadas diferenças entre baias individuais ou coletivas em relação a ingestão de alimentos, ganho de peso, conversão alimentar e consumo alimentar residual dos animais ($P > 0,10$).

4.4 Terminação dos bovinos com alto e baixo CAR

4.4.1 Manejo alimentar e instalações

Os 24 animais selecionados foram alojados aleatoriamente em baias individuais dotadas de bebedouros e comedouros cobertos, feitos de alvenaria. Os novilhos foram submetidos ao mesmo manejo alimentar utilizado no ensaio de determinação do CAR e

permaneceram sob o regime citado até que atingissem pesos vivos pré-determinados para seu abate.

4.4.2 Determinação do ponto de abate

Ao início do período de terminação, todos os animais foram designados a um de quatro pontos de abate, sendo estes os pesos vivos (PVabate) de 460, 490, 520 ou 550 kg. Animais que naquele momento apresentavam peso vivo maior que algum dos pontos de abate determinados tiveram seu sorteio restrito apenas a PVabate superiores. O sorteio foi realizado de forma que a distribuição das unidades experimentais (n=24) fosse balanceada no arranjo fatorial de tratamentos, ou seja, três animais para cada PVabate dentro de cada grupo de eficiência.

O PV dos animais foi monitorado através de pesagens com aplicação de jejum determinadas em função do PV ao início do período de terminação e do GMD observado anteriormente. Pesagens sem aplicação de jejum (PVcheio) também foram realizadas em ocasiões aleatórias. Quando o PVcheio observado era maior ou igual a 105% do PVabate pré-determinado, o novilho era submetido a jejum completo por 18 horas e novamente pesado (PVj18h). Animais com $PVj18h \geq (PVabate - 5 \text{ kg})$ foram abatidos até 48 horas depois.

Os PVabate apresentados por este estudo são PVj18h.

4.4.3 Abate, desossa e amostragem

Alcançados os PVabate pré-definidos, os animais foram abatidos no Matadouro-Escola da Prefeitura do Campus Administrativo da USP (PCAPS) em Pirassununga, SP. O transporte dos novilhos do confinamento onde estavam alojados até a planta frigorífica experimental ocorreu momentos antes do abate por caminhão apropriado para o fim.

Foram utilizados procedimentos humanitários, conforme exigido pela legislação brasileira. No matadouro, os animais foram insensibilizados através de concussão cerebral, exsanguinados e tiveram cabeça, pés, couro e vísceras retirados. As vísceras

foram dissecadas quanto a toda gordura visível presente e o trato gastrointestinal foi esvaziado e lavado.

As carcaças foram resfriadas em câmara fria a 1°C por 24 horas e a meia carcaça esquerda de cada animal foi dividida em traseiro especial (traseiro + lombo), ponta de agulha e dianteiro com cinco costelas. O lombo foi seccionado entre as 12ª e 13ª costelas. Cada parte da meia carcaça foi dissecada separando-se ossos, porção comestível e aparas. A porção comestível foi definida como os cortes desossados e aparados do excesso de gordura (3 mm).

Quatro bifés do músculo *Longissimus* (2,4 cm de espessura) de cada meia carcaça esquerda, destinados a análises de maciez objetiva, foram embalados a vácuo em filme flexível de alta barreira. Destes, dois bifés foram mantidos em câmara fria ajustada a temperaturas entre 2-4°C por sete dias e então congelados (-20°C), enquanto que outros dois foram imediatamente congelados após sua coleta. Um quinto bife pesando aproximadamente 30 g foi pesado, alojado em placa de Petri plástica e imediatamente congelado, para posterior determinação do teor de extrato etéreo.

4.4.4 Características avaliadas

4.4.4.1 Desempenho

O consumo de matéria seca foi determinado como a diferença entre a quantidade oferecida e o montante não consumido por cada animal, medido a cada dois dias.

O ganho de peso total durante a fase de terminação foi calculado pela simples diferença entre o PVj18h ao abate e ao início deste período (fim do ensaio de determinação do CAR). O ganho de peso diário foi obtido pela divisão entre o ganho de peso total e o número de dias que o animal permaneceu em alimentação.

Para cada aplicação de jejum com intuito de se obter o PVj18h dos novilhos, diminuiu-se arbitrariamente dois dias de seu valor total de dias em alimentação. Tal ajuste foi considerado necessário devido os indivíduos terem sido submetidos a este manejo por diferentes números de ocasiões. Os valores ajustados foram utilizados no cálculo de ambos ganho de peso e consumo de matéria seca diários.

A conversão alimentar apresentada aqui se relaciona à razão entre CMS (kg/dia) e GMD (kg/dia) obtidos no período enquanto que os resultados de CAR são os mesmos determinados na etapa anterior.

4.4.4.2 Vísceras

O peso do TGI vazio e livre de gordura (TGI_{lvz}) e a massa de gordura sobre o TGI foram medidos. Pesos do coração, pulmões, traquéia, rins, fígado, baço e pâncreas foram somados ao do TGI_{lvz} perfazendo o peso da massa visceral total.

4.4.4.3 Carcaça

Ao abate, foram obtidos os pesos da carcaça quente (PCQ) e da massa da gordura renal, pélvica e inguinal. O rendimento de carcaça foi calculado como a percentagem do PCQ (kg) em relação ao PV_{j18h} final (kg).

A área do *Longissimus dorsi* e a espessura de gordura subcutânea foram medidos na região entre as 12^a e 13^a costelas.

O peso das aparas foi determinado pela diferença entre os pesos de cada parte da carcaça e o da soma entre músculos e ossos. A percentagem de músculos foi considerada a percentagem de porção comestível (POCM). Percentagem de aparas e POCM são relativos ao peso da carcaça fria (1°C, 24 horas).

O teor de extrato etéreo (EE) no músculo *Longissimus* foi determinado de acordo com metodologia descrita Silva e Queiroz (2002), em amostra liofilizada. Os valores apresentados são percentagens em relação à matéria original.

4.4.4.4 Composição química do corpo vazio

As percentagens de gordura e proteína e o teor de energia no corpo vazio foram estimados ao abate, porém não foram realizadas estimativas destas características ao início da fase de terminação. A descrição da metodologia empregada é dada no item 4.6.

4.4.4.5 Maciez objetiva e perdas da carne

A maciez objetiva do músculo *Longissimus* foi avaliada em amostras não maturadas ou maturadas por 7 dias, por meio da determinação da força de cisalhamento (FC) e do índice de fragmentação miofibrilar (IFM).

No dia anterior à realização das análises, as amostras de carne foram retiradas do freezer (-20°C) e descongeladas em câmara fria com temperatura entre 2-4°C, por 24 horas.

No momento das análises de FC, as amostras destinadas para tal foram retiradas das embalagens a vácuo, colocadas em bandejas de alumínio e pesadas em balança analítica. O peso do líquido exsudado das amostras e presente na embalagem plástica foi registrado separadamente para a determinação das perdas por exsudação (PE), considerada como a razão entre o peso do exsudado e a soma de seu peso com o do bife, calculada em percentagem.

As amostras repousaram a temperatura ambiente até atingirem 25°C em seu centro geométrico. Foi determinado o escore de marmorização dos bifés (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1999) e então estes foram levados a um forno elétrico previamente aquecido a 180°C. Com auxílio de termômetros digitais inseridos em seu centro geométrico a temperatura das amostras foi monitorada. Alcançando temperatura interna de 71°C, as amostras foram retiradas e deixadas repousar em temperatura ambiente até que fosse observada temperatura interna do bife de 25°C. Os bifés foram pesados novamente e por diferença de peso, antes e depois de levadas ao forno, calculou-se as perdas totais por cozimento (PTC), também dada em percentagem. Então, oito sub-amostras cilíndricas de cada bife (12,7 mm de diâmetro) foram retiradas seguindo o sentido das fibras musculares, cisalhadas em aparelho Warner-Bratzler e o valor de FC calculado como a média das oito sub-amostras (AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION, 1995).

O IFM do músculo *Longissimus* foi determinado de acordo com metodologia descrita por Culler et al. (1978).

4.4.4.6 Atividade enzimática do sistema calpaína

Ao abate, imediatamente após a sangria do animal, o couro foi retirado e uma amostra de aproximadamente 50 g do músculo *Longissimus* foi colhida do lado direito do animal, na região compreendida entre as 12^a e 13^a costelas, armazenada em gelo durante o transporte até o laboratório e homogeneizada dentro de 30 minutos após a insensibilização do animal para a determinação da atividade caseinolítica das enzimas μ -calpaína, m-calpaína e calpastatina. As calpaínas foram isoladas por cromatografia de troca iônica segundo metodologia descrita por Sainz, Thomson e Macsood (1992) e a calpastatina segundo Geesink e Koohmaraie (1999). A atividade das calpaínas foi avaliada contra caseína e a calpastatina contra atividades conhecidas de m-calpaína.

4.5 Ensaio de metabolismo protéico do músculo esquelético

4.5.1 Características avaliadas

O metabolismo protéico muscular foi avaliado através de mensurações da taxa fracional de degradação das proteínas miofibrilares (TFD) e das taxas fracionais de síntese (TFS) e de acréscimo (TFA) de proteínas musculares (HARRIS; MILNE, 1981; CASTRO BULLE et al., 2007).

A TFD (%/dia) foi determinada através da relação entre a excreção urinária diária de 3-metil-histidina (3MH) e a quantidade total deste aminoácido na massa de músculo esquelético (MME), como segue:

$$TFD, \%/d = \frac{[3MH]_{urina}, \mu mol/L \times volume\ de\ urina, L/d}{massa\ muscular, kg \times 180\ g\ proteina/kg \times 3,5106\ \mu mol/g\ proteina\ muscular} \times 100$$

Para o cálculo da TFD, assumiu-se que a concentração de 3MH no músculo esquelético era de 3,5106 μ mol/g proteína muscular (NISHIZAWA et al., 1979).

A percentagem de proteína muscular foi determinada como a média da concentração de nitrogênio total (SILVA; QUEIROZ, 2002) medida em três amostras do músculo *Longissimus* (região entre as 12^a e 13^a costelas) multiplicada pelo fator 4,8

(Janney, 1916). A concentração proteína no músculo esquelético foi de 18%; valor semelhante ao utilizado em estudos anteriores (CASTRO BULLE et al., 2007).

A MME no início do ensaio de determinação do CAR (MME inicial) e no momento do ensaio de metabolismo muscular (MME ensaio) foi estimada através das equações abaixo, geradas com dados de PVj18h e MME medidos em população independente de novilhos Nelore com idade e pesos semelhantes ao do presente estudo:

$$\begin{aligned} \text{MME inicial (kg)} &= 0,39817 * \text{PVj18h (kg)}; \\ &(\text{R}^2=0,9993); \\ &(\text{APÊNDICE A}). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MME ensaio (kg)} &= 0,38976 * \text{PVj18h (kg)}; \\ &(\text{R}^2=0,9985); \\ &(\text{APÊNDICE B}). \end{aligned}$$

As taxas de síntese e acréscimo de proteínas musculares foram determinadas levando-se em consideração o período compreendido entre o início do confinamento para determinação do CAR e a coleta de urina para o ensaio de metabolismo. A TFA (%/dia) foi estimada pela razão entre a taxa diária de ganho de proteína (kg/dia) da MME e a MME média (kg) no período avaliado $([\text{MME inicial} + \text{MME coleta}]/2)$. A TFS (%/dia) da MME foi estimada pela soma entre TFD e TFA.

4.5.2 Determinação da excreção urinária diária de 3-metil-histidina

4.5.2.1 Procedimento de colheita total de urina

Entre a terceira e a oitava semana do período de terminação os animais foram submetidos à colheita total de urina, tendo sido retirados de suas baias de alimentação e alojados em galpão coberto, com piso cimentado e emborrachado, dotado de comedouros de alvenaria e bebedouros individuais.

Os novilhos foram presos por cabrestos e permitidos adaptar ao local, à presença de pessoas e à contenção por cinco dias. Ao final do período de adaptação, os

indivíduos que participaram do ensaio haviam apresentado ingestão regular de água e consumo de alimentos \geq a 90% do CMS observado previamente à contenção.

Por dois dias posteriores à adaptação, foi realizada a colheita total de urina, compreendendo dois períodos completos de 24 horas. Para isso, uma pessoa ficou localizada permanentemente ao lado do animal, portando hastes dotadas de balde plástico em uma de suas pontas. A cada micção, o balde era posicionado imediatamente abaixo do animal e a urina era coletada. O material então era armazenado em outro balde plástico devidamente identificado, contendo 50 ml de H₂SO₄ 1:1 v/v. O total coletado em um período de 24 horas teve seu volume medido e uma sub-amostra (50 ml) foi colhida e armazenada em frascos. Ao final do período de coleta, todas as sub-amostras foram compostas e tiveram sua gravidade específica mensurada. A amostra composta de cada animal foi então congelada (-20°C) para posteriores análises.

O PVj18h de cada animal foi obtido 48 horas após o fim do período de coleta de urina.

Tabela 2 – Peso vivo e número de animais avaliados por grupo de eficiência em cada coleta de urina no ensaio de metabolismo protéico muscular

Data de coleta ¹	CAR			
	Alto		Baixo	
	n ²	PVj18h ³	n	PVj18h
84º dia	3	417	1	391
92º dia	1	433	2	433
101º dia	2	440	2	444
109º dia	2	481	1	434
115º dia	2	501	2	470
122º dia	1	472	3	490

¹ dia relativo ao início do confinamento de determinação do CAR dos animais.

² número de animais coletados.

³ média do peso vivo dos animais coletados (peso medido após jejum completo de 18 horas).

4.5.2.2 Determinação da concentração urinária de 3-metil-histidina

A análise da concentração urinária de 3MH foi realizada por cromatografia de alta performance (HPLC) seguida por detecção fluorométrica (DUNNETT; HARRIS, 1997). A excreção total de 3MH foi calculada como o produto da sua concentração na urina e o volume total de urina.

4.6 Estimativa da composição e retenção química corporal

4.6.1 Momentos das avaliações

Com o objetivo de avaliar a composição química do ganho de peso, foi realizada a estimativa da composição do corpo vazio (Cvz) dos animais em três ocasiões distintas.

Ao início do ensaio de determinação do CAR, 10 dos 72 novilhos utilizados foram aleatoriamente escolhidos e submetidos a esta avaliação, compondo a linha base para o cálculo da composição do ganho de peso dos animais selecionados. A composição corporal foi novamente estimada no dia anterior ao início do ensaio de metabolismo muscular ou dois dias após seu término e também entre 24 e 48 horas antes do abate.

4.6.2 Metodologia de estimativa da composição química corporal

A composição química do Cvz foi estimada através da metodologia de diluição isotópica do óxido de deutério (D_2O), adaptada a bovinos da raça Nelore e descrita por Leme et al. (1994). Neste método, o espaço de deutério (EDT) é determinado e utilizado em equações para predição da quantidade de água no Cvz. A quantidade de água serve então como base para a estimativa do conteúdo dos outros componentes químicos.

4.6.2.1 Determinação do espaço de deutério (EDT)

A cada avaliação, foi realizada no animal a infusão de 0,1g/kg PV de óxido de deutério (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA, #151882, 99,8%, PM 20,03) por meio de

injeção na jugular direita, após jejum completo por 18 horas. Sangue total foi coletado em tubos desprovidos de aditivos (Vacutainer; Becton, Dickinson Ind. Cirúrgicas Ltda., Juiz de Fora, MG, Brasil) imediatamente antes e seis horas após a infusão. Entre as duas coletas, o novilho permaneceu em jejum completo. As amostras de sangue total foram mantidas congeladas (-20°C) até o momento das análises.

A execução das análises ocorreu no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear para a Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP), em Piracicaba, SP. A princípio, o sangue descongelado foi destilado a vácuo e a água separada foi recolhida através de armadilha criogênica, resfriada por imersão em nitrogênio líquido. Posteriormente, a concentração de D₂O na água obtida pela destilação foi analisada por meio de espectrometria de absorção a laser (Los Gatos Research Inc., Mountain View, CA, EUA).

O espaço de deutério após seis horas de infusão do D₂O (EDT6h) foi calculado pela fórmula:

$$\text{EDT6h (kg)} = \frac{\text{D2O injetado (mg)}}{\text{D2O sanguíneo T6 (ppm)} - \text{D2O sanguíneo T0 (ppm)}}$$

Onde:

T0 = amostra de sangue antes da infusão de D₂O;

T6 = amostra de sangue após 6 horas da infusão de D₂O.

4.6.2.2 Estimativa da percentagem de gordura, proteína e energia no corpo vazio

A partir da terminação do EDT6h, foram estimadas as percentagens de água e gordura no Cvz utilizando-se as equações abaixo:

$$\text{Água (\%)} = 65,9654 + [0,0977 \times \text{EDT6h (kg)}] - [0,0909 \times \text{PVj18h (kg)}];$$

$$(\text{R}^2=0,83; \text{S}_{x,y}=1,33);$$

(Leme, 1993);

$$\text{Gordura (\%)} = 93,92968 - 1,27598 \times \text{Água (\%)};$$

$$(\text{R}^2=0,97; \text{S}_{x,y}=0,62);$$

(Leme et al., 1994).

As percentagens de proteína e cinzas no corpo vazio foram estimados a partir das relações proteína:água e cinzas:água da composição do corpo vazio sem gordura de 0,3009 e 0,0747, respectivamente, descritas por Leme et al. (1994).

Para o cálculo da energia no Cvz e da energia retida assumiu-se o calor de combustão da gordura e da proteína retidas como sendo 9,385 e 5,539 Mcal/kg, respectivamente (GARRET; HINMAN, 1969).

O peso do corpo vazio (PCVz) inicial foi calculado pela multiplicação do PVj18h por 0,86183, fator este estimado através do abate de 10 novilhos cujo conteúdo do trato gastrointestinal foi medido (APÊNDICE B).

O PCVz no ensaio de metabolismo muscular e ao abate foi estimado de acordo com equação de Aferri (2007), a qual foi gerada utilizando animais provenientes do mesmo rebanho e com PV semelhantes àqueles do presente estudo:

$$\text{PCVz (kg)} = -15,74911 + 0,98517 \times \text{PVj18h (kg)} ; \\ (R^2=0,96; S_{x,y}=8,64).$$

4.6.3 Cálculo da composição química do ganho de peso

A composição química do ganho de peso de novilhos com alto e baixo CAR foi determinada com base em três diferentes períodos: entre o início do ensaio de determinação do CAR e o ensaio de metabolismo muscular, entre o ensaio de metabolismo muscular e o abate e também do início do ensaio de determinação do CAR até o abate.

O ganho corporal (Cvz) total de PVj18h, proteína, gordura e energia foi dividido pelo número de dias que compreende o respectivo período de avaliação, calculando-se assim a retenção diária daqueles componentes. O número de dias entre o ensaio de metabolismo muscular e o abate foi ajustado em função da quantidade de jejuns aplicados para verificação dos pesos vivos dos animais (item 4.4.4.1).

4.7 Análise estatística dos dados

Os dados foram analisados quanto à presença de outliers, homogeneidade de variância e normalidade dos resíduos. Transformações dos dados (logarítimo base 10 e raiz quadrada) foram realizadas quando necessário.

O efeito fixo de grupo de eficiência (alto e baixo CAR) sobre as características estudadas no período de determinação do CAR (item 4.2.3) e no ensaio de metabolismo muscular (item 4.5.1) foi avaliado pelo procedimento GLM do SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1998). Quando a análise estava relacionada a medidas obtidas durante o período de terminação (item 4.4.4, com exceção de maciez objetiva e perdas da carne), foi utilizado modelo estatístico contendo os efeitos de grupo de eficiência, de peso vivo ao abate pré-determinado e a respectiva interação.

As características de qualidade de carne força de cisalhamento, índice de fragmentação miofibrilar, perdas por cozimento e por exsudação foram avaliadas por análise de máxima verossimilhança restrita (REML) para um delineamento inteiramente ao acaso utilizando o procedimento Mixed do SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1998). Neste caso foi ajustado um modelo linear misto contendo os efeitos fixos de tempo de maturação (0 ou 7 dias) e grupo de eficiência (alto ou baixo). A estrutura de covariância para as medidas repetidas realizadas dentro de cada unidade experimental (tempo de maturação) foi avaliada e escolhida para cada análise baseado no Critério de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC). Interações entre grupo de eficiência (alto e baixo CAR) e maturação também foram analisadas.

Os efeitos fixos presentes nos modelos foram considerados significantes a uma probabilidade $\leq 5\%$ e como tendências quando os valores de P estiveram entre 5% e 10%.

Quando se considerou necessário, respostas foram analisadas com ajuste para covariáveis, o que é indicado na tabelas de resultados. Todas as médias apresentadas são médias dos quadrados mínimos. No caso de comparações entre mais de duas médias, foi utilizado o teste ajustado Tukey-Kramer ($\alpha=0,05$).

5 RESULTADOS

5.1 Ensaio de determinação do CAR

5.1.1 Resultados gerais

Na população avaliada, a média, os valores máximo e mínimo e o desvio-padrão para a característica CAR foram de 0,0; 1,54, -2,72 e 0,69 kg/dia, respectivamente (APÊNDICE C). De acordo com o critério utilizado, 16 animais (22%) apresentaram alto CAR, 14 (19%) foram classificados como baixo CAR e 42 indivíduos (59%) se enquadraram no grupo de médio CAR (Tabela 3).

Novilhos com alto CAR tiveram maior consumo de matéria seca, tanto em quilos por dia, quanto em percentagem do peso vivo e maior CAR que bovinos com médio CAR; estes, por sua vez, apresentaram maiores valores para as características citadas quando comparados a animais com baixo CAR ($P < 0,001$).

Os grupos de eficiência não diferiram entre si quanto aos pesos vivos inicial e final, à idade e ao ganho de peso diário ($P > 0,10$). Da mesma forma, não diferiram quanto ao escore de estrutura corporal, ao perímetro torácico e à altura de garupa (Tabela 4, $P > 0,10$). A conversão alimentar não diferiu entre novilhos com CAR alto e médio, porém animais com baixo CAR tiveram menor média desta característica quando comparados aos dois outros grupos ($P < 0,001$).

Quanto às características de carcaça (Tabela 4), a área de *Longissimus* e as espessuras de gordura sobre aquele músculo e sobre o *Biceps femoris* foram semelhantes entre os grupo de eficiência caracterizados, independente da data de avaliação ($P > 0,10$). Não houve efeito de CAR sobre o ganho total no período (70 dias) em área de *Longissimus* e em gordura subcutânea presente sobre este músculo, contudo, houve uma tendência ($P < 0,10$) de animais com alto CAR apresentarem um maior ganho em gordura sobre o músculo *Biceps femoris*, principalmente quando comparados a novilhos com baixo CAR.

Tabela 3 – Características de desempenho em confinamento de novilhos Nelore com alto, médio e baixo CAR, avaliados na fase 1 do estudo

Características	CAR ³			EPM ⁵	P>F ⁶
	Alto	Médio ⁴	Baixo		
CAR, kg/dia					
n ¹	16	42	14		
média	0,81a	0,00b	-0,97c	0,08	<0,0001
máximo	1,54	0,49	-0,53		
mínimo	0,51	-0,48	-2,72		
desvio-padrão	0,31	0,28	0,64		
Peso vivo inicial, kg	336	336	327	2,19	0,25
Peso vivo final, kg	446	443	431	2,82	0,19
Idade, dias	572	569	563	3,41	0,70
Consumo de matéria seca, kg	11,0a	10,1b	9,0c	0,12	<0,0001
Consumo de matéria seca, %PV ²	2,81a	2,59b	2,37c	0,02	<0,0001
Ganho de peso diário, kg/dia	1,51	1,48	1,47	0,03	0,86
Conversão alimentar	7,40a	6,93a	6,21b	0,10	<0,001

¹ número de animais classificados para cada grupo de eficiência.

² PV = peso vivo. Razão entre a ingestão de alimentos dada em quilos por dia e o peso vivo médio durante o ensaio $([PV \text{ inicial} + PV \text{ final}]/2)$.

³ médias dos quadrados mínimos seguidas de letras distintas são diferentes pelo teste ajustado de Tukey-Kramer ($\alpha=0,05$).

⁴ animais com CAR entre -0,5 e 0,5 kg/dia.

⁵ erro-padrão da média.

⁶ probabilidade de um erro tipo I.

Tabela 4 – Características corporais e medidas de carcaça por ultra-som de novilhos Nelore com alto, médio e baixo CAR, avaliados na fase 1 do estudo

Característica ¹	CAR ²			EPM ⁴	P>F ⁵
	Alto	Médio ³	Baixo		
Escore de estrutura corporal	8,37	7,65	7,72	0,18	0,29
Perímetro torácico, d 70, cm	185	183	180	1,13	0,39
Altura de garupa					
d 0, cm	141	140	140	0,35	0,21
d 70, cm	145	144	143	0,37	0,38
Área de <i>Longissimus</i>					
d 0, cm ²	53,4	53,5	50,8	0,56	0,15
d 70, cm ²	67,0	63,4	66,5	0,63	0,12
ganho (d 0 – d 70), cm ²	13,4	12,9	12,6	0,35	0,81
Espessura de gordura subcutânea					
<i>Longissimus</i>					
d 0, mm	0,59	0,55	0,40	0,09	0,74
d 70, mm	4,30	4,06	3,38	0,15	0,11
ganho (d 0 – d 70), mm	3,77	3,51	2,98	0,14	0,18
<i>Bíceps femoris</i>					
d 0, mm	1,39	1,81	1,90	0,17	0,53
d 70, mm	7,56	7,42	6,55	0,27	0,41
ganho, (d 0 – d 70), mm	6,17	5,61	4,65	0,22	0,08

¹ d 0 e d 70 relacionam-se ao primeiro e ao último dia deste período, respectivamente.

² médias dos quadrados mínimos seguidas de letras distintas são diferentes para o teste ajustado de Tukey-Kramer ($\alpha=0,05$).

³ animais com CAR na faixa entre -0,5 e 0,5 kg/dia.

⁴ erro-padrão da média.

⁵ probabilidade de um erro tipo I.

5.1.2 Animais com alto e baixo CAR, selecionados para a fase de terminação

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas, respectivamente, as características de desempenho e de carcaça no período, relativas apenas aos 24 animais com baixo e alto CAR selecionados para a fase de terminação.

Pode-se observar que os grupos de eficiência formados para participarem do restante das avaliações diferiram quanto ao CAR, consumo de matéria seca e conversão alimentar ($P < 0,001$) e foram semelhantes em relação ao peso vivo, ao ganho de peso diário, ao escore de estrutura corporal, ao perímetro torácico e à altura de garupa ($P > 0,10$).

Tabela 5 – Características de desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, selecionados para a fase de terminação, avaliados na fase 1 do estudo

Características	CAR		EPM ¹	P>F ²
	Alto	Baixo		
n	12	12		
Peso vivo inicial, kg	340	336	2,19	0,48
Peso vivo final, kg	448	441	2,82	0,45
Idade, dias	577	558	3,41	0,17
Consumo de matéria seca, kg	11,1	9,3	0,12	<0,0001
Consumo de matéria seca, %PV	2,8	2,4	0,02	<0,0001
Ganho de peso diário, kg/dia	1,48	1,48	0,03	0,96
Conversão alimentar	7,55	6,38	0,10	0,0013
CAR, kg/dia	0,89	-0,80	0,08	<0,0001

¹ erro-padrão da média.

² probabilidade de um erro tipo I.

Em relação às características de carcaça, os resultados são semelhantes àqueles obtidos pela análise de todos os 72 animais (Tabela 4). Não houve diferença entre bovinos com baixo e alto CAR quanto à área de *Longissimus*, à espessura de gordura subcutânea no dois pontos mensurados e ao ganho no tempo em gordura sobre o lombo e em área de olho de lombo ($P > 0,10$). A tendência observada de maior ganho em gordura sobre a garupa por animais menos eficientes (Tabela 4) foi confirmada pelo

maior valor desta característica nos novilhos selecionados com alto CAR quando comparados ao outro grupo de eficiência ($P < 0,05$).

Tabela 6 – Características corporais e medidas de carcaça por ultra-som de novilhos Nelore com alto e baixo, selecionados para a fase de terminação, avaliados na fase 1 do estudo

Características ¹	CAR		EPM ²	P>F ³
	Alto	Baixo		
Escore de estrutura corporal	6,46	6,41	0,14	0,84
Perímetro torácico, d 70, cm	185	181	1,13	0,13
Altura de garupa				
d 0, cm	141	140	0,35	0,61
d 70, cm	145	144	0,37	0,72
Área de <i>Longissimus</i>				
d 0, cm ²	53,7	53,4	0,56	0,91
d 70, cm ²	67,1	66,5	0,63	0,84
ganho (d 0 – d 70), cm ²	13,0	13,1	0,35	0,96
Espessura de gordura subcutânea				
<i>Longissimus</i>				
d 0, mm	0,7	0,4	0,09	0,41
d 70, mm	4,4	3,7	0,15	0,25
ganho (d 0 – d 70), mm	3,8	3,3	0,14	0,42
<i>Bíceps femoris</i>				
d 0, mm	1,5	1,7	0,17	0,68
d 70, mm	7,5	6,1	0,27	0,16
ganho, (d 0 – d 70), mm	6,1	4,5	0,22	0,05

¹ d 0 e d 70 relacionam-se ao primeiro e ao último dia do período, respectivamente.

² erro-padrão da média.

³ probabilidade de um erro tipo I.

5.2 Terminação de bovinos com alto e baixo CAR

5.2.1 Resultados em função de pesos vivos ao abate pré-determinados

5.2.1.1 Desempenho

Características de desempenho em confinamento durante a fase de terminação foram apresentadas na Tabela 7. Não foi observada nenhuma interação entre CAR e pesos vivos ao abate pré-determinados (PV_{abate}) ($P > 0,10$) e portanto os efeitos de CAR e de PV_{abate} foram apresentados separadamente.

Não foram observadas diferenças entre animais com alto e baixo CAR quanto ao peso vivo inicial no período, ao tempo de alimentação despendido e ao ganho de peso diário ($P > 0,10$). Novilhos com baixo CAR apresentaram menor peso vivo ao abate ($P < 0,01$) e menor consumo de matéria seca (CMS) quando comparados aos de alto CAR, contudo não houve diferenças entre os grupos de eficiência para a conversão alimentar e quanto ao CMS medido em função do peso vivo médio no período.

Houve diferenças no peso vivo inicial (PVi) entre os grupos de PV_{abate}, tendo sido observado um aumento do PVi em função do aumento no PV_{abate} ($P < 0,03$). O aumento no PV_{abate} também teve efeitos sobre o peso vivo final e o tempo em alimentação ($P < 0,01$), enquanto que o ganho de peso, o consumo de matéria seca e a conversão alimentar não foram afetados pelo PV_{abate} ($P > 0,10$). O CAR foi semelhante entre os diferentes grupos de PV_{abate} ($P > 0,10$).

Tabela 7 – Desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR) durante a fase de terminação, em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (continua)

Característica	Peso vivo de abate pré determinado, kg				Média	EPM ²	P>F ³		
	460	490	520	550			CAR	PV	Interação
Peso vivo inicial ¹ , kg						4,98	0,34	0,03	0,75
Alto CAR	438 (2)	449 (3)	445 (3)	467 (3)	450				
Baixo CAR	419 (3)	431 (2)	443 (3)	471 (3)	441				
Média	428	440	444	469					
Peso vivo final, kg						7,64	<0,01	<0,0001	0,65
Alto CAR	468	489	528	554	509				
Baixo CAR	454	483	511	545	498				
Média	461	486	519	550					
Tempo em alimentação, dias						5,63	0,91	<0,01	0,74
Alto CAR	50	66	97	96	77				
Baixo CAR	55	69	80	109	78				
Média	52	67	89	102					
Ganho de peso diário, kg/dia						0,05	0,95	0,84	0,94
Alto CAR	0,79	0,89	0,93	1,02	0,91				
Baixo CAR	0,81	0,96	0,93	0,88	0,90				
Média	0,80	0,92	0,93	0,95					

Tabela 7 – Desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR) durante a fase de terminação, em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (conclusão)

Característica	Peso vivo de abate pré determinado, kg				Média	EPM ²	P>F ³		
	460	490	520	550			CAR	PV	Interação
Consumo de matéria seca, kg/dia						0,17	0,03	0,23	0,76
Alto CAR	8,60	8,56	9,22	9,44	8,96				
Baixo CAR	8,44	7,51	8,27	8,53	8,19				
Total	8,52	8,04	8,74	8,99					
Consumo de matéria seca, %PV						0,04	0,11	0,33	0,70
Alto CAR	1,90	1,82	1,90	1,85	1,87				
Baixo CAR	1,93	1,64	1,73	1,67	1,75				
Média	1,92	1,73	1,81	1,76					
Conversão alimentar						0,55	0,70	0,50	0,68
Alto CAR	11,3	10,8	10,3	9,4	10,4				
Baixo CAR	12,0	8,32	8,87	10,1	9,84				
Média	11,6	9,53	9,59	9,78					
Consumo alimentar residual, kg/dia						0,20	<0,0001	0,48	0,70
Alto CAR	1,05	0,87	0,92	0,83	0,92				
Baixo CAR	-0,60	-1,29	-0,73	-0,76	-0,84				
Média	0,23	-0,21	0,10	0,03					

¹ informação entre parênteses representa o número de animais avaliados em cada grupo de CAR e PV.

² erro-padrão da média.

³ probabilidade de um erro tipo I.

5.2.1.2 Características de carcaça

Na Tabela 8, são apresentadas as características de carcaça ao abate em função do grupo de eficiência e dos pesos vivos ao abate pré-determinados (PVabate).

Houve interação entre grupo de eficiência (alto ou baixo CAR) e PVabate para peso do trato gastrointestinal (TGI) ($P < 0,05$). Não houve diferença entre alto e baixo CAR para esta característica quando os animais foram abatidos aos 460, 490 e 550 kg, entretanto, novilhos com baixo CAR apresentaram maior peso do TGI que indivíduos com alto CAR quando abatidos com 520 kg. Nenhuma outra interação entre CAR e pesos vivos ao abate pré-determinados (PVabate) foi observada ($P > 0,10$) e, portanto, os efeitos de CAR e de PVabate foram apresentados separadamente.

Houve efeito do PVabate sobre peso de carcaça quente, peso da gordura no TGI e peso de vísceras ($P < 0,05$). Em geral estas características comportaram-se de forma linear e positiva com o aumento do PVabate. Houve uma tendência de haver efeito do PVabate sobre a área do músculo *Longissimus* mas não houve diferença entre os PVabate para rendimento de carcaça quente, peso da gordura renal, pélvica e inguinal, gordura subcutânea e para as percentagens de aparas e porção comestível em relação ao peso de carcaça fria ($P > 0,10$).

Houve uma tendência de aumento no escore de marmorização com aumento no peso ao abate ($P < 0,10$), porém este comportamento não foi observado para o teor de extrato etéreo no *Longissimus*. A correlação entre o escore de marmorização e o teor de extrato etéreo no músculo *Longissimus* foi alta ($r = 0,80$, $P < 0,0001$, $n = 23$), contudo observou grande variação nos resultados de extrato etéreo (coeficiente de variação = 44%).

Indivíduos mais eficientes apresentaram em média 7 kg de gordura a menos no TGI que animais menos eficientes ($P < 0,05$). Não houve diferença entre novilhos com alto e baixo CAR quanto ao peso e rendimento de carcaça, peso da gordura RPI e de vísceras, área, marmorização e extrato etéreo do *Longissimus*, espessura de gordura subcutânea e percentagem de aparas e porção comestível da carcaça fria ($P > 0,10$).

Tabela 8 – Características de carcaça de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (continua)

Característica	Peso vivo de abate pré determinado, kg				Média	EPM ⁷	P>F ⁸		
	460	490	520	550			CAR	PV	Interação
Peso de carcaça quente ¹ , kg						5,32	0,51	<0,0001	0,81
Alto CAR	283 (2)	299 (3)	325 (3)	338 (3)	312				
Baixo CAR	277 (3)	301 (3)	313 (3)	339 (3)	307				
Média	280	300	319	339					
Rendimento de carcaça, %						0,44	0,71	0,95	0,89
Alto CAR	60,6	61,2	61,6	61,0	61,1				
Baixo CAR	61,2	62,0	60,7	62,3	61,5				
Média	60,9	61,6	61,1	61,7					
Trato gastrintestinal (TGI), kg						0,47	0,17	0,04	0,04
Alto CAR	19,5	17,2	17,8a	21,4	19,0				
Baixo CAR	18,3	18,7	22,4b	20,5	20,0				
Média	18,9	18,0	20,1	21,0					
Vísceras ² , kg						0,63	0,28	0,03	0,22
Alto CAR	31,5	29,5	30,2	35,3	31,6				
Baixo CAR	31,2	30,6	35,1	34,2	32,8				
Média	31,4	30,0	32,6	34,7					

Tabela 8 – Características de carcaça de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (continuação)

Característica	Peso vivo de abate pré-determinado, kg				Média	EPM ⁷	P>F ⁸		
	460	490	520	550			CAR	PV	Interação
Gordura no TGI, kg						1,50	0,01	0,04	0,32
Alto CAR	27,9	35,5	39,6	44,0	36,8				
Baixo CAR	28,2	28,7	30,0	32,1	29,8				
Média	28,0	32,1	34,8	38,1					
Gordura subcutânea, mm						0,53	0,66	0,55	0,42
Alto CAR	8,00	6,00	6,67	6,00	6,67				
Baixo CAR	5,67	4,33	6,00	8,67	6,17				
Média	6,83	5,17	6,33	7,33					
Gordura intramuscular									
Escore de marmorização ³						28,9	0,81	0,06	0,83
Alto CAR	263	358	500	425	386				
Baixo CAR	233	425	475	358	373				
Média	248	392	488	392					
EE no <i>Longissimus</i> ⁴ , %						0,25	0,99	0,36	0,92
Alto CAR	1,90	2,46	3,13	3,08	2,64				
Baixo CAR	1,60	3,09	2,93	2,98	2,65				
Média	1,75	2,77	3,03	3,03					

Tabela 8 – Características de carcaça de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados (conclusão)

Característica	Peso vivo de abate pré-determinado, kg				Média	EPM ⁷	P>F ⁸		
	460	490	520	550			CAR	PV	Interação
Gordura RPI ⁵ , kg						0,19	0,30	0,51	0,88
Alto CAR	5,69	6,38	6,52	6,21	6,20				
Baixo CAR	5,18	6,13	5,63	6,17	5,78				
Média	5,44	6,26	6,07	6,19					
Área do <i>Longissimus</i> , cm ²						2,13	0,38	0,07	0,99
Alto CAR	71,5	70,0	75,7	85,3	75,6				
Baixo CAR	68,3	66,0	72,3	81,0	71,9				
Média	69,9	68,0	74,0	83,2					
Porção comestível ⁶ , %						0,61	0,94	0,25	0,90
Alto CAR	64,4	62,3	59,6	61,9	62,2				
Baixo CAR	63,3	61,9	60,3	63,0	62,1				
Média	63,9	62,4	60,0	62,4					
Aparas ⁶ , %						0,69	0,80	0,35	0,82
Alto CAR	18,8	18,8	23,2	22,2	20,8				
Baixo CAR	19,2	20,3	21,9	20,2	20,4				
Média	19,0	19,5	22,5	21,2					

¹ informação entre parênteses representa o número de animais avaliados em cada grupo de CAR e PV.

² vísceras incluem o TGI vazio, coração, pulmões, traquéia, fígado, rins, baço e pâncreas.

³ 300, Traces⁰; 400, Slight⁰.

⁴ extrato etéreo no músculo *Longissimus*. Valores com base na matéria original.

⁵ soma das gorduras renal, pélvica e inguinal.

⁶ percentagem em relação ao peso de carcaça fria.

⁷ erro-padrão da média.

⁸ probabilidade de um erro tipo I.

5.2.1.3 Composição química do corpo vazio

A composição química do corpo vazio em função de pesos vivos ao abate pré-determinados e do CAR (alto e baixo) é apresentada na Tabela 9.

Não houve interação CAR x PVabate em todas as características avaliadas ($P>0,10$). Dos animais utilizados, aqueles com alto CAR apresentaram cerca de 11 kg a mais de peso vivo em jejum que animais com baixo CAR no momento da avaliação ($P<0,01$).

Não houve diferença no conteúdo de energia e na percentagem de gordura e proteína no Cvz entre novilhos mais e menos eficientes ($P>0,10$).

A composição química corporal foi modificada em função do PVabate ($P<0,05$). O comportamento geral observado foi um aumento na concentração de gordura e de energia e uma diminuição na concentração de proteína do Cvz com o aumento no peso vivo em que os animais foram abatidos.

Tabela 9 – Composição química do corpo vazio de novilhos Nelore, com alto e baixo consumo alimentar residual (CAR), em função de pesos vivos ao abate pré-determinados

Característica	Peso vivo de abate pré determinado, kg				Média	EPM ²	P>F ³		
	460	490	520	550			CAR	PV	Interação
PVj18h ¹ , kg						7,56	<0,01	<0,0001	0,28
Alto CAR	468 (2)	489 (3)	532 (2)	551 (2)	510				
Baixo CAR	453 (3)	485 (3)	511 (3)	545 (3)	499				
Média	461	487	521	548					
Gordura, %						0,73	0,31	0,04	0,58
Alto CAR	20,4	24,1	24,9	24,7	23,5				
Baixo CAR	18,9	21,3	22,3	26,3	22,2				
Média	19,6	22,7	23,6	25,5					
Proteína, %						0,16	0,31	0,04	0,58
Alto CAR	17,4	16,6	16,4	16,5	16,7				
Baixo CAR	17,7	17,2	17,0	16,1	17,0				
Média	17,6	16,9	16,7	16,3					
Energia, Mcal/kg PV ^{0,75}						0,32	0,25	<0,01	0,57
Alto CAR	13,2	14,8	15,4	15,5	14,7				
Baixo CAR	12,6	13,7	14,3	16,1	14,1				
Média	12,9	14,2	14,8	15,8					

¹ informação entre parênteses representa o número de animais avaliados em cada grupo de eficiência e de peso vivo ao abate.

² erro-padrão da média.

³ probabilidade de um erro tipo I.

5.2.2 Resultados ajustados para pesos vivo ao abate comum

5.2.2.1 Desempenho

Animais com alto e baixo CAR não diferiram entre si quanto aos pesos vivos inicial e final no período e quanto ao ganho de peso diário (Tabela 10; $P>0,10$). Novilhos com baixo CAR permaneceram por mais dias em alimentação e apresentaram menor consumo diário de alimentos ($P<0,05$). No entanto, quando ajustada para PV médio no experimento (%PV), houve apenas uma tendência da ingestão de alimentos de novilhos com baixo CAR ser menor ($P<0,10$).

Tabela 10 – Características de desempenho de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, durante a terminação em confinamento, ajustadas para um peso vivo ao abate comum

Características ¹	CAR		EPM ³	P>F ⁴
	Alto	Baixo		
n ²	11	11		
Peso vivo inicial, kg	451	442	4,98	0,39
Peso vivo final, kg	513	500	7,64	0,39
Tempo em alimentação, dias	76	83	5,63	0,03
Ganho de peso diário, kg/dia	0,90	0,90	0,05	1,00
Consumo de matéria seca, kg	8,94	8,30	0,17	<0,05
Consumo de matéria seca, %PV	1,87	1,74	0,04	0,08
Conversão alimentar	10,5	9,82	0,55	0,54
CAR, kg/dia	0,91	-0,80	0,20	<0,0001

¹ valores apresentados são médias dos quadrados mínimos ajustadas para pesos vivos ao abate comuns, exceto n, pesos vivos inicial e final e CAR.

² número de animais avaliados em cada grupo de eficiência.

³ erro-padrão da média.

⁴ probabilidade de um erro tipo I.

5.2.2.2 Características de carcaça

Não houve diferença entre os grupos de eficiência quanto a peso e rendimento de carcaça, gordura renal pélvica e inguinal, massa visceral total, peso do trato gastrointestinal (TGI), área do músculo *Longissimus*, espessura de gordura subcutânea, gordura intramuscular, percentagem de aparas e de porção comestível ($P>0,10$). Contudo, verificou-se que animais com baixo CAR apresentaram menor massa de gordura no TGI ($P<0,01$) que animais com alto CAR (Tabela 11).

Tabela 11 – Características de carcaça ao abate de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, ajustadas para um peso vivo ao abate comum

Característica ¹	CAR		EPM ⁷	P>F ⁸
	Alto	Baixo		
Peso de carcaça quente, kg	309	312	5,33	0,54
Rendimento de carcaça, %	61,1	61,7	0,44	0,52
Trato gastrintestinal (TGI), kg	18,7	20,2	0,47	0,12
Vísceras ² , kg	31,3	33,1	0,63	0,15
Gordura no TGI, kg	36,8	30,5	1,50	<0,01
Gordura subcutânea, mm	6,45	6,25	0,53	0,86
Gordura intramuscular				
Escore de marmorização ³	386	384	28,9	0,97
EE no <i>Longissimus</i> ⁴ , %	2,61	2,74	0,25	0,80
Gordura RPI ⁵ , kg	6,20	5,82	0,19	0,32
Área do músculo <i>Longissimus</i> , cm ²	74,8	73,0	2,13	0,64
Porção comestível ⁶ , %	62,1	62,0	0,61	0,92
Aparas ⁶ , %	20,7	20,6	0,69	0,92

¹ valores são medias dos quadrados mínimos ajustadas para pesos vivos ao abate comuns.

² Vísceras incluem o TGI vazio, coração, pulmões, fígado, rins e pâncreas.

³ 300, Traces⁰; 400, Slight⁰.

⁴ extrato etéreo no músculo *Longissimus*. Valores com base na matéria natural.

⁵ Soma das gorduras renal, pélvica e inguinal.

⁶ percentagem em relação ao peso de carcaça quente.

⁷ erro-padrão da média.

⁸ probabilidade de um erro tipo.

5.2.2.3 Composição química do corpo vazio

Na Tabela 12, são apresentados os componentes químicos do corpo vazio em animais com alto e baixo CAR. Observa-se que não houve efeito de grupo de eficiência sobre as percentagens de gordura e proteína no corpo vazio, assim como para sua concentração de energia ($P > 0,10$).

Tabela 12 – Peso vivo em jejum (PVj18h) e composição química do corpo vazio ao abate de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, ajustados para um peso vivo ao abate comum

Característica ¹	CAR		EPM ³	P>F ⁴
	Alto	Baixo		
PVj18h ² , kg	508 (9)	499 (11)	7,56	0,58
Gordura, %	23,3	22,5	0,73	0,48
Proteína, %	16,8	17,0	0,16	0,48
Energia, Mcal/kg ^{0,75}	14,6	14,3	0,32	0,49

¹ médias apresentadas são ajustadas para pesos vivos ao abate em comum, exceto PVj18h.

² informação entre parênteses representa o número de animais avaliados em cada grupo de CAR.

³ erro-padrão da média.

⁴ probabilidade de um erro tipo I.

5.4 Metabolismo protéico do músculo esquelético em bovinos com alto e baixo CAR

Na Tabela 13 são apresentadas as características do metabolismo protéico muscular em novilhos com alto e baixo CAR.

Como não foi possível realizar a coleta de urina de todos os animais ao mesmo tempo, existiu uma variação na quantidade de dias em alimentação em regime de confinamento entre os animais e entre os grupos de eficiência alimentar. Não houve diferença entre animais com alto e baixo CAR quanto ao tempo em alimentação ($P > 0,10$), contudo houve uma tendência dos animais com alto CAR estarem mais pesados que os de baixo CAR, o que refletiu em uma tendência dos animais com alto CAR apresentar maior quantidade de proteína e 3MH musculares no PVj18h ($P < 0,10$).

Entretanto, o ganho em proteína muscular no período compreendido entre a entrada dos animais no ensaio de seleção para CAR até o ensaio de metabolismo foi semelhante entre os grupos ($P>0,10$).

Tabela 13 – Metabolismo protéico do músculo esquelético de novilhos Nelore com alto e baixo CAR

Características	CAR		EPM ⁸	P>F ⁹
	Alto	Baixo		
Dias em alimentação ¹	109	113	3,47	0,37
Peso vivo em coleta, kg ²	460	448	7,05	0,10
Proteína de músculo esquelético ³				
Inicial, kg	24,4	24,1	0,21	0,48
Final, kg	32,3	31,4	0,49	0,10
Ganho, g/dia	57,2	55,2	2,71	0,72
3-MH muscular total, mmol ⁴	113	110	1,74	0,10
3-MH urinário excretado, mmol/dia	1,96	2,06	0,10	0,63
TFD, %/dia ⁵	1,76	1,85	0,10	0,66
TFS, %/dia ⁶	2,01	2,09	0,09	0,65
TFA, %/dia ⁷	0,24	0,24	0,01	0,97
TFS:TFD	1,15	1,14	0,01	0,88

¹ relacionado ao período compreendido entre o início do confinamento de seleção para CAR e o dia de coleta de urina.

² peso vivo em jejum médio no período de coleta de urina. Médias apresentadas são médias dos quadrados mínimos ajustadas para dias em alimentação comuns.

³ relacionado ao período compreendido entre o início do confinamento de seleção para CAR e o dia de coleta de urina. Médias apresentadas são médias dos quadrados mínimos ajustadas para dias em alimentação comuns, com exceção da proteína de músculo esquelético inicial.

⁴ 3-MH = 3-metil-histidina. Médias apresentadas são médias dos quadrados mínimos ajustadas para dias em alimentação comuns.

⁵ taxa fracional de degradação protéica.

⁶ taxa fracional de síntese protéica.

⁷ taxa fracional de acréscimo protéico. Médias apresentadas são médias dos quadrados mínimos ajustadas para pesos vivos em coleta comuns.

⁸ erro-padrão da média.

⁹ probabilidade de um erro tipo I.

A excreção urinária diária de 3MH foi semelhante entre os grupos de eficiência ($P>0,10$). Não houve diferenças entre animais com alto e baixo CAR quanto à taxa

fracional de degradação das miofibrilas musculares, assim como para as taxas diárias de acréscimo e síntese protéica da massa de músculo esquelético ($P>0,10$).

5.5 Composição química do ganho de peso em bovinos com alto e baixo CAR

5.5.1 Composição corporal inicial, intermediária e final

Na Tabela 14, são apresentadas as composições corporais não ajustadas para um peso vivo comum, em função dos grupos de eficiência e de momentos de avaliação distintos.

Nas três ocasiões em que foi avaliada a composição química corporal dos animais, os grupos de eficiência apresentavam pesos vivos em jejum semelhantes e o tempo em que estavam em alimentação não foram diferentes entre os grupos, nas avaliações no ensaio de metabolismo muscular e ao abate ($P>0,10$).

As percentagens de proteína e gordura e a concentração de energia no Cvz foram semelhantes entre animais com baixo e alto CAR no início do período experimental, assim como nas medições intermediária e final ($P>0,10$).

Tabela 14 – Peso vivo em jejum (PVj18h) e composição química do corpo vazio de novilhos Nelore com alto e baixo CAR ao início do período experimental, durante o ensaio de metabolismo muscular e ao abate

Característica ¹	CAR		EPM ³	P>F ⁴
	Alto	Baixo		
Início do período experimental				
n	12	12		
PVj18h, kg	340	336	2,97	0,48
Gordura, %	15,8	15,8	0,06	0,91
Proteína, %	18,4	18,4	0,01	0,91
Energia, Mcal/kg ^{0,75}	10,3	10,3	0,03	0,66
Ensaio de metabolismo muscular				
n	10	9		
Tempo em alimentação, dias ²	110	111	2,61	0,85
PVj18h, kg	457	450	7,95	0,67
Gordura, %	19,5	19,1	0,69	0,78
Proteína, %	17,6	17,7	0,15	0,78
Energia, Mcal/kg ^{0,75}	12,8	12,6	0,31	0,76
Abate				
n	9	12		
Tempo em alimentação, dias ²	155	165	6,06	0,42
PVj18h, kg	508	499	7,56	0,58
Gordura, %	23,6	22,2	0,73	0,36
Proteína, %	16,7	17,0	0,16	0,36
Energia, Mcal/kg ^{0,75}	14,7	14,1	0,32	0,38

¹ médias apresentadas não são ajustadas para pesos vivos em comum.

² tempo de alimentação em confinamento relativo ao início do período experimental (confinamento de seleção para CAR).

³ erro-padrão da média.

⁴ probabilidade de um erro tipo I.

5.5.2 Retenção química diária

Os resultados da composição do ganho de peso foram apresentados em função do grupo de eficiência e de três períodos de referência: do início do ensaio de determinação do CAR ao ensaio de metabolismo muscular, do ensaio de metabolismo muscular ao abate e do início do ensaio de determinação do CAR ao abate. As médias foram ajustadas para um peso vivo final comum.

Não houve diferenças entre animais com baixo e alto CAR quanto ao ganho de peso diário e às retenções de gordura proteína e energia, independente do período avaliado ($P > 0,10$).

Tabela 15 – Ganho de peso diário e retenção química no corpo vazio de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, em três períodos distintos, com ajustes para dias em alimentação em comum

Característica ¹	CAR		EPM ³	P>F ⁴
	Alto	Baixo		
Início ao Ensaio de metabolismo muscular				
n ²	10	9		
Ganho em peso diário, kg/dia	1,05	1,01	0,04	0,55
Ganho em gordura, g/dia	353	320	30,1	0,48
Ganho em proteína, g/dia	202	200	5,71	0,80
Ganho em energia, Mcal/kg ^{0,75} /dia	0,050	0,047	0,003	0,50
Ensaio metabolismo muscular ao Abate				
n	7	9		
Ganho em peso diário, kg/dia	1,02	1,06	0,09	0,82
Ganho em gordura, g/dia	519	497	71,8	0,89
Ganho em proteína, g/dia	107	121	14,9	0,66
Ganho em energia, Mcal/kg ^{0,75} /dia	0,055	0,054	0,006	0,95
Início ao Abate				
n	9	12		
Ganho em peso diário, kg/dia	1,08	0,99	0,03	0,16
Ganho em gordura, g/dia	442	365	25,8	0,16
Ganho em proteína, g/dia	172	170	5,38	0,90
Ganho em energia, Mcal/kg ^{0,75} /dia	0,058	0,050	0,002	0,13

¹ médias apresentadas são ajustadas para tempos de alimentação em confinamento comuns.

² n = número de animais avaliados por grupo de eficiência.

³ erro-padrão da média.

⁴ probabilidade de um erro tipo

5.6 Qualidade da carne de bovinos com alto e baixo CAR

5.6.1 Maciez objetiva e perdas da carne

Na Tabela 16, são apresentados a média, o erro-padrão e a probabilidade do efeito de tratamento para as características força de cisalhamento (FC), índice de fragmentação miofibrilar (IFM), perdas por exsudação (PE) e por cozimento (PTC), em função do grupo de eficiência alimentar e do tempo de maturação da carne.

Tabela 16 – Maciez objetiva e perdas do músculo *Longíssimos* de novilhos Nelore com alto e baixo CAR, não maturado (0 dia) e maturado por 7 dias

Característica	CAR		EPM ¹	P>F ²
	Alto	Baixo		
Força de cisalhamento, kg				
0 dia	5,62	5,31	0,26	0,56
7 dias	4,74	4,49	0,25	0,61
Índice de fragmentação miofibrilar				
0 dia	53,9	44,68	2,76	0,09
7 dias	73,5	79,1	5,10	0,59
Perdas por exsudação, %				
0 dia	5,97	5,45	0,32	0,44
7 dias	6,05	5,97	0,35	0,97
Perdas totais por cozimento, %				
0 dia	22,5	22,4	1,10	0,95
7 dias	23,0	22,5	0,73	0,77

¹ erro-padrão da média.

² probabilidade de um erro tipo I.

Houve diferença para a força de cisalhamento ($P=0,02$; 5,46 vs 4,61 kg) e o índice de fragmentação miofibrilar ($P<0,001$; 49,5 vs 76,2) entre a carne não maturada e maturada por 7 dias, respectivamente. Entretanto, o mesmo não aconteceu para perdas totais por exsudação e perdas totais por cozimento ($P>0,10$), apresentando médias de

5,71% e 6,01%; e 22,4% e 22,8%, para a carne não maturada e maturada por 7 dias, respectivamente.

A força de cisalhamento no músculo *Longissimus* não diferiu entre animais de alto e baixo CAR, independente da realização do processo de maturação ($P>0,10$). Entretanto verificou-se que o IFM no músculo não maturado de animais com baixo consumo alimentar residual (mais eficientes) tendeu a ser menor que em animais com alto CAR (menos eficientes) ($P=0,09$). Quando esta característica foi avaliada na carne maturada tal tendência não existiu ($P>0,10$). As perdas totais por exsudação e cozimento da carne também não foram influenciadas pelo grupo de CAR (alto ou baixo).

5.6.2 Atividade enzimática do sistema calpaína

Não houve diferenças entre animais de alto e baixo CAR na atividade caseinolítica das enzimas μ -calpaína e m-calpaína (Tabela 17; $P>0,10$). Da mesma maneira, a atividade do inibidor das calpaínas, a calpastatina, e a relação calpastatina: μ -calpaína não diferiram entre os grupos de eficiência ($P>0,10$).

Tabela 17 – Atividade enzimática do sistema calpaína no músculo *Longissimus* de novilhos Nelore com alto e baixo CAR

Característica	CAR		EPM ¹	P>F ²
	Alto	Baixo		
μ -Calpaína, U/g músculo	0,39	0,39	0,05	0,95
m-Calpaína, U/ g músculo	0,50	0,48	0,03	0,86
Calpastatina, U/g músculo	5,64	6,44	0,37	0,30
Calpastatina: μ -Calpaína	18,2	15,3	2,68	0,61

¹ erro-padrão da média.

² probabilidade de um erro tipo I.

6 DISCUSSÃO

A variabilidade fenotípica encontrada para a característica CAR no presente estudo foi suficiente para a seleção do número de animais mais e menos eficientes pretendida ($CAR \geq 0,5$ desvio-padrão, abaixo e acima da média). Entretanto, apenas 19% dos animais seriam classificados como eficientes, de acordo com o critério utilizado. A amplitude de valores de CAR foi maior que aquela anteriormente apresentada por Almeida, Lanna e Leme (2004) para novilhos Nelore (-1,70 a +2,07 kg/dia), contudo naquele estudo foi observado desvio-padrão da característica maior (1,05 kg/dia). O desvio-padrão do CAR na presente investigação assemelha-se àqueles obtidos em animais da raça Angus (0,74; ARTHUR et al., 2001), em touros Charolês (0,76; ARTHUR; RENAND; KRAUSS, 2001a), em novilhos cruzados (0,82; CARSTENS et al., 2002) e em novilhos de raças compostas (0,66; BASARAB et al., 2003).

O conceito desta medida de eficiência quanto à independência fenotípica do peso vivo e da taxa de ganho de peso e à sua correlação com ingestão e conversão alimentar pôde ser observado na primeira fase deste estudo (ensaio de determinação do CAR), mas não completamente no período que o sucedeu.

No ensaio de determinação do CAR, as diferenças em ingestão e conversão alimentar entre os animais mais e menos eficientes selecionados foram de 1,8 kg MS/dia e 1,17 kg/kg, com ganhos diários de peso e pesos vivos médios semelhantes entre os grupos de eficiência. Escore de estrutura corporal, altura de garupa e perímetro torácico foram semelhantes entre os grupos de eficiência e diferenças quanto à área do músculo *Longissimus* não foram observadas. Características como área do *Longissimus* são correlacionadas com peso vivo e ganho de peso em novilhos Nelore (SILVA et al., 2003), o que também concorda com o CAR não estar relacionado com o peso vivo.

Já na fase de terminação, a diferença em ingestão (kg/dia) entre os grupos de eficiência foi quase duas vezes menor (0,64 vs 1,8 kg/dia) quando comparada à observada anteriormente. Além disso, a conversão alimentar foi semelhante entre animais mais e menos eficientes e estes diferiram quanto o peso vivo médio no período

(dados não apresentados, 480 vs 471 kg, $P=0,05$) e o peso vivo final. Não houve diferenças quanto às taxas de ganho.

Nota-se que o padrão de desempenho em confinamento dos animais selecionados não foi o mesmo nas duas fases do estudo e, na terminação, o desempenho foi de certa forma semelhante entre animais com alto e baixo CAR, uma vez que as únicas diferenças encontradas foram pequenas.

Pouca informação pôde ser encontrada referente à correlação entre características de crescimento, ingestão e eficiência alimentar medidas em diferentes fases da vida de bovinos de corte. Em um estudo com touros Charolês (ARTHUR; RENAND; KRAUSS, 2001b) determinou-se o CAR dos mesmos animais à desmama (9 a 14 meses de idade) e novamente ao sobreano (14 a 19 meses) e observou-se que a correlação genética entre CAR à desmama e CAR ao sobreano foi alta ($r_g=0,75$) e entre CAR à desmama e conversão alimentar ao sobre ano foi moderada ($r_g=0,54$). Valores maiores para a correlação entre CAR medidos em diferentes fases foram relatados para vacas de corte ($r_g=0,98$; ARCHER et al., 2002) e menores para novilhas leiteiras ($r_g=0,58$; NIEUWHOF et al., 1992) e camundongos ($r_g=0,60$; ARCHER et al., 1998b).

Tais observações têm sido utilizadas para sugerir que a seleção em idades mais jovens de bovinos mais eficientes pode resultar em ganhos em eficiência alimentar também em animais adultos (e.g. rebanho de cria) (HERD; ARCHER; ARTHUR., 2003). Contudo, os resultados obtidos no presente estudo suportam a tese que o referido ganho em eficiência alimentar para o rebanho adulto pode ser pequena. O correlação fenotípica observada entre CAR e a conversão alimentar medida no segundo período do estudo foi baixa ($r_f=0,21$, $P>0,10$, $n=22$) e, como discutido anteriormente, o desempenho de animais com baixo e alto CAR na segunda fase foi semelhante. Por outro lado, a realização de tal inferência pode ser limitada pelas faixas etárias avaliadas terem sido bastante próximas (19 a 22 vs 22 a 25 meses).

Durante o ensaio de determinação do CAR, o fato de terem sido observadas diferenças entre os grupos de eficiência em relação ao ganho em espessura de gordura subcutânea sobre a garupa e não sobre o *Longissimus* pode ser devido ao padrão de deposição de tecido adiposo na carcaça bovina seguir nas direções caudo-cranial e dorso-ventral, simultaneamente. Tal fato é mostrado em estudo anterior com novinhos

Nelore confinados (Gomes et al., 2009, no prelo) onde foi observado maior espessura de gordura sobre a garupa quando comparado àquela medida sobre o músculo *Longissimus* (12^a costela). Desta forma, pode-se sugerir que medidas da deposição de gordura sobre a garupa são mais sensíveis a diferenças entre indivíduos, que medidas realizadas tradicionalmente sobre o lombo. Se verdade, a inclusão da espessura de gordura subcutânea sobre o lombo na determinação do CAR deve ser reconsiderada em bovinos zebuínos, quando esta estratégia é utilizada na tentativa de corrigir prováveis diferenças quanto à composição corporal.

O maior ganho em gordura subcutânea medida na garupa (EGSGU) em animais com alto CAR está de acordo com correlações genéticas e fenotípicas positivas entre CAR e EGSGU apresentadas para raças taurinas (ARTHUR et al., 2001; CARSTENS et al., 2002). Ao contrário do observado, têm sido apresentadas na literatura correlações entre CAR e medidas de EGSLU e de AMLU, contudo, assim como para EGSGU, estas correlações são muitas vezes baixas e os estudos não concordam inteiramente quanto a sua existência (CARSTENS et al., 2002; BAKER et al., 2006).

Os resultados de composição química corporal também não concordam com parte dos estudos já realizados onde se observou percentagens maiores de gordura e menores de proteína no ganho corporal em bovinos menos eficientes (JENSEN et al. 1992; BASARAB et al., 2003; RICHARDSON et al., 2001). Diferenças entre os grupos de eficiência na deposição de gordura subcutânea na garupa durante o ensaio de seleção poderiam indicar uma correlação entre a composição química do ganho de peso e consumo alimentar residual no presente estudo. Anteriormente, havia sido observado que novilhos Nelore com alto CAR apresentaram maior espessura de gordura subcutânea, percentagem de aparas e gorduras renal, pélvica e inguinal que animais com baixo CAR, sugerindo diferenças na composição química corporal (LEME; GOMES, 2007). No presente estudo, foram verificadas correlações entre CAR e percentagem de gordura, proteína e teor de energia no corpo vazio de 0,18, -0,18 e 0,17, respectivamente, valores que estão próximos àqueles encontrados para raças taurinas (BASARAB et al., 2003). Contudo, tais correlações não foram diferentes de zero (dados não apresentados) e, por fim, as percentagens de gordura e proteína e o teor de energia no corpo vazio ao abate foram semelhantes entre os grupos de

eficiência, assim como a retenção destes componentes ao longo do período experimental.

Além disso, a maioria das medidas realizadas ao abate a fim de se avaliar a deposição de gordura corporal também não foram diferentes entre os grupos de eficiência, como exemplificado pelas gorduras subcutânea, renal, pélvica e inguinal, aparas, marmorização e extrato etéreo no *Longissimus*, suportando a tese que não houve relação entre CAR e composição corporal neste estudo.

Entretanto, observou-se que animais menos eficientes apresentaram, em média, 7 kg a mais de gordura sobre o TGI que novilhos mais eficientes, em pesos vivos ao abate semelhantes. Em bovinos taurinos, as relações significativas entre CAR e gordura corporal parecem refletir principalmente diferenças no padrão de deposição de gordura na carcaça e não nas vísceras, já que não tem sido identificada nenhuma diferença, ou diferenças expressivas, entre animais com alto e baixo CAR quanto à massa de tecido adiposo nos órgãos viscerais (BASARAB et al., 2003; SAINZ et al., 2006b). Portanto, parece razoável afirmar que existem diferenças no padrão de deposição de gordura corporal em função do consumo alimentar residual em novilhos Nelore e que provavelmente este padrão difere-se daquele apresentado por bovinos de raças taurinas, especialmente as britânicas.

Ainda em relação à deposição de gordura sobre o trato gastrintestinal (TGI), pode-se especular que as diferenças observadas entre animais mais e menos eficientes podem explicar em parte o maior consumo de alimentos por novilhos com alto CAR. Assumindo uma eficiência parcial de utilização de energia metabolizável (EM) para retenção de gordura de 75% (WILLIAMS; JENKINS, 2003), uma concentração de EM na dieta de 2,63 Mcal/kg MS e que os animais apresentavam massa de gordura sobre o TGI semelhante no início do período experimental (dia 0), a diferença na deposição de gordura sobre o trato gastrointestinal observada entre animais mais e menos eficientes (7 kg) seria responsável por uma diferença em ingestão de aproximadamente 287 g de MS/dia, se levado em conta o período inteiro de avaliação (ensaio de determinação do CAR + terminação, ≈150 dias).

A quantidade de alimento estimada equivale a menos de um quarto (22%) da diferença observada em ingestão de matéria seca da dieta (1,30 kg MS/dia), indicando

que outros processos regulam a maior parte da variabilidade para consumo alimentar residual. Em estudos paralelos a este, observou-se que novilhos mais eficientes permaneceram menos tempo em atividade (TRETTEL et al., 2008) e apresentaram menores níveis séricos de cortisol (Gomes et al. 2008), quando comparados a novilhos menos eficientes, indicando que a variabilidade encontrada quanto ao CAR pode estar relacionada à susceptibilidade ao estresse, à atividade e provavelmente a exigências energéticas de manutenção.

Nesta investigação, uma das hipóteses testadas foi a da interação entre consumo alimentar residual e peso vivo ao abate para características de carcaça e composição corporal. Almeida, Lanna e Leme (2004) relataram não haver diferenças entre animais mais e menos eficientes da raça Nelore quanto à espessura de gordura subcutânea e a área de olho de lombo ao abate. Entretanto, posteriormente, menor quantidade de gordura na carcaça e maior área de *Longissimus* em novilhos mais eficientes da mesma raça foram indicadas por Leme e Gomes (2007). As principais diferenças entre os dois estudos estavam no fato que no primeiro os animais foram abatidos com maior peso vivo e idade mais avançada quando comparado ao segundo (539 vs 471 kg e 36 vs 24 meses, aproximadamente), o que poderia explicar a divergência de resultados, já que os animais utilizados nas duas investigações apresentavam maturidades fisiológicas distintas e, provavelmente, padrão de crescimento tecidual também distintos.

Pelos resultados aqui apresentados, pode-se sugerir que, dentro da faixa de peso vivo avaliada, não existe interação entre grupo de eficiência alimentar (alto e baixo CAR) e peso vivo ao abate para características de carcaça e também para a composição química corporal.

Em relação a novilhos com baixo CAR estarem ao abate 11 kg mais leves que novilhos com alto CAR, é prudente considerar que este resultado pode ser uma consequência aleatória da metodologia empregada para a realização de um abate seriado e não um reflexo de diferenças em eficiência alimentar entre os animais. Além do ganho de peso diário ter sido semelhante entre os grupos de eficiência, por questões práticas, os pontos de abate pré-determinados (460, 490, 520 ou 550 kg) não puderam ser precisamente atendidos, impondo assim uma variabilidade não controlada nos pesos vivos ao abate. Por outro lado, analisando-se os dados de forma a ajustá-los

para um peso vivo final semelhante entre os grupos de eficiência (observação esperada), verificou-se que o tempo em alimentação de indivíduos menos eficientes foi diferente do de indivíduos mais eficientes, sugerindo diferenças em ganho de peso entre novilhos Nelore com alto e baixo CAR. De acordo com estes resultados, para alcançarem um determinado peso vivo, novilhos mais eficientes necessitariam ser alimentados por um tempo mais longo quando comparados a novilhos menos eficientes.

Houve no trabalho uma dificuldade de se distribuir as unidades experimentais de forma completamente aleatória nos grupos de abate pré-determinados, por quase metade dos animais terem apresentado PV inicial na fase de terminação muito próximo ou maior que os grupos de abate mais leves (460 e 490 kg). A consequência disso foi uma relação significativa positiva entre PV inicial e PV final. Desta forma, o estudo da hipótese de uma possível interação entre CAR e peso vivo ao abate para algumas características poderia então ser prejudicada. Por esta razão, optou-se em realizar uma análise dos dados desta fase focando o tema principal deste estudo (i.e. efeito de consumo alimentar residual), por meio de ajuste para pesos vivos ao abate comuns.

Testou-se a hipótese que, caso houvesse diferenças na composição química corporal entre novilhos com alto e baixo CAR, estas poderiam ser explicadas por variações no metabolismo protéico muscular. Tal relação tem sido especulada em alguns estudos (McDONAGH et al., 2001; CASTRO BULLE et al., 2007), uma vez que tem sido demonstrado que os processos de síntese e degradação das proteínas em bovinos estão ligados com crescimento de tecido magro (THERKILDSEN, 2005), eficiência alimentar, (ODDY et al, 1998) e exigências energéticas de manutenção (CASTRO BULLE et al., 2007). No presente estudo, animais mais e menos eficientes para CAR apresentaram taxas fracionais de degradação, síntese e acréscimo protéico semelhantes, o que concorda com resultados observados para animais de raças britânicas (CASTRO BULLE et al., 2007) e com o fato de os grupos de eficiência não terem diferido quanto à composição química corporal ao abate e no momento da coleta.

O metabolismo protéico muscular também tem sido relacionado com medidas objetivas de maciez da carne (McDONAGH et al., 2001), devido principalmente à ligação entre a atividade enzimática das proteases do sistema das calpaínas com a

quebra das proteínas miofibrilares (MORGAN et al., 1993; KOOHMARAIE, 1996; McDONAGH; FERNANDEZ; ODDY, 1999; GOLL et al., 2008).

A correlação entre as medidas de maciez objetiva avaliadas (força de cisalhamento [FC] e índice de fragmentação miofibrilar [IFM]) foi moderada à baixa ($r = -0,26$; $P = 0,08$, $n = 46$). Porém, os valores observados para ambas características (5,0 vs 4,6 kg e 49 vs 76, para FC e IFM do músculo não maturado e maturado por 7 dias, respectivamente) assemelham-se com o que foi encontrado para a carne maturada de novilhos Nelore por Silva (2005) (77 e 4,4 kg para IFM e FC, respectivamente) e também por Pereira (2006) (67 e 4,0 kg, para IFM e FC, respectivamente). McDonagh et al (2001) relatou valores semelhantes em bovinos britânicos, tendo sido observado FC com 1 e 14 dias de maturação de 4,6 e 3,6 kg e IFM de 70 e 88, respectivamente.

No presente trabalho, foi observado que a força de cisalhamento no músculo *Longissimus* foi semelhante entre os grupos de eficiência, assim como a atividade das proteases envolvidas no processo de ganho em maciez do músculo. Em estudos semelhantes, porém com bovinos de raças britânicas, não foram verificadas diferenças entre animais com alto e baixo CAR para força de cisalhamento (MCDONAGH et al., 2001; BAKER et al., 2006), atividade da μ -calpaína e m-calpaína, relação calpastatina: μ -calpaína (McDONAGH et al., 2001) e atividade enzimática da calpastatina (BAKER et al., 2006). Entretanto, McDonagh et al. (2001) observaram que animais mais eficientes (baixo CAR) apresentaram menor índice de fragmentação miofibrilar, tanto na carne não maturada, quanto naquela que passou por processo de maturação por 14 dias, o que não concorda com os resultados apresentados no presente estudo. Estes autores ainda observaram que a atividade da calpastatina e a relação m-calpaína:calpastatina é menor em animais com baixo CAR, o que também não pode ser corroborado pelos achados da presente investigação.

Deve-se ressaltar que as atividades enzimáticas das calpaínas relatadas aqui são pelo menos duas vezes menores que aquelas demonstradas em estudos com bovinos taurinos e ovinos (KOOHMARAIE, 1990; THOMSON et al., 1997; McDONAGH; FERNANDEZ; ODDY, 1999; McDONAGH et al., 2001), sugerindo erros na execução da metodologia empregada. Apesar da escassez de dados sobre a atividade enzimática destas proteases em bovinos zebuínos e da moderada correlação encontrada desta

com a força de cisalhamento ($\approx 0,50$), os resultados devem ser interpretados com precaução.

7 CONCLUSÕES

Parece existir uma relação entre consumo alimentar residual (CAR) e deposição de gordura subcutânea em novilhos Nelore alimentados em confinamento, dentro da faixa de peso vivo entre 340 kg e 450 kg, porém não em pesos vivos superiores.

Em pesos vivos variando entre 460 kg e 550 kg, as características de carcaça e a composição química corporal de novilhos Nelore com alto e baixo CAR foram semelhantes, porém bovinos mais eficientes possuem menor massa de tecido adiposo sobre o trato gastrointestinal, sugerindo diferenças no padrão de deposição corporal de gordura.

No estágio de maturidade fisiológica em que os animais foram avaliados, a reciclagem protéica muscular medida por meio do indicador 3-metil-histidina não é diferente entre animais mais e menos eficientes, assim como as taxas de síntese e acréscimo de proteínas do músculo esquelético.

A seleção de bovinos Nelore mais eficientes quanto ao CAR parece não implicar em prejuízo na maciez da carne. Contudo, sugere-se que sejam realizadas, ainda, avaliações sensoriais da carne para estudo do sabor e da maciez subjetiva.

REFERÊNCIAS

- AFERRI, G. **Exigências de energia e proteína e composição do ganho em peso compensatório de novilhos Nelore por meio do indicador óxido de deutério**. 2007. 90 p. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.
- ALMEIDA, R.; LANNA, D.P.D.; LEME, P.R. Consumo alimentar residual: um novo parâmetro para avaliar a eficiência alimentar de bovinos de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004.CD-ROM.
- ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005, 181p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2005.
- AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION. **Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of fresh meat**. Chicago, 1995. 47p.
- ARCHER, J.A. et al. Optimum postweaning 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.
- ARCHER, J.A. et al. Correlated responses in rate of maturation and mature size of cows and steers to divergent selection for yearling growth rate in Angus cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.54, p.183-192, 1998a.
- ARCHER, J. A. et al. Genetic and phenotypic relationships between feed intake, growth, efficiency and body composition of mice post-weaning and at maturity. **Animal Science**, Cambridge, v.67, p.171–182, 1998b.
- ARCHER, J.A. et al. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.50, p.147-61, 1999.
- ARCHER, J. A. et al. Genetic variation in feed intake and efficiency of mature beef cows and relationships with postweaning measurements. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7., 2002, Montpellier. **Anais...** Montpellier: 2002. Comm. no. 10-07.
- ARTHUR, P.F. et al. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.79, p.2805-2811, 2001.

ARTHUR, P.F.; RENAND, G.; KRAUSS, D. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.68, p.131-139, 2001a.

ARTHUR, P. F., RENAND, G.; KRAUSS, D. Genetic parameters for growth and feed efficiency in weaner versus yearling Charolais bulls. **Australian Journal of Agricultural Science**, Collingwood, v.52, p.471–476, 2001b.

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**, Collingwood, v.44, p.361-369, 2004.

ARTHUR, P.F. et al. Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.45, p.985-993, 2005.

BAKER, S.D. et al. Residual feed intake of purebred Angus steers: effects on meat quality and palatability. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.84, p.938-945, 2006.

BALDWIN, R.L.; SAINZ, R.D. Energy partitioning and modeling in animal nutrition. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v.15, 191-211, 1995.

BASARAB, J.A. 11/20/2003 - Latest indicator of feed efficiency could spur new generation of efficient cattle – 11/13 Canada Alberta Beef Industry. Disponível em http://www.fass.org/fasstrack/news_item.asp?news_id=1705. Acessado em: 26 de outubro de 2005.

BASARAB, J.A. et al. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.83, p.189-204, 2003.

BASARAB, J.A. et al. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.87, p.489-502, 2007.

CARSTENS, G.E. et al. Relationships between net feed intake and ultrasound measures of carcass composition in growing beef steers. **Beef Cattle Research in Texas**, College Station, p.31-34, 2002.

CASTRO BULLE, F.C.P. et al. 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.

CHANNON, A.F.; ROWE, J.B.; HERD, R.M. Genetic variation in starch digestion in feedlot cattle and its association with residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.44, p.469-474, 2004.

CREWS, D.H. Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: a review. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v.4, n.2, p.152-165, 2005.

CULLER, R. D. et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical, and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal of Food Science**, Oxon, v.43, p.1177-1180, 1978.

DAVIS, S.R.; BARRY, T.N.; HUGHSON, G.A. protein synthesis in tissues of growing lambs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.46, p.409-419, 1981.

DUNNETT, M.; HARRIS, R.C. High-performance liquid chromatographic determination of imidazole dipeptides, histidine, 1-methylhistidine and 3-methylhistidine in equine and camel muscle and individual muscle fibres. **Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences Applications**, Amsterdam, v.688, n.1, p.47-55, 1997.

EXTON, S.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. Identifying bulls superior for net feed intake, intramuscular fat and subcutaneous fat. **Animal Production in Australia**, Collingwood, v.25, p.57-60, 2004.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Cow type and nutritional environment: Nutritional aspects. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.61, p.725-741, 1985.

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

GEESINK, G. H.; KOOHMARAIE, M. Technical note: A rapid method for quantification of calpain and calpastatin activities in muscle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 77, p:3225-3229, 1999.

GILL, M. et al. Simulation of the energy costs associated with protein turnover and Na⁺, K⁺-transport in growing lambs. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.119, n.9, p.1287-1299, 1989.

GOLL, D.E. et al. The calpain system and skeletal muscle growth. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.78, p.503-512, 1998.

GOLL, D.E. et al. The calpain system. **Physiological Reviews**, Bethesda, v.83, p.731-803, 2003.

GOLL, D.E. et al. Myofibrillar protein turnover: the proteasome and the calpains. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.86 (E. Suppl.), p.E19-E35, 2008.

GOMES, R.C. et al. Blood cell profiles and plasma concentrations of glucose and cortisol of Nellore steers and bulls selected for low and high residual feed intake before and following a mild stressor. In: 2008 ADSA-ASAS JOINT MEETING, 2008, Indianapolis. **Anais...** Indianapolis: FASS, 2008.

GOMES, R.C. et al. Carcass traits, retail yield and meat quality of feedlot finished steers fed live yeast culture, monensin and the association of both additives. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, 2009. No prelo

GUNSETT, F.C. Linear index selection to improve traits defined as ratios. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.59, p.1185-1193, 1984.

HARRIS, C.I.; MILNE, G. The urinary excretion of *N*-methyl-histidine by cattle: validation as an index of muscle protein breakdown. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.45, p.411-429, 1981.

HAWKINS, A.J.S. Protein turnover: a functional appraisal. **Functional Ecology**, Oxon, v.5, p.222-233, 1991.

HEGARTY, R.S. et al. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.85, p.1479-1486, 2007.

HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.86, E-Suppl.2, 2008.

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.; 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, E9-E17, 2003.

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

HERD, R.M. et al. Steers growth and feed efficiency on pasture are favourably associated with genetic variation in sire net feed intake. **Animal Production in Australia**, Collingwood, v.25, p.93-96, 2004.

HORIMOTO, A.R.V.R. et al. Estimation of genetic parameters for a new model for defining body structure scores (frame scores) in Nelore cattle. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v.5, p.828-836, 2006.

JANNEY, N.W. The protein content of muscle. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v.25, p.185-188, 1916.

JENSEN, J. et al. Residual energy intake and growth, feed intake, and carcass traits of young bulls. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.70, p.386-395, 1992.

KOCH, R.M. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.22, p.486-494, 1963.

KOLATH, W.H. et al. The relationship between mitochondrial function and residual feed intake in Angus steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.84, p.861-865, 2006.

- KOOHMARAIE, M. Quantification of Ca²⁺-dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.68, p.659-665, 1990.
- KOOHMARAIE, M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. **Meat Science**, Oxon, v.43, s.1, p.193-201, 1996.
- 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. **Palestra...** Campo Grande, SBZ, 2004, p.248-259.
- LEME, P.R.; GOMES, R.C. Características de carcaça de novilhos Nelore com diferente consumo alimentar residual In: REUNIÓN ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL (ALPA), 20., 2007, Cuzco. **Anais...** Cuzco: ALPA, 2007. CD-ROM.
- LIU, M.F. et al. A study in the variation of feed efficiency in station tested beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.80, p.435-441, 2000.
- LOBLEY, G.E. et al. Whole body and tissue protein synthesis in cattle. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.43, p.491-502, 1980.
- McDONAGH, M.B.; FERNANDEZ, C.; ODDY, V.H. Hind-limb protein metabolism and calpain system activity influence post-mortem change in meat quality in lamb. **Meat Science**, Oxon, v.52, p.9-18, 1999.
- McDONAGH, M.B. et al. 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**, Collingwood, v.41, p.103-121, 2001.
- MONTANO-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.
- MOORE, S.; CREWS, D.H.; NKRUMAH, D. Multiple and candidate gene approaches to genetic evaluation of feed efficiency in beef cattle. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8., 2006, Belo Horizonte. **Palestras...** Belo Horizonte: 2006.
- MORGAN, J.B. et al. Effect of castration on myofibrillar protein turnover, endogenous proteinase activities and muscle growth in bovine skeletal muscle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.71, p.408-414, 1993.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242p.

NIEUWHOF, G. J. et al. Genetic relationships between feed intake, efficiency and production traits in growing bulls, growing heifers and lactating heifers. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.32, p.189–202, 1992.

NISHIZAWA, N. et al. N-tau-methylhistidine content of organs and tissues of cattle and an attempt to estimate fractional catabolic and synthetic rates of myofibrillar proteins of skeletal-muscle during growth by measuring urinary output of n-tau-methylhistidine. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.42, n.2, p.247-252, 1979.

NKRUMAH, J.D. et al. Full genome scan of quantitative trait loci (QTL) for net feed efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.83 (Suppl. 1), 13, 2005.

NKRUMAH, J.D. et al. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior 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. et al. Primary genome scan to identify putative QTL for feedlot growth rate, feed intake and feed efficiency of beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.85, p.3170–3181, 2007.

O'CONNOR, S.F. et al. Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.75, p.1822-1830, 1997.

ODDY, V.H. et al. Effect of divergent selection for yearling growth rate on protein metabolism in hind-limb muscle and whole body of Angus cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.56, p.225-231, 1998.

PEREIRA, A.S.C. **Características qualitativas da carcaça e da carne das progênes de touros representativos da raça Nelore (*Bos indicus*) e de diferente grupos genéticos**. 2006, 115p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga-SP, 2006.

PRINGLE, T.D. et al. Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and aged tenderness of Angus Brahman crossbred steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.75, p.2955-2961, 1997.

RIBEIRO, F.R.B. et al. Relationships of feed efficiency with carcass and non-carcass tissue composition in Angus bulls and heifers. **Beef Cattle Research in Texas**, College Station, p.121-124, 2007.

RICHARDSON, E.C. et al. Body composition and implications for heat production of Angus steers progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.41, p.1065-1072, 2001.

RICHARDSON, E.C. et al. Blood cell profiles of steer progeny from parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.42, p.901-908, 2002.

RICHARDSON, E.C. et al. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.44, p.443-454, 2004.

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**, Collingwood, v.44, p.431-440, 2004.

SAINZ, R. D., THOMSON, B.C.; MACSOOD, F.N. Storage and separation of calpastatin and calpains I and II from ovine skeletal muscle. *FASEB* 6:A1968. 1992.

SAINZ, R. D. et al. Growth patterns of Nellore vs. British beef cattle breeds assessed using a dynamic, mechanistic model of cattle growth and composition. In: KEBREAB, E. et al. **Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals: Modelling Approaches**. Wallingford: CAB International, 2006a.

SAINZ, R.D. et al. Carcass composition and visceral organs are similar at harvest in low- and high-residual feed intake groups of Angus-Hereford steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.84, suppl.2, W97, p.168, 2006b.

SALMON, R.K. et al. Growth efficiency in mice selected for increased body weight. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.70, p.371-381, 1990.

SHACKELFORD, S.D. et al. An evaluation of tenderness of the Longissimus muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.68, p.171-177, 1991.

SHACKELFORD, S.D. et al. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine postrigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.72, p.857-863, 1994.

SHERMAN, E.L. et al. Identification of polymorphisms influencing feed intake and efficiency in beef cattle. **Animal Genetics**, Oxon, v.39, p.225-231, 2008a.

SHERMAN, E.L. et al. Polymorphisms and haplotypes in the bovine neuropeptide Y, growth hormone receptor, ghrelin, insulin-like growth factor 2, and uncoupling proteins 2 and 3 genes and their associations with measures of growth, performance, feed efficiency, and carcass merit in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.86, p.1-16, 2008b.

SHERMAN, E.L. et al. Fine mapping quantitative trait loci (QTL) for feed intake and feed efficiency in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, doi 10.2527/jas2008-0876, 2008c.

SHRECK, A.L. et al. Influence of feed efficiency on profitability of individually fed feedlot cattle. In: 2008 ADSA-ASAS JOINT MEETING, 2008, Indianapolis. **Anais...** Indianápolis: FASS, 2008.

- SILVA, E.B. **Proteólise miofibrilar e maciez da carne de bovinos (*Bos indicus*) submetidos a diferentes técnicas pós-morte de resfriamento das carcaças.** 2005, 50p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga-SP, 2005.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3.ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.
- SILVA, S.L. et al. Correlações entre características de carcaça avaliados por ultra-som e pós-abate em novilhos Nelore, alimentados com altas proporções de concentrados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, p.1236-1242, 2003.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS/STAT User's Guide Release 7.0 edition.** Cary: SAS Institute, 1998.
- THERKILDSEN, M. Muscle protein degradation in bull calves with compensatory growth. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.98, p.205-218, 2005.
- THOMSON, B.C. et al. The effect of nutritional status of protein degradation and components of the calpain system in skeletal muscle of weaned wether lambs. **Journal of Agricultural Science**, New York, v.129, p.471-477, 1997.
- TRETTEL, M. et al. Padrão de comportamento de novilhos Nelore com alto e baixo consumo alimentar residual. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 2008.CD-ROM.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agriculture Marketing Service. **Official United States standards for grades of carcass beef.** Washington D.C., 1999.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; St.PIERRE, N.R. A theoretical-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.57, p.717-726, 1983.
- WHIPPLE, G. et al. Evaluation of attributes that affect Longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.68, p.2716-2728, 1990.
- WILLIAMS, C.B.; JENKINS, T.G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. II. Metabolizable energy utilization for gain. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.81, p.1382-1389, 2003.
- WULF, D.M. et al. Genetic influences on Beef Longissimus palatability in Charolais and Limousin-Sired steers and heifers. **Journal of Animals Science**, Savoy, v.74, p.2394-2405, 1996.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Estatística descritiva dos dados utilizados para as estimativas do peso do corpo vazio (PCvz) e da massa de músculo esquelético (MME) iniciais¹

Característica	n ³	média	desvio-padrão	mínimo	máximo
PVj18h ² , kg	10	324	15,8	302	350
PCvz, kg	10	279	12,3	261	299
MME, kg	10	129	8,13	119	144

¹ dados obtidos a partir do abate de novilhos Nelore, criados nas mesmas condições e pertencentes ao mesmo rebanho daqueles utilizados no presente estudo.

² peso vivo após 18 horas de jejum completo.

³ número de animais avaliados.

APÊNDICE B – Estatística descritiva dos dados utilizados para as estimativas da massa de músculo esquelético (MME) durante o ensaio de metabolismo protéico¹

Característica	n ³	média	desvio-padrão	mínimo	máximo
PVj18h ² , kg	72	471	28	432	508
MME, kg	72	183	11	160	198

¹ dados obtidos no estudo de Gomes et al. (2009) utilizando animais criados nas mesmas condições e pertencentes ao mesmo rebanho daqueles utilizados no presente estudo.

² peso vivo após 18 horas de jejum completo.

³ número de animais avaliados.

APÊNDICE C –Estatística descritiva das características avaliadas no ensaio de determinação do consumo alimentar residual

Característica	n ²	média	desvio-padrão	mínimo	máximo
PV Inicial, kg	72	334	18,6	287	377
PV final, kg	72	442	24,0	387	488
Idade, dias	72	569	28,9	495	617
CMS, kg/dia	72	10,08	0,98	7,09	12,50
CMS, %PV	72	2,60	0,20	1,90	3,05
GMD, kg/dia	72	1,48	0,22	1,01	1,93
CA	72	6,89	0,86	4,92	9,05
CAR, kg/dia	72	0,00	0,69	-2,72	1,54
EEC	71	7,82	1,52	4,10	13,16
AG inicial, cm	71	140	2,98	132	150
AG final, cm	72	143	3,15	137	153
PT, cm	71	183	9,56	118	200
AML inicial ¹ , cm ²	71	53,0	4,75	40,8	72,8
AML final ¹ , cm ²	72	66,0	5,33	50,1	86,2
Ganho em AML, cm ²	71	13,0	2,96	5,6	18,5
EGSLU inicial ¹ , mm	71	0,53	0,73	0,00	2,40
EGSLU final ¹ , mm	72	3,98	1,27	1,40	7,70
Ganho em EGSLU, mm	71	3,46	1,17	1,40	6,90
EGSGU inicial ¹ , mm	72	1,74	1,42	0,00	5,80
EGSGU final ¹ , mm	72	7,28	2,28	1,60	12,1
Ganho em EGSGU, mm	72	5,56	1,86	1,60	9,70

PV = peso vivo; CMS = consumo de matéria seca; GMD = ganho de peso diário; CA = conversão alimentar; CAR = consumo alimentar residual; EEC = escore de estrutura corporal; AG = altura de garupa; PT = perímetro torácico; AML = área do músculo *Longissimus*; EGSLU = espessura de gordura subcutânea (entre 12^a e 13^a costelas); EGSGU = espessura de gordura sobre a garupa (músculo *Biceps femoris*).

¹ medidas realizadas através de ultra-sonografia.

² número de animais avaliados.