

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Zootécnica

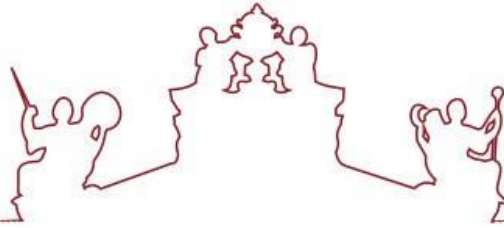
Dissertação

**Consumo alimentar residual (CAR) em novilhos de Raça
Mertolenga**

Daniela Alexandra Rosa da Silva Paulo

Orientador (es) | Manuel D'Orey Cancela D'Abreu

Évora 2020



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Zootécnica

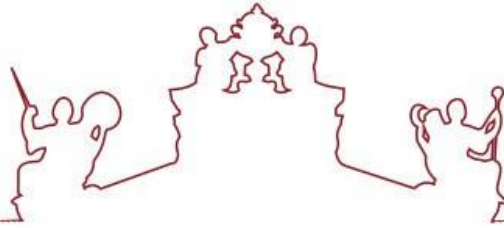
Dissertação

**Consumo alimentar residual (CAR) em novilhos de Raça
Mertolenga**

Daniela Alexandra Rosa da Silva Paulo

Orientador (es) | Manuel D'Orey Cancela D'Abreu

Évora 2020



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Fernando Paulo de Sousa e Sá Correia Marques (Universidade de Évora)

Vogais | Manuel D'Orey Cancela D'Abreu (Universidade de Évora) (Orientador)

Maria Elvira Lourido Sales Baptista (Universidade de Évora) (Arguente)

Agradecimentos

Esta dissertação de mestrado é o resultado de muitas horas de trabalho, pelo que é importante exprimir os meus sinceros agradecimentos a algumas pessoas que me ajudaram nesta etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Manuel Cancela D'Abreu, pela oportunidade e apoio durante todo o processo de construção deste trabalho.

Ao Professor Rui Charneca, pela sua pronta disponibilidade durante todo o trabalho e por todos os conhecimentos transmitidos.

A esta casa, Universidade de Évora, que me formou e a esta cidade, Évora, que me acolheu durante os melhores anos da minha vida e se tornou a minha segunda casa.

À Associação de Criadores de Bovinos de Raça Mertolenga (ACBM), principalmente pela disponibilização das infraestruturas e equipamentos necessários para a realização deste trabalho. Não posso deixar de agradecer por toda a hospitalidade e apoio prestado, que foram imprescindíveis para o sucesso dos ensaios realizados.

A todos os amigos que levo desta vida académica, com especial destaque para a Catarina “Surfista”, Catarina “Carujo” e Rita “Cenas”. Que me acompanharam nesta “luta” desde do início. Obrigada pela paciência, companheirismo, força e apoio incondicional que sempre demonstraram. São sem dúvida amigas para a vida.

Aos “Amigos fofos”, obrigada pela amizade e pela paciência demonstrada, mesmo durante a minha ausência.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Por último, tendo consciência que sozinha nada disto teria sido possível, dirijo um agradecimento especial para a minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão, pelo seu apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados e pelos inúmeros sacrifícios que fizeram para que eu hoje possa estar aqui. Um obrigado nunca será suficiente.

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência alimentar através do consumo alimentar residual (CAR) em novilhos de raça Mertolenga e a determinação da sua composição corporal por ultrassonografia. Foram avaliados 26 novilhos de raça Mertolenga, durante 140 dias, com um período de adaptação de 30 dias. O ensaio iniciou no dia 30-5-2019 e terminou a 17-10-2019. Estabelecemos três classes de eficiência, os mais eficientes ($CAR < 0,5 \times DPCAR$), intermédios ($-0,5 \times DPCAR < CAR < +0,5 \times DPCAR$) e menos eficientes ($CAR > +0,5 \times DPCAR$). O valor médio do CAR nas classes mais eficiente, intermédia e menos eficiente foi de -0,49, -0,01 e 0,56kg MS/dia, respetivamente. A diferença indicou que animais mais eficientes consumiram, em média, menos 1,05kg MS/dia que os menos eficientes, com peso corporal e GMD similar ($P > 0,05$). Foi ainda testada a utilização de ultrassonografia nos animais para a avaliação da composição corporal na região da 12^o e 13^o costelas. Não existiu correlação entre CAR e as características de carcaça ($P > 0,05$).

Palavras-chave: Bovinos, Mertolenga, Eficiência alimentar, Consumos alimentar residual, Ultrassonografia

Residual feed intake (RFI) in Mertolengo cattle breed

Abstract

The main objective of this study is to approach a selection methodology for feed efficiency called residual feed intake (RFI) and the determination of their body composition by ultrasound in Mertolenga steers. Twenty-six Mertolenga steers were evaluated, during 140 days, with an adaptation period of 30 days. The trial started on 30-5-2019 and ended on 17-10-2019. We established three efficiency classes were established, the most efficient ($RFI < -0.5 \times SDRFI$), intermediate ($-0.5 \times SDRFI < RFI < +0.5 \times SDRFI$) and less efficient ($RFI > +0.5 \times SDRFI$). The mean value of RFI in the most efficient, intermediate and least efficient classes was -0.49; -0.01 and 0.56kg DM/day, respectively. The difference indicated that more efficient animals consumed, on average, 1.05kg DM/day less than the less efficient ones, with body weight and similar DG ($P > 0.05$). The use of ultrasonography in the animals was also tested to evaluate body composition in the region of the 12th and 13th ribs. There was no correlation between RFI and carcass characteristics ($P > 0.05$).

Key Words: Beef cattle, Mertolenga, Feed efficiency, Residual feed intake, Ultrasonography

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de Figuras	3
Índice de Tabelas	4
Índice de Gráficos	5
LISTA DE ABREVIATURAS	6
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. BOVINOS DE RAÇA MERTOLENGA	11
2.1.1. Origem e caracterização da raça	11
2.1.2. Sistemas de produção	13
2.1.3. Parâmetros produtivos e reprodutivos	13
2.1.4. Programa de melhoramento genético	15
2.2. EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM BOVINOS DE CARNE	16
2.2.1. Métodos para medida de eficiência alimentar	17
2.3. CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL COMO MEDIDA DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR	19
2.3.1. Definição de CAR	21
2.3.2. Base biológica da variação do CAR em bovinos de carne	24
2.3.3. Avaliação genética da eficiência alimentar para o CAR	32
2.3.4. Resultados obtidos na seleção para o CAR	39
2.3.5. Benefícios económicos da seleção para o CAR	42
2.3.6. Benefícios ambientais da seleção para o CAR	42
2.3.7. Limitações do CAR e como superá-las	46
2.4. RELAÇÃO ENTRE O CAR, COMPOSIÇÃO CORPORAL E CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA	49
2.4.1. Monitorização da composição corporal por ultrassonografia (USS)	49
2.4.2. Relação entre a eficiência alimentar e as caraterísticas da carcaça	54
2.4.3. Introdução da espessura gordura (EG) no modelo de regressão do CAR ..	58
3. MATERIAIS E MÉTODOS	62
3.1 LOCAL	62
3.2 INSTALAÇÕES	62
3.3 ANIMAIS	63

3.4	ALIMENTAÇÃO	64
3.5	RECOLHA DE DADOS.....	69
3.5.1	Período de avaliação do teste de eficiência alimentar	69
3.5.2	Pesagem dos animais.....	69
3.5.3	Determinação da MS e PB	70
3.6	PARÂMETROS AVALIADOS.....	72
3.6.1	Consumo de Matéria Seca	72
3.6.2	Cálculo do GMD, $PV^{0,75}$ e CAR.....	72
3.6.3	Determinação da EGS e de EM via USS.....	74
3.7	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....	77
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	77
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4.1	RESULTADOS DA MS E PB	79
4.2	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ALIMENTAR PELO CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL.....	82
4.3	CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ALIMENTAR ASSOCIADAS A DIFERENTES CLASSES DE CAR	88
4.4	AVALIAÇÃO DA ESPESSURA DE GORDURA SUBCUTÂNEA E DO MÚSCULO EM DIFERENTES CLASSES DE CAR	91
5.	CONCLUSÃO	95
6.	BIBLIOGRAFIA	97

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição geográfica da raça Mertolenga consoante a sua pelagem em Portugal.....	11
Figura 2 - Distribuição do CAR em bovinos de carne ordenados do mais eficiente ao menos eficiente e os respetivos GMD (Fonte: Lima et al., 2013).....	23
Figura 3 - Contribuições de mecanismos fisiológicos para a variação do CAR determinado a partir de estudos com animais selecionados divergentemente (Richardson e Herd, 2004a).	25
Figura 4 - Relação entre o consumo observado e consumo esperado de novilhos Nelore estabulados, destacando dois animais de CAR extremos (Fonte: Almeida et al., 2004) .	41
Figura 5- Emissões globais de GEE em 2010 (Fonte: Adaptado Pachauri et al., (2014)).	43
Figura 6 – Emissões de GEE pela agricultura, 2001-2011 (Adptado de Tubiello et al., 2014)	43
Figura 7 - Posição do transdutor de ultrassom e pontos anatómicos onde são realizadas as avaliações. (Ultrasound Guidelines Council Study Guide Sub-Committee) (Adaptado de Perkins et al., 1996)	51
Figura 8 – Aspeto geral dos parques com o sistema de alimentação RIC®. (Fonte: Elaboração própria).....	62
Figura 9 – Grupo de novilhos no estábulo (Fonte: Elaboração própria).	63
Figura 10 – Aspeto geral do comedouro com sistema RIC® (Fonte: Elaboração própria).	64
Figura 11 – Componentes do sistema de alimentação RIC® para recolha de dados (Fonte: Elaboração própria).....	65
Figura 12 –Outupt do Ceres-RIC software	66
Figura 13 - Distribuição do alimento nos comedouros automáticos pelo unifeed (Fonte: Elaboração própria).....	68
Figura 14 – Local das pesagens com o tronco de contenção com báscula fixa para pesagem dos animais (Fonte: Elaboração própria).	70
Figura 15 – Amostra de alimento (Fonte: Elaboração própria).	70
Figura 16 - Amostras moídas de alimento e/ou sobras prontas para analisar PB no analisador (Fonte: Elaboração própria).....	71
Figura 17 - Analisador de proteínas/azoto LECO FP-528 (Fonte: Elaboração própria)...	71

Figura 18 – Recolha da imagem ultrassom da EGS entre a 12 ^a e 13 ^a costela (Fonte: Elaboração própria).....	76
Figura 19 – Cronograma do trabalho experimental.....	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores médios da Raça Mertolenga (ACBM, 2012).....	15
Tabela 2 – Fontes de variação metabólica do consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de carne (Hendriks <i>et al.</i> , 2013).....	26
Tabela 3 – Estimativas de heritabilidade para CAR, CA e GMD em vários estudos com bovinos de diferentes raças (Moraes, 2016).....	35
Tabela 4- Estimativas de correlações genéticas entre o CAR, CA e GMD em vários estudos de diferentes raças (Moraes, 2016).....	36
Tabela 5 – Estimativas de variância genética aditiva para CAR em vários estudos com bovinos de diferentes raças (Moraes, 2016).....	37
Tabela 6 – Resultados de alguns ensaios sobre avaliação de eficiência nutricional (de Medeiros <i>et al.</i> , 2013).....	40
Tabela 7 - Estimativas de correlações genéticas entre características de carcaça medidas diretamente na carcaça e as mesmas características obtidas por ultrassom, segundo alguns autores (Yokoo <i>et al.</i> , 2011).....	52
Tabela 8 - Organização do efetivo em estudo	64
Tabela 9 - Percentagem de inclusão dos alimentos e respetiva composição química (%MS) da dieta.	67
Tabela 10 - Teores de MS e PB das amostras obtidos após as análises laboratoriais	80
Tabela 11 – Médias e desvio padrão %MS e %PB do alimento e das sobras.....	81
Tabela 12 - Médias, desvios padrões e valores mínimos e máximos das características de desempenho e de eficiência alimentar	83
Tabela 13 - Correlações de Pearson entre as características de peso, consumo, ganho, conversão e eficiência alimentar e consumo alimentar residual.....	84
Tabela 14 - Médias e erro padrão das características de desempenho, consumo, eficiência alimentar e características de carcaça para novilhos de raça Mertolenga em crescimento nas três classes de eficiência determinadas com base no consumo alimentar residual (CAR).	89
Tabela 15 – Correlações entre o CAR e as características de carcaça.....	91

Tabela 16 – Espessura de gordura subcutânea (EGS) e músculo (EM) medidas por ultrassom nas classes de baixo, medio e alto CAR.....	92
--	----

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Relação entre consumo alimentar residual e peso vivo médio metabólico de novilhos Mertolengos.	85
Gráfico 2 - Distribuição do consumo alimentar residual (CAR) de cada novilho em teste distribuídos do mais eficiente ao menos eficiente e os respetivos ganhos médio diário em peso (GMD) e conversão alimentar (CA).....	87
Gráfico 3 - Relação entre consumo de matéria seca observado e esperado expressos em kgMS/dia de novilhos de raça Mertolenga, destacando dois animais em relação ao CAR com CMSesp similares.....	88
Gráfico 4 - Médias de EGS e EM do dia 0 ao dia 140 para as 3 classes de CAR.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS

$\mu\text{g /dl}$	Micrograma por decilitro
ACBM	Associação de Criadores de Bovinos Mertolengos
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ANOVA	Análise de variância simples
AOL	Área do olho do lombo (cm)
BLUP	Melhor Predição Linear Imparcial (Best Linear Unbiased Prediction)
CA	Conversão Alimentar (kg MS/kg ganho)
CAR	Consumo Alimentar Residual (kgMS/dia)
CH ₄	Metano
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros Quadrados
CMS	Consumo de Matéria Seca (kg/dia)
CMS _{obs}	Consumo de Matéria Seca Observado (kg/dia)
CMS _{esp}	Consumo de Matéria Seca Esperado (kg/dia)
CO ₂	Dióxido de carbono
DMS	Digestibilidade da Matéria Seca
DOP	Denominação de Origem Protegida
DP _{CAR}	Desvio-padrão do Consumo Alimentar Residual
EAB	Eficiência Alimentar Bruta (kg MS/kg ganho)

EG	Espessura de gordura (cm)
EGP8	Espessura de gordura da garupa ou picanha (<i>rump fat</i>) (cm)
EGS	Espessura de gordura de cobertura (<i>back fat</i>) (cm)
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
g	Gramas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GMD	Ganho de Peso Médio Diário (kg/dia)
h^2	Heritabilidade
IC	Índice Conversão
IPCC	Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas
LG	Livro Genológico
MAR	Porcentagem de gordura intramuscular ou marmoreado
MS	Matéria Seca
MS _(r)	Matéria Seca residual
MS _(i)	Matéria Seca inicial
Mm	Milímetros
NRC	Conselho Nacional de Pesquisa (National Research Council)
PB	Proteína Bruta
PC	Produção de calor
PV	Peso Vivo (kg)
PVi	Peso Vivo inicial (kg)
PVf	Peso Vivo final (kg)

PV ^{0,75}	Peso Vivo Metabólico (kg ^{0,75})
R ²	Coefficiente de determinação
Rf	Correlação fenotípica
Rg	Correlação Genética
SNP's	Polimorfismos de Nucleótidos Simples
UFC	Unidades Forrageiras Carne (/Kg MS)
USS	Ultrassonografia

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a produção de bovinos nacional tem lidado com novos desafios, além do aumento dos custos de produção, como a crescente percepção dos consumidores quanto à segurança alimentar, bem-estar animal e impactos ambientais da produção animal. Devido a este cenário e às margens de lucro reduzidas, só existe um caminho a ser seguido: aumento da eficiência dos sistemas de produção.

Portugal apresenta um elevado número de raças bovinas autóctones, com destaque para a raça Mertolenga, uma das raças com maior número de fêmeas registadas em livro genealógico.

Uma das mais-valias das raças autóctones é sua capacidade de melhorar a produtividade dos sistemas de produção onde estão inseridas, podendo desta forma aproveitar melhor o alimento, tornando-se animais mais eficientes a nível alimentar e produtivo. Para garantir a continuidade de um número significativo de efetivos de raça autóctone portuguesas exploradas em linha pura é necessário existirem mais trabalhos científicos, de forma a melhorar a eficiência alimentar dos animais de forma a compensar a menor produtividade dessas raças (peso ao nascimento, ganho médio diário, índice conversão, rendimento carcaça).

Uma alternativa para ultrapassar estes desafios é a identificação de animais mais eficientes na utilização do alimento, assim como a introdução de instrumentos de gestão técnico-produtiva e económica mais eficientes. Como os gastos com alimentação representam o principal custo da produção animal, diferenças entre os animais na conversão do alimento ingerido em carne são de grande relevância. Animais que utilizam os alimentos de forma mais eficiente necessitam consumir menos para atingir o mesmo nível de produção e, dessa forma, são mais lucrativos e apresentam maiores ganhos com menos alimento.

Além disso, com as mudanças climáticas e a legislação ambiental mais restritiva, a produção de carne bovina está sob crescente escrutínio. O aumento

da eficiência alimentar proporciona menor desperdício e excreção de nutrientes, com implicações ambientais positivas nos sistemas de produção de carne.

Existem vários índices de eficiência alimentar que nos podem auxiliar na seleção dos animais mais eficientes como: a conversão alimentar e a eficiência alimentar bruta. Ambas estão correlacionadas com eficiência alimentar, porém também se correlacionam com características de crescimento (com o ganho de peso e maior peso à idade adulta).

O consumo alimentar residual (CAR) destaca-se das outras medidas pois permite selecionar animais com menor consumo alimentar sem interferir no peso adulto ou no ganho médio diário. O CAR é uma ferramenta que visa avaliar a eficiência alimentar e é definido como a diferença entre o consumo de matéria seca observado e o consumo de matéria seca esperada, de forma independente do peso vivo metabólico e do ganho de peso diário.

Os benefícios económicos e ambientais relacionados com a seleção de animais mais eficientes são fortes argumentos para realização de estudos neste domínio.

Nos últimos anos, os programas de melhoramento animal têm inovado ao procurar selecionar animais para características não comumente avaliadas, com destaque para a composição e qualidade da carcaça dos animais, utilizando a ultrassonografia (Sugisawa *et al.*, 2002), isto porque estas características têm grande impacto na aceitação e valorização da carne por parte do mercado (de Medeiros *et al.*, 2013)

Objetivou-se com este trabalho estudar a utilização do consumo alimentar residual (CAR) em novilhos de raça Mertolenga como medida de eficiência alimentar e a sua correlação com as medidas de gordura subcutânea e de músculo medidas através de ultrassonografia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. BOVINOS DE RAÇA MERTOLENGA

2.1.1. Origem e caracterização da raça

A Raça Mertolenga é originária do Baixo Alentejo, nomeadamente das regiões de Alcoutim, Martinlongo e Mértola. Já em 1873, Bernardo Lima referencia este tipo de bovino, descrevendo-o como um “alentejano” pequeno, que se adaptava bem às duras condições locais e que, para além da aptidão para o trabalho de lavoura, era considerado o “melhor boi de cabresto”. A polivalência desta raça levou a que a sua distribuição geográfica se estendesse pelo Ribatejo, como elemento fulcral no maneo do gado bravo, abrangendo as regiões do Tejo, Sado e Sorraia. A sua disseminação deu-se também por todo o Alentejo, desde Serpa, Évora e Aljustrel (Lacerda, 2016).

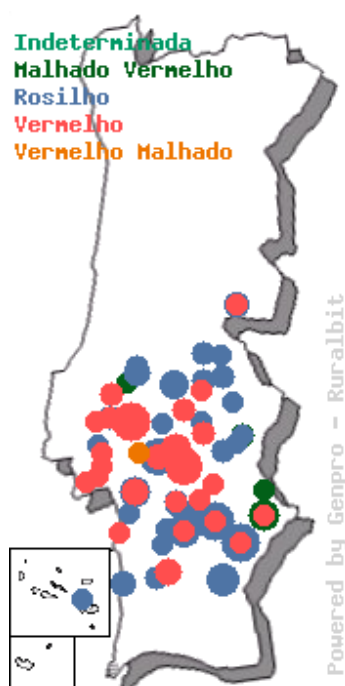


Figura 1 - Distribuição geográfica da raça Mertolenga consoante a sua pelagem em Portugal

Fonte:

<http://www.mertolenga.com/conteudo.php?idm=10elang=pt>

Esta ampla disposição espaço-temporal conduziu a algumas diferenças no que respeita aos seus perfis cefálicos, bem como à cor da sua pelagem, gerando três fenótipos diferentes: o Malhado de Vermelho, o Rosilho ou Mil Flores e o Unicolor. À parte desta diferenciação morfológica, os animais são muito semelhantes no que diz respeito às características funcionais (Cid, 2001, citado por Lacerda, 2016).

Nas zonas geográficas definidas pelas bacias hidrográficas do Sado e Tejo predominam os efetivos de pelagem vermelha ou vermelha bragado (36%). Nas regiões de Portalegre, Évora e Beja predominam os efetivos da pelagem Rosilho (Mil-Flores) (47%). Já o efetivo de pelagem malhada (17%) localiza-se, na sua maioria, na margem esquerda do Guadiana (Figura 1) (ACBM, 2020).

Os animais apresentam uma grande capacidade de adaptação ao meio envolvente, dado que é uma raça de regiões edafo-climáticas severas, do ponto de vista do ambiente envolvente: clima e orografia, tipo de solos, qualidade e quantidade da pastagem natural (ACBM, 2020).

Segundo o secretariado técnico da raça, os animais desta raça caracterizam-se pelo tamanho mediano, esqueleto fino (o peso médio de uma vaca adulta ronda os 380 kg (ACBM, 2012) e do macho adulto os 650 kg (Roquete *et al.*, 2004), formas harmoniosas e o contorno das aberturas naturais e mucosas de cor clara. Possuem um temperamento nervoso, andamentos fáceis e enérgicos, são muito rústicos, bem-adaptados e de grande longevidade produtiva. Outras características que os definem são cornos finos, brancos e escuros na ponta, de seção elíptica, em forma de gancho, acabados em lira baixa, e cabeça de tamanho mediano, de frente larga, e perfil subconvexo ou reto (Roquete *et al.*, 2004).

Para assegurar a pureza da raça Mertolenga foi criado o Livro Genológico (LG) da raça, garantindo assim também o progresso genético. Segundo dados recolhidos na Sociedade Portuguesa de Recursos Genéticos Animais (SPREGA, 2020), o LG da raça Mertolenga conta com 28151 fêmeas inscritas, das quais 7380 são exploradas em linha pura.

2.1.2. Sistemas de produção

Os animais de raça Mertolenga passam todo o ano a campo num sistema de produção extensivo sendo uma das raças mais representativas deste tipo de sistemas (ACBM, 2012).

De acordo com Roquete (1993), os bovinos da raça Mertolenga apresentam uma adaptabilidade excepcional às difíceis condições de manejo alimentar a que estão sujeitos nos sistemas de produção tipicamente extensivos. No mesmo sentido, Pereira (2004) vem intensificar esta ideia, destacando ainda a ampla difusão da raça Mertolenga nos sistemas de produção extensivos, considerando-a uma raça adaptada às condições que prevalecem no sul de Portugal.

2.1.3. Parâmetros produtivos e reprodutivos

Geralmente as raças autóctones apresentam níveis produtivos mais reduzidos que algumas raças exóticas ou os seus cruzamentos, mas têm a capacidade de suportar condições ambientais adversas, em que as raças exóticas não conseguiriam produzir ou mesmo sobreviver (Gama *et al.*, 2004).

O mesmo refere Roquete (1993), que considera que as raças autóctones, nomeadamente a Mertolenga, não estão geneticamente potencializadas para elevadas taxas de crescimento. Mas noutra perspetiva, e apesar das carcaças não serem muito bem conformadas, apresentam um excelente rendimento cárnico e uma qualidade de carne superior (Roquete *et al.*, 2004).

A sua aptidão principal é a produção de carne. Porém, como em linha pura os resultados não são os mais satisfatórios, quer do ponto de vista económico, quer do ponto de vista produtivo, esta raça tem sido cruzada com raças exóticas, tais como a Limousine ou a Charolesa, como forma de aumentar o peso ao desmame, o rendimento de carcaça e a valorização dos próprios animais.

O cruzamento terminal é um instrumento zootécnico para aumentar a eficiência produtiva de raças locais, bem-adaptadas, mas pouco eficientes em termos de crescimento dos seus produtos puros (Roquete *et al.*, 2004).

Roquete (1994), citado por ACMB (2012), ao analisar a produtividade ao desmame, medida pelo peso do vitelo ao desmame aos 205 dias (1236 animais), obteve um valor médio de 153 kg, com valores 15% e 25% superiores para os animais cruzados de Limousine e Charolês respectivamente. Neste sentido, é clara a vantagem da utilização dos cruzamentos com a finalidade de aumento das taxas de crescimento dos animais.

Segundo Roquete *et al.* (2004), a grande capacidade de adaptação desta raça está aliada a uma primeira cobertura aos 24,5 meses de idade média e a um intervalo entre partos médio de 405 dias, com uma taxa de fertilidade de 90% e grande longevidade reprodutiva.

Para além destes parâmetros, Roquete (1994) citado por ACBM (2012), ao estudar o peso à nascença dos vitelos de vacas mertolengas verificou uma grande dispersão no intervalo dos pesos, ou seja, desde vitelos puros que nascem em média com 26,1 kg e 24,3 kg, para machos e fêmeas respectivamente, a vitelos com mais de 40 kg, no caso dos F1 de raças exóticas. Esta enorme amplitude é um indicador da facilidade de partos desta raça.

As suas boas características maternas, garantida pela boa capacidade leiteira, estendem-se para o peso dos vitelos ao desmame. Roquete *et al.* (2004) verificaram que tendo em conta o peso vivo (PV) médio de uma vaca (380 kg), estes animais conseguem desmamar, em relação ao seu PV, 40,8% nos puros, 46,7% e 53,6% para os cruzados, de Limousine e Charolês respectivamente (Roquete *et al.*, 2004). Ou seja, a sua produção leiteira, mesmo em condições difíceis (Cid, 2001, citado por Lacerda, 2016), permite criar vitelos de touros de grande porte. Vitelos estes que aos 205 dias têm valores médios de 153 kg nos puros, 201 kg nos cruzados de Charolês e 178 kg nos cruzados de Limousine (Roquete, 1994, citado por Roquete *et al.* 2004). Contudo, esta raça tem uma reduzida velocidade de crescimento (Cid, 2001 citado por Lacerda, 2016). Por este motivo, dada a sua menor eficiência, os resultados obtidos de animais puros, apresentam-se pouco interessantes na fase de engorda, apesar de permitirem carcaças com carne de qualidade (Roquete *et al.*, 2004), como já foi referido.

Assim sendo, hoje em dia, a produção de animais Mertolengos em linha pura, apoiada pela ACBM, tem como principais objetivos a obtenção de animais reprodutores e a realização de engordas com a valorização da qualidade da carne – Carne Mertolenga DOP - com todas as suas características organoléticas únicas desta raça.

Os valores a seguir apresentados foram obtidos a partir da avaliação genética de 2012 realizada pela Unidade de Recursos Genéticos, Reprodução e Melhoramento Animal do Instituto Nacional de Investigação Agrária em colaboração com a Associação de Criadores de Bovinos Mertolengos (ACBM).

Tabela 1 – Valores médios da Raça Mertolenga (ACBM, 2012)

	Valores
Peso médio ao desmame (machos e fêmeas)	162,9 ± 37,1 kg
Intervalo entre partos	460 ± 150 dias
GMD em teste performance	937 ± 186 g/dia
CAR	1 ± 318 g/dia
Índice conversão em teste performance	6,23 ± 1,49 kg conc./kg ganho peso
Longevidade produtiva	92,2 ± 55,5 meses

O valor do peso médio ao desmame, apresentado na Tabela 1, refere-se aos machos e fêmeas desta raça e obteve-se com recurso a 26203 pesos ajustados aos 210 dias de idade. Na análise do universo produtivo do efetivo Mertolengo, juntaram-se os pesos dos vitelos cruzados e com um total de 34107 observações obteve-se um peso médio ao desmame de 171,8 ± 41,7 kg (ACBM, 2012).

2.1.4. Programa de melhoramento genético

A avaliação genética da raça bovina mertolenga foi elaborada na Unidade de Recursos Genéticos, Reprodução e Melhoramento Animal do INRB I.P., a partir de toda a informação de campo recolhida pela ACBM, tendo sido consideradas as seguintes características:

- Capacidade maternal até ao desmame;
- Intervalo entre partos;
- Capacidade de crescimento até ao desmame;
- Ganho médio diário no teste de performance;
- Índice de conversão alimentar no teste de performance;
- Peso de carcaça por dia de idade;
- Longevidade Produtiva;

Todos os caracteres são submetidos a análises univariadas, através do BLUP - Modelo Animal, utilizando-se para o efeito o programa informático MTDFREML. Esta metodologia permite estimar os valores genéticos de cada animal para os sete tipos de caracteres considerados, tendo em conta a sua performance, caso seja conhecida, e as performances de todos os seus parentes (ascendentes, descendentes e colaterais), levando em consideração os diversos efeitos ambientais que afetam o respetivo carácter.

2.2. EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM BOVINOS DE CARNE

Para aumentar o lucro da produção animal é fundamental que haja simultaneamente a evolução das características de interesse económico e o controlo de gastos nos fatores de produção (Lancaster *et al.*, 2009), já que a alimentação representa cerca de 70% dos gastos do sistema de produção (Basarab *et al.*, 2003). Assim, seleccionar animais mais eficientes quanto à utilização de alimentos, é uma ferramenta valiosa para o sucesso económico da produção.

Desta forma, evidências científicas apontam para a possibilidade do aumento da eficiência produtiva do sistema como um todo através da melhoria da eficiência alimentar animal. De um modo geral, os estudos sobre a eficiência alimentar em bovinos têm o objetivo comum de diminuir os gastos na alimentação, seja através do manejo, da nutrição ou da produção de genótipos superiores para uma determinada característica.

É possível afirmar que o animal mais eficiente é aquele que, em comparação com outro: apresenta uma maior produção quando ingere a mesma quantidade de alimento; ou então, para atingir a mesma produção, necessita de menor quantidade de alimento, isto é, o animal consegue produzir a mesma quantidade de produtos de origem animal com a menor quantidade de recursos possíveis.

As diversas medidas de eficiência alimentar dependem de fatores como a ingestão de alimentos, peso vivo do animal, estado fisiológico, composição do ganho de peso, condições ambientais, idade e fatores intrínsecos ligados à eficiência, isto é, as taxas de digestão, absorção e a eficiência de utilização da energia e proteína metabolizável (NRC, 2000).

Segundo Ferrell e Jenkins (1985) citados por Guimarães (2013), cerca de 70% da energia total consumida por bovinos de carne é utilizada para responder às exigências de manutenção e apenas 5% é convertida em proteína, sendo um número relativamente baixo quando comparado com outras espécies pecuárias (aves: 22% e suínos: 24%). A variação das exigências nutricionais parece ser positivamente correlacionada com o potencial genético das medidas de produção, como a taxa de crescimento. A heritabilidade genética das necessidades energéticas de manutenção dos bovinos é de moderada a alta ($h^2=0,22$ a $0,71$), sugerindo uma oportunidade para seleção dos animais mais eficientes (Bishop, 1992, citado por Almeida, 2005).

Deste modo, existem evidências suficientes para a possibilidade de seleção de animais com uma melhor eficiência alimentar, por apresentarem menores necessidades nutricionais e produtividade semelhante.

2.2.1. Métodos para medida de eficiência alimentar

Quando se fala em melhorar a eficiência alimentar em bovinos de carne, o primeiro passo é saber como medir esta característica com precisão, o que requer a necessidade de um índice ou medida que a expresse da melhor forma. Há vários

índices de eficiência alimentar para animais e cada um deles tem suas vantagens e desvantagens.

A medida bruta de eficiência frequentemente estudada e aplicada em sistemas de produção é a *Conversão Alimentar (CA)*. Esta é calculada como a fração entre consumo de matéria seca (CMS) e ganho de peso médio diário (GMD).

$$CA = \frac{CMS}{GMD}$$

Onde:

CMS = Consumo de matéria seca (kg/dia);

GMD = Ganho Médio Diário (kg/dia).

Por outro lado, a *Eficiência Alimentar Bruta (EAB)*, outro índice de eficiência alimentar utilizado, é a razão inversa da conversão alimentar e também considera a CMS e o GMD:

$$EAB = \frac{GMD}{CMS}$$

Onde:

GMD = Ganho de Peso Médio Diário (kg/dia);

CMS = Consumo de matéria seca (kg/dia).

O uso recorrente da CA e da EAB prende-se com a facilidade na obtenção de informações de consumo e de ganho de peso. Contudo, esses índices possuem limitações como características de seleção, devido ao fato de estarem altamente correlacionados com a taxa de crescimento e com o peso na idade adulta (Archer *et al.*, 1999).

Sabe-se que o uso de medidas brutas, como a CA, para selecionar animais mais eficientes pode aumentar o peso médio à idade adulta dos animais, isto porque não considera a separação entre as necessidades de manutenção e as de crescimento (Tedeschi *et al.*, 2006, citado por Mendes *et al.*, 2016), o que leva ao aumento progressivo das exigências nutricionais totais. É recomendável evitar o aumento excessivo de peso visto que animais adultos com maiores necessidades

têm maior dificuldade em expressar o seu potencial em ambientes desafiadores, como é o caso das pastagens mediterrâneas.

Nessa situação, esses animais podem apresentar um desempenho inferior aos animais com menor potencial, fenômeno este conhecido como a interação genótipo × ambiente (de Medeiros *et al.*, 2013).

Em suma, quando se utilizam as medidas brutas como critério de seleção em programas de melhoramento genético, a eficiência produtiva dos sistemas de pastagem fica comprometida, por haver um aumento significativo no tamanho adulto dos animais (Herd *et al.*, 2003) e, conseqüentemente, das suas exigências de manutenção, além de comprometer a eficiência reprodutiva em condições nutricionais limitantes (Arthur *et al.*, 2001). A longo prazo, a utilização da CA na seleção de bovinos para eficiência alimentar não é fiável visto que, com o aumento das exigências nutricionais dos animais, acaba por não trazer benefícios econômicos para o sistema produtivo como um todo.

Pelas limitações dos índices de eficiência mais tradicionais, novos parâmetros de eficiência têm sido sugeridos, como o Consumo Alimentar Residual – CAR (Archer *et al.*, 1999; Basarab *et al.*, 2003; Koch *et al.* 1963).

2.3. CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL COMO MEDIDA DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR

Tendo em conta a importância do aumento da eficiência produtiva nos sistemas de produção de bovinos de carne através da diminuição dos gastos com alimentação e os problemas, anteriormente discutidos, da utilização da CA e da EAB como medidas de eficiência alimentar, vários estudos têm sido desenvolvidos a fim de avaliar a eficiência alimentar em bovinos.

Foi sugerida uma ferramenta que visa avaliar a eficiência alimentar de forma independente do peso vivo metabólico ($PV^{0.75}$) e do ganho médio diário (GMD), o *Consumo Alimentar Residual (CAR)* (Koch *et al.* 1963). Este, na última

década, tem sido amplamente utilizado em diversos estudos como medida de eficiência.

O CAR, tal como a CA e a EAB, é uma medida que utiliza informações do consumo de alimentos durante um certo período de tempo, porém destaca-se por contabilizar o PV apresentado pelo indivíduo no momento da avaliação.

A inclusão do PV do animal no cálculo do CAR tem como objetivo principal a correção das discrepâncias no cálculo da eficiência alimentar devido a possíveis diferenças no PV. Estas diferenças ocorrem, pois, animais com PV diferentes podem estar em momentos diferentes do seu crescimento e de deposição de tecidos. Em termos práticos, por exemplo: é provável que um novilho com 250 kg de PV tenha uma melhor eficiência alimentar que outro de 450 kg de PV, isto porque, o mais pesado apresenta maior maturidade e apresenta maior quantidade de gordura em cada kg de PV que ganha. Desta forma, dependendo do objetivo de seleção, comparar a eficiência alimentar daqueles dois animais sem ter em conta a sua diferença em relação ao PV pode ser inadequado (Gomes *et al.*, 2012).

Os testes de eficiência alimentar são uma avaliação de desempenho individual em que os animais são avaliados pelo CA, peso e ganho de peso por, pelo menos, 70 dias (Arthur *et al.*, 2001), precedidos por um período de adaptação de 14 dias, no mínimo. Segundo Wang *et al.* (2006) a duração mínima deveria ser de 35, 63 e 63 dias para CMS, GMD e CAR, respetivamente, sem reduzir significativamente a precisão do teste. Estes registos individuais permitem calcular características como o CAR, o CA, assim como outros aspetos de interesse, resultantes das características medidas durante o teste.

A correlação genética (R_g) entre este novo parâmetro de eficiência - CAR - e o tradicional parâmetro conversão alimentar - CA - é moderada ($R_g=0,50$), sugerindo que diferentes genes estão ligados a estas características (Archer *et al.*, 2001). Esta correlação indica ainda que, ao incluir o CAR no programa de seleção, haveria igualmente uma melhoria da conversão alimentar (Carstens *et al.*, 2002).

2.3.1. Definição de CAR

O CAR tem vindo a ser utilizado como critério de seleção devido à sua heritabilidade moderada ($h^2=0,28$ a $0,39$), tal como afirmou Koch *et al.* (1963). Esta heritabilidade significa que o desempenho do animal reflete, em grande parte, a genética, logo o CAR ao apresentar heritabilidade moderada vai ser facilmente selecionada, pois os animais que apresentam o melhor desempenho são os geneticamente superiores para o CAR (Tamioso, 2003)

A utilização do CAR em programas de seleção é importante porque ao ser uma medida sem correlação com o PV permite comparar animais em diferentes fases de crescimento e de deposição de tecidos. Deste modo, pode ser utilizada na seleção para a eficiência alimentar, sem que isso leve a modificações no tamanho corporal e no peso adulto da população selecionada.

Os mesmos autores afirmam que as diferenças, tanto no peso como no ganho de peso, afetam as necessidades de alimento dos bovinos, sugerindo que a ingestão do alimento poderia ser ajustada para o peso corporal e ganho de peso. Assim o consumo do alimento é dividido em duas componentes:

- 1) o consumo esperado para dado nível de produção;
- 2) uma porção residual de consumo que poderia ser utilizada para identificar possíveis animais que se afastam do seu nível de ingestão esperado, e assim, identificar animais mais ou menos eficientes. Por exemplo, animais que apresentam valores de CAR negativos são mais eficientes, ou seja, apresentam melhor aproveitamento do alimento.

O CAR é calculado após um período de alimentação individual pré-definido em bovinos (Moore *et al.*, 2009). É então definido como a diferença entre o *consumo de matéria seca observado* (CMS_{obs}) e o *consumo de matéria seca esperado* (CMS_{esp}), conforme proposto por Koch *et al.* (1963). O CMS_{obs} é o consumo médio de alimentos que o animal apresentou durante o tempo do estudo, enquanto que o CMS_{esp} é calculado a partir de fórmulas padrões de predição do consumo, que

têm em conta as necessidades estimadas do animal e valores energéticos da dieta utilizada (NRC, 2000) ou através de uma equação de regressão múltipla da ingestão individual do animal, utilizando dados reais de consumo em função do tamanho corporal e velocidade de crescimento (Arthur *et al.*, 2001).

A fórmula do CAR está apresentada de seguida:

$$\text{CAR (kg MS/dia)} = \text{CMS}_{\text{obs}} \text{ (kg/dia)} - \text{CMS}_{\text{esp}} \text{ (kg/dia)}$$

O CMS_{esp} é calculado por uma equação de regressão do CMS_{obs} , em função peso vivo médio metabólico ($\text{PV}^{0,75}$) e do ganho de peso médio diário (GMD) (Koch *et al.*, 1963).

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

Em que:

$\text{CMS}_{\text{esp } i}$ = consumo de matéria seca esperado em kg para o animal i ;

β_0 = Interceção da regressão;

β_1 = Coeficiente do peso vivo médio metabólico (kg);

$\text{PV}^{0,75}$ = Peso Vivo Metabólico ($\text{kg}^{0,75}$);

β_2 = Coeficiente do ganho peso médio diário (kg/dia);

ε_i = erro residual do consumo predito do animal i .

O $\text{PV}^{0,75}$ considerado é o peso do animal a meio do período de avaliação elevado à potência 0,75. Para ser calculado, é realizada a média entre o PV no início do teste (PV_i) e PV no final do teste (PV_f) e posteriormente esta é elevada ao número 0,75 como está apresentado de seguida:

$$\text{PV}^{0,75} = \left(\frac{\text{PV}_i + \text{PV}_f}{2} \right)^{0,75}$$

Onde:

$\text{PV}^{0,75}$ = Peso vivo metabólico ($\text{kg}^{0,75}$)

PV_i = Peso Vivo no início do teste (Kg);

PV_f = Peso Vivo no final do teste (Kg);

Este modelo de regressão, de acordo com estudos de Arthur *et al.*, (2001), Basarab *et al.*, (2003) e Nkrumah *et al.*, (2007), explica 70% a 80% da variação no CMS_{esp} .

O modelo apresentado é formulado com a contribuição que o peso dos animais exerce sobre o consumo. O CAR, ao ser calculado com base no CMS_{esp} e sendo este um valor de consumo ajustado para o PV do animal, torna-se uma medida de eficiência sem correlação com o PV do animal. Deste modo, pode ser utilizada na seleção para a eficiência alimentar, sem que isso leve a modificações no tamanho corporal e no peso adulto da população selecionada (Gomes *et al.*, 2012).

Em conclusão, um valor **maior** do CAR (CAR positivo) significa que o animal apresenta um consumo observado maior do que o esperado para determinado nível de produção, ou seja, é *menos* eficiente. Em contrapartida, quanto **menor** o valor do CAR (CAR negativo), mais representativa é a diferença entre o consumo observado e o esperado do animal, portanto o aproveitamento do alimento é melhor para o mesmo ganho de peso, o que o torna *mais* eficiente.

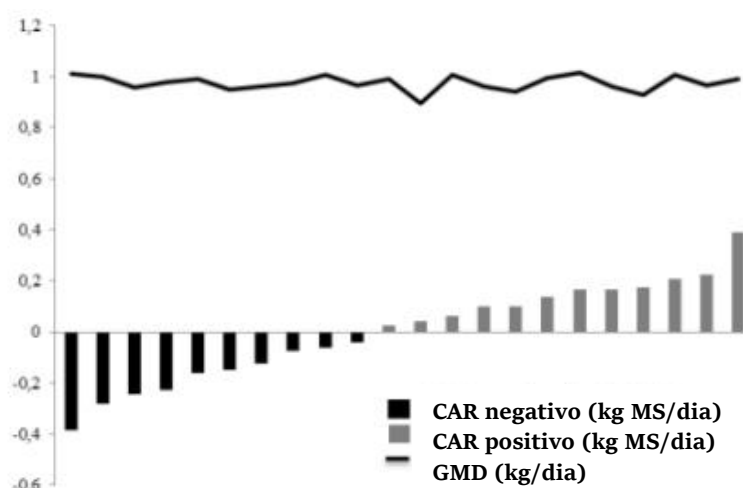


Figura 2 - Distribuição do CAR em bovinos de carne ordenados do mais eficiente ao menos eficiente e os respectivos GMD (Fonte: Lima *et al.*, 2013).

A Figura 2 apresenta o consumo alimentar de bovinos em que os animais abaixo da linha de tendência são classificados como mais eficientes, sendo os que consomem menos e mantêm-se praticamente com o mesmo GMD, em comparação com os restantes animais, que por sua vez são classificados como menos eficientes (Lima *et al.*, 2013).

É possível, utilizando o CAR, a seleção de animais com menor ingestão e menores exigências para a manutenção, sem mudanças no peso adulto ou no ganho de peso (Basarab *et al.*, 2003). Esta medida permite aos animais produzir eficientemente com as fontes de alimento disponíveis, já que animais de CAR negativo ingerem menos alimento que o esperado para o seu PV e ganho de peso (Leme e Gomes, 2007).

O CAR permite a identificação de animais mais eficientes, que apresentam menor consumo alimentar a um determinado ganho de peso, melhorando a produtividade e reduzindo os custos de produção sem afetar os índices zootécnicos (Mercadante e Grion, 2013 citados por Ferreira, 2019). Podemos então concluir que o animal consome menos alimento do que o esperado, comparado à média dos animais avaliados para mesmo nível de ganho de peso e necessidades de manutenção (Lima *et al.*, 2013), tornando-se em termos económicos mais rentável para a exploração e para o produtor.

2.3.2. Base biológica da variação do CAR em bovinos de carne

Apesar das evidências reais da existência de variabilidade na eficiência alimentar, independentemente das características de crescimento, a base fisiológica que orienta este processo ainda não foi completamente explicada.

São assim necessários mais estudos para compreender os processos responsáveis pela variação observada e qual a participação de cada um deles nas diferenças da eficiência alimentar entre os animais (Archer *et al.*, 1999). Esse entendimento ajudaria a prever as melhores estratégias de manejo dos animais e seria um bom auxílio no avanço dos programas de melhoramento genético.

A regulação fisiológica do consumo alimentar residual está provavelmente sob o controlo de muitas centenas de genes (Arthur e Herd, 2008) e existem pelo menos cinco processos principais pelos quais a variação da eficiência pode surgir (Richardson e Herd, 2004a).

De acordo com os mesmos autores, no que diz respeito a esses mecanismos, é provável que existam alguns processos responsáveis pela variação da eficiência, tal como sugere a Figura 3.

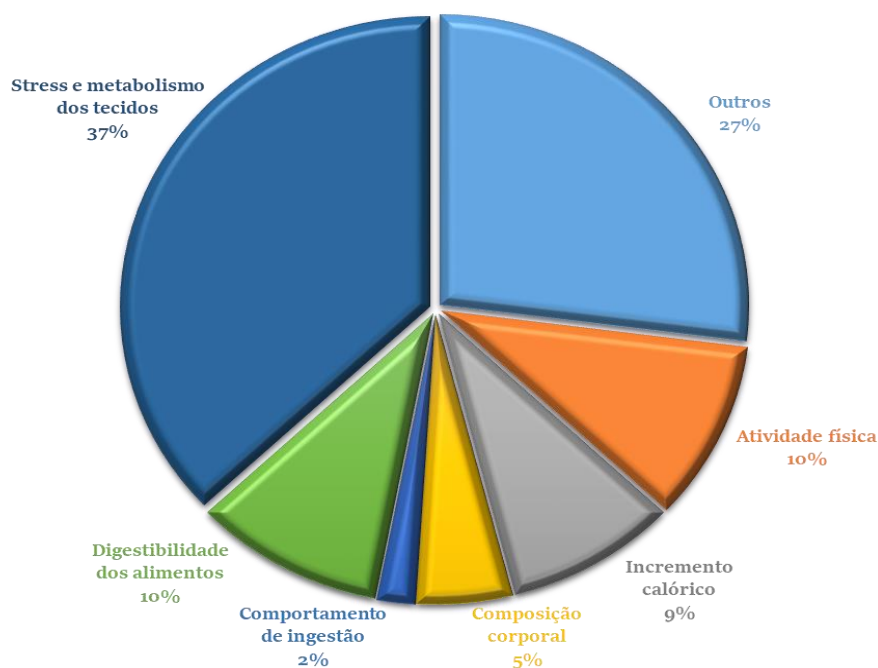


Figura 3 - Contribuições de mecanismos fisiológicos para a variação do CAR determinado a partir de estudos com animais seleccionados divergentemente (Richardson e Herd, 2004a).

Na Tabela 2 estão sintetizadas as principais fontes de variação metabólica do consumo alimentar residual e alguns exemplos:

Tabela 2 – Fontes de variação metabólica do consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de carne (Hendriks *et al.*, 2013)

Características	Descrição	Correlação com o CAR
Necessidade em energia metabolizável	Menos energia é usada nos processos fisiológicos de manutenção em animais de baixo CAR (Castro Bulle <i>et al.</i> , 2007).	0,42 (p<0,10)
Composição corporal	Animais de baixo CAR têm menor teor de gordura e maior teor de proteína; assim, há uma correlação positiva entre CAR e ganho de gordura. O tamanho das vísceras é um grande fator que contribui para aumentar a produção de calor e uso de energia. Animais de baixo CAR têm menores órgãos viscerais (Arthur e Herd, 2008).	0,38 (p<0,10)
Consumo de matéria seca (CMS)	Machos de alto CAR consumiram 17%-18% mais que os animais de baixo CAR (Castro Bulle <i>et al.</i> , 2007; Lancaster <i>et al.</i> , 2009).	0,44 (p<0,001)
Digestibilidade	A digestibilidade pode ser influenciada pela variação de alguns fatores como comportamento alimentar, tempo de retenção no rúmen, mecanismo de digestão e absorção. Animais de baixo CAR têm melhor digestibilidade de matéria seca do que animais de alto CAR (Oddy e Herd, 2001).	-0,33 a -0,44
Produção de calor (PC)	Uma diferença de até 21% na PC existe entre animais de baixo e de alto CAR. Órgãos viscerais são responsáveis por 40%-50% de PC. Animais de alto CAR têm níveis mais elevados de PC e também maior tamanho de órgãos viscerais (Basarab <i>et al.</i> , 2003; Nkrumah <i>et al.</i> , 2006).	0,68
Atividade	10% da variação do CAR pode ser explicada pela atividade física nos machos em crescimento. Duração da permanência no comedouro de animais de baixo CAR é de 25 min/dia menor que animais de alto CAR (Richardson <i>et al.</i> , 2004b; Lancaster <i>et al.</i> , 2005).	0,32
Produção de metano	Animais de baixo CAR produzem 28% menos metano que os de alto CAR. Há correlação positiva entre a ingestão de energia e produção de metano (Nkrumah <i>et al.</i> , 2006).	0,44
Turnover de proteína	Os animais com maiores necessidades de manutenção têm maior volume de <i>turnover</i> de proteína. Animais de baixo e de alto CAR produzem tecido corporal na mesma taxa, porém animais de baixo CAR podem ter um <i>turnover</i> proteico menor (Richardson e Herd, 2004a).	0,44

De acordo com Herd e Arthur (2009), os principais processos fisiológicos que contribuem para a variação do CAR são a ingestão alimentar, a digestão de alimentos, o metabolismo animal, a atividade física e a termorregulação.

i. Consumo de alimentos (ingestão alimentar)

O consumo de alimentos é responsável por regular o fornecimento de nutrientes, utilizados pelos tecidos corporais, bem como na manutenção dos ruminantes. Deste modo, um maior consumo de alimentos resultará numa maior retenção de nutrientes. Os mecanismos de controlo da ingestão são complexos e dependentes de diversos fatores relacionados principalmente com a dieta (fibra e energia), mas também pelas exigências fisiológicas e metabólicas do animal (Van Soest (1994) citado por Oliveira (2017)).

De acordo com Herd e Arthur (2009), uma *variação no consumo de alimentos* está associada com a variação nas necessidades de manutenção dos ruminantes. Face a um aumento na ingestão de alimentos, a quantidade de energia gasta para os digerir aumenta, havendo ainda um aumento do tamanho dos órgãos digestivos e, conseqüentemente, um *aumento na produção de calor*. A quantidade de energia consumida pelos tecidos aumenta por unidade de peso do animal.

O incremento calórico representa a perda de energia durante o processo de digestão, absorção bem como o calor produzido pelo metabolismo dos nutrientes. Assim, admitindo que o CAR está ligado a diferenças na ingestão sem prejudicar o desempenho, pode-se esperar que animais mais eficientes apresentem menor gasto energético com o incremento calórico.

ii. Digestão dos alimentos (e custos energéticos associados)

A digestibilidade da matéria seca (DMS) fornece uma estimativa de quanto alimento ingerido é absorvido pelo animal, de modo a suprir as suas necessidades vitais. Sendo assim, uma vez consumido o alimento, a disponibilidade de

nutrientes para a manutenção e produção é diretamente dependente da digestibilidade e capacidade deste alimento ser metabolizado (Berchielli *et al.*, 2011, citado por Ferreira, 2019).

A *digestibilidade* da dieta foi negativamente correlacionada com o CAR ($R_g = -0,44$) indicando que um baixo CAR associa-se a uma maior digestibilidade (Richardson *et al.*, 2004b). Channon *et al.* (2004) estudaram a digestibilidade na descendência de touros de diferentes raças selecionados para a característica CAR, onde concluíram que animais mais eficientes têm uma melhor digestibilidade do amido da dieta.

No trabalho de Nkrumah *et al.* (2006) verificou-se que novilhos com baixo CAR, quando comparados aos de alto CAR, apresentaram maior digestibilidade aparente da matéria seca e da proteína da dieta. Estas diferenças podem estar associadas à velocidade de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal, como consequência da diferença na ingestão do alimento, visto que uma maior ingestão alimentar estar negativamente associada com a digestibilidade (NRC, 2000).

iii. *Metabolismo do animal (anabolismo e catabolismo, associado com variações na composição corporal)*

De acordo com Herd e Arthur (2009), a deposição da mesma quantidade de tecido magro (músculo) e gordura têm diferentes custos energéticos. Existe uma maior variação na eficiência de deposição de tecido muscular do que na de tecido adiposo. A eficiência parcial teórica de uso dos nutrientes para deposição de tecido adiposo varia de 70 a 95% e para deposição de tecido muscular de 25 a 50% (Herd *et al.*, 2004). A maior variação na eficiência de deposição de tecido muscular é devida à maior variação existente no *turnover* proteico quando comparado ao *turnover* de lípidos. Além disso, a taxa de *turnover* proteico apresenta grande variabilidade entre os diferentes órgãos, o que não ocorre para o *turnover* de lípidos (Herd *et al.*, 2004).

Os processos de síntese e degradação de proteínas são energeticamente dispendiosos e tecidos com alta taxa de *turnover* proteico apresentam alta demanda por aminoácidos, acentuado fluxo sanguíneo e elevado consumo de oxigênio, reflexo da alta atividade metabólica. Esta é a característica primordial da maioria dos tecidos viscerais, como o trato gastrointestinal e o fígado (Reynolds, 2002, citado por Chizzotti *et al.*, 2011).

Richardson *et al.* (2004b) avaliaram os processos metabólicos que contribuem para a variação do CAR. Os autores relataram, em animais com alto CAR, níveis mais elevados de alguns metabolitos sanguíneos, tais como insulina, cortisol e ureia e menores níveis de triglicerídeos. Tais valores sugerem que estas alterações se relacionam com as mudanças normais na composição corporal, reciclagem tecidular e na eficiência no uso de nutrientes devido à seleção divergente para o CAR, além de se associarem também a diferenças entre animais mais e menos eficientes quanto à resposta a situações de *stress*.

Gomes *et al.* (2013), ao estudarem o padrão de comportamento e o cortisol plasmático, em novilhos Nelore, observaram que animais classificados com alto CAR (menos eficientes), apresentam maior nível de cortisol plasmático, em relação aos classificados com baixo CAR (mais eficientes), com valores de 21,1 e 19,4 µg/dl, respectivamente. Os mesmos autores relatam que o cortisol no sangue indica suscetibilidade ao *stress* e influencia o temperamento, podendo explicar a variação do CAR. Assim quanto maior o nível de cortisol no sangue, menor será a capacidade de resposta ao *stress*, aumentando a taxa metabólica e o gasto de energia. O nível de cortisol também tem efeito negativo sobre crescimento e uso de energia, ou seja, o animal deve encontrar-se em harmonia com o ambiente, para que possa expressar todo o seu potencial produtivo.

Herd *et al.* (2004) observaram, em ensaios em pastagens de baixa qualidade onde o consumo de energia foi restrito, que a descendência de pais de baixo CAR obtiveram um GMD superior à descendência de pais de alto CAR. Segundo os autores, os resultados apontaram para o fato de que animais de baixo CAR possuem processos metabólicos mais eficientes, portanto, são capazes de

satisfazer as suas exigências de manutenção com menos consumo de energia, quando em comparação com os animais de alto CAR.

Segundo Basarab *et al.*, (2003), num estudo com novilhos *Bos taurus*, concluíram que os novilhos mais eficientes (CAR negativo) apresentaram menor consumo de energia metabolizável (10,2%), menor produção de calor (9,3%) e menor retenção de energia (12%) que os novilhos menos eficientes (CAR positivo). Os animais mais eficientes apresentaram vísceras menores (fígado, abomaso e intestinos) do que os menos eficientes, além de carcaças com menos gordura intermuscular, intramuscular e menos gordura interna e subcutânea.

Nkrumah *et al.*, (2006), num estudo com 306 bovinos da raça Angus e Charolesa, onde se avaliou a produção de calor indiretamente, com recurso ao consumo de oxigénio, destacam que a produção de calor em animais mais eficientes diminuiu 21% em relação aos animais menos eficientes. Observaram ainda que a retenção de energia foi maior em bovinos mais eficientes visto que os mesmos apresentam um menor gasto energético com a produção de calor.

A menor produção de calor em animais mais eficientes está associada a menores exigências de manutenção, devido a alguns mecanismos biológicos, como a baixa produção de calor durante a digestão (Nkrumah *et al.*, 2006), e uma resposta ao *stress* menos acentuada (Knott *et al.*, 2008). Segundo Rodrigues *et al.* (2007) citado por Oliveira (2017), no metabolismo energético, a produção total de calor engloba o calor de manutenção e incremento calórico proveniente da alimentação.

Embora o consumo alimentar residual esteja muito relacionado com as exigências de energia para a manutenção, levando ao entendimento que as variações observadas são devidas às alterações no metabolismo visceral, o entendimento da fisiologia do músculo-esquelético precisa ser mais aprofundado (Chizzotti *et al.* (2011). O tecido músculo-esquelético representa cerca de 50% da massa corporal e é responsável por aproximadamente 25% da taxa metabólica basal (Lefaucheur *et al.*, 2011). Castro-Bulle *et al.* (2007) encontraram que as exigências de energia para a manutenção de novilhos de carne foram

fenotipicamente correlacionadas ($R_f=0,76$) com as taxas fracionais de degradação proteica, confirmando que o *turnover* proteico das proteínas miofibrilares é uma fonte significativa de variação entre animais quanto aos gastos energéticos, estando diretamente relacionado com consumo alimentar residual. Ou seja, mudanças nas propriedades contráteis e metabólicas do músculo podem explicar parte da variação observada entre animais quanto ao CAR e, principalmente, possibilitam o entendimento do impacto da seleção para eficiência alimentar sobre o desenvolvimento do tecido muscular e a qualidade final da carne.

iv. *Padrão de comportamento alimentar*

De acordo com alguns estudos, fica claro que os comportamentos e padrões alimentares, como atividade física ligada à frequência de ida ao comedouro e tempo de alimentação, diferem entre classes de CAR. A menor frequência e tempo despendido nestes comportamentos são próprias de animais mais eficientes contribuindo com menor gasto de energia, podendo a mesma ser destinada para manutenção dos animais e com isso melhorar a eficiência alimentar (Oliveira, 2017).

Nkrumah *et al.* (2006), Gomes *et al.* (2013) e Chen *et al.* (2014) verificaram que novilhos com baixo CAR, quando comparados aos de alto CAR, apresentaram menor número de visitas ao comedouro e menor duração de cada visita.

v. *Termorregulação*

De acordo com Brosh (2007) os principais fatores que afetam a repartição da energia nos ruminantes no que diz respeito à eficiência de utilização de energia para manutenção e produção são: nível de consumo alimentar, condições ambientais, gasto energético ou produção de calor (PC), ganho em tecido corporal e variabilidade individual entre animais.

2.3.3. Avaliação genética da eficiência alimentar para o CAR

O principal objetivo do melhoramento genético animal é aumentar a proporção de genótipos desejáveis numa população, por meio da seleção ou do cruzamento de indivíduos que possuam uma constituição génica mais favorável para determinado conjunto de características. Para isso, é importante conhecer o controlo genético, por meio da expressão génica e das suas regulações, bem como a interação dessa expressão com os diversos fatores ambientais (Pereira, 2012, citado por Santana *et al.*, 2014).

As variações fenotípicas entre os indivíduos de uma determinada população devem-se, em boa parte, a diferenças genéticas aditivas.

A variância genética aditiva é a componente que se transmite à descendência.

Conhecendo a variância genética aditiva pode-se determinar a heritabilidade no sentido restrito e determinar com maior precisão o ganho de seleção a ser obtido com um determinado programa de melhoramento.

$$h^2 = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 F}$$

Onde:

h^2 = Heritabilidade no sentido restrito

$\sigma^2 A$ = Variância genética aditiva (variância devida aos efeitos aditivos dos genes);

$\sigma^2 F$ = Variância fenotípica;

Segundo Falconer (1987), a variância genética aditiva é a principal causa da semelhança entre parentes, pois é a parte da variação genética que se herda, sendo a principal responsável pelas características genéticas que uma população apresenta e da resposta da população ao processo de seleção.

Contudo, depois de um programa de melhoramento genético estar implantado, é necessário que seja feita periodicamente a verificação e acompanhamento da sua eficiência, para que exista uma evolução consciente da produção. A análise dos parâmetros genéticos e a estimativa das mudanças genéticas são imprescindíveis para o estabelecimento de diretrizes que guiem ações futuras (Euclides Filho *et al.*, 1997, citado por Lino, 2006).

A avaliação genética de bovinos para o CAR consiste em estimar parâmetros genéticos para as características de eficiência alimentar, identificar e selecionar os animais geneticamente superiores para CAR, multiplicá-los por meio de cruzamentos direcionados, e assim aumentar a frequência de genes relacionados com uma maior eficiência alimentar no rebanho. A intenção é que, com a utilização da avaliação genética de bovinos para CAR, haja uma diminuição do custo de manutenção e dos custos de produção, para o melhor desempenho animal.

Basarab *et al.* (2007), citado por Chizzotti *et al.* (2011), sugeriram que a melhor forma de reduzir os custos de produção é através da seleção de touros que são naturalmente mais eficientes, uma vez que 80 a 90% do melhoramento genético de um rebanho é realizado através dos machos. Um touro considerado eficiente em termos de utilização dos alimentos tem a capacidade de transmitir esta característica para a sua descendência, resultando num menor gasto (poupança económica) na alimentação dos novilhos do nascimento ao abate e também na alimentação de novilhas de substituição.

Herd *et al.* (2003) notaram, ao selecionar novilhas para o CAR ao desmame, uma baixa correlação genética entre $CAR_{\text{pós-desmame}}$ e o tamanho de vacas adultas e uma alta correlação entre o $CAR_{\text{pós-desmame}}$ e consumo de matéria seca, sugerindo que a seleção para o CAR na fase de crescimento não interfere no tamanho adulto do animal. Esses animais, quando maturos, foram também os mais eficientes para o CAR, apresentando menor consumo de matéria seca. A correlação do CAR ao desmame com o CAR dos animais já adultos é alta (0,98). Deste modo, é possível

a seleção para baixo CAR aquando do desmame visto que permite a obtenção de animais mais eficientes na maturidade.

Há vários trabalhos publicados com estimativas de parâmetros genéticos de características de eficiência alimentar em bovinos de carne, sobretudo em *Bos taurus*. Moraes (2016) agrupou estudos realizados nos últimos 10 anos que abordam parâmetros genéticos (heritabilidade, correlação genética e variância genética aditiva) para CAR em bovinos (Tabelas 3, 4 e 5), com o intuito de apresentar estimativas da aplicação dessa característica no melhoramento genético.

Em relação à heritabilidade (h_2) (capacidade de a característica ser transmitida à descendência), as estimativas relatadas na literatura para as características CAR, CA e GMD, apresentam grandes amplitudes, sobretudo, com valores *moderados a altos* (Tabela 3). Ao serem analisados artigos publicados entre os anos 2006 e 2014, o CAR apresentou variações de heritabilidade entre 0,13 e 0,68.

De acordo com Del Claro *et al.* (2012), tal fato pode ser devido à tendência das estimativas de h_2 provenientes de amostras menores (com um erro-padrão maior) apresentarem valores mais altos aos das estimativas de h_2 de amostras maiores (com um erro padrão menor). Os autores ressaltam que, ao realizarem um estudo de meta análise com 22 artigos publicados desde 1963, 67% da variação das estimativas de h_2 para a característica CAR foi explicada pelos fatores sexo, parentesco e raça.

Koch *et al.* (1963), autores do primeiro trabalho publicado sobre parâmetros genéticos para o CAR, estudaram dados provenientes de animais de linhagens de Angus, Hereford e Shorthorn. Os autores estimaram a h_2 para CAR (0,28) com base no parentesco de machos com descendentes, não sendo considerado o grau de parentesco de filhos da mesma fêmea, metodologia disponível na época da publicação do trabalho.

Tabela 3 – Estimativas de heritabilidade para CAR, CA e GMD em vários estudos com bovinos de diferentes raças (Moraes, 2016)

Autor	Raça	n ⁽¹⁾	Heritabilidade		
			CAR ⁽²⁾	CMS ⁽³⁾	GMD ⁽⁴⁾
Hoque <i>et al.</i> (2006)	Wagyu	740	0,24	0,78	0,25
Nkrumah <i>et al.</i> (2007)	Angus e Charolês	813	0,21	0,54	0,59
Okanishi <i>et al.</i> (2008)	Wagyu	1304	0,29	0,33	0,26
Barwick <i>et al.</i> (2009)	Brahman	1007	0,24	0,49	0,41
Barwick <i>et al.</i> (2009)	Tropical composto	1209	0,38	0,51	0,5
Lancaster <i>et al.</i> (2009)	Brangus	468	0,47	0,48	0,21
Rolf <i>et al.</i> (2010)	Angus	862	0,14	0,14	0,09
Durunna <i>et al.</i> (2011)	Angus x Charolês	490	0,42	0,34	0,23
Mujibi <i>et al.</i> (2011)	Angus x Charolês	721	0,29	0,41	0,28
Rolfe <i>et al.</i> (2011)	Cruzado	1,183	0,46	0,32	0,22
Williams <i>et al.</i> (2011)	Holandês	903	0,27	0,17	0,22
Berry e Crowley (2012)	Touro Irlandês	2.605	0,45	0,49	0,30
Del Claro <i>et al.</i> (2012)	Meta análise	52637	0,29	0,41	0,35
Mao <i>et al.</i> (2013)	Angus	551	0,47	0,39	0,38
Mao <i>et al.</i> (2013)	Charolês	417	0,66	0,54	0,54
Grion <i>et al.</i> (2014)	Nelore	678	0,33	0,60	0,42
Santana <i>et al.</i> (2014)	Nelore	1038	0,37	0,40	0,35

⁽¹⁾n: número de animais avaliados; ⁽²⁾CAR: consumo alimentar residual (kgMS/dia); ⁽³⁾CMS: consumo matéria seca (kg/dia); ⁽⁴⁾GMD: ganho médio diário (kg/dia)

Na literatura, altas variações nas estimativas foram encontradas para correlações genéticas entre CAR e CMS e entre CAR e GMD (Tabela 4). Isso ocorre porque cada rebanho analisado apresenta variâncias genéticas aditivas singulares devido às suas particularidades, como a seleção animal e os graus de parentesco (Pereira, 2014).

Tabela 4- Estimativas de correlações genéticas entre o CAR, CA e GMD em vários estudos de diferentes raças (Moraes, 2016)

Autor	Raça	Correlações genéticas		
		n ⁽¹⁾	CAR ⁽²⁾ x CA ⁽³⁾	CAR ⁽²⁾ x GMD ⁽⁴⁾
Hoque <i>et al.</i> (2006)	Wagyu	740	0,78	0,25
Nkrumah <i>et al.</i> (2007)	Angus e Charolês	813	0,73	0,46
Okanishi <i>et al.</i> (2008)	Wagyu	1304	0,56	- 0,14
Barwick <i>et al.</i> (2009)	Brahman	1007	0,59	0,02
Lancaster <i>et al.</i> (2009)	Brangus	468	0,85	0,04
Crowley <i>et al.</i> (2009)	Touro Irlandês	2102	0,59	0,01
Durunna <i>et al.</i> (2011)	Angus x Charolês	490	0,59	- 0,15
Rolfe <i>et al.</i> (2011)	Cruzado	1183	0,52	- 0,16
Berry e Crowley (2012)	Cruzado	2605	0,59	0,01
Del Claro <i>et al.</i> (2012)	Meta análise	52637	0,63	0,01
Mao <i>et al.</i> (2013)	Angus	551	0,58	0,00
Mao <i>et al.</i> (2013)	Charolês	417	0,52	- 0,01
Grion <i>et al.</i> (2014)	Nelore	678	0,33	0,06
Santana <i>et al.</i> (2014)	Nelore	1038	0,95	0,05

⁽¹⁾n: número de animais avaliados; ⁽²⁾CAR: consumo alimentar residual (kgMS/dia); ⁽³⁾CA : consumo alimentar (kg/dia); ⁽⁴⁾GMD: ganho médio diário (kg/dia)

Na Tabela 5, verifica-se a variância genética aditiva para o CAR. Tendo em vista que o ganho genético é dependente da h_2 da característica avaliada, da intensidade de seleção praticada no rebanho e da variância da característica, quando a seleção animal é realizada continuamente ao longo dos tempos com a intensidade suficiente, há uma tendência da diminuição da variância genética do rebanho e, conseqüentemente, a h_2 será baixa (Pereira, 2014). Nesse tipo de situação, para manter o ganho genético, é importante incluir variância genética no rebanho, inserindo por exemplo, nos cruzamentos, material genético de animais melhoradores provenientes de outras linhagens.

Segundo as variâncias genéticas aditivas (Tabela 5) apresentadas pelos autores, o CAR é uma característica que pode ser incluída em programas de

melhoramento genético de bovinos de carne, já que apresenta variabilidade genética aditiva suficiente.

Tabela 5 – Estimativas de variância genética aditiva para CAR em vários estudos com bovinos de diferentes raças (Moraes, 2016)

Autor	Raça	n ⁽¹⁾	Variância genética aditiva para CAR ⁽²⁾
Nkrumah <i>et al.</i> (2007)	Angus e Charolês	813	0,15
Okanishi <i>et al.</i> (2008)	Wagyu	1304	0,41
Zamani <i>et al.</i> (2008)	Holandês	906	0,44
Barwick <i>et al.</i> (2009)	Brahman	1007	0,19
Barwick <i>et al.</i> (2009)	Tropical composto	1209	0,41
Hoque <i>et al.</i> (2009)	Wagyu	22099	0,10
Crowley <i>et al.</i> (2009)	Touro Irlandês	2102	0,11
Berry e Crowley (2012)	Cruzado	2605	0,45
Grion <i>et al.</i> (2014)	Nelore	678	0,14
Santana <i>et al.</i> (2014)	Nelore	1038	0,20

⁽¹⁾n: número de animais avaliados; ⁽²⁾CAR: consumo alimentar residual (kgMS/dia)

- *Marcadores moleculares e a eficiência alimentar*

As principais barreiras para a avaliação do consumo alimentar individual dos animais é o custo da tecnologia necessária (comedouros automáticos) que, associado à dificuldade técnica para medir e analisar os dados obtidos (técnicos especializados), e somada ao facto de que o CAR possuir uma h_2 moderada a alta (Tabela 3), culmina na intenção de que o CAR seja uma característica que possa ser selecionada por meio de marcadores genéticos (Santana, 2013).

Alguns indicadores fisiológicos (Leptina e IGF-I) e marcadores moleculares têm surgido como critérios de pré-seleção dos animais, sendo considerados alternativas para diminuir custos e tornar o CAR uma característica largamente utilizada em programas de melhoramento.

Dessa maneira, o ADN ou outros marcadores preditivos, poderiam ser usados nos programas de seleção. Esta tecnologia tem apresentado avanços

substanciais ao longo dos últimos anos, particularmente em algumas características, tais como a resistência a doenças ou a qualidade dos produtos (Carolino *et al.*, 2017).

Contudo, são necessários mais estudos para que a seleção para a eficiência alimentar dos bovinos utilizando marcadores genéticos possa ser utilizada, num futuro próximo, no melhoramento genético (Moraes *et al.*, 2016).

Investigadores australianos e canadenses têm identificado SNP's (Polimorfismos de Nucleótidos Simples) associados com CAR que estão em fase de validação para uso comercial (Barendse *et al.*, 2007, Nkrumah *et al.*, 2007). Dada a complexidade dos mecanismos fisiológicos relacionados com a variação do CAR (Herd *et al.*, 2004; Richardson *et al.*, 2004b) espera-se um conjunto considerável de marcadores genéticos para explicar essas variações.

Sherman *et al.*, 2008 verificaram nas regiões dos cromossomas 2, 5, 20 e 29 SNPs associados ao CAR como por exemplo, o gene para o recetor da hormona do crescimento (GHR). Sherman *et al.*, 2009 relataram haver evidências da relação de um SNP na região cromossômica que codifica proteínas associadas a moduladores de apetite (grelina e neuropeptídeo Y) com o CAR em bovinos.

Barendse *et al.*, 2007 encontraram 161 SNPs relacionados ao CAR, sendo que estes representam 141 regiões do genoma bovino. As principais funções metabólicas dos genes onde foram encontrados esses SNPs relacionavam-se com a regulação da utilização de energia pela célula, principalmente pelo processo de transporte iônico. Também foram encontrados mais três genes envolvidos com a regulação de apetite e controle de massa corporal.

Pesquisas realizadas por Sherman *et al.* (2009), com animais provenientes de rebanhos da raça Angus, Charolesa e Alberta híbrido, testaram variações alélicas em milhares de genes, com a intenção de associar essas variações ao CAR. Foram encontrados seis SNP's associados ao CAR. Num estudo realizado posteriormente com o intuito de procurar novos SNP's relacionados com o CAR, Sherman *et al.* (2010) encontraram 150 SNP's associados ao CAR e formaram um

painel de SNP's relacionados com a eficiência alimentar avaliada pelo CAR, explicando cerca de 50% da variação do CAR para a população estudada.

Gomes (2009), ao estudar animais da raça Nelore, insinuou não haver associação entre eficiência alimentar e SNP's em genes relacionados com processos de síntese e degradação proteica. Ao analisar dados de 1058 animais da raça Nelore com fenótipo para características de eficiência alimentar, Santana (2013) apontou regiões genômicas por meio de associação de amplo genoma, relacionadas com a CMS, CAR e GMD. Não foram encontradas associações nos SNP's localizados em genes relacionados com o transporte iônico (TRPM₃ e ITPR), no entanto, no SNP no gene PDE₃B (relacionado com controle de apetite), houve associação ($P < 0,05$) com o CAR.

Pesquisas de genômica aplicada em características de eficiência alimentar em bovinos de carne devem ser incentivadas na tentativa de identificar um número razoável de marcadores moleculares associados às variáveis como o CAR. Espera-se que as principais barreiras que dificultam a adoção plena de marcadores para avaliação genética e seleção em relação ao CAR, interação genética dos genes que afetam o CAR e o número reduzido de animais com estimativas de alta qualidade para CAR (Moore *et al.*, 2009) sejam brevemente superadas de forma a que seja notória a evolução genética dos rebanhos bovinos na utilização de alimentos (Moraes, 2016).

2.3.4. Resultados obtidos na seleção para o CAR

Alguns dos resultados envolvendo CAR encontrados na literatura estão resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de alguns ensaios sobre avaliação de eficiência nutricional (de Medeiros *et al.*, 2013)

Autor	Resultados Principais	
	Desempenho	Outros
Arthur et al. (2001)	Alto CAR vs. Baixo CAR: Diferença de 1,247 kg/dia de ingestão de MS.	Redução em 14% nos custos com alimentação
Basarab et al. (2003)	Animais CAR negativo ingeriram menos 940g MS que animais CAR positivo com ganho semelhante e taxa de eficiência alimentar 9,4% melhor.	Correlação positiva entre CAR e EGS (R=0,15)
Castro Bulle et al. (2007)	Animais CAR negativo apresentaram CMS 15% menor e GMD semelhantes aos animais CAR positivos.	Houve correlações significativas entre CAR, EGS (R=0,20) e taxa de deposição EGS (R=0,30)
Nkrumah et al. (2007)	Animais CAR negativo apresentaram diferença de CMS 16,6% menor que os animais CAR positivos.	
Kelly et al. (2011)	Animais CAR positivos e negativos tiveram ganhos similares (1,83 vs. 1,91 kg / dia, respetivamente). Animais eficientes apresentaram CMS inferior (10,39 vs. 9,34kg/dia, respetivamente).	
Durunna et al. (2011)	GMD semelhante (1,84 vs. 1,81 kg / dia) e CMS diferente (9,52 vs. 11,3 kg/dia) entre novilhos originados de vacas cruzadas com touros Angus ou Charolês de CAR negativo e positivo.	
Gomes (2009)	Animais CAR positivos e negativos tiveram o mesmo ganho (0,93 kg / dia). Animais eficientes apresentaram CMS inferior (8,30 vs. 8,94 kg/dia, respetivamente). E melhor CA (9,82 vs. 10,5 kg CMS/kg de ganho).	Menor quantidade de gordura no trato digestivo total de bovinos Nelore de CAR negativo em relação a CAR positivo (30,05 vs.36,8 kg, respetivamente)
Farjalla (2009)	Menor CMS (8,63 vs. 10,37 kg/dia) e maior eficiência alimentar (0,112 vs. 0,099 kg CMS/kg de ganho) para novilhos da raça Nelore de CAR negativo em relação a CAR positivo.	

Na Figura 4 observam-se dois animais que possuem peso vivo médio (483 kg e 486 kg, respetivamente) e GMD similares (1,605 kg/dia vs 1,629 kg/dia, respetivamente). Por terem pesos e GMD similares, o consumo de matéria seca esperado para os dois foi igual ($\approx 10,9$ kg/dia), no entanto o consumo de matéria seca observado foi bem diferente entre eles (12,9 kg/dia vs 9,3kg/dia, respetivamente). Podemos então verificar que o consumo de MS observado entre animais semelhantes (PV e GMD) pode ser bem diferente entre eles.

O animal com CAR negativo (mais eficiente) apresentou um consumo de 1,6 kg/dia a menos que o valor esperado; em contrapartida, o animal com CAR positivo (menos eficiente) consumiu mais 2,0 kg/dia que o esperado, para o mesmo ganho de peso (Almeida *et al.* 2004).

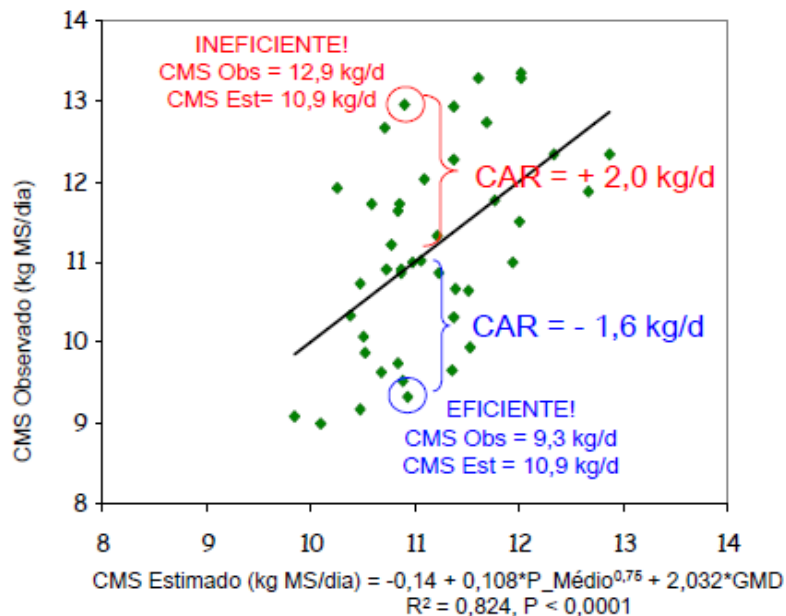


Figura 4 - Relação entre o consumo observado e consumo esperado de novilhos Nelore estabilados, destacando dois animais de CAR extremos (Fonte: Almeida *et al.*, 2004)

Outros trabalhos com uma metodologia semelhante da seleção para CAR foram realizados com animais em pastagem (Herd *et al.*, 2002; Herd *et al.*, 2004). Nestes foi determinado o CA de novilhos em pastagens de qualidade média e demonstraram que a descendência de animais com avaliação genética favorável para CAR de -1,0 kg/dia, apresentaram um ganho de peso 20% maior, sem

aumento do consumo de matéria seca, com CAR 26% menor e conversão alimentar 25% a 41% menor do que a descendência de touros de alto CAR.

Os autores provaram, desta forma, que o uso de touros superiores para a característica CAR (baixo CAR, logo mais eficientes) resulta em descendentes também mais eficientes em sistemas de acabamento baseado em pastagens.

Deste modo, é válido supor que a produção portuguesa possa beneficiar com a utilização de animais melhoradores para o CAR, visto que o sistema produtivo de bovinos é marcadamente sustentado por pastagens.

2.3.5. Benefícios económicos da seleção para o CAR

Archer *et al.* (2001) concluíram que a determinação do CAR em touros ou novilhos é economicamente lucrativa para todos os sistemas de produção de carne bovina. Isto porque há uma redução da ingestão de alimento e, por sua vez, uma diminuição dos custos com alimentação, sem alterar o desempenho, tanto em condições extensivas de pastagem como em acabamento em estabulação, utilizando-se dietas de alto nível de concentrado.

Okine *et al.* (2004) estimaram que a melhoria de 5% na eficiência alimentar dos animais poderia resultar numa poupança 4 vezes maior nos custos de alimentação, quando comparada com a economia gerada pelo aumento de 5% no GMD.

2.3.6. Benefícios ambientais da seleção para o CAR

Atualmente, o Acordo de Paris exige estratégias para a redução da emissão dos gases de efeito estufa (GEE) por parte dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. O IPCC (Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas) publicou um relatório sobre as emissões de GEE no mundo (Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Segundo o Pachauri *et al.*, (2014) a

agricultura, floresta e outros usos da terra são o segundo maior emissor de GEE (24%) (Figura 5).

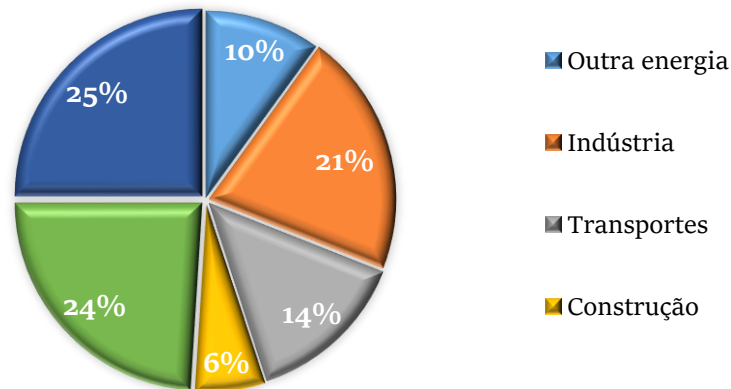


Figura 5- Emissões globais de GEE em 2010 (Fonte: Adaptado Pachauri *et al.*, (2014)).

A FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) publicou um relatório (Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks - 2001-2011) sobre os GEE provenientes da agricultura, silvicultura e pescas. Neste, afirmou que a maior fonte de emissão de GEE na agricultura é a fermentação entérica, derivada da produção de metano pelos animais durante a digestão e expulsão por eructação. As emissões provenientes da fermentação entérica rondam os 40% das emissões totais de GEE, seguido do adubo deixado na pastagem (16%), fertilizantes sintéticos (13%), cultivo de arroz (10%), tratamento do estrume (7%) (Figura 6) (Tubiello *et al.*, 2014).

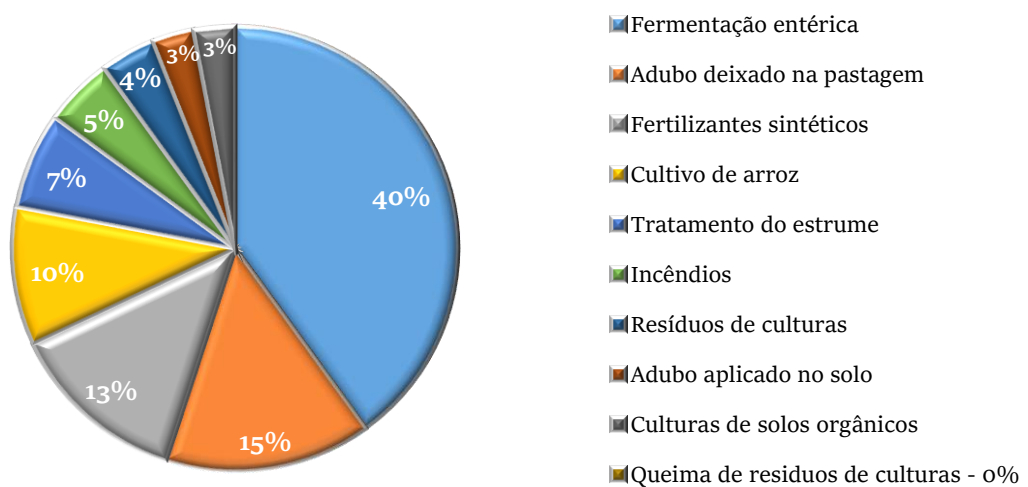


Figura 6 – Emissões de GEE pela agricultura, 2001-2011 (Adptado de Tubiello *et al.*, 2014)

A produção de gás metano (CH_4) entérico pelos ruminantes é dependente principalmente do tipo de dieta (composição da dieta, digestibilidade dos nutrientes, presença de compostos anti nutricionais) e do nível de ingestão, mas também pode ser influenciado pelo tamanho, idade e espécie do animal (Mombach *et al.*, 2016).

Um aspeto marcante do rúmen é a característica de possuir uma alta densidade e diversidade populacional de microrganismos que são capazes de sintetizar diversas substâncias, como o gás metano que é produzido pelos microrganismos metano génicos. Os microrganismos metano génicos, bactérias e protozoários, obtém energia para seu crescimento através da redução de substratos principalmente o H_2 e formato, mas outros compostos como CO_2 , metanol, mono, di e tri-metilamina e acetato também podem ser requeridos (Mombach *et al.*, 2016).

A degradação dos componentes dietéticos pela microbiota ruminal, principalmente hidratos de carbono, resulta na produção de ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV) como acetato (C_2), propionato (C_3) e butirato (C_4) usados pelos ruminantes como fonte de energia (Mombach *et al.*, 2016).

Nesse processo fermentativo são produzidos gases como o CO_2 e CH_4 que são eliminados para o ambiente por meio da eructação (Mombach *et al.*, 2016).

Não há uma estratégia a curto prazo para redução da emissão de metano (CH_4) pelos ruminantes, a não ser a redução drástica do rebanho mundial. Cerca de 8-14% da energia digestível é eliminada pelos ruminantes através da produção de metano (Herd *et al.*, 2002).

Uma das vantagens da seleção dos animais visando a eficiência alimentar seria a redução da produção de CH_4 por kg de carne produzida, já que o CAR está positivamente correlacionado com a emissão deste gás.

Hegarty *et al.* (2007) mostraram que o menor consumo observado em animais de CAR negativo (mais eficientes) contribuiu para uma redução de 18%

na emissão de metano diária. Jones *et al.*, (2011) apontaram para uma redução de 27% na emissão de CH₄ em novilhas em pastagem.

Okine *et al.* (2003) descobriram que a emissão de metano dos animais mais eficientes foi 5% menor que dos animais menos eficientes. Os mesmos autores calcularam a produção de dejetos e obtiveram valores diferentes para os animais mais eficientes e os menos eficientes (24,0 e 26,5 kg/dia, respectivamente).

Nkrumah *et al.* (2006) identificaram diferenças significativas na emissão de CH₄ 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. Esses valores são muito próximos dos obtidos por Herd *et al.* (2002), que também encontraram valores maiores da produção de CH₄ para animais menos eficientes em termos de CAR. Para novilhos Nelore, Gomes *et al.* (2013) estimaram uma emissão diária 8% menor de CH₄ para animais mais eficientes.

Nkrumah *et al.* (2007) observaram que a produção de CH₄ por kg de peso corporal metabólico foi 34% maior em animais de alto CAR, quando em comparação com novilhos de baixo CAR. Do mesmo modo, a produção de CH₄ (g/dia) foi 25% menor em novilhos de baixo CAR face aos de alto CAR (Hegarty *et al.*, 2007).

Com a seleção baseada no CAR, e ao selecionar os animais de CAR negativo, há possibilidade de reduzir a pegada de carbono da produção de carne, já que esses animais apresentam menores exigências nutricionais e conseqüentemente, menor procura para a produção de alimentos, assim como a menor produção da quantidade de gases com efeito de estufa (CO₂ e CH₄) assim como de dejetos produzidos.

A seleção para animais de baixo CAR que tem o seu sistema de produção baseado em pastagem tem como principal vantagem a menor utilização da biomassa da pastagem. Isto proporciona ao agricultor flexibilidade para

desenvolver um plano de gestão da propriedade que visa tanto a sustentabilidade econômica como ambiental.

Para esse fim, os criadores devem utilizar reprodutores provados para CAR e descendência oriundas de animais testados, que irão consumir menos alimento por unidade de produto (carne/leite) e também produzir menos CH₄ oriundo da fermentação (Arthur e Herd, 2008). Este é um exemplo de como a seleção para eficiência alimentar pode ser implementada na prática para a promoção da sustentabilidade ambiental da produção bovina.

2.3.7. Limitações do CAR e como superá-las

Existem alguns fatores que ainda limitam o uso do CAR como medida de eficiência alimentar a ser usada nas explorações e em estudos.

Merecem destaque três limitações principais:

1. O custo para determinar o CA individual dos animais é muito superior ao custo para a obtenção do ganho de peso, circunferência escrotal, etc.

Esta *primeira limitação* citada refere-se que a determinação do consumo alimentar individual acarreta um custo elevado (Herd *et al.*, 2003), logo os potenciais benefícios obtidos pela inclusão da eficiência alimentar na seleção dos animais devem ser avaliados contra os altos custos associados à recolha dos dados do consumo individual. Este parece ser a maior barreira para a adoção da eficiência alimentar como critério de seleção pela indústria da carne bovina.

Archer *et al.*, (2001) concluíram que a determinação do CAR em novilhos é economicamente lucrativa para todos os sistemas de produção de carne bovina da Austrália, tanto em condições de produção extensivas em pastagem, como em acabamento em estabulação à base de alimento concentrado. Ao adotar esta tecnologia, os benefícios são tanto mais expressivos quanto mais se refletirem nos custos de alimentação.

Entretanto, a determinação dessa característica é ainda de difícil acesso ao produtor, devido ao custo elevado para a sua determinação e da implantação de tecnologias (máquinas que recolhem dados automaticamente) (Herd *et al.*, 2003). Posto isto, a necessidade da recolha de dados do consumo alimentar de cada animal diariamente, durante o período de avaliação, acaba também por limitar a sua adoção.

2. A avaliação da eficiência é maioritariamente feita com os animais estabulados. É necessário confirmar se a avaliação da eficiência feita em animais estabulados é válida para animais em pastagens.

Esta *segunda limitação* refere-se ao sistema de produção adotado na avaliação dos animais mais e menos eficientes. É preciso confirmar se a avaliação da eficiência feita em estabulação é válida para animais em pastagens. Por outras palavras, será que há interação genótipo-ambiente para esta característica?

Uma crítica frequente é que os animais eficientes sob condições de estabulação não são necessariamente os mais eficientes em condições de pastagem.

Herd *et al.* (2004) determinaram consumo em pastagem de novilhos Angus e Hereford pela técnica de alcanos, onde concluíram que animais com avaliação genética favorável para CAR de $-1,0$ kg/dia (em estabulação) produziram descendentes com eficiência alimentar mais alta em pastagem. Este trabalho confirma que o uso de touros com avaliações genéticas favoráveis para CAR traz igualmente benefícios económicos para sistemas de produção de carne bovina em pastagens.

Archer *et al.* (2002) já haviam demonstrado altíssima correlação genética entre a eficiência (CAR) medida em fêmeas no período pós-desmame e quando adultas ($R_g=0,98$). Embora mais estudos devam ser realizados neste âmbito, os resultados obtidos sugerem que a seleção para eficiência nos machos jovens em estabulação tem alta correlação com a eficiência de vacas adultas em pastagem.

3. Mudança na composição do ganho. Seleção para baixo CAR resultaria em carcaças com menos gordura subcutânea, menos marmoreadas e menores teores de gordura na cavidade abdominal. (Almeida, 2005; Almeida *et al.*, 2004).

Esta *terceira limitação* afirma que o CAR está relacionado com a composição do ganho de peso, onde os animais mais eficientes (CAR negativo) tendem a apresentar carcaças mais magras, com menor acabamento e com menor gordura intramuscular, além de menor teor de gordura na cavidade abdominal. A maior parte da literatura consultada sustenta esta afirmação (Archer *et al.*, 1999; Basarab *et al.*, 2003; Carstens *et al.*, 2002; Ferrell e Jenkins, 1998; Herd *et al.*, 2003; Robinson e Oddy, 2004, citados por Almeida, 2005).

No entanto, é relativamente fácil ultrapassar esta limitação. Ao estimar-se o consumo alimentar, não apenas com base no PV e no ganho de peso, como também pela composição do ganho, classificam-se os animais com base no consumo esperado para a mesma composição do ganho.

Embora este procedimento acarrete uma pequena perda na variabilidade entre os animais, assegura-se que as diferenças entre os animais são devidas ao maior ou menor consumo de energia metabolizável e maiores ou menores custos com as necessidades de manutenção, incremento calórico e atividade física (Basarab *et al.*, 2003).

A estratégia que ainda precisa ser validada é que, ao invés de ajustar o CAR por medições pós-abate, ajustá-lo por parâmetros obtidos por ultrassonografia no animal vivo. Isto porque a primeira alternativa implica o sacrifício do animal que está sendo considerado para seleção. Já a adoção da espessura de gordura subcutânea, avaliada por ultrassonografia nas costelas ou na garupa, bem como a atenuação do sinal do ultrassom para estimativa do marmoreado e outras medidas, permite ajustar o valor de CAR para composição corporal. Entretanto, esta sugestão deve ser vista com atenção em função dos erros inerentes à avaliação por ultrassonografia, que podem ser elevados e/ou sistemáticos.

2.4. RELAÇÃO ENTRE O CAR, COMPOSIÇÃO CORPORAL E CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA

2.4.1. Monitorização da composição corporal por ultrassonografia (USS)

A utilização de métodos de avaliação da composição da carcaça que impliquem o abate do animal é desvantajosa devido aos altos custos do teste de descendência, limitam ainda o número de animais a serem testados e assim como a intensidade de seleção, com um conseqüente decréscimo das respostas à seleção.

Como o peso por si só não determina adequadamente o valor de um animal produtor de carne, há uma grande procura por tecnologias e avaliações que indiquem com maior precisão a composição da carcaça.

Frente às exigências por qualidade e às novas expectativas de mercado, os produtores, especialmente aqueles que recorrem a programas de melhoramento genético animal, têm procurado elevar os seus índices produtivos com base em ferramentas tecnológicas modernas e de alta precisão (Matos e Suguisawa, 2013, citados por Adamich, 2018). Uma das ferramentas disponíveis para aferir as características de carcaça dos animais *in vivo* é com a utilização do ultrassom. Nesse contexto a USS, para a avaliação da carcaça, consolidou-se como técnica viável, não invasiva, não destrutiva, precisa e de custo aceitável para esta função.

Hoje os aparelhos são muito avançados tecnologicamente e os resultados podem ser excelentes. Apesar dos seus benefícios, têm sido investigadas, com precisão, medidas de ultrassom para as características de carcaça, tendo sido evidenciada uma grande variabilidade dos resultados, atribuída principalmente aos equipamentos e à perspectiva da análise do técnico responsável pela atividade (Yokoo *et al.*, 2009). Geralmente, para animais vivos, são utilizadas frequências entre 1,0 e 5,0 MHz, sendo mais utilizadas frequências entre 3 e 3,5 MHz para avaliação de carcaça. Estas frequências possibilitam a identificação quantitativa dos tecidos muscular e adiposo através da diferença de impedância acústica (Houghton e Turlington, 1992 citados por da Silva *et al.*, 2018).

Segundo Almeida (2005), o CAR pode ser ajustado com base em medições de espessura de gordura subcutânea, avaliadas com o auxílio do ultrassom tanto na zona das costelas como na garupa.

De entre as características de carcaça bovina medidas por ultrassom, é possível analisar:

- ∴ Área do olho do lombo (AOL) (área de secção transversal do músculo *Longissimus dorsi* entre as 12^a e 13^a costela): dada em centímetros quadrados (cm²), é indicativo de musculosidade, rendimento de carcaça e ganho de peso.
- ∴ Espessura de gordura de cobertura (*back fat*) (EGS) (espessura do depósito de gordura subcutânea entre as 12^a e 13^a costela sobre o músculo *Longissimus dorsi*): dada em milímetros (mm), é indicativo de precocidade de acabamento da carcaça. É necessária para proteção da carcaça durante a refrigeração nas câmaras frigoríficas. A EGS é medida entre a 12^a e 13^a costela, onde é o último sítio de deposição de gordura, e determina a gordura de cobertura na carcaça inteira.
- ∴ Espessura de gordura da garupa ou picanha (*rump fat*) (EGP8) (espessura do depósito de gordura subcutânea entre os ossos íleo e ísqueo, medida na intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*): tal como a EGS é medida em mm, sendo um indicativo da precocidade de acabamento da carcaça. É avaliada na garupa/picanha e não indica a cobertura completa da carcaça. É também uma característica indicadora do grau de acabamento da carcaça, sendo interessante para animais criados em pastagem, visto que a sua deposição se inicia mais cedo que a das costelas na idade ideal de recolha da imagem (Yokoo *et al.*, 2008).
- ∴ Percentagem de gordura intramuscular ou marmoreado (MAR) (percentagem de gordura intramuscular avaliada na direção longitudinal sobre o músculo *Longissimus dorsi* entre as 12^a e a 13^a costela): dado em *score* (pontuação) e em percentagem de lípidos, é responsável pela suculência e sabor da carne (Queiroz *et al.*, 2010). É um aspeto fundamental para alguns mercados mais exigentes que remuneram esta qualidade.

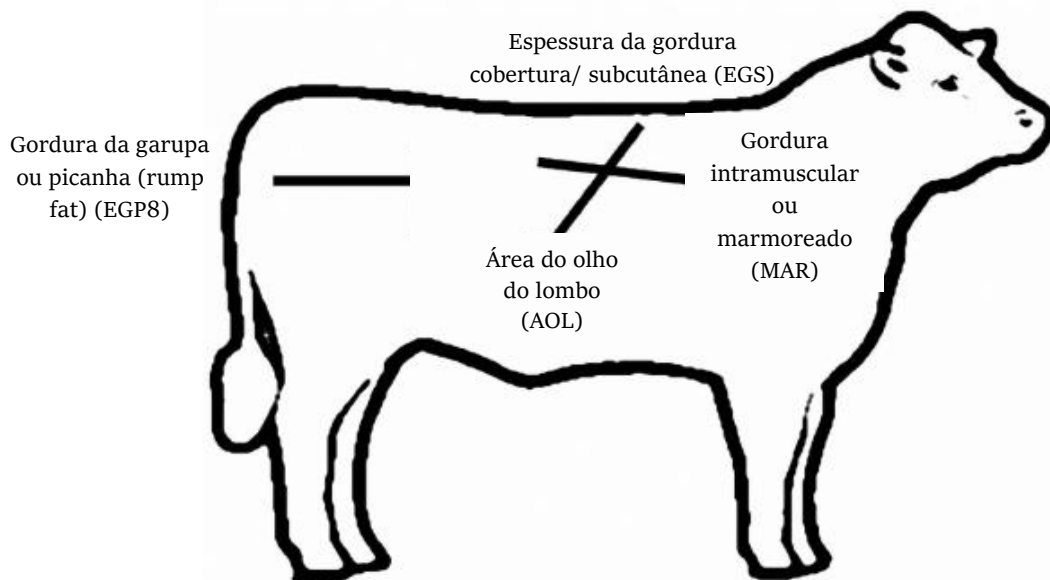


Figura 7 - Posição do transdutor de ultrassom e pontos anatómicos onde são realizadas as avaliações. (Ultrasound Guidelines Council Study Guide Sub-Committee) (Adaptado de Perkins *et al.*, 1996)

Em programas de melhoramento genético, a AOL, a EGS e o MAR são variáveis importantes tendo em conta que estão correlacionadas com o rendimento dos cortes cárneos. Por apresentarem valores de h^2 estimada de média a alta, são passíveis de ser modificadas por seleção (MacNeil *et al.*, 2010, citados por da Silva *et al.*, 2018).

Na Tabela 7 podemos observar diversos estudos relacionados com as características de carcaça medidas por ultrassom pré-abate. Estas apresentam estimativas de correlações genéticas positivas, com valores a variar entre os 0,60 e 0,89, quando comparadas com as mesmas características obtidas diretamente na carcaça dos animais no pós-abate.

Greiner *et al.* (2003) avaliou as características da carcaça de novilhos por ultrassom pré-abate e pós-abate. Os coeficientes de correlação entre a área de AOL e a EGS pré-abate e as mesmas medidas na carcaça pós-abate foram de 0,89 e 0,86, respetivamente. Ou seja, apesar de diferentes fatores influenciarem as medidas da AOL e da EGS, são conseguidos bons coeficientes de correlação. Da mesma maneira Prado *et al.*, (2004) comparou diferentes métodos para avaliar a AOL e a EGS. Os resultados obtidos com o uso do ultrassom proporcionaram um alto grau de confiança (80%), quando em comparação com as outras medições

efetuadas. Este fato prova a viabilidade deste método para a predição destas características no animal vivo. As correlações encontradas para as características da carcaça ainda se mostram um tanto conflitantes na literatura, porém esperam-se valores muito superiores nos dias de hoje, devido ao maior desenvolvimento tecnológico da USS e do conhecimento dos fatores que afetam as características das carcaças no abate (Suguisawa *et al.*, 2002).

Tabela 7 - Estimativas de correlações genéticas entre características de carcaça medidas diretamente na carcaça e as mesmas características obtidas por ultrassom, segundo alguns autores (Yokoo *et al.*, 2011)

Autores	Caraterísticas	
	AOL ⁽¹⁾	EGS ⁽²⁾
<i>Perkins et al. (1992^a)</i>	0,60	0,75
<i>Perkins et al. (1992^b)</i>	0,82	0,86
<i>Waldner et al. (1992)</i>	0,73	0,86
<i>Moser et al. (1998)</i>	0,66	0,69
<i>May et al. (2000)</i>	0,61	0,81
<i>Bertrand et al. (2002)</i>	0,89	0,69
<i>Greiner et al. (2003)</i>	0,86	0,89

⁽¹⁾AOL: Área de olho de lombo; ⁽²⁾EGS: Espessura de gordura subcutânea entre a 12^a e a 13^a costela.

A inclusão da técnica de USS em programas de melhoramento é uma alternativa para melhorar a produção de carne, o rendimento da carcaça e dos cortes cárneos, a qualidade e a precocidade de acabamento da carcaça. De acordo com as curvas de crescimento alométrico, primeiro desenvolve-se o esqueleto, seguindo a musculatura e finalmente o tecido adiposo. Desta maneira, a proporção de músculo na carcaça aumenta com o aumento do peso do animal durante o período anterior à acumulação de gordura, para depois diminuir na fase de acabamento (Yokoo *et al.*, 2011).

Assim, com o conhecimento da fisiologia do crescimento dos bovinos e das correlações genéticas entre as características reprodutivas, de crescimento e de

carcaça, é possível direcionar a seleção para melhorar a qualidade da carcaça bovina, visando um produto final de qualidade. Portanto, estes conhecimentos auxiliam no direcionamento da produção para posterior comercialização de animais com uma maior ou menor quantidade de gordura intramuscular, por exemplo, consoante as exigências do consumidor.

- *Vantagens da USS*

Além das vantagens citadas anteriormente, a utilização da USS para a medição das características de carcaça apresenta outros benefícios:

- ∴ A USS permite a análise precoce dos animais para seleção sem necessidade de abate, nem de testes de descendência. Os resultados estão disponíveis antes da primeira cobertura;
- ∴ O custo da avaliação individual é muito inferior ao custo do teste de descendência, com resultados equivalentes;
- ∴ As características de carcaça são de h_2 média a alta e, em alguns casos, as medidas de ultrassom são até superiores às medidas diretas (Tabela 7). Além disso, a USS pode ser utilizada como um auxílio ao exame visual, acrescentando mais objetividade neste processo.
- ∴ A técnica permite controlar o grau de acabamento da carcaça, para definição do ponto exato de abate, diminuindo os custos de produção. Pode assim ser utilizada por produtores que trabalham com animais na fase de acabamento, que pretendem planejar a época e a quantidade de animais destinados ao abate, evitando, desta forma, o gasto desnecessário com alimentação e manejo.

- *Desvantagens da USS*

Perkins *et al.* (1997) citados por da Silva *et al.*, (2018) referem que as correlações entre as medidas de ultrassom na carcaça podem ser influenciadas por diversos aspetos: as limitações tecnológicas (aparelhos), experiência do

técnico, nível de gordura e músculo, sexo e idade do animal e alterações nas características dos tecidos *post-mortem*.

Portanto, a precisão da USS depende diretamente da habilidade do técnico durante a recolha, visando obter imagens de qualidade, bem como da análise e interpretação correta das imagens recolhidas.

Assim, para que haja um maior aproveitamento deste equipamento, é necessário que sejam consideradas as variáveis como: a disponibilidade de equipamentos de qualidade, de técnicos devidamente treinados e certificados para obtenção de imagens de boa qualidade e para a sua correta interpretação.

2.4.2. Relação entre a eficiência alimentar e as características da carcaça

A composição tecidual da carcaça, normalmente expressa em percentagem de ossos, músculo e tecido adiposo, é avaliada com o propósito de determinar possíveis diferenças existentes entre os animais, em função de fatores genéticos e/ou ambientais.

Apesar da maior eficiência produtiva dos animais com o CAR negativo, várias pesquisas têm demonstrado que as alterações metabólicas podem ter efeito sobre a qualidade da carne desses animais (Arthur e Herd, 2008). Portanto, é imprescindível verificar se a seleção desses animais não poderá ocasionar a redução na qualidade das carcaças e da carne bovina.

As associações fenotípicas e genéticas entre as medidas de eficiência alimentar e de interesse económico, como as características de carcaça e qualidade da carne, devem ser bem definidas. Se houver antagonismos entre essas variáveis, podem ocorrer uma redução do benefício económico alcançado pela seleção e, conseqüentemente, um aumento dos custos relativos à alimentação animal (McDonagh *et al.*, 2001).

As correlações entre os valores genéticos estimados num touro para o CAR, juntamente com as estimativas ultrassonográficas da EGS e a AOL, sugerem que as seleções baseadas unicamente no CAR podem resultar em mudanças na

composição corporal e na composição do ganho dos animais (Richardson *et al.*, 2001, citado por Nascimento, 2011). Dada a importância econômica que a seleção de animais eficientes quanto ao CAR representa nos custos de produção de bovinos de carne, torna-se necessário avaliar a sua relação com as demais variáveis de interesse econômico, como as características de carcaça.

Como uma das principais razões para atingir a maior eficiência é a menor deposição de gordura corporal, e como a gordura subcutânea e intramuscular têm grande influência na qualidade da carne, foi levantada a hipótese de os animais mais eficientes produzirem carne com qualidade inferior. Como a desvalorização da carne pelo mercado pode reduzir o lucro e comprometer a sustentabilidade da atividade, foram realizados diferentes estudos para clarificar se a eficiência alimentar e as características da qualidade da carne apresentam correlação negativa, isto é, se a procura pela primeira poderá comprometer a segunda.

A seleção dos animais tendo em conta a qualidade de carcaça é de grande importância para o sistema de produção de carne, já que a gordura auxilia na conservação das qualidades organolépticas da carne durante o processo de refrigeração (Yokoo *et al.*, 2009). A gordura confere ainda acabamento aos animais e é muito importante na produção de novilhas, principalmente para a manutenção da condição corporal e da gestação, além de assegurar as necessidades para uma boa lactação (Santana *et al.*, 2014).

Diversos estudos realizados com *Bos taurus* apontam para uma relação positiva entre gordura corporal e o CAR, indicando que animais mais eficientes apresentam menor deposição de gordura e maior de proteína. Porém, na sua maioria, esta associação tem sido reduzida, levando a alguns autores a sugerir que a seleção para o CAR não conduz a perdas em termos de qualidade na carcaça.

Há autores que relatam que o CAR está relacionado com a taxa de deposição de gordura, afirmando que animais com fenótipos de CAR favoráveis (baixo CAR) apresentam carcaças mais magras (Nkrumah *et al.*, 2007), o que pode levar a respostas correlacionadas indesejadas na qualidade da carcaça (Arthur *et al.*, 2005).

A maior parte da literatura consultada (Archer *et al.*, 1999, Basarab *et al.*, 2003, Carstens *et al.*, 2002, Robinson *et al.*, 2004, Herd *et al.*, 2009, citados por Nascimento, 2011) afirma que o CAR está relacionado com a composição do ganho de peso, onde os animais mais eficientes (CAR negativo) tendem a apresentar carcaças mais magras, com menor acabamento e com menor gordura intramuscular, além de menor teor de gordura na cavidade abdominal (Almeida *et al.*, 2004; Almeida, 2005). Deste modo, a adoção do CAR como critério de seleção de animais eficientes deve considerar os potenciais efeitos negativos associados a outras características de produção ou desempenho.

Por exemplo, Jensen *et al.* (1992) relataram correlações genéticas de $Rg = -0,02$ e $Rg = -0,06$ entre o CAR e a percentagem de porção comestível e de gordura na carcaça de novilhos.

Baixas correlações genéticas entre o CAR e as características indicativas da composição corporal também foram observadas em bovinos Angus por Arthur *et al.* (2001). Os autores relataram $Rg = 0,17$; $Rg = 0,06$ e $Rg = 0,09$ para medidas de ultrassom da EGS entre a 12^a e 13^a costela, EGP8 e MAR, respetivamente. Carstens *et al.* (2002) observaram que o CAR em novilhos *Bos taurus* está correlacionado fenotipicamente com EGS e EGP8 ($Rf = 0,22$ e $Rf = 0,18$, respetivamente), mas não com MAR e gordura intramuscular ($Rf = 0,03$ $Rf = 0,10$, respetivamente).

Na investigação realizada por Basarab *et al.* (2003) com bovinos de raças cruzadas, foram observadas correlações fenotípicas significativas de $Rf = 0,22$, $0,22$ e $0,26$ entre o CAR e ganhos em gordura subcutânea, em score de marmorização e em gordura no corpo vazio. Indivíduos menos eficientes apresentaram um peso ainda maior de alguns órgãos, como intestinos e estômago, e maior percentagem de gordura intermuscular, quando comparados a animais com baixo CAR.

Richardson *et al.*, 2001 ao avaliarem bovinos da raça Angus, pequenas alterações na proporção dos órgãos externos (couro, cabeça e patas), dos ossos no PV final e ainda nas medidas de músculo e gordura foram relatadas com a seleção de bovinos para o CAR. Novilhos menos eficientes apresentaram maior MAR no

início do teste, menor MAR no fim do teste, menor quantidade de ossos no seu PV final e maior deposição de gordura e menor de músculo, relativamente aos novilhos mais eficientes (Richardson *et al.*, 2001).

Noutro estudo com animais da mesma raça, Ribeiro *et al.*, 2007 observou ainda que indivíduos com baixo CAR apresentaram um peso menor do trato gastrointestinal, porém não houve uma diferenciação em relação a bovinos com alto CAR, quanto à percentagem de gordura na carcaça e gordura interna.

O estudo de Nkrumah *et al.* (2007) mostrou baixa a moderada correlação entre CAR e AOL, quando medida pelo ultrassom no animal vivo ou diretamente na carcaça. A AOL e a EGP8 tendem a estar de fraca a moderadamente associadas ao CAR. Sendo assim, à medida que os dados foram sendo publicados, ficou claro que estes efeitos eram pequenos. É então possível concluir que há apenas uma ligeira tendência para um menor teor de gordura e menor AOL em animais de baixo CAR.

Em quatro ensaios com novilhos Angus conduzidos por Lancaster *et al.* (2009), o CAR não se correlacionou com o GMD ou o PV, mas foi correlacionado positivamente com EGS ($R=0,20$), ganho de EGS ($R=0,30$) e AOL ($R=0,17$). Nestes, foram igualmente comparados os grupos de CAR, onde se concluiu que os animais de baixo CAR ganharam menos EGS e possuíam menor AOL que os animais de alto CAR ($18,99 \text{ cm}^2$ vs $22,04 \text{ cm}^2$, respetivamente).

Nada obstante, Cruz *et al.* (2010) não observaram diferenças nas características de carcaça, ao compararem animais de baixo e alto CAR durante o acabamento. Da mesma forma, Castro Bulle *et al.* (2007) observaram que animais Angus x Hereford de baixo CAR não diferiram dos animais alto CAR em gordura da carcaça, no entanto relataram que novilhos de baixo CAR tenderam a ganhar menos gordura do que os novilhos de alto CAR (494 vs 719 g/dia).

Sainz *et al.* (2006) não encontraram diferenças entre novilhos Angus-Hereford com alto e baixo CAR para peso de carcaça quente, AOL, espessura de gordura subcutânea, MAR, acabamento, massa visceral e gordura abdominal.

Yokoo *et al.* (2009) afirmam que animais destinados ao abate que possuem menor taxa de deposição de gordura subcutânea na carcaça, teoricamente, atingem o acabamento de gordura mínimo necessário mais tardiamente, sendo assim necessário permanecerem mais tempo em acabamento, o que pode aumentar os custos de produção. Assim, Santana *et al.*, (2012) sugeriram que a seleção para eficiência alimentar deve, por isso, incluir características como a deposição de gordura.

A discrepância entre as correlações apresentadas pelos diversos autores, entre o CAR e as características de carcaça apresentados pode ser explicada pelas diferenças na maturidade fisiológica dos animais utilizados nos diferentes estudos.

Devido à existência de correlações entre CAR e EGS, a composição corporal tem sido incluída nos modelos de estimativa do CAR.

2.4.3. Introdução da espessura gordura (EG) no modelo de regressão do CAR

As medidas do CAR permitem que, além dos ajustes realizados de acordo com seus conceitos, também sejam incluídas correções para as características de carcaça.

Por exemplo, no cálculo do CAR, a equação para determinar o **CMS_{esp}** de alimentos seria calculada utilizando as características de carcaça iniciais e/ou finais, ou mesmo o ganho nessas características, como variáveis que permitem a predição, em conjunto com o ganho de peso e o $PV^{0,75}$ (Gomes *et al.*, 2012).

A introdução de ajustes no cálculo do CAR pretende tornar a característica fenotipicamente independente da medida para a qual foi ajustada, inserindo assim, no cálculo do **CMS_{esp}**, mais uma característica na regressão. Deste modo, a seleção animal é capaz de encontrar animais mais eficientes na utilização de alimentos, mantendo bons índices de qualidade de carcaça (Moraes *et al.*, 2016).

Apesar da baixa correlação encontrada em vários estudos entre o CAR e a espessura de gordura (EG), os animais com baixo CAR apresentam menor

deposição de gordura subcutânea, comparados com animais de alto CAR. Se a redução da deposição de gordura subcutânea em animais de menor CAR for realmente comprovada, a solução para evitar esse efeito seria a introdução de medidas da deposição de gordura na carcaça (por exemplo, a EGS) que expresse essa deposição no modelo de estimativa do consumo no cálculo do CAR. Com essa integração, a correlação dessa deposição com o CAR será perto de zero, portanto a seleção baseada no CAR não traria nenhuma resposta correlacionada com a deposição de gordura subcutânea na carcaça (Basarab *et al.*, 2003).

Santana (2009) introduziu na equação do **CMS_{esp}** a variável espessura de gordura da garupa no final do período de teste (EGP8_f):

$$\mathbf{CMS_{esp} = 0,16748 + (0,82585 \times GMD) + (0,06749 \times PV^{0,75}) + (0,15305 \times EGP8_f)}$$

Onde:

GMD= Ganho Médio Diário (kg/dia)

PV^{0,75}=Peso Vivo Metabólico (kg^{0,75})

EGP8_f= Espessura de Gordura da Garupa no final do teste (mm)

Santana (2009) verificou que ao selecionar os animais com base nesta variável existiu uma pequena alteração na classificação dos animais quando comparados aos avaliados sem essa variável (13 (28%) vs 10 (22%) para alto CAR, 17 (37%) vs 23 (50%) para médio CAR e 16 (35%) vs 13 (28%) para baixo CAR, respetivamente).

Neste exemplo, a inclusão da EGP8 evita que a seleção de animais mais eficientes leve a uma diminuição no acabamento de carcaça do rebanho.

A introdução de algumas características de carcaça, avaliadas por USS, podem melhorar as equações, sendo as mais efetivas, o ganho de gordura subcutânea e a AOL no final do teste (Lancaster *et al.*, 2009).

Geralmente, as medidas de carcaça explicam em torno de 9 a 12,5% da variação observada no consumo (Lancaster *et al.*, 2009), sendo o restante ocasionado pelo peso corporal e o ganho de peso. Embora a introdução de

características de composição de carcaça no cálculo do CAR tenha mínimos impactos no ranking dos animais, o seu uso seria interessante, visto que permitiria uma redução do potencial impacto negativo da sua seleção sobre a qualidade da carcaça (Lancaster *et al.*, 2009).

Vários investigadores começaram a incluir medidas de gordura (EGS, ganho de EGS e MAR) e AOL no modelo para o cálculo do CAR (Richardson *et al.*, 2001, Basarab *et al.*, 2003, Schenkel *et al.*, 2004, Nkrumah *et al.*, 2007, Lancaster *et al.*, 2009a, Lancaster *et al.*, 2009b, Kelly *et al.*, 2010, citados por Nascimento, 2011). Em todos os casos, a inclusão destas variáveis nos modelos melhorou o ajuste e, conseqüentemente, as correlações fenotípicas e genéticas com a composição da carcaça foram removidas. A adição de medidas de carcaça, como o ganho de EGS, para estimativa do CAR contribui para obtenção de um índice de seleção mais robusto para eficiência alimentar.

Ao incluírem EGS e MAR para a estimativa do CAR, Basarab *et al.* (2003) observaram que essas características representaram cerca de 6,8% da variação do consumo de MS. Os autores compararam o CAR calculado com base no modelo básico (com o $PV^{0,75}$ e GMD) e o modelo considerando também a composição corporal (ganho em EGS). O segundo modelo proposto para estimativa do CAR aumentou ligeiramente o coeficiente de determinação da estimativa ($R^2 = 0,71$ para $R^2 = 0,76$), no entanto não alterou significativamente o ranking dos animais em comparação com o modelo básico.

Da mesma forma, com a inclusão do ganho em EGS na 12^a costela e ganho de MAR, o de valor R^2 aumentou em 3 pontos percentuais. Herd *et al.*, (2003) avaliaram a introdução das medidas de composição corporal, como a EGS na garupa e AOL obtidas utilizando ultrassom em modelos de CAR, e verificaram um aumento de 3,6 e 4,4 pontos percentuais no R^2 , respetivamente.

A introdução da EG no modelo do CAR realizada por Mao *et al.* (2013) resultou numa redução da correlação fenotípica entre o CAR e a EG de 0,19 para 0,01 em animais da raça Charolês, e de 0,07 para 0,02 em animais Angus. É de salientar que os animais da raça Charolês estudados apresentaram alta variação

de EG (5,67 mm a 31,00 mm), assim como os animais da raça Angus estudados (3,33 mm a 26,00 mm). Basarab *et al.* (2003), ao estudar bovinos cruzados, relataram que o ajuste para a EG e para o MAR no cálculo do CAR resultou na redução da correlação fenotípica entre o CAR e o EG e entre CAR e MAR de 0,12 para -0,06 e de 0,15 para 0,10, respectivamente. Os animais apresentaram em média, um MAR de $0,007 \pm 0,005$ e EG de $0,047 \text{ mm} \pm 0,022$.

De acordo com Herd *et al.*, (2003), o estabelecimento de critérios de seleção para o CAR deverá considerar as relações genéticas entre o CAR e EGS, AOL e rendimento de carcaça, para a produção de animais eficientes e carcaças com características que atendam os requisitos dos consumidores.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL

O presente estudo foi realizado no Centro de Testagem e Recria da Raça Mertolenga (Herdade dos Currais), pertencente à ACBM - Associação de Criadores de Bovinos Mertolengos.

Este centro tem como principal função a testagem de machos Mertolengos destinados a futuros reprodutores. Tornou-se também um ponto de referência na fileira da raça Mertolenga, não só pela sua importância na execução do Plano de Melhoramento da Raça, mas também pelo apoio prestado à comercialização da Carne Mertolenga DOP. Além disto, desempenha um papel formativo e informativo na promoção da Raça Mertolenga através das visitas de alunos e outras ações desenvolvidas pela ACBM.

Este centro, situado a cerca de 14 km de Évora, junto a São Manços, caracteriza-se pelo seu clima basicamente mediterrâneo. Com verões quentes e secos e invernos chuvosos e amenos, a temperatura média anual é de 15,8°C e a pluviosidade média anual é de 620 mm.

3.2 INSTALAÇÕES

Para a realização do ensaio referido, foram utilizados 3 parques cobertos com 10m x 8m, equipados com 2 bebedouros de plástico com bóia para enchimento automático e 3 comedouros com o Sistema alimentação RIC[®] cada um (Figura 8).



Figura 8 – Aspeto geral dos parques com o sistema de alimentação RIC[®].
(Fonte: Elaboração própria).

Os animais permaneceram em estabulação livre nos parques cobertos do início ao fim do teste, com cama de palha (Figura 9). A limpeza e troca da “cama” era realizada sempre que necessário.



Figura 9 – Grupo de novilhos no estábulo (Fonte: Elaboração própria).

3.3 ANIMAIS

Foram utilizados 26 novilhos da raça Mertolenga, provenientes de 18 criadores aderentes ao Livro Genealógico da Raça Mertolenga (cerca de 2 a 3 animais de cada). Cada animal foi considerado como uma unidade experimental.

Ao chegarem ao centro de testagem, com cerca de $14,5 \pm 1$ meses de idade, os animais foram pesados e colocados nos parques (todos juntos) para fins de habituação tanto à alimentação como à estabulação. Após o período de habituação foram separados em 3 grupos segundo o $PV_{inicial}$ tal como representado na Tabela seguinte:

Tabela 8 - Organização do efetivo em estudo

Grupo	Número de Animais	PV _{inicial} médio (Kg)	Critério de seleção
1	8	311 ± 23,5	Mais pesados
2	9	253 ± 10,4	Peso intermédio
3	9	212 ± 45,3	Mais leves
Total	26	257 ± 50,5	-

3.4 ALIMENTAÇÃO

Cada um dos parques destinados ao alojamento dos animais em estudo estava equipado, tal como referido, com 2 bebedouros de nível constante com bóia e 3 comedouros com o Sistema alimentação RIC®.

O sistema de alimentação RIC® (Roughage Intake Control) produzido pela empresa Hokofarm Group é um sistema eletrónico de monitorização do comportamento alimentar que deteta, em cada comedouro, a visita de cada animal individualmente, a duração de cada visita e o peso do alimento consumido (Figura 10). Cada comedouro assenta sobre uma balança eletrónica ligada ao computador central onde são registadas todas as diferenças de peso.



Figura 10 – Aspeto geral do comedouro com sistema RIC® (Fonte: Elaboração própria).
Legenda: (1) Comedouro com balança fixa na base; (2) Caixa de controlo do sistema de alimentação RIC®.

Os componentes do sistema de alimentação RIC[®] detetam a presença do animal no comedouro por meio de uma antena de leitura, estrategicamente instalada dentro do comedouro, de modo a reconhecer os animais. O sistema de identificação de cada animal em cada comedouro era regularmente verificado, de forma a assegurar o adequado funcionamento do sistema. Os animais foram munidos de uma coleira de identificação (*transponder*) pela tecnologia RFID, como representado na Figura 11. Cada *transponder* apresentava um número diferente e intransmissível.



Figura 11 – Componentes do sistema de alimentação RIC[®] para recolha de dados (Fonte: Elaboração própria).

Os dados eram transmitidos, via cabo de dados, para um computador, localizado junto aos comedouros, onde ficaram registados todos momentos de alimentação dos animais. Através do programa instalado, *Ceres-RIC software*, eram armazenados os registos diários individuais de cada animal Figura 12. Após a introdução da correspondência entre o *transponder* e o número da coleira do animal, este programa gerava diariamente um ficheiro com: número de visitas aos comedouros, a duração total das visitas, o tipo de alimento (MT) e a quantidade de alimento ingerida. Destas, apenas utilizámos no nosso estudo a ingestão total diária.

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda										
10-06-2019, 1,														
10-06-2019, 2,														
10-06-2019, 3,														
10-06-2019, 4,														
10-06-2019, 5,														
10-06-2019, 6,														
10-06-2019, 7,														
10-06-2019, 8,														
10-06-2019, 9,														
10-06-2019, 10,														
10-06-2019, 11,														
10-06-2019, 12,														
10-06-2019, 13,														
10-06-2019, 14,														
10-06-2019, 15,														
10-06-2019, 16,														
10-06-2019, 17,														
10-06-2019, 18,														
10-06-2019, 19,														
10-06-2019, 20,														
10-06-2019, 21,														
10-06-2019, 22,														
10-06-2019, 23,														
10-06-2019, 24,														
10-06-2019, 25,														
10-06-2019, 26,														
10-06-2019, 27,														
10-06-2019, 28,														

Figura 12 –Outupt do Ceres-RIC software

A alimentação fornecida aos animais foi calculada pela técnica da empresa ZOOPAN (empresa portuguesa com atividade principal no mercado veterinário) segundo as exigências nutricionais destes animais para um ganho de peso vivo de 1,3 kg por animal/dia.

Tabela 9 - Percentagem de inclusão dos alimentos e respetiva composição química (%MS) da dieta.

	Composição do Alimento	Percentagem na Mistura em fresco (%)	Percentagem na Mistura na MS (%)	MS ⁽¹⁾	PB ⁽²⁾	UFC ⁽³⁾
Mistura de Maio-Junho	Alimento composto ACBM	66,30	75,1	87,99	17,7	1,25
	Fenosilagem de erva	33,70	24,9	57,22	9,08	0,54
TOTAL		100	100	77,64	15,5	1,07
Mistura de Julho-Novembro	Alimento composto ACBM	49,59	71,1	87,99	17,7	1,25
	Fenosilagem de Sorgo	23,67	9,9	25,55	12,22	0,65
	Fenosilagem de Speedmix	26,75	19	43,7	9,62	0,63
TOTAL		100	100	73,33	15,6	1,08

⁽¹⁾MS: Matéria seca (%); ⁽²⁾PB: Proteína Bruta (%MS); ⁽³⁾UFC: Unidades forrageiras carne (/Kg MS)

O alimento composto tinha como principal composição: milho, bagaço de soja 44 e cevada. O tipo de dieta foi igual para todos os animais. Inicialmente (maio-junho), esta consistia numa ração total misturada de fenosilagem de erva e alimento composto complementar na proporção de 34:66 em peso fresco, respetivamente. Após esta fase, procedeu-se a um ajuste na dieta. Este ajuste foi necessário visto ter acabado a fenosilagem, sendo substituída por um lote diferente de fenosilagem. No entanto, visto que as diferenças nutricionais verificadas eram prejudiciais para a manutenção da qualidade da alimentação dos animais, para equilibrar a dieta, foi necessário adicionar fenosilagem de sorgo.

Deste modo, na fase seguinte do ensaio (julho-novembro) utilizou-se uma nova mistura composta por fenosilagem de sorgo, fenosilagem de *Speedmix* e alimento composto de crescimento na proporção indicada na Tabela 9 em peso fresco, respetivamente.

O alimento foi misturado e distribuído por um reboque misturador (Figura 13) uma vez por dia. Numa fase inicial, esta distribuição era realizada sempre às

9:00h. No entanto, face às elevadas temperaturas atmosféricas, para evitar perdas de qualidade na ração por uma maior exposição ao calor, a distribuição passou a ser realizada na parte da tarde (16:00 h).



Figura 13 - Distribuição do alimento nos comedouros automáticos pelo unifeed (Fonte: Elaboração própria).

A quantidade de alimento oferecido era ajustada com base em 10% de sobras, a fim de assegurar consumo *ad libitum*. De um modo prático, a quantidade de alimento fornecida era calculada de forma a que as sobras fossem sempre de cerca de 10% do fornecido. Caso as sobras se afastassem significativamente desta meta, para mais ou para menos, a porção de alimento fornecida era aumentada ou diminuída, respetivamente.

Na fase de transição da dieta, verificou-se que a fenosilagem apresentava um teor de humidade reduzido, tendo sido necessário juntar água, de modo a uniformizar a mistura e evitar problemas decorrentes de seletividade e alto consumo de concentrado. A adição de água foi ajustada ao longo do tempo.

Todas as semanas era realizada a higienização dos comedouros. Esta consistia na remoção de todas as sobras de alimento, sendo estas posteriormente descartadas, e efetuada a limpeza.

Os animais tinham acesso ilimitado a água durante todo o teste.

3.5 RECOLHA DE DADOS

3.5.1 Período de avaliação do teste de eficiência alimentar

O Teste de Eficiência Alimentar foi conduzido durante 140 dias, com um período prévio de adaptação de pelo menos 30 dias para cada animal, iniciando-se no dia 30 de maio e terminando no dia 17 de outubro de 2019.

Os animais entraram faseadamente no centro de testagem em abril, sendo que o período de adaptação dos animais decorreu até dia 30 de maio.

Garantida a habituação, iniciou-se o período de testagem, onde foram recolhidos dados de peso vivo, consumo alimentar e determinação da composição corporal por USS.

3.5.2 Pesagem dos animais

As pesagens dos animais eram precedidas de um jejum alimentar de cerca de 16 horas.

Os animais foram pesados no dia 1 de teste e, a partir desse dia, de 21 em 21 dias até à pesagem final (dia 140 de ensaio) perfazendo um total de 8 pesagens.

As pesagens eram efetuadas numa balança eletrónica *Iconix FX15* colocada no tronco de contenção, como representado na Figura 14.



Figura 14 – Local das pesagens com o tronco de contenção com bscula fixa para pesagem dos animais (Fonte: Elaborao própria).
Legenda: (1) Balana eletrnica Iconix FX15; (2) Tronco conteno.

3.5.3 Determinao da MS e PB

Para fins de quantificao do teor da MS e da PB, as amostras do alimento eram recolhidas logo após o momento do seu fornecimento aos animais. No dia seguinte, eram recolhidas amostras das sobras imediatamente antes do novo fornecimento do alimento (Figura 15). A amostragem no foi regular ao longo do teste, sendo maioritariamente recolhidas de 1 em 1 e 2 em 2 semanas.



Figura 15 – Amostra de alimento (Fonte: Elaborao própria).

Após a recolha, as amostras eram congeladas a -20°C para serem posteriormente analisadas. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição e Metabolismo da Universidade de Évora.

Após o descongelamento das amostras, no dia da realização das análises, estas eram colocadas na estufa para a sua secagem, a 65°C durante 24 horas para determinação da MS inicial ($\text{MS}_{(i)}$). As amostras eram moídas num moinho de facas com um crivo de 1mm. A MS residual ($\text{MS}_{(r)}$) foi determinada em estufa a 100°C durante 24 horas e as cinzas por incineração em mufla a 500°C .

A PB foi calculada a partir da quantidade de azoto da mistura (Figura 16), pelo método de Dumas com recurso a um analisador de Azoto LECO FP528 (Figura 17).

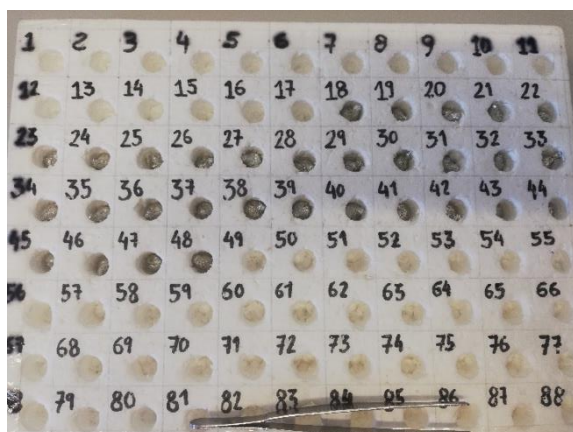


Figura 16 - Amostras moídas de alimento e/ou sobras prontas para analisar PB no analisador (Fonte: Elaboração própria).



Figura 17 - Analisador de proteínas/azoto LECO FP-528 (Fonte: Elaboração própria).

Após a obtenção da quantidade de azoto presente na amostra, era aplicada a seguinte fórmula para fins de obtenção da quantidade de PB:

$$\text{PB} = \text{quantidade de azoto} \times 6,25$$

3.6 PARÂMETROS AVALIADOS

3.6.1 Consumo de Matéria Seca

O Consumo de Matéria Seca (CMS) de cada animal foi calculado com base no consumo de alimento (CA) de cada animal e no teor de MS do alimento fornecido tal como apresentado na equação seguinte:

$$\text{CMS} = \text{Consumo de alimento (Kg)} \times \text{Teor de MS do alimento}$$

Para a obtenção do CA de cada animal utilizaram-se os ficheiros com os dados do consumo total diário por animal, gerados pelo Sistema RIC[®] já descrito.

Já o teor de MS, para ser preciso, é necessário considerar o aumento de MS natural e gradual do alimento. Deste modo, para o cálculo do teor de MS, recorreu-se à seguinte fórmula:

$$\text{Teor de MS consumido} = \frac{\text{MS alimento} + \text{MS sobras}}{2}$$

De forma sucinta, para calcularmos o CMS consideramos os valores de consumo de matéria verde (CMV) semanal (Kg alimento/animal) e relacionamos com os valores médios de MS do alimento (%MS alimento), obtivemos desta forma o CMS pelo animal nesse período tempo.

3.6.2 Cálculo do GMD, PV^{0,75} e CAR

Calcularam-se os seguintes valores para cada animal: ganho médio diário (GMD), peso vivo metabólico (PV^{0,75}), consumo alimentar residual (CAR), e a espessura de músculo (EM) e de gordura (EGS) entre a 12^o e 13^o costela.

O GMD foi obtido pela diferença do peso corporal inicial, e o peso final dividido pelo número de dias do teste, apresentado na fórmula seguinte:

$$\text{GMD} = \frac{\text{PVf} - \text{PVi}}{\text{duração do ensaio}}$$

Onde:

GMD=Ganho Médio Diário (Kg/dia);

PV_i=PV inicial (Kg);

PV_f=PV final (Kg);

Duração do ensaio=Número de dias do ensaio (dias).

O PV^{0,75} foi obtido entre a média entre o peso vivo ao início e ao final do teste, elevado a 0,75.

$$PV^{0,75} = \left(\frac{PV_f + PV_i}{2} \right)^{0,75}$$

Onde:

PV^{0,75}=Peso Vivo Metabólico (Kg^{0,75});

PV_i=PV inicial (Kg);

PV_f=PV final (Kg).

O CAR de cada animal foi calculado como a diferença entre o CMS_{obs} (kg/dia) e o CMS_{esp} (kg/dia) com base no ganho médio diário e no peso vivo metabólico médio.

$$CAR = CMS_{obs} - CMS_{esp}$$

Onde:

CAR=Consumo Alimentar Residual (KgMS/dia);

CMS_{obs}=Consumo de Matéria Seca Observado (kg/dia);

CMS_{esp}=Consumo de Matéria Seca Esperado (Kg/dia).

O CMS_{obs} (kg/dia) foi calculado pela média da ingestão total do animal durante o ensaio.

$$CMS_{obs} = \frac{\text{Ing. total}}{\text{Duração do ensaio}}$$

Onde:

CMS_{obs}=Consumo de Matéria Seca Observado (Kg/dia);

Ing total=Ingestão total (Kg de MS);

Duração do ensaio=Número de dias do ensaio (dias)

Por fim, o cálculo do $CMS_{esp\ i}$ (Kg/dia) é obtida a partir da regressão linear do Consumo matéria seca observado de alimento (CMS_{obs}) no peso médio metabólico ($PV^{0,75}$) e no ganho médio diário (GMD), através do seguinte modelo:

$$Y = \beta_0 + (\beta_1 \times PV^{0,75}) + (\beta_2 \times GMD) + \varepsilon_i$$

em que Y é a CMS_{obs} , β_0 é a interceção, β_1 e β_2 são, respetivamente, os coeficientes de regressão da CMS_{obs} no peso metabólico médio e no ganho médio diário, e ε é o erro residual.

Assim, depois de estimados os coeficientes de regressão e a interceção, calcula-se a ingestão média diária estimada ou esperada (CMS_{esp}) de alimento:

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

Em que:

CMS_{esp} = Consumo de Matéria Seca Esperado (Kg/dia);

β_0 = Interceção da regressão;

β_1 = Coeficiente do peso vivo médio metabólico ($PV^{0,75}$ em kg);

β_2 = Coeficiente do ganho peso médio diário (GMD em kg/dia);

ε_i = erro residual do consumo predito do animal i.

A equação para calcular o CMS_{esp} de cada animal é gerada através do programa SPSS.

Posto isto, tal como demonstrado, ao se utilizar a metodologia proposta por Koch *et al.* (1963), é possível a obtenção do CAR de cada animal através da diferença entre o CMS_{obs} e o CMS_{esp} .

3.6.3 Determinação da EGS e de EM via USS

As determinações da EGS e de músculo foram realizadas, aquando das pesagens dos animais no tronco de contenção, no início do teste (30 de maio), no meio (21 Agosto) e no último dia do teste (17 Outubro). De forma a evitar o *stress*

adicional aos animais pela imobilização, de forma obter boas imagens, optou-se por aproveitar a ida à manga dos animais para pesagem.

Para determinar a espessura da gordura subcutânea nos animais, foram recolhidas imagens via ultrassom (*ESAOTE - Tringa linear VET*) com um transdutor linear SV3513 VET de 50 mm de comprimento (10-5 MHz).

Foi utilizado um gel condutor para ultrassom para facilitar o contato acústico com corpo do animal, ampliar o sinal do ultrassom assim como a qualidade da imagem.

A sonda era colocada na região lombar entre a 12^a e 13^a costela (Figura 18), o ecógrafo permitiu a obtenção das imagens da gordura subcutânea e de músculo entre a 12^a e 13^a costela, as quais eram medidas (cm) no momento da recolha de imagens.



Figura 18 – Recolha da imagem ultrassom da EGS entre a 12^a e 13^a costela (Fonte: Elaboração própria).

Legenda: (1) é o local da medida da imagem gerada pelo ultrassom; (2) Ecógrafo ESAOTE - Tringa linear VET que recolheu as imagens; (3) Sonda; (4) Imagem obtida da EGS e músculo do animal, via USS.

3.7 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

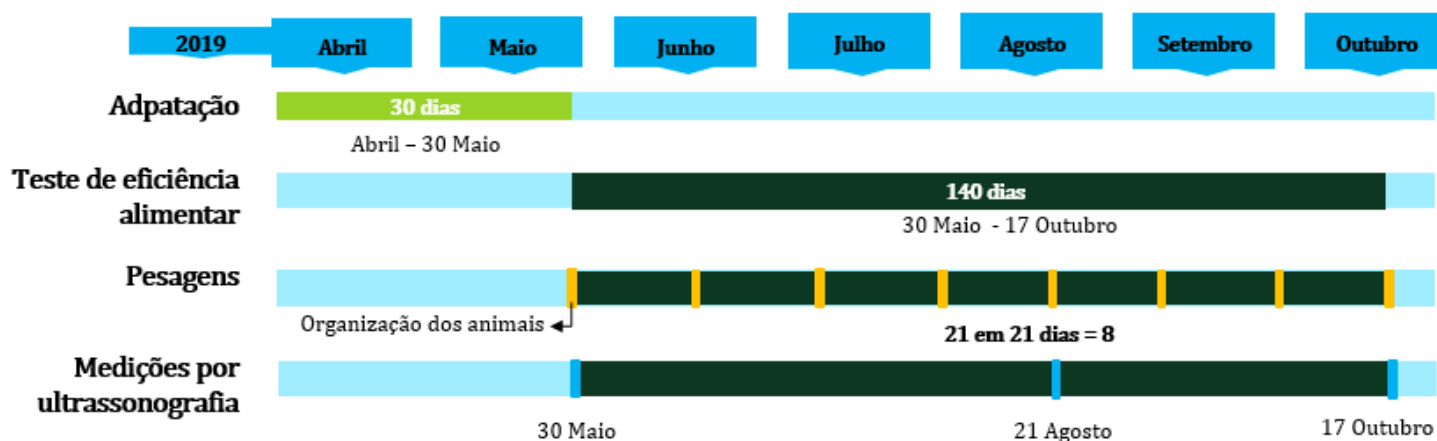


Figura 19 – Cronograma do trabalho experimental

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados quanto à presença de outliers, homogeneidade de variância e normalidade dos resíduos.

As seguintes análises estatísticas foram realizadas com recurso ao programa estatístico SPSS (versão 25).

Foram calculadas duas regressões para o CMS_{esp} de cada animal, a (1) com o consumo diário de matéria seca em função do peso vivo médio metabólico e ganho de peso médio diário dos animais e a (2) com a introdução de mais uma variável a espessura de gordura subcutânea no final do teste (EGS_f) de forma a verificarmos se esta tem influência no modelo.

Os dados da MS e PB do alimento foram submetidos à análise de variância simples univariada (ANOVA). As médias que apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) foram comparadas pelo teste T.

Para efeito de comparação, estabeleceram-se três classes de eficiência alimentar, cujos limites são $\pm 0,5$ do desvio padrão (DP) registado para o CAR. Dessa forma, os animais foram classificados como mais eficientes ($CAR < -0,5 \times DP_{CAR}$), intermédios ($-0,5 \times DP_{CAR} < CAR < +0,5 \times DP_{CAR}$) e menos eficientes ($CAR > +0,5 \times DP_{CAR}$).

Os dados foram submetidos à análise de variância com três níveis que corresponderam às classes de CAR. As médias que apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) entre as classes foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer .

Análises de correlação simples de Pearson foram realizadas com CAR e as demais características de desempenho, consumo e eficiência alimentar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DA MS E PB

Na Tabela 10 estão apresentadas as % de MS e % PB na MS das amostras de alimento e sobras recolhidas ao longo do teste. Fizemos 16 recolhas no total, sendo 8 de alimento e 8 de sobras.

A amostragem não foi regular ao longo do teste, a última recolha foi efetuada em Setembro tendo o teste apenas terminado em Outubro. A dieta fornecida não sofreu alterações neste período final, portanto não existirá discrepâncias significativas em relação aos resultados da avaliação % MS e PB da dieta.

Tabela 10 - Teores de MS e PB das amostras obtidos após as análises laboratoriais

Data de recolha	Tipo de amostra	% MS ⁽¹⁾	Média		% PB ⁽²⁾ na MS	Média	
			MS	Diferença		PB	Diferença
20/06	ALIMENTO	51,39	53,9	8%	17,84	18,2	4%
21/06	SOBRAS	55,38			18,50		
17/07	ALIMENTO	50,59	52,1	6%	16,66	17,3	8%
18/07	SOBRAS	53,52			17,91		
25/07	ALIMENTO	50,03	52,8	11%	16,03	16,06	0%
26/07	SOBRAS	55,5			16,09		
8/08	ALIMENTO	48,23	51,2	12%	15,81	16,6	11%
9/08	SOBRAS	54,19			17,47		
14/08	ALIMENTO	45,74	49,1	15%	14,61	15,6	7%
15/08	SOBRAS	52,4			16,57		
20/08	ALIMENTO	46,93	49,3	10%	14,61	14,4	-3%
21/08	SOBRAS	51,69			14,25		
28/08	ALIMENTO	51,26	53,5	9%	15,44	15,8	5%
29/08	SOBRAS	55,82			16,14		
10/09	ALIMENTO	52,29	52,7	2%	14,31	14,5	2%
11/09	SOBRAS	53,2			14,62		
Média	ALIMENTO	49,56	51,8	9%	15,77	16,07	4%
	SOBRAS	53,96			16,07		

⁽¹⁾ MS: Matéria seca; ⁽²⁾ PB: Proteína bruta.

Tabela 11 – Médias e desvio padrão %MS e %PB do alimento e das sobras

	Tipo de amostra	Média	Desvio Padrão	Valor P (ANOVA)
%MS	ALIMENTO	49,56 ^a	2,34	0,001**
	SOBRAS	53,96 ^b	1,52	
%PB na MS	ALIMENTO	15,77	1,12	0,671
	SOBRAS	16,07	1,58	

** A diferença é significativa no nível 0,01.

Médias com letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste T

Os resultados das análises efetuadas às amostras de alimento e das sobras foram, em média, 49,56% e 53,96% de MS e 15,77% e 16,44% PB na MS, respetivamente (Tabela 11).

Os valores de MS das amostras dos alimentos e das sobras mostram uma perda média de humidade de cerca de 9%. Esta perda é mais significativa nas amostras de final de Julho e durante o mês de Agosto, com perdas entre 11 a 15%. Estas perdas podem estar relacionadas com as temperaturas elevadas que se fizeram sentir nesta altura.

É assim importante a recolha de várias amostras de alimento ao longo do teste, de forma a garantirmos que conseguimos valores de MS reais de forma a calcular corretamente a ingestão de MS de cada animal.

Verificamos que a média da MS do alimento difere da média da MS das sobras ($P < 0,05$) justificando-se assim a importância da recolha de amostras de alimento e de sobras de modo a termos valores médios de MS.

Em relação à PB, o seu valor aumentou em média 4%, entre o alimento e as sobras, sem que esta diferença seja significativa ($P > 0,05$).

4.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ALIMENTAR PELO CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL

Na Tabela 12 encontra-se a média, desvio padrão, mínimo e máximo das características analisadas.

Os animais apresentaram uma diferença máxima de idade entre eles de 101 dias. A média das diferenças entre o peso final e o peso inicial foi de 153 kg. Na população avaliada a média obtida para CAR foi de $0,00 \pm 0,448$ kgMS/dia, com valores mínimo e máximo de $-0,94$ e $+0,91$ kgMS/dia, respectivamente. A diferença máxima foi de $1,85$ kgMS/dia, ou seja, houve animais que consumiram aproximadamente mais 2 kg por dia para um mesmo ganho médio diário. Estes valores confirmam que há variabilidade fenotípica para esta característica nos novilhos testados. Basarab *et al.* (2003) e Lancaster *et al.* (2009) observaram maiores amplitudes de variação para o CAR, com valores de $3,77$; $4,86$ e $5,04$ kgMS/dia, respectivamente. A capacidade de digestão e de absorção dos nutrientes, o incremento calórico associado à alimentação, a composição corporal e os processos metabólicos que ocorrem ao nível visceral, muscular e adiposo, e a intensidade de atividade física são os fatores que exercem maior influência no consumo de alimento e, por consequência, no CAR (Herd e Arthur, 2009).

O CMS não sofreu muita variação entre a menor e a maior ingestão, havendo apenas 4 kg de MS de diferença entre os animais.

Tabela 12 - Médias, desvios padrões e valores mínimos e máximos das características de desempenho e de eficiência alimentar

N⁽¹⁾ =26	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Idade inicial (dias)	250	351	301,77	31,355
Idade final (dias)	390	491	441,77	31,355
Peso inicial (kg)	166	380	256,67	50,539
Peso final (kg)	319	574	423,35	56,629
PV^{0,75} (2) (kg^{0,75})	61,40	102,07	79,0149	9,10669
GMD⁽³⁾ (kg/dia)	0,87	1,50	1,1905	0,14147
CMS⁽⁴⁾ (kg/dia)	5,57	9,46	7,2312	0,98854
CA⁽⁵⁾ (kg MS/kg ganho)	4,50	8,53	6,1165	0,85394
CAR⁽⁶⁾ (kg MS/dia)	-0,94	0,91	0,0000	0,44785
EGS⁽⁷⁾ (cm)	-	-	-	-
d ⁽⁹⁾ o (cm)	0,18	0,32	0,2435	0,04127
d 140 (cm)	0,50	1,00	0,7308	0,12576
Aumento (d o - d 140) (cm)	0,29	0,75	0,4873	0,12256
EM⁽⁸⁾ (cm)	-	-	-	-
d o (cm)	4,47	5,77	5,0473	0,33865
d 140 (cm)	5,30	7,40	6,3269	0,52349
Aumento (d o - d 140) (cm)	0,72	2,20	1,2796	0,38055

⁽¹⁾N: número de animais; ⁽²⁾PV^{0,75}: Peso vivo metabólico; ⁽³⁾GMD: Ganho Médio Diário; ⁽⁴⁾CMS: Consumo de Matéria Seca; ⁽⁵⁾CA= Conversão alimentar; ⁽⁶⁾CAR: Consumo Alimentar Residual; ⁽⁷⁾EGS: Espessura de gordura subcutânea; ⁽⁸⁾EM: Espessura de músculo; ⁽⁹⁾d: dias.

Na Tabela 13 estão descritas as estimativas das correlações entre as características estudadas.

Tabela 13 - Correlações de Pearson entre as características de peso, consumo, ganho, conversão e eficiência alimentar e consumo alimentar residual.

	PVi ⁽¹⁾	PVf ⁽²⁾	GMD ⁽³⁾	CMS ⁽⁴⁾	PV ^{0,75(5)}	CA ⁽⁶⁾	CAR ⁽⁷⁾
PVi	1	0,938**	0,131	0,693**	0,982**	0,721**	,000
		0,000	0,523	0,000	0,000	0,000	0,998
PVf		1	0,467*	0,844**	0,986**	0,553**	-0,001
			0,016	0,000	0,000	0,003	0,998
GMD			1	0,646**	0,315	-0,259	0,000
				0,000	0,117	0,202	0,998
CMS				1	0,786**	0,567**	0,453*
					0,000	0,003	0,020
PV^{0,75}					1	0,643**	0,000
						0,000	0,999
CA						1	0,584**
							0,002
CAR							1

⁽¹⁾PVi: Peso vivo inicial; ⁽²⁾PVf: Peso vivo final; ⁽³⁾GMD: Ganho Médio Diário; ⁽⁴⁾CMS: Consumo de Matéria Seca; ⁽⁵⁾PV^{0,75}: Peso vivo metabólico médio; ⁽⁶⁾CA: Conversão Alimentar; ⁽⁷⁾CAR: Consumo Alimentar Residual

**A correlação é significativa no nível 0,01.

*A correlação é significativa no nível 0,05.

As correlações de CAR com GMD, PVi, PVf e PV^{0,75} não foram significativas ($P > 0,05$), reforçando a ideia de que o CAR é independente das características de crescimento (Gráfico 1). Este resultado está de acordo com outros autores, que também relataram independência entre CAR e as características mencionadas acima (Basarab et al., 2003; Lucila Sobrinho et al., 2011).

Portanto, ao selecionar-se animais mais eficientes, com base no CAR, não se altera o tamanho adulto ou o crescimento do animal (Arthur et al., 2001).

O CAR apresentou moderada correlação com a conversão alimentar (CA) ($R=0,58$), sugerindo que genes diferentes estão relacionados com estas características (Arthur et al., 2001). Este valor também nos indica que a

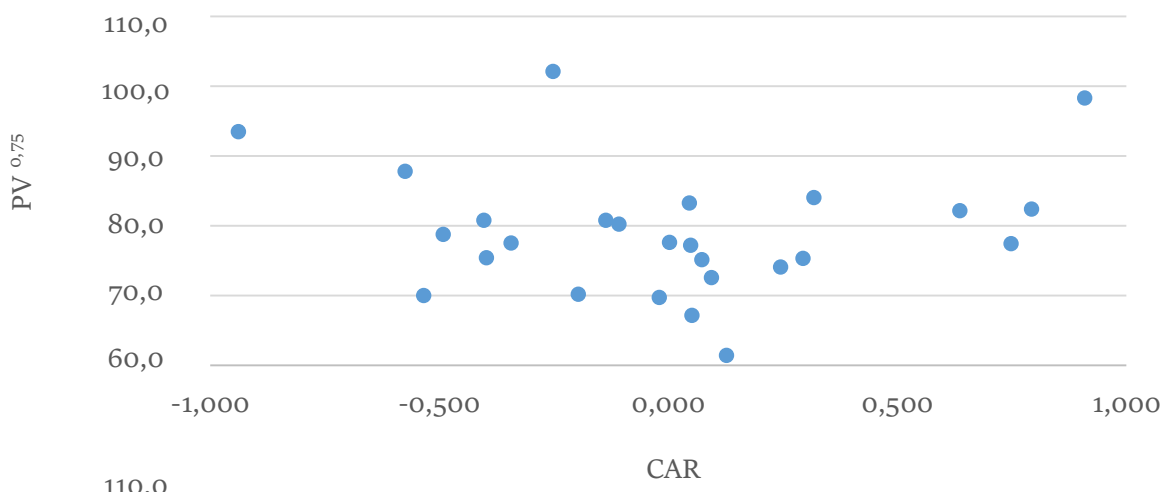
diminuição do CAR leva também à redução da CA (Carstens et al., 2002). O CMS apresentou alta correlação com PV_i e PV_f, justificável pelo facto dos animais mais pesados, e por isso com maiores necessidades nutritivas, consumirem mais.

A correlação entre o GMD e CMS indica-nos que os animais que consumiram mais foram os que tiveram GMD mais elevados e, por outro lado, que os animais com maiores GMD atingiram um maior peso final.

Durunna et al. (2011), Grion et al. (2014) e Del Claro et al. (2012) apresentam correlação entre CAR e CMS de (R=0,59), (R=0,33), (R=0,63), respetivamente, verificando-se uma alta variação entre estudos. A correlação do CAR com CMS no nosso estudo foi significativa (P<0,05), e apresentou moderada correlação (R=0,45), estando de acordo com a bibliografia consultada.

No Gráfico 1 pode ser observado que não existe correlação entre PV^{0,75} e o CAR como já verificado na Tabela 13.

Gráfico 1 - Relação entre consumo alimentar residual e peso vivo médio metabólico de novilhos Mertolengos.



Foram geradas duas equações para calcular o CMS_{esp} de cada animal, a (1) com as variáveis GMD e PV^{0,75} e a (2) com a introdução de mais uma variável a EGS_f de forma a verificarmos se esta tem influência no modelo.

Através do programa SPSS, para as equações para cada animal foram a seguintes:

$$(1) CMS_{esp} \text{ (kg/dia)} = -1.99517 + 3.0848 \times GMD + 0.0703 \times PV^{0,75},$$

$$(R^2 = 0,794)$$

Esta relação entre CMS_{obs} e o CMS_{esp} apresentou um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,794$. Este valor indica que as variâncias de outros fatores que não são incluídos no modelo, tais como diferenças no *turnover* proteico, composição do ganho, digestibilidade entre outros, explicam os outros 20,6% da variação.

A equação do CMS_{esp} com inserção da variável espessura de gordura subcutânea no final do período de teste (EGS_f) foi a seguinte:

$$(2) CMS_{esp} \text{ (kg/dia)} = -2,062 + 3,055 \times GMD + 0,07 \times PV^{0,75} + 0,139 \times EGS_f,$$

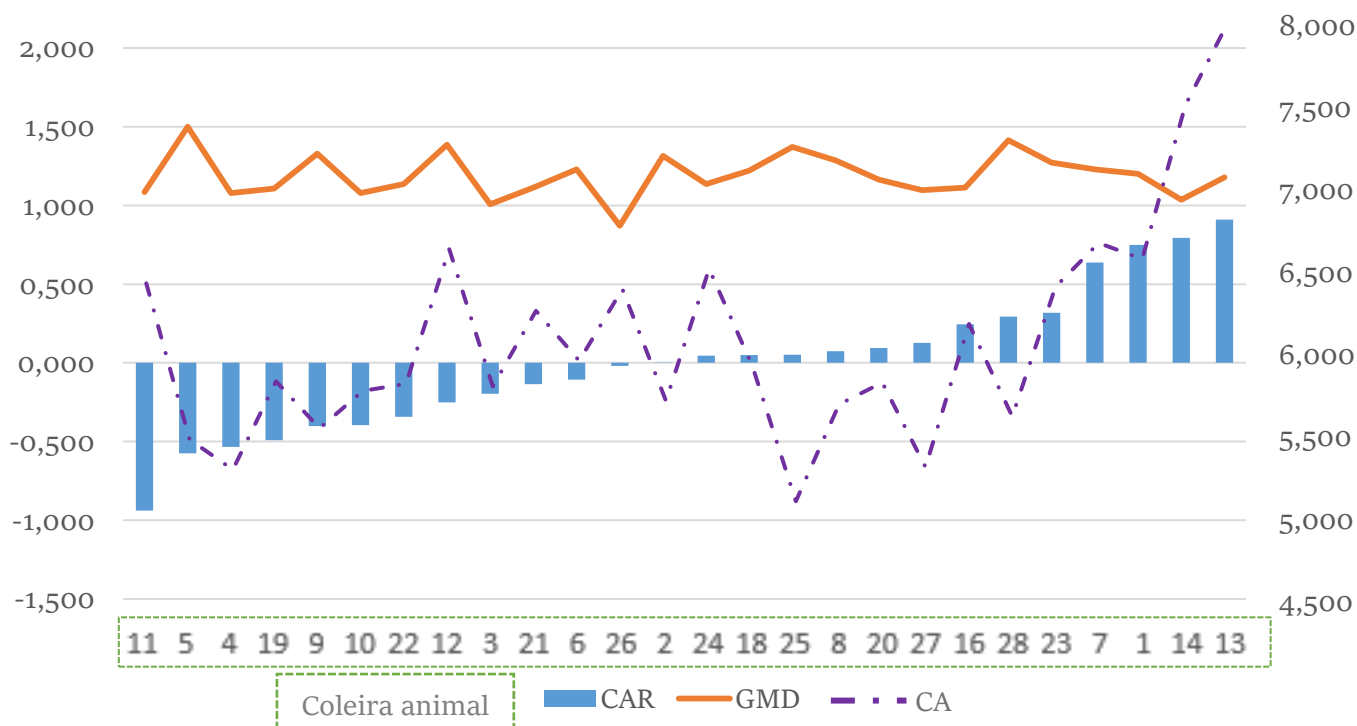
$$(R^2 = 0,795)$$

Esta relação entre CMS_{obs} e o CMS_{esp} apresentou um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,795$. Portanto, a inclusão da EGS_f não implicou um aumento significativo do R^2 da regressão múltipla, isto é não tem influência significativa no modelo. Desta forma foi apenas utilizada a equação número (1) neste estudo.

O Gráfico 2 apresenta o consumo alimentar residual dos novilhos, em que animais abaixo da linha de tendência (valores negativos) são classificados como mais eficientes e acima da linha são classificados como menos eficientes. Verificamos que os animais mais eficientes consumiram menos que os animais classificados como menos eficientes, apesar de apresentarem GMD muito semelhantes.

Por exemplo, comparando o animal nº11 e o nº13, conseguimos verificar que embora tenham um GMD similar (1,086 vs 1,179, respectivamente), o nº11 para atingir o mesmo GMD que o nº13 consumiu menos -1,85 kg MS/dia. Podemos ainda verificar segundo o Gráfico 2 que o animal com menor CA (nº25) logo mais eficiente na transformação do alimento não se enquadra na classe dos animais mais eficientes segundo o CAR, assim é possível verificar que a seleção pela CA pode não ser vantajosa.

Gráfico 2 - Distribuição do consumo alimentar residual (CAR) de cada novilho em teste distribuídos do mais eficiente ao menos eficiente e os respectivos ganhos médio diário em peso (GMD) e a conversão alimentar (CA).



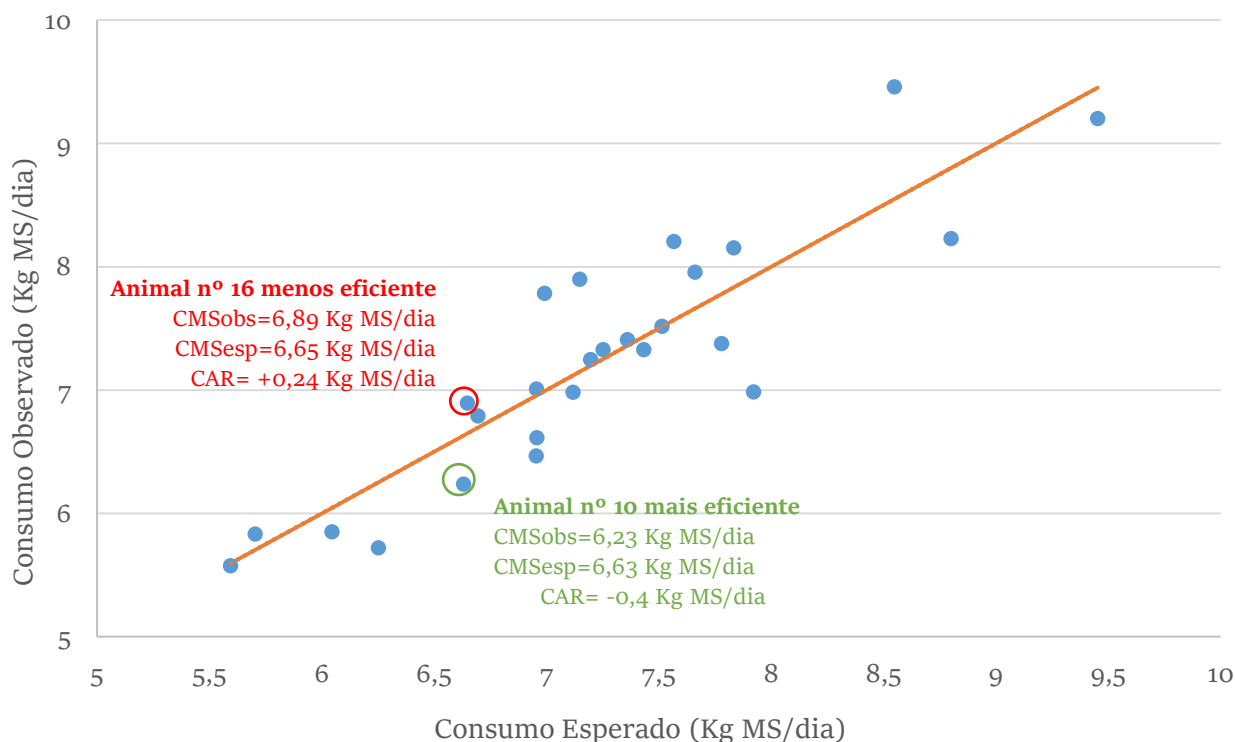
No Gráfico 3 pode ser observado o consumo de matéria seca esperado e o observado dos animais do teste. O CAR é a distância do consumo de cada animal até a linha de regressão entre o consumo observado e o esperado. Os animais acima da linha (CAR positivo) tiveram consumos observados maiores do que o esperado (menos eficientes) e os animais abaixo da linha (CAR negativo) tiveram consumos observados menores do que o esperado (mais eficientes).

No Gráfico 3 destacamos dois animais (nº16 e nº10) que apresentam um consumo de matéria seca esperado similar ($\approx 6,63 \pm 0,02$ kgMS/dia), no entanto o consumo de matéria seca observado foi bem diferente entre eles (6,89 kgMS/dia vs 6,63 kgMS/dia, respetivamente para o menos eficiente e para o mais eficiente).

Verificamos então que o animal nº10 apresentou um consumo de 0,4 kgMS/dia a menos que o valor esperado (CAR=-0,4); em contrapartida, o animal nº16 consumiu mais 0,24 kgMS/dia que o esperado (CAR=+0,24). Podemos então

concluir que os animais embora com CMSesp similares apresentam diferenças em relação á sua eficiência alimentar.

Gráfico 3 - Relação entre consumo de matéria seca observado e esperado expressos em kgMS/dia de novilhos de raça Mertolenga, destacando dois animais em relação ao CAR com CMSesp similares.



4.3 CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ALIMENTAR ASSOCIADAS A DIFERENTES CLASSES DE CAR

Na Tabela 14 estão apresentadas as médias e respetivos erros padrão das características de desempenho e comportamento alimentar para as diferentes classes de CAR. De acordo com o critério utilizado $\pm 50\%$ do DP do CAR, o número de animais em cada classe de eficiência correspondeu a 8 (30,8%) na classe mais eficiente (CAR baixo), 11 (42,3%) na classe intermédia (CAR médio) e 7 (26,9%) na classe menos eficiente (CAR alto) (Tabela 14).

Tabela 14 - Médias e erro padrão das características de desempenho, consumo, eficiência alimentar e características de carcaça para novilhos de raça Mertolenga em crescimento nas três classes de eficiência determinadas com base no consumo alimentar residual (CAR).

Características	CLASSES DE CAR						Erro Padrão Média	Valor P (Anova)
	Mais Eficiente (CAR baixo)		Intermédia (CAR médio)		Menos eficiente (CAR alto)			
Número de animais	8 (30,8%)		11 (42,3%)		7 (26,9%)		-	-
	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	Média	Erro Padrão	-	
Idade inicial (dias)	305	9,25	299	9,96	303	14,39	6,15	0,916
Idade final (dias)	445	9,25	439	9,96	443	14,39	6,15	0,916
PV inicial (kg)	280	19,97	230	10,85	272	18,93	9,91	0,065
PV final (kg)	449	24,39	393	12,04	441	47,25	11,11	0,059
GMD (kg/dia)	1,21	0,06	1,16	0,04	1,21	0,05	0,03	0,736
CMS (kg/dia)	7,10 ^{a,b}	0,40	6,80 ^a	0,21	8,05 ^b	0,29	0,19	0,023*
PV^{0,75} (kg^{0,75})	83,21	3,72	74,10	1,99	81,94	3,08	1,79	0,053
CA (kg MS/kg ganho)	5,86 ^a	0,16	5,87 ^a	0,13	6,72 ^b	0,30	0,13	0,008**
CAR, (kg MS/dia)	-0,491 ^a	0,074	-0,001 ^b	0,031	0,564 ^c	0,103	0,087	0,000**

**A diferença é significativa no nível 0,01.

*A diferença é significativa no nível 0,05.

Médias com letras distintas na mesma linha diferem entre si.

Como esperado, animais classificados como alto, médio e baixo CAR não diferiram quanto ao PVi, PVf, PV^{0,75} e GMD (P>0,05), pois o modelo para calcular o CAR contempla tais características. Os valores de CMS apresentaram diferenças significativas (P<0,05) entre as classes de CAR, o CMS não apresentou diferenças entre a classe mais eficiente (7,10kg/dia) e as classes intermédia (6,80kg/dia) e menos eficiente (8,05kg/dia), já a classe intermédia apresentou diferenças da classe menos eficiente (Tabela 14). O CMS dos animais mais eficientes foi 0,95 kg/dia menor em relação aos menos eficientes, representando uma redução de

13% no consumo em relação ao consumo dos animais menos eficientes, com peso corporal e ganho médio diário similar ($P > 0,05$), o que evidencia o impacto positivo dos animais de CAR negativo na redução dos custos com alimentação.

Castro Bulle *et al.*, 2007; Lancaster *et al.*, 2009 relataram que animais de alto CAR consumiram 17 a 18% mais que os de baixo CAR e apresentaram correlação de $R=0,44$ entre o CMS e o CAR, estando em concordância com os nossos resultados ($R=0,45$) (Tabela 13).

Os nossos resultados são consistentes com outros estudos que indicam que o CAR é positivamente correlacionado com CMS, mas independente do GMD e PVf (Nkrumah *al.*, 2006; Lancaster *et al.*, 2009). Kelly *et al.* (2010) relataram que novilhos mais eficientes ($< 0,5$ DP abaixo da média) tiveram CMS 15,94 % menor que os animais menos eficientes ($> 0,5$ DP acima da média).

A CA também apresentou diferenças significativas entre as classes ($P < 0,01$), a CA foi semelhante nas classes mais eficiente e intermédia (5,86 e 5,87 kg MS/kg ganho, respetivamente), que, por sua vez, apresentam valor menor quando comparados com a classe menos eficiente (6,72 kg MS/kg ganho). Gomes, (2009) também verificou que os animais mais eficientes apresentaram melhor CA do que animais menos eficientes (9,82 vs. 10,5 kg MS/kg ganho, respetivamente).

O valor médio do CAR nas classes mais eficiente, intermédia e menos eficiente foi de -0,49; -0,01 e 0,56 kg MS/dia, respetivamente (Tabela 14). A diferença entre o valor médio do CAR das classes mais eficiente e menos eficiente indica que animais mais eficientes consumiram, em média, menos 1,05 kg MS/dia que os menos eficientes. Este resultado vai de encontro a alguns dados apresentados na literatura (1,39kg/dia - Reis *et al.*, 2009; 1,25kg/dia - Arthur *et al.*, 2001).

Conseguimos assim concluir que os animais da classe mais eficiente e menos eficiente apresentam GMD similares (1,21kg/dia vs 1,21kg/dia), com CMS diferentes (7,10 kg/dia vs 8,05 kg/dia, respetivamente) e menor eficiência alimentar (5,86 kg MS/kg ganho vs 6,72 kg MS/kg ganho), respetivamente, estando de acordo com os diversos autores citados na bibliografia,

4.4 AVALIAÇÃO DA ESPESSURA DE GORDURA SUBCUTÂNEA E DO MÚSCULO EM DIFERENTES CLASSES DE CAR

Os resultados apresentados nas Tabelas 15 e 16 mostram os resultados obtidos relativos à relação entre CAR e as características de carcaça.

Na Tabela 15 podemos verificar que a correlação do CAR com EGS e EM em diferentes fases do estudo não foram significativas ($P > 0,05$), reforçando a ideia de que o CAR não tem influências significativas nas características de carcaça.

Baixas correlações genéticas entre o CAR e as características indicativas da composição corporal também foram observadas por alguns autores, Jensen *et al.* (1992) relataram baixas correlações genéticas entre o CAR e gordura na carcaça ($R_g = -0,06$) e Arthur *et al.* (2001) relataram baixas correlações genéticas entre o CAR e EGS entre as 12^a e 13^a costela (medidas por ultrassom) ($R_g = 0,17$).

Tabela 15 – Correlações entre o CAR e as características de carcaça

	CAR ⁽¹⁾	EGSi ⁽²⁾	EMi ⁽³⁾	EGSf ⁽⁴⁾	EMf ⁽⁵⁾	EGSmédia ⁽⁶⁾	EMmédia ⁽⁷⁾
CAR	-	0,063	-0,148	-0,020	0,004	-0,060	-0,003
		0,760	0,472	0,924	0,985	0,769	0,987

⁽¹⁾CAR: Consumo Alimentar Residual; ⁽²⁾EGSi: Espessura de gordura subcutânea inicial; ⁽³⁾EGSf: Espessura de gordura subcutânea final; ⁽⁴⁾EMi: Espessura de músculo inicial; ⁽⁵⁾EMf: Espessura de músculo final; ⁽⁶⁾EGSmédia: Média espessura de gordura subcutânea; ⁽⁷⁾EMmédia: Média espessura de músculo.

As características EGS e EM não apresentaram diferenças significativas entre as classes do CAR independentemente da data de avaliação ($P > 0,05$). Não houve efeito do CAR sobre o ganho total no período (140 dias) tanto em gordura subcutânea como em músculo ($P > 0,05$).

Tabela 16 – Espessura de gordura subcutânea (EGS) e músculo (EM) medidas por ultrassom nas classes de baixo, medio e alto CAR.

Características	Classes de CAR						Erro Padrão Média	Valor P (Anova)
	Mais eficiente		Intermédia		Menos eficiente			
Espessura de gordura subcutânea								
d 0 (cm)	0,25	0,02	0,23	0,01	0,26	0,01	0,01	0,150
d 140 (cm)	0,74	0,26	0,70	0,04	0,77	0,52	0,25	0,512
Aumento (d 0 – d 140) (cm)	0,49	0,03	0,47	0,04	0,51	0,06	0,44	0,846
Aumento (d 0 – d 140) (%)	201%		213%		201%		-	-
Espessura do músculo								
d 0 (cm)	5,17	0,16	4,95	0,10	5,06	0,08	0,07	0,420
d 140 (cm)	6,48	0,23	6,10	0,14	6,51	0,14	0,10	0,167
Aumento (d 0 – d 140) (cm)	1,31	0,10	1,15	0,11	1,46	0,17	0,07	0,238
Aumento (d 0 – d 140) (%)	25%		24%		29%		-	-

d: dias

Os resultados relativos a EGS foram semelhantes entre os animais mais e menos eficientes.

Em média o grupo eficiente teve cerca de menos 0,02 cm de EGS, que o grupo menos eficiente (0,49cm e 0,51cm, respetivamente), esta diferença não é significativa entre as 3 classes ($P > 0,05$).

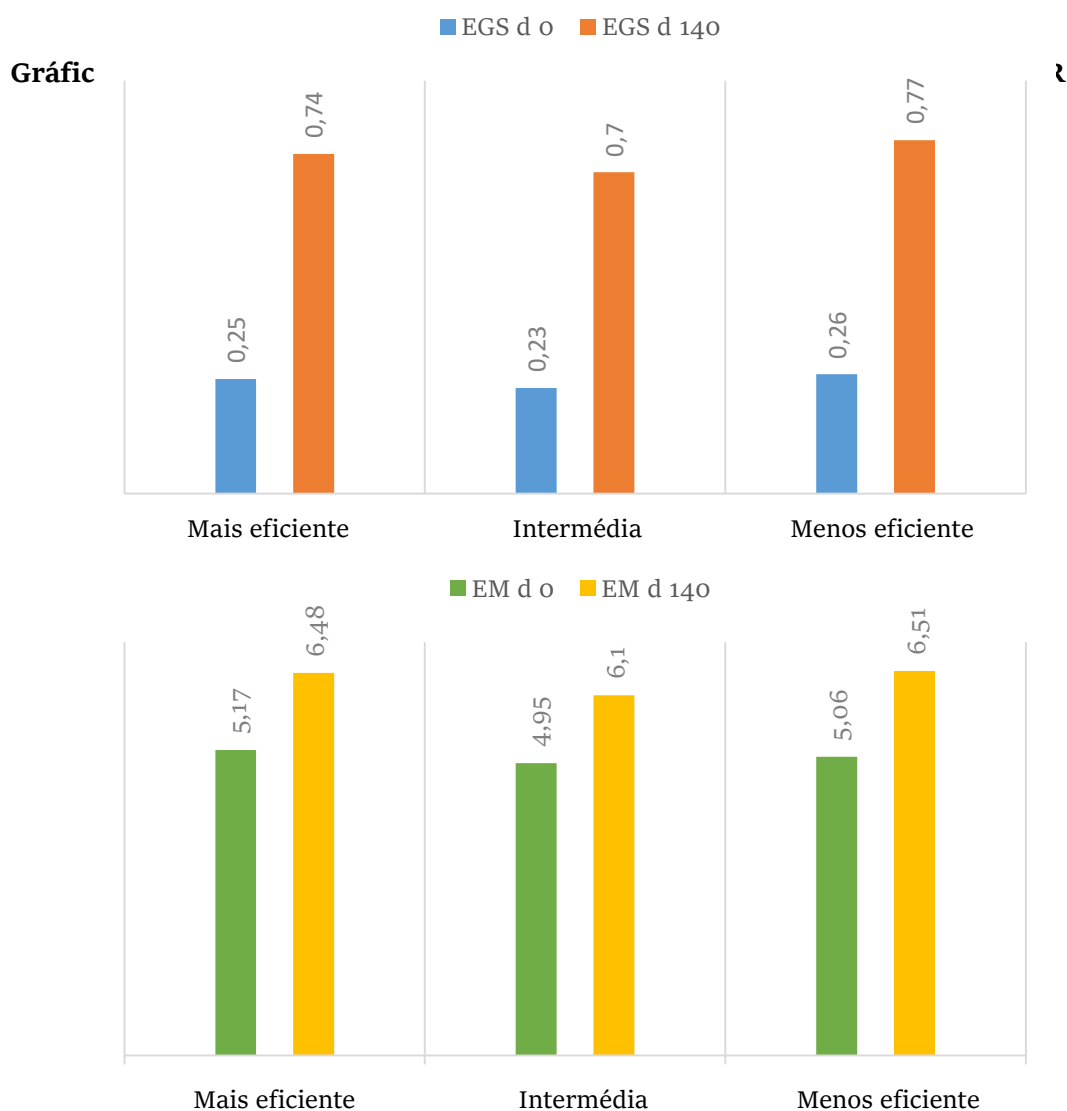
Em relação à EM os animais mais eficientes apresentaram, em média, um aumento de 1,31 cm e os menos eficientes apresentaram um aumento de 1,46cm, enquanto os intermédios apresentaram uma diferença de 0,15cm para os mais eficientes e de 0,31 para os menos eficientes, esta diferença também não foi significativa entre as 3 classes ($P > 0,05$).

Os animais da classe intermédia apresentaram um aumento de 213%, cerca de mais 12% de EGS em relação aos animais das outras classes. Já em relação à

EM os animais da classe menos eficiente tiveram um aumento de 29%, cerca de mais 4% em relação às outras classes.

Podemos concluir que os animais menos eficientes depõem em média mais gordura e tem maior quantidade de músculo quando comparados com os animais mais eficientes e intermédios (Gráfico 4), embora a diferença entre eles não seja significativa ($P>0,05$).

Gráfico 5 - Aumento de EGS e EM do dia 0 ao dia 140 para as 3 classes de CAR



Cruz *et al.* (2010), Castro Bulle *et al.* (2007) e Sainz *et al.* (2006) também não observaram diferenças nas características de carcaça, ao compararem animais de baixo e alto CAR. No entanto Castro Bulle *et al.* (2007) relataram que

novilhos de baixo CAR tenderam a ganhar menos gordura do que os novilhos de alto CAR (494 vs 719 g/dia). Lancaster *et al.* (2009) noutro estudo concluíram que animais de baixo CAR ganharam menos EGS e possuíam menor AOL que os animais de alto CAR (18,99 cm² contra 22,04 cm², respetivamente).

Os diversos estudos consultados utilizando o *Bos taurus* apontam para uma relação positiva entre gordura corporal e o CAR, indicando que animais mais eficientes apresentam menor deposição de gordura e maior de proteína. Porém, na sua maioria, esta associação tem sido reduzida, levando alguns autores a sugerir que a seleção para o CAR não conduz a perdas em termos de qualidade na carcaça. Nkrumah *et al.* (2007) concluiu que há apenas uma ligeira tendência para um menor teor de gordura e menor AOL em animais de baixo CAR.

Diversos autores indicam que a discrepância entre os resultados de vários estudos entre o CAR e as características de carcaça pode ser explicada pelas diferenças na maturidade fisiológica dos animais. No nosso estudo verificamos que os animais das diferentes classes não apresentam diferenças significativas ($P > 0,05$) em relação à idade final de teste, com diferença de ± 4 dias.

Estes resultados mostram que a classificação de novilhos Mertolengos em grupos de eficiência alimentar baseados no CAR durante a fase de crescimento permite identificar e selecionar animais eficientes (CAR baixo), sem ocasionar alterações nas características de carcaça dos mesmos, garantido a qualidade do produto final.

5. CONCLUSÃO

A presente dissertação foi desenvolvida com o objetivo principal de avaliar a eficiência alimentar de novilhos de raça Mertolenga através da utilização do CAR.

Destaca-se a importância da recolha periódica de amostras de alimento e de sobras ao longo do teste, de forma a ser possível o cálculo do CMS de cada animal da forma mais correta possível. Ao terem sido verificadas alterações significativas em termos de MS do alimento ao longo do teste, a recolha frequente destas amostras permite-nos a obter dados de MS do alimento precisos, evitando erros no cálculo do CMS dos animais e, deste modo, desvios no cálculo do CAR.

Ao calcular o CAR para cada animal comprova-se, tal como a bibliografia indica, que o CAR é independente do peso vivo e do ganho médio diário. Assim é possível, recorrendo ao CAR, identificar animais mais eficientes (CAR negativo) por apresentarem menores consumos de matéria seca e ganhos médios diários similares. No teste realizado foram identificados animais menos eficientes, com um consumo superior aos mais eficientes de 2 kg/dia para um mesmo ganho médio diário.

Os animais classificados como mais eficientes em termos do CAR apresentaram menor consumo de alimento, mas mantiveram o mesmo ganho médio diário dos classificados como menos eficientes. Uma melhor conversão alimentar também foi verificada nos animais mais eficientes em relação aos classificados como intermédios e menos eficientes.

Em adição, foi testada a utilização de ultrassonografia nos animais de modo a avaliar a sua composição corporal. Confirma-se, deste modo, a viabilidade desta técnica na medição da gordura subcutânea e do músculo.

Ao serem analisadas as diferentes classes do CAR em relação às características de carcaça, foi possível verificar que não existe correlação significativa entre o CAR e estas características. Verificou-se ainda assim que os animais menos eficientes obtiveram uma deposição de gordura superior as

animais das outras classes. Foi curioso verificar que os animais com menor deposição pertenciam à classe intermédia, tendo em conta que se esperavam maiores diferenças entre os mais e menos eficientes. Em termos de músculo foi verificada exatamente a mesma situação, isto é, uma maior deposição nos animais menos eficientes e menor deposição nos intermédios.

Podemos então concluir que o CAR é um índice de eficiência alimentar eficaz, que deve ser inserido nos programas de melhoramento das raças de bovinos. Para além de conduzir a uma redução no consumo de alimento com os mesmos ganhos médios diários, é possível também que seja uma solução para a redução do impacto ambiental, já que estes animais tornam-se mais eficientes a todos níveis. Podemos verificar ainda que os impactos a nível da carcaça não são significativos logo não teremos perdas da qualidade da carcaça.

Os resultados mostram que a classificação de novilhos Mertolengos em relação à eficiência alimentar baseada no CAR durante a fase de crescimento permite identificar e selecionar animais mais eficientes (CAR baixo), com consumos de matéria seca menores, sem ocasionar alterações tanto em termos de ganhos médios diários como nas características de carcaça dos mesmos.

Com avanço da tecnologia na área da genómica e a descoberta de marcadores moleculares associados às características de eficiência alimentar, espera-se brevemente poder melhorar e facilitar a seleção genética dos animais, tornando-a mais rigorosa e rápida, de forma a que seja notória a evolução genética dos rebanhos bovinos na utilização de alimentos.

6. BIBLIOGRAFIA

ACBM (Associação de Criadores de Bovinos Mertolengos) (2012). Catálogo de Touros 2012 (Edição Comemorativa).

ACBM (Associação de Criadores de Bovinos Mertolengos) (2020). Acedido em 20 de Janeiro de 2020, de <http://www.mertolenga.com/>

Adamich, D. G. (2018). *Correlações genéticas e fenotípicas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassom no desmame em animais da raça Brangus*. (Trabalho de graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Almeida, R., Lanna, D. P. D., e Leme, P. R. (2004). Consumo alimentar residual: um novo parâmetro para avaliar a eficiência alimentar de bovinos de corte. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 41, 03-14.

Almeida, R. D. (2005). *Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento*. (Tese de doutoramento). Universidade de São Paulo.

Archer, J. A., Richardson, E. C., Herd, R. M., e Arthur, P. F. (1999). Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(2), 147-162.

Archer, J. A., Herd, R. M., e Arthur, P. F. (2001). Feed efficiency in beef cattle. In *Feed efficiency workshop* (pp. 1-107).

Archer, J. A., Reverter, A., Herd, R. M., Johnston, D. J., e Arthur, P. F. (2002). Genetic variation in feed intake and efficiency of mature beef cows and relationships with postweaning measurements. *Proceedings of the 7th world congress on genetics applied to livestock production*, Vol. 31, 221-224.

Arthur, P. F., Renand, G., e Krauss, D. (2001). Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. *Livestock Production Science*, 68 (2-3), 131-139.

Arthur, P. F., Herd, R. M., Wilkins, J. F., e Archer, J. A. (2005). Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45(8), 985-993.

Arthur, J. P., e Herd, R. M. (2008). Residual feed intake in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37 (SPE), 269-279.

Arthur, P. F., e Herd, R. M. (2012). Genetic improvement of feed efficiency. *Feed efficiency in the beef industry*, 93-103.

Barendse, W., Reverter, A., Bunch, R. J., Harrison, B. E., Barris, W., & Thomas, M. B. (2007). A validated whole-genome association study of efficient food conversion in cattle. *Genetics*, 176(3), 1893-1905.

Basarab, J. A., Price, M. A., Aalhus, J. L., Okine, E. K., Snelling, W. M., e Lyle, K. L. (2003). Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(2), 189-204.

Brosh, A. (2007). Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. *Journal of animal science*, 85(5), 1213-1227.

Carolino, N., Sánchez Guerrero, M., Vicente, A., Neto, R., Carolino, M., Santos Silva, M. (2017). A genética ao serviço da produção animal. *Comunicações da Jornada de Transferência do Conhecimento Científico e Tecnológico*.

Carstens, G. E., Theis, C. M., White, M. B., Welsh Jr, T. H., Warrington, B. G., Miller, R. K., ... e Lunt, D. K. (2002). Relationships between net feed intake and ultrasound measures of carcass composition in growing beef steers. *Beef Cattle Research in Texas*, 2, 31-34.

Castro Bulle, F. C. P., Paulino, P. V., Sanches, A. C., e Sainz, R. D. (2007). Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *Journal of Animal Science*, 85(4), 928-936.

Channon, A. F., Rowe, J. B., e Herd, R. M. (2004). Genetic variation in starch digestion in feedlot cattle and its association with residual feed intake. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 469-474.

Chen, L., Mao, F., Crews Jr, D. H., Vinsky, M., e Li, C. (2014). Phenotypic and genetic relationships of feeding behavior with feed intake, growth performance, feed efficiency, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. *Journal of Animal Science*, 92(3), 974-983.

Chizzotti, M. L., Paulino, P. V. R., Machado, M., e Ribeiro, S. (2011). Consumo alimentar residual e seu impacto sobre a qualidade da carne bovina. *I SIMBOV - I Simpósio Matogrossense de bovinocultura de corte*.

Cruz, G. D., Rodríguez-Sánchez, J. A., Oltjen, J. W., e Sainz, R. D. (2010). Performance, residual feed intake, digestibility, carcass traits, and profitability of Angus-Hereford steers housed in individual or group pens. *Journal of Animal Science*, 88(1), 324-329.

da Silva, M. J. F. B., Lins, L. F., de Oliveira Lins, N. B., de Siqueira, M. G. F. M., de Moura, A. P. B. L., de Carvalho Neto, P. M., ... e Júnior, W. M. D. (2018). Avaliação de carcaça bovina: uma revisão sobre o uso do ultrassom. *Medicina Veterinária (UFRPE)*, 11(4), 279-284.

de Medeiros, S. R., Gomes, R. D. C., do Nascimento, M. L., Albertini, T. Z., dos Souza, A. R. D. L., Paulino, P., e Lanna, D. (2013). Eficiência nutricional: chave para a produção sustentável de carne bovina. *Embrapa Gado de Corte- Capítulo em livro científico (ALICE)*.

Del Claro, A. C., Mercadante, M. E. Z., e Silva, J. A. I. (2012). Meta-análise de parâmetros genéticos relacionados ao consumo alimentar residual e a suas características componentes em bovinos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(2), 302-310.

Durunna, O. N., Plastow, G., Mujibi, F. D. N., Grant, J., Mah, J., Basarab, J. A., ... e Wang, Z. (2011). Genetic parameters and genotype × environment

interaction for feed efficiency traits in steers fed grower and finisher diets. *Journal of animal science*, 89(11), 3394-3400.

Queiroz, S.A., Dibiasi, N.F.; Tholon, P.; e Barrozo, D.; (2010). Estimativas de correlações genéticas entre características de carcaça medidas por ultrassonografia e por escores visuais em touros Brangus. *Ars Veterinaria*, 26(1), 032-037.

Falconer, D. S. (1987). Introdução à genética quantitativa (pp. 279).

Ferreira, A. M. S. (2019). Consumo observado e predito pelos sistemas nutricionais em bovinos de corte confinados.

Ferrell, C. L., e Jenkins, T. G. (1985). Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, 61(3), 725-741.

Gama, L. T., Matos, C. P., e Carolino, N. (2004). Modelos mistos em melhoramento animal. *Arquivos Veterinários*, 7.

Gomes, R. D. C. (2009). *Metabolismo protéico, composição corporal, características de carcaça e qualidade de carne de novilhos Nelore (Bos indicus) em função de seu consumo alimentar residual* (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo.

Gomes, R. C., Sainz, R. D., Silva, S. L., César, M. C., Bonin, M. N., e Leme, P. R. (2012). Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nelore steers with low and high residual feed intake. *Livestock Science*, 150(1-3), 265-273.

Gomes, R. D. C., Sainz, R. D., e Leme, P. R. (2013). Protein metabolism, feed energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in Nelore steers with high and low residual feed intake. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(1), 44-50.

Greiner, S. P., Rouse, G. H., Wilson, D. E., Cundiff, L. V., e Wheeler, T. L. (2003). The relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81(3), 676-682.

Grion, A. L., Mercadante, M. E. Z., Cyrillo, J. N. S. G., Bonilha, S. F. M., Magnani, E., e Branco, R. H. (2014). Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nelore cattle. *Journal of Animal Science*, 92(3), 955-965.

Guimarães, T. P. (2013). *Consumo alimentar residual de touros da raça Nelore em sistema de confinamento*. (Tese de mestrado). Universidade Federal de Goiás.

Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M., e McCorkell, B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of animal science*, 85(6), 1479-1486.

Hendriks, J., Scholtz, M. M., e Naser, F. W. C. (2013). Possible reasons for differences in residual feed intake: An overview. *South African Journal of Animal Science*, 43(5), 107-110.

Herd, R. M., Hegarty, R. S., Dicker, R. W., Archer, J. A., e Arthur, P. F. (2002). Selection for residual feed intake improves feed conversion in steers on pasture. *Animal Production in Australia*, 24, 85-88.

Herd, R. M., Archer, J. A., e Arthur, P. F. (2003). Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. *Journal of animal science*, 81(13_suppl_1), E9-E17.

Herd, R. M., Oddy, V. H., e Richardson, E. C. (2004). Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 423-430.

Herd, R. M., e Arthur, P. F. (2009). Physiological basis for residual feed intake. *Journal of animal science*, 87(suppl_14), E64-E71.

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... e Dubash, N. K. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). Ipc.

Jensen, J., Mao, I. L., Andersen, B. B., e Madsen, P. (1992). Phenotypic and genetic relationships between residual energy intake and growth, feed intake, and carcass traits of young bulls. *Journal of animal science*, 70(2), 386-395.

Jones, F. M., Phillips, F. A., Naylor, T., e Mercer, N. B. (2011). Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 302-307.

Kelly, A. K., McGee, M., Crews Jr, D. H., Fahey, A. G., Wylie, A. R., e Kenny, D. A. (2010). Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *Journal of animal science*, 88(1), 109-123.

Knott, L., Tarlton, J. F., Craft, H., e Webster, A. J. F. (2007). Effects of housing, parturition and diet change on the biochemistry and biomechanics of the support structures of the hoof of dairy heifers. *The Veterinary Journal*, 174(2), 277-287.

Koch, R. M., Swiger, L. A., Chambers, D., e Gregory, K. E. (1963). Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of animal science*, 22(2), 486-494.

Lacerda, A. L. M. C. P. (2016). *Efeito do genótipo da linha materna na margem bruta da exploração de bovinos aleitantes em cruzamento industrial*. (Tese de doutoramento) Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Veterinária e Instituto Superior de Agronomia.

Lancaster, P. A., Carstens, G. E., Crews Jr, D. H., Welsh Jr, T. H., Forbes, T. D. A., Forrest, D. W., ... e Rouquette, F. M. (2009). Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass traits in Brangus heifers. *Journal of animal science*, 87(12), 3887-3896.

Lefaucheur, L., Lebret, B., Ecolan, P., Louveau, I., Damon, M., Prunier, A., ... e Gilbert, H. (2011). Muscle characteristics and meat quality traits are affected by divergent selection on residual feed intake in pigs. *Journal of animal science*, 89(4), 996-1010.

Leme, P. R., e Gomes, R. C. (2007). Características de carcaça de novilhos Nelore com diferente consumo alimentar residual. *Reunión asociación latinoamericana de producción animal*, 20, 453.

Lima, N. L. L., Pereira, I. G., e Ribeiro, J. S. (2013). Consumo alimentar residual como critério de seleção para eficiência alimentar. *Acta Veterinária Brasília*, 7(4), 255-260.

Lino, D. A. (2006). *Estimação de componentes de (co) variância e de tendências genéticas em populações simuladas*. (Tese de mestrado). Universidade Estadual de Maringá.

Lucila Sobrinho, T., Branco, R. H., Bonilha, S. F. M., Castilhos, A. M., Figueiredo, L. A., Razook, A. G., e Mercadante, M. E. Z. (2011). Residual feed intake and relationships with performance of Nelore cattle selected for post weaning weight. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(4), 929-937.

Mao, F., Chen, L., Vinsky, M., Okine, E., Wang, Z., Basarab, J., ... e Li, C. (2013). Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. *Journal of Animal Science*, 91(5), 2067-2076.

McDonagh, M. B., Herd, R. M., Richardson, E. C., Oddy, V. H., Archer, J. A., e Arthur, P. F. (2001). 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*, 41(7), 1013-1021.

Mendes, E. D. M., e Campos, M. M. (2016). Eficiência alimentar em bovino de corte. *Embrapa Pantanal-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

Moore, S. S., Mujibi, F. D., e Sherman, E. L. (2009). Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. *Journal of animal science*, 87(suppl_14), E41-E47.

Moraes, G. F. D. (2016). *Estudo genético do consumo alimentar residual e características produtivas e reprodutivas em um rebanho nelore*. (Tese de mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Nascimento, M. L. D. (2011). *Eficiência alimentar e suas associações com o lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore*. (Tese de doutoramento). Universidade de São Paulo.

National Research Council (NRC). (2000). *Nutrient requirements of beef cattle: update 2000*. National Academies Press.

Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., Schmid, K., Li, C., Basarab, J. A., ... e Moore, S. S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of animal science*, 84(1), 145-153.

Nkrumah, J. D., Crews Jr, D. H., Basarab, J. A., Price, M. A., Okine, E. K., Wang, Z., ... e Moore, S. S. (2007). Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 85(10), 2382-2390.

Mombach, M. A., Pedreira, B., Pereira, D. H., Cabral, L. D. S., & Rodrigues, R. (2016). Emissão de metano entérico por bovinos: o que sabemos e que podemos fazer?. In *Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Simpósio de pecuária integrada, 2., 2016, Sinop. Recuperação de pastagens: anais. Cuiabá: Fundação Uniselva, 2016. p. 181-202..

Oddy, V. H., e Herd, R. M. (2001). Potential mechanisms for variation in efficiency of feed utilization in ruminants. In *Feed Efficiency Workshop* (pp. 30-34). Univ. New England, Australia

Okine, E. K., Basarab, J. A., Goonewardene, L. A., Mir, P., Mir, Z., Price, M. A., ... e Moore, S. S. (2003). Residual feed intake—What is it and how does it differ from traditional concepts of feed utilization. In *Conference proceedings of Can. Soc. Anim. Sci. Annual meeting June* (pp. 10-13).

Okine, E. K., Basarab, J. A., Goonewardene, L. A., e Mir, P. (2004). Residual feed intake and feed efficiency: Differences and implications. In *Florida Ruminant Nutrition Symposium* (pp. 27-38). University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences.

Oliveira, I. D. S. (2017). *Consumo alimentar residual como medida de eficiência*. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Pereira, A. (2004). *Adaptação ao ambiente geofísico e mediterrânico de bovinos nativos e exóticos - Tolerância ao calor*. (Tese de Doutorado em Ciências Agrárias.) Universidade de Évora, Évora. pp.171

Pereira. (2014). *Melhoramento Genético aplicado à produção animal* (4º ed.). Belo Horizonte: FEPMVZ Editora.

Perkins, T., Meadows, A., e Hays, B. (1996). *Study Guide for the Ultrasonic Evaluation of Beef Cattle for Carcass Merit*. Ultrasound Guidelines Council Study Guide Sub-Committee.

Prado, C. S., Pádua, J. T., Corrêa, M. P. C., Ferraz, J. B. S., e de Resende, L. S. (2004). Comparação de diferentes métodos de avaliação da área de olho de lombo e cobertura de gordura em bovinos de corte. *Ciência Animal Brasileira*, 5(3), 141-148.

Reis, S.F. (2009). *Características de crescimento e qualidade de carne de novilhas de corte de diferentes classes de consumo alimentar residual*. (Tese de mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Richardson, E. C., e Herd, R. M.; Oddy, V.H. (2001). 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*, v.41, p.1065-1072.

Richardson, E. C., e Herd, R. M. (2004a). Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 431-440.

Richardson, E. C., Herd, R. M., Archer, J. A., e Arthur, P. F. (2004b). Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 441-452.

Roquete, C. (1993) Aplicação do modelo animal na caracterização genética das populações Frísia e Mertolenga no Alentejo. Tese de Doutoramento em Ciências Agrárias. Universidade de Évora, Évora. 499 pp.

Roquete, C. (2004). Sistemas de produção extensiva de bovinos. Tradição e inovação. *Revista Portuguesa de Zootecnia*, Ano XI(2), 69-87.

Sainz, R. D., Cruz, G. D., Monteiro, R. B., Rodriguez, J. A., Monteiro, D. B., Guidi, V., e Anaruma, R. J. (2006, June). Carcass composition and visceral organs are similar at harvest in low-and high-residual feed intake groups of Angus-Hereford steers. In *Proceedings-american society of animal science western section*. Vol. 57, p. 401).

Santana, M. H. (2009). *Relação do consumo alimentar residual e conversão alimentar com características de carcaça, perfil metabólico e sanguíneo de touros da raça Nelore*. (Tese de Doutoramento (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Santana, M. H. D. A. (2013). *Estudo genético e genômico da ingestão e eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore (Bos indicus)*. (Tese de dissertação). Universidade de São Paulo.

Santana, M. H., da Costa Gomes, R., Ferraz, J. B. S., e Junior, P. R. (2014). Medidas de eficiência alimentar para avaliação de bovinos de corte. *Scientia Agraria Paranaensis*, 13(2), 95-107.

Sherman, E. L., Nkrumah, J. D., Murdoch, B. M., Li, C., Wang, Z., Fu, A., & Moore, S. S. (2008). 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*, 86(1), 1-16.

Sherman, E. L., Nkrumah, J. D., Li, C., Bartusiak, R., Murdoch, B., e Moore, S. S. (2009). Fine mapping quantitative trait loci for feed intake and feed efficiency in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 87(1), 37-45.

Sherman, E. L., Nkrumah, J. D., e Moore, S. S. (2010). Whole genome single nucleotide polymorphism associations with feed intake and feed efficiency in beef cattle. *Journal of animal science*, 88(1), 16-22.

SPREGA. (2020). *Bovinos-Raça Mertolenga*. Acedido em 10 de Janeiro de 2020, de www.sprega.com.pt/conteudo.php?idesp=bovinoseidraca=Mertolenga

Suguisawa, L. (2002). *Ultra-sonografia para predição das características e composição da carcaça de bovinos*. (Tese de doutoramento). Universidade de São Paulo.

Tamioso P. R. (2003). *Herdabilidade e sua importância na seleção de ovinos de corte*. (Trabalho de graduação). Universidade Federal do Paraná.

Tubiello, F. N., Salvatore, M., Córdor Golec, R. D., Ferrara, A., Rossi, S., Biancalani, R., ... e Flammini, A. (2014). Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks. *Statistics Division, Food and Agriculture*. Rome.

Wang, Z., Nkrumah, J. D., Li, C., Basarab, J. A., Goonewardene, L. A., Okine, E. K., ... e Moore, S. S. (2006). Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2289-2298.

Yokoo, M. J. I., Werneck, J. N., Pereira, M. C., Albuquerque, L. G. D., Koury Filho, W., Sainz, R. D., ... e Araujo, F. R. D. C. (2009). Correlações genéticas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassom em bovinos de corte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(2), 197-202.

Yokoo, M., Magnabosco, C. D. U., Gonzalez, R., de Faria, C. U., Araujo, F. D. C., Rosa, G., ... e de Albuquerque, L. G. (2011). Avaliação genética de características de carcaça utilizando a técnica do ultrassom em bovinos de corte. *Embrapa Pecuária Sul-Documentos (INFOTECA-E)*.