



JOSÉ RODOLFO REIS DE CARVALHO

**DESEMPENHO E APROVEITAMENTO PÓS-
RUMINAL DO AMIDO EM TOURINHOS
NELORE E ANGUS ALIMENTADOS COM
DIETA COM GRÃO DE MILHO INTEIRO E
SEM VOLUMOSO**

LAVRAS - MG

2015

JOSÉ RODOLFO REIS DE CARVALHO

**DESEMPENHO E APROVEITAMENTO PÓS-RUMINAL DO AMIDO
EM TOURINHOS NELORE E ANGUS ALIMENTADOS COM DIETA
COM GRÃO DE MILHO INTEIRO E SEM VOLUMOSO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Márcio Machado Ladeira

Coorientadores

Dr. Jon Schoonmaker

Dr. Mário Luiz Chizzotti

Dr. Márcio de Souza Duarte

Dr. Sebastião de Campos Valadares Filho

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Reis de Carvalho, José Rodolfo .

Desempenho e aproveitamento pós-ruminal do amido em
tourinhos Nelore e Angus alimentados com dietas com grãos de
milho inteiro e sem volumoso / José Rodolfo Reis de Carvalho. –
Lavras : UFLA, 2015.

125 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Márcio Machado Ladeira.

Bibliografia.

1. Amido. 2. Bos Taurus. 3. Bos Indicus. 4. Confinamento. 5.
Desempenho. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

*Aos meus pais, **JOSÉ CARVALHO E MARIA JANE**, meus irmãos **JANAÍNA**
E JULIO CÉSAR.*

*A meus avôs e avós dos quais me orgulho muito
Enfim, a todos que torcem por mim.*

DEDICO!

*Dedico de forma mais que especial este meu trabalho às minhas afilhadas
ALÍCIA e SOPHIA, que desde o dia 24 de julho de 2012 faz dos meus dias os
melhores...*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo que tem me concedido até hoje, sou e serei sempre grato.

Ao meu pai José Carvalho, e minha mãe Maria Jane, pelo apoio incondicional e que sem eles nada disso estaria acontecendo.

Aos meus irmãos Janaína e Júlio César, pelo carinho e apoio até hoje.

Ao cunhado Daniel, pela amizade e convivência.

Às minhas afilhadas Alícia e Sophia, as quais eu amo muito.

Aos meus avôs maternos (Vô Adão e Vó Nenete) e paternos (*in memoriam*) (Vô Zé e Vó Teca), com os quais eu aprendi e aprendo muito.

Ao Prof. Dr. Márcio Machado Ladeira, pela orientação, amizade, confiança e ensinamentos repassados em todos esses anos de graduação, mestrado e doutorado.

Ao Prof. Dr. Mário Luiz Chizzotti, pela ajuda durante o projeto de campo e também pela amizade ao longo destes anos.

Ao Prof. Dr. Sebastião de Campos Valadares Filho, pela participação direta na minha defesa e transferência de conhecimento.

Ao Prof. Dr. Márcio de Souza Duarte, pela participação direta na minha defesa e transferência de conhecimento.

Ao Prof. Dr. Jon Schoonmaker, pelos conhecimentos a mim repassados durante minha estada nos EUA, e pelas ajudas em todos os momentos que precisei.

A TODOS os moradores da República Perna de Peixe, desde sua fundação em 2006, em nome do Gustavo (Gutão) e Marcelo Macedo (Maninho).

À Dona. Nita, por todos esses anos tomando conta de todos que passaram pela Rep. Perna de Peixe.

Aos colegas da pós-graduação: Priscilla, pela amizade e auxílio nos estudos e análises desde o mestrado e ao Júlio também pela amizade e auxílio em análises de laboratório na fase final deste trabalho apesar de pouco tempo de convívio.

Aos demais colegas de pós-graduação: Dalton, Cristhiane, Viviane, Adrian, Silas, Liziana e Tathyane que também não mediram esforços quando precisei.

Às bolsistas, Tamara, Luana, Andressa e Aline, pelas horas de trabalho na execução deste projeto e a todos os amigos do setor de Bovinocultura de Corte que trabalharam neste projeto de alguma forma.

Ao Núcleo de Estudo em Pecuária de Corte (NEPEC), por estes quase 10 anos de acolhida e amizade, não citarei nomes, pois são muitos os amigos que aqui tive a oportunidade de conhecer...

Ao Presunto (Rodrigo Cístolo Lopes) e Daniel Antonello, pelo tempo que moramos juntos nos EUA, momentos excelentes.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia em nome do Márcio do Laboratório.

Aos funcionários de campo do Departamento de Zootecnia em especial ao Borginho, Leandro, Bambuzinho, José Antônio e ao Ernani.

Aos laboratoristas do Departamento de Zootecnia Márcio, Eliane e José Virgílio.

A todos os meus amigos de São Tiago – MG em especial ao João Henrique Viegas (Joãozinho), pela ajuda no final do experimento e nos abates.

Aos meus amigos, muito amigos, Godoy (Odair) e Zoinho (Ítalo).

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, pela utilização do frigorífico experimental.

À Nutron Alimentos pelo apoio financeiro em parte do projeto.

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo financiamento do projeto que gerou esta dissertação e à CAPES pela Bolsa de Estudo.

Aos demais amigos e amigas da graduação e pós-graduação em Zootecnia nestes 10 anos de Zootecnia-UFLA “Turma 2005/2”.

E por fim, agradecer ao Glorioso Clube Atlético Mineiro, em nome do saudoso Presidente Alexandre Kalil, pelo título da Copa Bridgestone Libertadores da América de 2013.

Enfim,

“Não há nada de nobre em sermos superiores ao próximo. A verdadeira nobreza consiste em sermos superiores ao que éramos antes.”

*"Não eduque seu filho para ser rico, eduque-o para ser feliz.
Assim ele saberá o VALOR das coisas e não o seu PREÇO."*
(Max Gehringer)

BIOGRAFIA

JOSÉ RODOLFO REIS DE CARVALHO, filho de José Carvalho de Andrade e Maria Jane Reis Carvalho Andrade, nasceu em São Tiago, Minas Gerais, em 15 de janeiro de 1986. Iniciou o curso de Zootecnia na Universidade Federal de Lavras em agosto de 2005, concluindo-o em janeiro de 2010. Durante a graduação iniciou suas atividades de pesquisa como bolsista de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) em parceria com a Empresa de Pesquisas Agropecuárias do Estado de Minas Gerais (EPAMIG) e posteriormente do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq). No ato de sua colação de grau, foi homenageado por ter se destacado entre os formandos durante a sua graduação, recebendo honrarias da Universidade Federal de Lavras, com coeficiente de rendimento final igual a 95%, do Conselho Regional de Medicina Veterinária e Zootecnia do estado de Minas Gerais e da Empresa FATEC - Nutrição Animal Ltda. Em março de 2010, iniciou o curso de pós-graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), em nível de mestrado, na área de produção e nutrição de ruminantes, submetendo-se à defesa em outubro de 2011. Neste mesmo ano foi selecionado para a mudança de nível interna, tendo feito então sua admissão no curso de pós-graduação, em nível de doutorado pela Universidade Federal de Lavras, em agosto de 2011. No ano de 2014 foi selecionado para o programa PDSE - CAPES pelo qual passou todo o ano de 2014, desenvolvendo projetos sob orientação do Professor Ph.D Jon P. Schoonmaker na Purdue University, no estado de Indiana, Estados Unidos da América, complementando assim seu Doutorado com o Estágio Sanduíche no Exterior.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho e o aproveitamento pós-ruminal do amido em tourinhos Nelore e Angus recebendo dieta com grãos de milho inteiro sem volumoso ou uma dieta contendo silagem de milho mais concentrado. Trinta e seis tourinhos (18 Nelore e 18 Angus) com idade inicial média de 20 meses e peso vivo inicial de 381 ± 11.8 kg foram utilizados neste estudo. O estudo foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial 2 x 2 (duas raças e duas dietas). A dieta com silagem de milho continha 30% de volumoso e 70% de concentrado à base de milho e farelo de soja. A dieta com grãos de milho inteiro continha 85% de grãos de milho inteiro e 15% de suplemento à base de farelo de soja e mineral. O abate comparativo de oito animais foi realizado ao início do experimento para a determinação do ganho em carcaça. Os animais foram pesados ao início e ao final do período experimental para obtenção do ganho médio diário (GMD). O ensaio de digestibilidade ocorreu durante o 48º e 50º dia do período experimental, usando coleta total de fezes. O pH ruminal foi mensurado usando um bólus intraruminal ao final do experimento. Após o abate, o peso de carcaça quente (PCQ) foi determinado e mensurações de área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS) foram realizadas. Amostras foram retiradas do pâncreas para analisar a atividade da α -amilase pancreática; duodeno e jejuno para atividade da maltase e do fígado para analisar expressão do gene *PCK1*. Não foi observado interação entre dieta e raça para as características de desempenho e pH ruminal ($P > 0,05$). Maior consumo de matéria seca (CMS) ($P < 0,01$), GMD ($P < 0,01$) e eficiência alimentar ($P < 0,01$) foram observados nos animais da raça Angus comparado aos animais Nelore. O fornecimento da dieta com grãos de milho inteiro sem volumoso resultou em menor pH ruminal médio ($P = 0,04$) e tendeu a reduzir o GMD dos animais ($P = 0,08$), bem como o CMS ($P < 0,01$), o que resultou em animais com maior eficiência alimentar ($P = 0,01$). A dieta com grãos de milho inteiro teve maior digestibilidade para a MS, FDN e amido ($P < 0,01$). Animais Angus tiveram maior digestibilidade do amido ($P = 0,03$). No entanto, a atividade da α -amilase foi maior nos animais Nelore ($P < 0,01$) e não tendo efeito da dieta ($P = 0,52$). No duodeno, a atividade da maltase foi maior nos animais alimentados com silagem de milho mais concentrado ($P = 0,02$). A utilização de dietas com grãos de milho inteiro é indicada para a terminação de bovinos de corte em confinamento, uma vez que promove maior eficiência alimentar. Animais Nelore têm baixa capacidade para digerir amido. No entanto, eles não apresentaram menor atividade da α -amilase e maltase comparados aos Angus. A digestibilidade da MS e do amido foi maior quando os animais receberam a dieta com grãos de milho inteiro sem volumoso.

Palavras-chave: Amido, *Bos Taurus*, *Bos Indicus*, Confinamento, Desempenho.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance and the post-ruminal starch utilization of Nellore and Angus young bulls fed a diet containing whole shelled corn without forage or a diet containing corn silage more concentrate. Thirty-six young bulls (18 Nellore and 18 Angus) with an average initial age of 20 months and initial live weight of 381 ± 11.8 kg were used for this study. The study was performed in a completely randomized design, with a factorial arrangement of 2×2 (two breeds and two diets). The diet with corn silage contained 30% forage and 70% corn and a soybean meal-based concentrate. The diet with the whole shelled corn contained 85% whole shelled corn and 15% soybean meal and a mineral-based premix. The comparative slaughter of eight animals was conducted at the beginning of the experimental period for the determination of carcass gain. The animals were weighed at the beginning and end of the trial period in order to obtain the average daily gain (ADG). The digestibility determination occurred during the days 48 and 50 of the experimental period. The ruminal pH was measured using an intra-ruminal bolus obtained at the end of the experiment. After slaughter, the hot carcass weight (HCW) was determined, and measurements were taken of the ribeye area (REA) and subcutaneous fat thickness (SFT). Samples were taken from the pancreas to analyze α -amylase pancreatic activity; duodenum and jejunum for maltase activity and liver to analyze *PCK1* gene expression. It was not observed interaction between breed and diet for the performance characteristics and Ruminal pH ($P > 0.05$). Greater dry matter intake (DMI) ($P < 0.01$), ADG ($P < 0.01$) and feed efficiency ($P < 0.01$) were observed in animals of the Angus breed compared with Nellore cattle. The feeding of the diet containing whole shelled corn resulted in a lower mean ruminal pH value ($P = 0.04$) and tended to reduce the ADG of the animals ($P = 0.08$) as well as the DMI ($P < 0.01$), which resulted in animals with greater feed efficiency ($P = 0.01$). The whole shelled corn diet had greater DM, NDF and starch digestibility ($P < 0.01$). Angus animals had greater starch digestibility ($P = 0.03$). However, the activity of α -amylase was greater in the Nelore animals ($P < 0.01$), and had no diet effect ($P = 0.52$). In the duodenum, maltase activity was greater in the animals fed corn silage and concentrate ($P = 0.02$). Feeding with whole shelled corn diets is indicated for the finishing of beef cattle in feedlots because this diet promotes greater feed efficiency. Nellore animals have low capacity to digest starch. However, they don't have less α -amylase and maltase activity, compared to Angus. Dry matter and starch digestibility increased when animals fed whole shelled corn diets without forage.

Keywords: Starch, *Bos Taurus*, *Bos Indicus*, Feedlot, Performance.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 Efeito da extensão da fermentação na flutuabilidade de partículas no RR23
- Figura 2 Modelo estático de regulação do consumo25
- Figura 3 Teoria da oxidação hepática. Linhas sólidas mostram o fluxo de carbono e as linhas tracejadas mostram fatores de estimulação ou inibição do fluxo de carbono26
- Figura 4 Estrutura da amilose e amilopectina32
- Figura 5 Hélice de amilose complexada com lipídeo.....34
- Figura 6 Milho Farináceo (1) e Milho duro (2).....36
- Figura 7 Influência da infusão abomasal de água (Control), glicose e amido sobre o suco pancreático e secreção de α -amilase em novilhos com canula pancreática47
- Figura 8 Impacto da mudança do sítio e da extensão da digestão do amido do rúmen para o intestino delgado sobre o rendimento de energia54
- Figura 9 Relação entre a entrada de amido no intestino delgado e o amido digerido (g/dia) = $\{765 \pm 161/[1 + (476 \pm 166/\text{entrada de amido})^{1,53 \pm 0,46}]\}$55

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figure 1.** Maximum (A), average (B) and minimum (C) ruminal pH in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC).....96

Figure 2. Ruminal pH, over a period of 24 hours, in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC).....	97
Figure 3. Variation in the consumption of dry matter by Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC).....	98

ARTIGO 2

Figure 1. Specific activity (U/μg of protein) of α-amylase pancreatic in Nellore (N) and Angus (A) bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)	123
Figure 2. Specific activity (U/μg of protein) of maltase in the duodenum (A) and jejunum (B) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)	124
Figure 3. Relative expression <i>PCK1</i> gene in the liver of Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC).....	125

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Table 1.** Percentage of ingredients and chemical composition of the experimental diets91
- Table 2.** Dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), average daily gain of carcass (ADGc), feed efficiency (FE), feed efficiency in carcass gain (FEc), initial body weight (IBW), final body weight (FBW), hot carcass weight (HCW), cold carcass weight (CCW), ribeye area (REA), ribeye area per 100 kg of cold carcass (REAc), subcutaneous fat thickness (SFT), weight loss due to cooling (CWL), hot carcass yield (HCY), yield of carcass gain (YCG) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)92
- Table 3.** Time (minutes/day) spent for ruminating (R) and feeding (F), time (minutes/day) at ruminal pH below 5.8 and 6.2, area under the curve for the pH of 5.8 and 6.2 in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)93
- Table 4.** Pearson correlations between variation in dry matter intake (VarDMI) with dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), average daily gain in carcass (ADGc), feed efficiency (FE) and feed efficiency in carcass (FEc) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)94

Table 5. Weight and yield of heart, liver, rumen-reticulum (RuRe), abomasum, omasum, small intestine (SI), large intestine (LI), mesenteric adipose tissue (Mes) and total gastrointestinal tract (GIT) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)95

ARTIGO 2

Table 1. Percentage of ingredients and chemical composition of the experimental diets 120

Table 2. Intake and digestibility of corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC) in Nellore and Angus young bulls 121

Table 3. Fecal starch (FS), fecal production (FP) and fecal pH (FpH) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)..... 122

LISTA DE ABREVIATURAS

CMS	CONSUMO DE MATÉRIA SECA
CMS	GANHO MÉDIO DIÁRIO
AGV	ÁCIDO GRAXO VOLÁTIL
AOL	ÁREA DE OLHO DE LOMBO
CNF	CARBOIDRATO NÃO FIBROSO
EGS	ESPESSURA DE GORDURA SUBCUTÂNEA
FDN	FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO
FDN _{fe}	FDN FISICAMENTE EFETIVO
FDN _e	FDN EFETIVO
WSC	WHOLE SHELLED CORN
CSC	CORN SILAGE CONCENTRATE
NDT	NUTRIENTE DIGESTÍVEL TOTAL
MS	MATÉRIA SECA
PCQ	PESO DE CARCAÇA QUENTE
PCF	PESO DE CARCAÇA FRIA
RCQ	RENDIMENTO DE CARCAÇA QUENTE
SMC	SILAGEM DE MILHO E CONCENTRADO
TGI	TRATOGASTROINTESTINAL

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO 18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
2.1	Consumo de matéria seca em ruminantes 21
2.2	Propriedades físicas e químicas do amido 31
2.3	Digestibilidade ruminal do amido 37
2.4	Digestibilidade pós-ruminal do amido 45
2.5	Absorção de glicose 49
	REFERÊNCIAS 56
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS 67
	ARTIGO 1 Performance and carcass characteristics of nellore and angus young bulls fed whole shelled corn diet without forage.... 67
	ARTIGO 2 Digestibility and postruminal starch digestion of nellore and angus young bulls fed with whole shelled corn without forage 99

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A pecuária de corte no Brasil tem gerado grandes divisas para o país nos últimos anos. Somente no ano de 2013, o valor bruto de produção alcançou os 51,1 bilhões, ficando atrás somente do complexo soja (BRASIL, 2014). Segundo Neves (2012), o complexo pecuária de corte gera ainda, constantemente, aproximadamente sete milhões de empregos diretos e indiretos. Em uma visão mundial do agronegócio, o Brasil é o país que apresenta maior potencial de crescimento em sua produção, muito deste potencial em função de suas características produtivas. O diferencial do país é a baixa dependência na utilização de dietas de alto concentrado, produção basicamente a pasto. Sendo assim, a utilização de dietas com maior densidade energética é uma das alternativas que suporta as expectativas de crescimento rápido que a pecuária nacional almeja.

Com o crescimento dos confinamentos no Brasil, dietas típicas de terminação utilizadas, com relação volumoso:concentrado próximo a 30:70, começaram a dar lugar a dietas com alta proporção de concentrado, e em algumas situações, sem a utilização de volumoso com grãos de milho inteiro. Diversos fatores têm conduzido para a adoção dessas dietas, como: a menor necessidade de área para plantio de forragens, a maior densidade energética e a facilidade de transporte e estocagem de grãos. Outro fator que leva a esta prática é o aumento na produção de grãos e a redução dos preços no país.

Dos nutrientes existentes na dieta de animais alimentados em confinamento, o amido é o maior componente e o que fornece a maior quantidade de energia digestível consumida pelo animal. Sendo que, a principal fonte utilizada é o grão de milho. Dessa forma, a avaliação do aproveitamento do amido pelo trato gastrointestinal (TGI), pode ser uma medida importante para

a melhoria no desempenho de bovinos confinados e da viabilidade econômica do sistema como um todo.

Por outro lado, estas dietas podem se tornar um problema, em função do rápido abaixamento do pH ruminal, podendo diminuir o consumo e desempenho dos mesmos. Segundo Turgeon et al. (2010), o fornecimento do grão de milho inteiro, sem processamento, pode ser uma alternativa para as dietas de alto concentrado, por ajudar a evitar desordens digestivas por regulação da taxa de fermentação do amido no rúmen.

Em dietas ricas em concentrado, animais *Bos taurus* consomem mais alimentos em relação às suas exigências de manutenção, do que os *Bos indicus*, e assim ganham peso mais rápido e de maneira mais eficiente (KREHBIEL; KREIKEMEIER; FERRELL, 2000). No entanto, não se sabe ao certo se esta vantagem do taurino sobre o zebuíno, quando submetidos às dietas com alto teor de concentrado, ocorre devido às diferenças no tamanho do trato gastrointestinal, tipo de microbiota ruminal e produção enzimática do pós-rúmen ou se há outras diferenças no metabolismo quanto ao aproveitamento do amido (MOORE; ESSIG; SMITHSON, 1975). Dessa forma, as comparações entre *Bos taurus* e *Bos indicus* são importantes para os confinamentos brasileiros, pois, grande parte dos animais confinados no Brasil é da raça Nelore, ou com algum grau de sangue deste.

Em trabalhos com bovinos, Swanson et al. (2002), avaliando o efeito da infusão abomasal de amido parcialmente hidrolisado e caseína sobre a expressão do mRNA, a proteína e atividade da α -amilase pancreática, observaram que, quando os animais receberam amido parcialmente hidrolisado no abomaso, estes apresentaram tendência de redução na expressão de mRNA para a α -amilase pancreática e redução na proteína α -amilase e na atividade da α -amilase pancreática. Os autores sugerem a existência de uma relação inversa entre o fluxo de amido no intestino sobre as variáveis analisadas e voltam à questão de

que possa haver regulação, pelo menos em partes, em função de eventos pós-transcrição.

Segundo Harmon (2009), a utilização da energia dietética proveniente de α -glicosídeos (amido) é potencialmente limitada pela utilização deste no trato de bovinos e, se faz necessário um melhor entendimento do aproveitamento deste no intestino delgado dos animais. Kreikemeier et al. (1991) mostram uma hipótese de que a α -amilase pancreática é a fase limitante da assimilação intestinal de amido, em função de uma falta de resposta adaptativa do pâncreas de ruminantes em dietas de alto amido.

Em trabalhos avaliando a atividade da maltase, Bauer et al. (2001b) não encontraram efeito da infusão abomasal e ruminal de amido hidrolisado sobre a atividade da maltase em função do local de infusão. Os resultados de literatura ainda são inconsistentes. Já Rodriguez et al. (2004), avaliando a infusão abomasal de glicose no abomaso, observaram maior atividade da maltase para os animais que receberam a infusão quando comparado aos animais controle.

O aproveitamento pós ruminal do amido é dependente da digestão, bem como, da absorção de carboidratos pelo epitélio ruminal. Os trabalhos ainda são inconsistentes quando se avalia os efeitos de infusões de amido sobre a expressão e atividade do SGLT1 (GUIMARÃES et al., 2007; LIAO et al., 2010; RODRIGUEZ et al., 2004), o principal carreador de glicose no intestino.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização da dieta com grãos de milho inteiro sem volumoso para animais Nelore e Angus terminados em confinamento sobre o desempenho, as características de carcaça, a digestibilidade dos nutrientes, a atividade específica da α -amilase pancreática e maltase, bem como, a expressão do mRNA da maltase e dos carreadores de glicose nas diferentes porções do intestino delgado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Consumo de matéria seca em ruminantes

Por definição, o consumo de matéria seca voluntário é tudo aquilo que foi consumido por um animal ou grupo de animais, dentro de um período determinado de tempo, período o qual os indivíduos tiveram acesso livre ao alimento, tratado como kg de MS/animal/dia, ou ainda de forma comparativa, em função de seu peso vivo (%) a peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$) podendo ser determinado a quantidade de nutrientes ingeridos pelo animal e a obtenção de estimativas da quantidade de produto animal elaborado (SOEST, 1994).

Segundo o National Research Council - NRC (2000), a estimativa do consumo de matéria seca pelos ruminantes é importante, pois permite prever a taxa de ganho dos animais, bem como, a previsão das exigências nutricionais dos mesmos. De acordo com Allen (1996), a produtividade de ruminantes depende diretamente de sua habilidade em consumir e extrair energia disponível dos alimentos, uma vez que a fermentação pré-gástrica permite a extração de muito mais energia de forragens do que seria possível com apenas as enzimas de mamíferos, convertendo ainda o nitrogênio não proteico em proteína microbiana de alto valor biológico. O termo fermentação é utilizado para definir a degradação anaeróbica da glicose ou outros substratos orgânicos para obtenção de energia ATP (LEHNINGER; NELSON; COX, 2002).

O desempenho animal é uma função direta do consumo de matéria seca digestível (MERTENS, 1994a), sendo que, a variação no consumo responde por 60 a 90% do desempenho, sendo apenas 10 a 40% devido às variações na digestibilidade do alimento. De forma geral, o consumo pode apresentar limitações, pelo próprio animal, pelo alimento e pelas condições de alimentação. A relação do consumo com o desempenho é facilmente explicado, pelo fato de, o consumo influenciar diretamente a entrada de nutrientes, principalmente, energia e proteína, necessários para o atendimento das exigências de

manutenção e produção (NOLLER; NASCIMENTO JÚNIOR; QUEIROZ, 1996).

Resumidamente, o controle da ingestão de alimentos em ruminantes está atribuído a três mecanismos básicos: o mecanismo de controle físico, relacionado à capacidade de distensão dos compartimentos estomacais rúmen-retículo e ao teor de fibra em detergente neutro (FDN) da dieta, o mecanismo fisiológico, regulação da ingestão em função da densidade energética da dieta e exigências nutricionais dos indivíduos e, por último, o mecanismo psicogênico. Pouco discutido, quando comparado aos outros, está relacionado à resposta dos animais a fatores inibitórios ou estimulantes, sejam eles, presentes no alimento ou no manejo alimentar, sem nenhuma relação com a concentração de energia dos alimentos e capacidade de repleção ruminal (MERTENS, 1994b; SNIFFEN; BEVERLY; MOONEY, 1993).

Dentre as teorias existentes que tentam explicar o consumo voluntário em ruminantes, a teoria do enchimento físico do rúmen-retículo (ALLEN, 1996; MERTENS, 1994a, 1994b) é uma das mais aceitas no cenário científico. De acordo com Allen (1996), o consumo voluntário pode ser limitado quando os ruminantes consumirem forragem, e como resultado de um baixo fluxo da digesta no trato gastrintestinal e, posteriormente, enchimento do espaço rúmen-retículo, sendo que este fluxo restrito pode causar distensão em um ou mais compartimentos do trato gastrintestinal. Lehman (1941) já havia sugerido que os resíduos de alimentos não digestíveis poderiam limitar o consumo e Soest (1965) mostrou que o consumo voluntário em ovelhas foi mais correlacionado com o FDN do alimento, do que com outras variáveis químicas.

Segundo Leek e Harding (1975), os receptores de tensão e mecanorreceptores estão concentrados no retículo e parte cranial do rúmen. Os mecanorreceptores epiteliais recebem suaves estímulos mecânicos e químicos e

os receptores de tensão são estimulados por tensão do rúmen-retículo que fornecem informações para os centros gástricos do bulbo (LEEK, 1986).

Mertens (1994b) propôs um modelo em que o efeito de enchimento da dieta é representado exclusivamente pelo peso da FDN das grandes partículas do alimento contido no rúmen-retículo, e sugeriu ainda que as partículas pequenas presentes no fluido ruminal, em função da sua baixa densidade pouco contribuem para o efeito de enchimento da dieta. No entanto, Allen (1996) afirmou que tanto o peso quanto o volume do alimento no rúmen-retículo são estimuladores dos receptores de tensão naquele órgão, e que a probabilidade de passagem do rúmen-retículo aumenta com o aumento da densidade de partículas (Figura 1). Assim, aparentemente, seria mais prudente preconizar modelos que combinem ambos os efeitos, peso e volume.

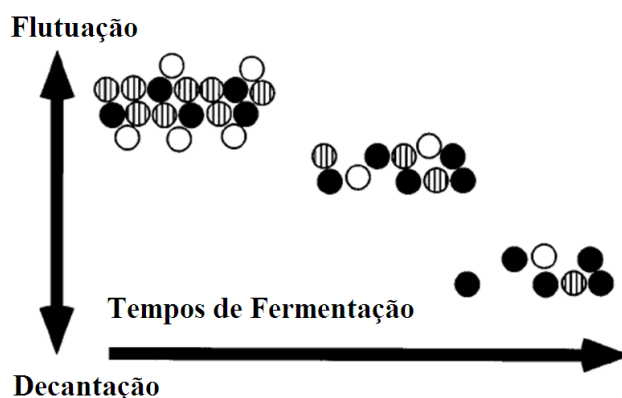


Figura 1 Efeito da extensão da fermentação na flutuabilidade de partículas no RR

Legenda: Os círculos são os produtos da fermentação: a FDN potencialmente fermentável (Círculos tracejados) é removida enriquecendo a fração FDN indigestível (Círculos pretos). As partículas de baixa densidade associadas à parte gasosa (Círculos brancos) diminuem devido ao esgotamento do substrato potencialmente fermentável.

Fonte: (ALLEN, 1996).

Os receptores presentes nas paredes do rúmen-retículo controlam constantemente o volume dos compartimentos. Neste sentido, distensão moderada do compartimento causa aumento da motilidade e da ruminação (FURLAN; MACARI; FARIA FILHO, 2006). O aumento da ruminação leva à maior produção de saliva e motilidade do TGI e, conseqüentemente, aumento da taxa de passagem do alimento pelos compartimentos subsequentes. Ainda segundo Furlan, Macari e Faria Filho (2006), a consistência do material ingerido influencia no processo, em que dietas mais fluídas, com grande inclusão de grãos, estão relacionadas à baixa tensão muscular, reduzindo assim a motilidade e o consumo. Por outro lado, os autores comentam que a ingestão de materiais mais grosseiros apresentam efeito positivo sobre a motilidade do rúmen-retículo.

Segundo Furlan, Macari e Faria Filho (2006), existem quimiorreceptores nas paredes do rúmen-retículo com o objetivo de monitorar o pH ruminal e a produção de AGV dentro dos compartimentos. Aumentos no acúmulo de AGV e, conseqüentemente, redução nos valores de pH ruminal causam efeito negativo sobre estes receptores, deprimindo a motilidade do TGI. A menor motilidade permite maior tempo para que a absorção seja maior que a produção de AGV, permitindo o retorno do pH aos valores normais.

Outro mecanismo que atua sobre o consumo é o quimiostático, também conhecido como mecanismo de controle fisiológico, no qual o consumo será limitado pela demanda energética do animal e o rúmen-retículo não ficará cheio. Ruminantes, que recebem dietas de alta densidade energética, ricas em nutrientes, têm o consumo regulado pela demanda metabólica, uma vez que, as elevadas concentrações de metabólitos no rúmen e corrente sanguíneas atuarão no centro de saciedade do sistema nervoso central (THIAGO; GILL, 1990). Dessa forma se justifica considerar em equações de consumos os efeitos fisiológicos e sua interação com os efeitos físicos.

Sendo assim, Mertens (1985) propõe um modelo, como o ilustrado abaixo.

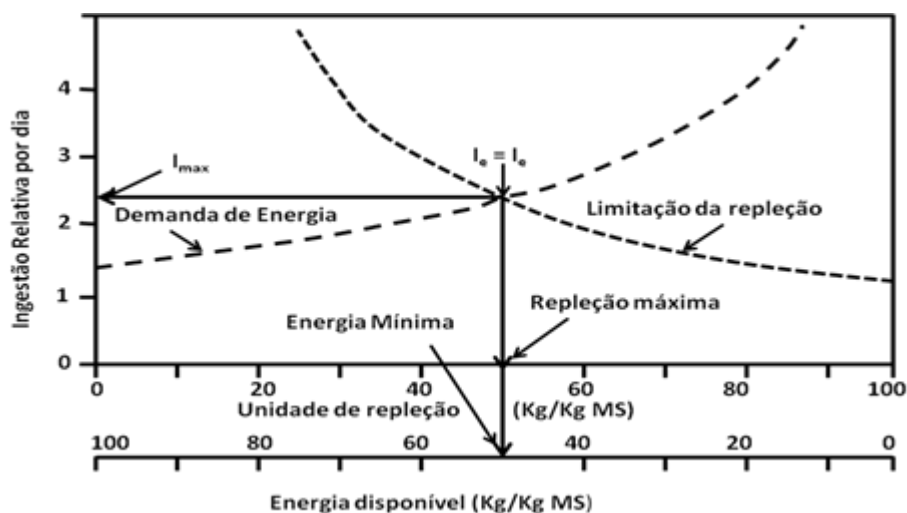


Figura 2 Modelo estático de regulação do consumo

Fonte: (MERTENS, 1985).

Na Figura 2, pode-se perceber que, em situações em que a dieta apresenta alta inclusão de forragem, e por consequência disso, baixa densidade energética, o animal irá limitar o consumo de MS em função da capacidade do trato digestivo, limitação por repleção, ou seja, enchimento, podendo nesta situação, o animal não consumir a quantidade necessária para que suas exigências de manutenção e produção sejam atendidas. Por outro lado, caso a dieta apresente baixa inclusão de forragem, de tal forma que a densidade energética da dieta seja alta, haverá redução no consumo em função do animal atingir suas exigências antes mesmo que ocorra o enchimento físico do rúmen-retículo.

A regulação metabólica é em função da quantidade de metabólitos presentes no rúmen e corrente sanguínea, normalmente, os metabólitos

produzidos e absorvidos pela parede do rúmen, que são discutidos são os ácidos graxos voláteis. Segundo o NRC (1996), a infusão intraruminal de acetato e propionato deprime a ingestão de alimentos em bovinos, ovinos e caprinos.

Allen, Bradford e Oba (2009) trabalharam em uma revisão avaliando os efeitos do metabolismo intermediário sobre a regulação de consumo em animais ruminantes (Figura 3). Resumidamente, em um animal que apresenta o *status* nutricional adequado, a produção de propionato no rúmen irá estimular a entrada das moléculas de Acetil CoA, provenientes do próprio propionato no ciclo de Krebs, sendo este oxidado a CO₂ e ATP. A energia produzida, por sua vez, atua sobre o centro de saciedade do organismo, fazendo com que este centro regule negativamente o consumo de alimentos pelo animal.

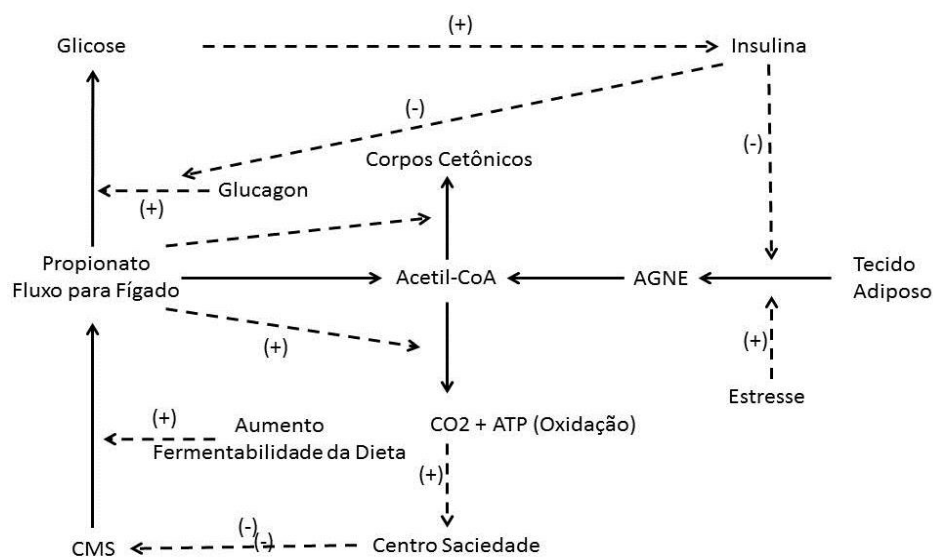


Figura 3 Teoria da oxidação hepática. Linhas sólidas mostram o fluxo de carbono e as linhas tracejadas mostram fatores de estimulação ou inibição do fluxo de carbono

Fonte: Adaptado de Allen, Bradford e Oba (2009).

Os mecanismos homeostáticos que regulam o CMS procuram assegurar a manutenção do peso corporal e as reservas teciduais durante a vida adulta. Os mecanismos homeorréticos ajustam o CMS para atender as exigências específicas de vários estágios fisiológicos, como crescimento corporal, gestação e lactação. Sendo o apetite uma função dos requerimentos energéticos determinados pelo potencial genético ou pela condição fisiológica (MERTENS, 1994a).

As duas teorias discutidas anteriormente, as de regulação física e a metabólica de consumo, são as mais antigas e, portanto, mais utilizadas para explicar a regulação do consumo de matéria seca em ruminantes. Porém, recentes estudos têm demonstrado e discutido o surgimento de outras teorias. Considerando o controle homeostático, comentado por Mertens (1994a), temos a teoria lipostática, que fala do papel do tecido adiposo sobre o controle do consumo. Particularmente, o papel do sistema endócrino e a descoberta da leptina podem explicar a hipótese de *feedback* do tecido adiposo sobre o sistema nervoso central (SNC) (FAVERDIN; BAREILLE, 1999).

A leptina é o produto do gene da obesidade (*ob*) que causa obesidade e hiperfagia em ratos. É sintetizada, primariamente, pelo tecido adiposo e atua como um hormônio que regula a ingestão de alimento, bem como as reservas corporais (SILVA, 2006). Estes mesmos autores mostraram que o nível de leptina no plasma está fortemente relacionado com o tamanho das células adiposas e positivamente correlacionado com a alimentação de bovinos adultos. Portanto, o aumento da massa adiposa é limitado, eventualmente, pela ação de *feedback* negativo que a leptina exerce sobre o centro da saciedade no hipotálamo (PITTROFF; KOTHMANN, 1999).

Várias outras teorias relacionadas à ação dos hormônios também são discutidas na literatura. A insulina estimula a secreção de leptina, enquanto que

o agonista β 3-adrenérgico reduz a expressão do gene leptina (ob) no tecido adiposo (FAVERDIN; BAREILLE, 1999).

A colecistocinina (CKK) é um neuropeptídeo, produzido no duodeno-jejuno, que promove a contração da vesícula biliar. Em associação com a gastrina, o peptídeo inibitório gástrico (GIP) e a secretina, promovem a constrição do esfíncter pilórico e, dessa forma, retardam o esvaziamento gástrico (PITTROFF; KOTHMANN 1999). Sendo assim, sua função mais aceita é regular a motilidade intestinal.

Estudos recentes vêm demonstrando que o tratamento com injeções intravenosas do hormônio do crescimento (GH) e do neuropeptídeo-Y (NPY) pode aumentar a síntese de leptina, a qual produz um mecanismo de retroalimentação sobre seu receptor no cérebro, diminuindo a secreção desses hormônios na circulação periférica (CHILLIARD et al., 2001).

Para a regulação do consumo de matéria seca por animais ruminantes, Ketelaars e Tolkamp (1992) propuseram que os ruminantes têm evoluído para consumir a mesma quantidade de um determinado alimento que resulta na produção máxima de energia líquida por unidade de oxigênio consumido, ou seja, a maximização da eficiência. Esse conceito de regulação de consumo de alimento em ruminantes foi desenvolvido a partir da ideia de que o consumo de alimento apresenta tanto custos como benefícios para o animal. Considera-se que o consumo de energia líquida para manutenção e ganho como sendo os benefícios do consumo de alimento, e o concomitante consumo de oxigênio o custo, pois gera subprodutos prejudiciais – os radicais livres.

É comum na terminação de bovinos de corte a utilização de dietas com altas concentrações de energia, uma vez que, estas aumentam a energia líquida para ganho, reduz o custo por unidade de energia metabolizável e facilita o manejo diário em confinamentos comerciais (BRITTON; STOCK, 1987). No entanto, nem sempre este aumento está relacionado com maior eficiência de

utilização de energia pelos animais ruminantes, uma vez que, estas dietas podem trazer prejuízos à saúde ruminal e, sendo assim, observa-se a importância de se trabalhar com uma quantidade mínima de fibra fisicamente efetiva nas dietas.

Segundo Goulart e Nussio (2011), o conceito foi gerado a partir da capacidade que a FDN da dieta possui em manter efetivamente a mastigação e, conseqüentemente, o pH ruminal e a saúde do animal. A FDN fisicamente efetiva está relacionada com as características físicas da fibra, principalmente, o tamanho de partícula capaz de manter a camada de fibra longa no rúmen *mat ruminal* e a motilidade ruminal. Dessa forma, permiti-se a produção de saliva mínima capaz de manter o pH ruminal e controle direto sobre a digestibilidade da FDN e, conseqüentemente, sobre o consumo de matéria seca total. Como recomendações, Goulart e Nussio (2011) propuseram a inclusão de FDN oriundo de forragem entre 10 a 18%, como forma de garantir as exigências mínimas para saúde ruminal e maximizar a eficiência alimentar dos animais.

Muitos trabalhos têm avaliado diferentes níveis de forragem na terminação de bovinos de corte (BENTON et al., 2007; PARSONS et al., 2007) em dietas com alta inclusão de concentrado, uma vez que, esta característica da dieta altera os sítios e extensão de digestão do amido (GALYEAN; DEFOOR, 2003). Além disso, segundo o NRC (1996), baixas concentrações de FDN efetivo nas dietas podem reduzir o pH ruminal, promovendo redução no consumo de matéria seca e nos valores de energia líquida das dietas. Desta forma, foi proposto o valor de 25% de fibra efetiva para manter o adequado pH, otimizando a digestão de fibra e o consumo de matéria seca pelos animais ruminantes.

Em trabalho avaliando a inclusão de diferentes níveis de forragem 0, 4,5 e 9% na MS em dietas com grãos de milho floculados, Parsons et al. (2007) observaram maior ganho de peso dos animais que receberam altos níveis de forragem, tendo observado maior consumo de matéria seca e peso vivo final.

Benton et al. (2007), com o mesmo objetivo, avaliaram a inclusão de diferentes níveis de forragem 0, 4 e 8% na MS em dietas com grãos de milho laminado e grãos de milho ensilados úmidos. Os autores mostraram que animais que não receberam volumos apresentaram menor consumo de matéria seca, e conseqüentemente, menor ganho de peso ao longo do confinamento. Pode-se observar nestes trabalhos que, os níveis de forragem, quando utilizados em dietas com grãos de milho processados foram efetivos em proporcionar melhor saúde ruminal aos animais, conseqüentemente, melhor desempenho.

A inclusão de forragem tem por objetivo manter a motilidade e saúde ruminal, e conseqüentemente, reduzir a incidência de distúrbios metabólicos comuns quando se utiliza dietas com altas concentrações de nutrientes, otimizando o desempenho em confinamento. No entanto, a inclusão de dietas com forragem aumenta, consideravelmente, os gastos com a logística de fornecimento e armazenamento do alimento, além de diminuir a energia líquida para ganho da dieta. Uma alternativa é a inclusão de dietas com grãos de milho inteiro, sem processamento, uma vez que, apresenta menor taxa e extensão de digestão ruminal do amido quando comparado a grãos com alguma forma de processamento (BRITTON; STOCK, 1987).

Segundo Turgeon et al. (2010), o fornecimento do grão de milho inteiro, sem processamento, deve ajudar a evitar desordens digestivas por regulação da taxa de fermentação do amido no rúmen quando se utiliza de dietas com baixa inclusão de forragem. Além de vantagens na densidade energética da dieta, na economia e no manejo de alimentação no confinamento. No entanto, estes tipos de dietas devem ser formulados cuidadosamente, a fim de evitar desordens digestivas e redução no desempenho animal.

Em um extenso trabalho sobre a utilização de dietas com grãos de milho inteiro sem forragem, Turgeon et al. (2010) observaram que dietas com grãos de milho inteiro sem forragem reduziram o peso vivo final dos animais, o ganho de

peso e o consumo de matéria seca. Porém, foi observado aumento na eficiência alimentar em 3,5% quando comparado às dietas com inclusão de forragem.

Em revisão sobre o processamento de grãos para bovinos de corte em terminação, Owens et al. (1997) mostraram que a digestibilidade do amido e a energia líquida das dietas com grãos de milho inteiro em dietas com baixos níveis de forragem foram maiores quando comparados com grãos de milho laminados, tendo sido justificado pelo possível maior tempo de retenção no rúmen para estas dietas.

O maior consumo de matéria seca para os animais recebendo dietas com pequena inclusão de forragem, quando comparado aos animais recebendo somente grãos de milho inteiro, pode ser resultado do maior fluxo de saliva e, conseqüentemente, maior motilidade ruminal (NAGARAJA; LECHTENBERG, 2007). Ambos os processos devem aumentar o fluxo ruminal e o suprimento de amido pós-rúmen. Por outro lado, diminuição do tempo para digestão ruminal da fibra e outros nutrientes no rúmen.

2.2 Propriedades físicas e químicas do amido

Em dietas de confinamento a preocupação maior é, sem dúvida, o conteúdo energético das dietas, uma vez que, os animais estão próximos a atingir o platô da curva de crescimento, necessitando de uma dieta mais densa energeticamente. Normalmente, as fontes energéticas utilizadas são os grãos de cereais, como: milho, sorgo, trigo, aveia e cevada. Destes, o milho é o grão de cereal mais utilizado nas dietas de bovinos de corte terminados em confinamento. A característica de seu alto valor energético em função do custo de produção e variáveis de produção são as justificativas para seu uso em detrimento às outras fontes existentes (VASCONCELOS; GALYEAN, 2007). Além desta preferência pelo milho entre os cereais, pode-se observar diferenças

quanto aos híbridos de milho utilizados nas diferentes regiões do mundo onde se trabalha com a terminação de bovinos de corte e/ou com bovinos de leite confinados.

Grânulos de amido apresentam uma compacta estrutura cristalina e em sua constituição básica apenas duas moléculas à base de monômeros de glicose, que são conhecidas como amilose e amilopectina (Figura 4). A amilose é um polímero essencialmente linear que apresenta 99% de cadeias lineares de D-glicose ligadas em α (1 \rightarrow 4) e com peso molecular entre $10^1 - 10^2$ kg/mol, enquanto a molécula de amilopectina é bem maior e apresenta cadeias lineares com ligações D-glicose α (1 \rightarrow 4) e ramificações com ligações entre D-glicose α (1 \rightarrow 6) a cada 20 a 25 resíduos de glicose e com massa molecular de $10^4 - 10^6$ kg/mol (COULTATE, 2002; WHISTLER; DANIEL, 1986). Segundo Tester, Karkalas e Qi (2004), o peso molecular destas moléculas pode variar em função do estágio de maturação e origem botânica da planta.

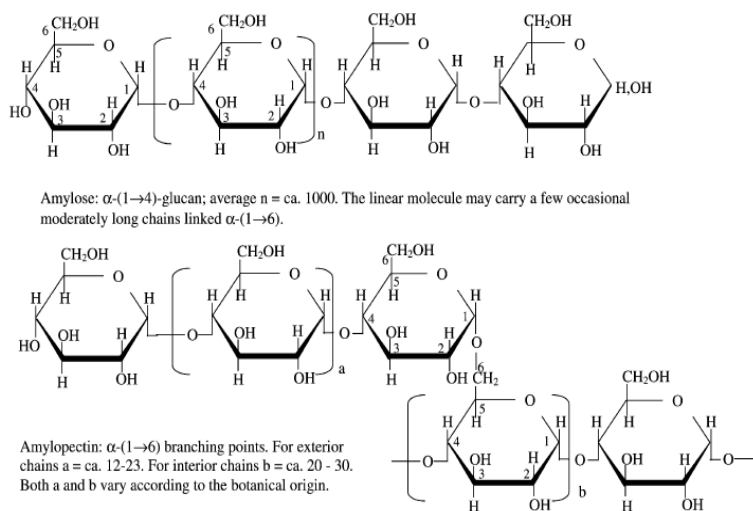


Figura 4 Estrutura da amilose e amilopectina

Fonte: (TESTER; KARKALAS, 2002).

A relação amilose/amilopectina é muito importante e pode variar de acordo com a origem botânica do amido, podendo ser classificado de três diferentes maneiras: a) ceroso ou “waxy”, que apresenta na sua relação quantidade inferior a 15% de amilose; b) amido “normal”, que apresenta entre 20 a 35% de amilose; e c) amido “alta amilose”, com concentração maior de 40% de amilose na relação (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). Segundo Weber, Collares-Queiroz e Chang (2009), o amido de milho contém entre 25 a 28% de amilose, sendo considerado um amido normal. Neste sentido, a amilopectina é a maior constituinte do grão de amido do milho, sendo que, na maioria dos cereais estes valores estão próximos de 70 a 80% de amido proveniente de amilopectina (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986). Segundo Huntington (1997), o trigo tem altos teores de amido (77%) seguido por grãos de milho e sorgo (72%), e por ultimo, grãos de cevada e aveia (57 a 58%).

Em grânulos de amido, os polissacarídeos amilose e amilopectina se encontram entrelaçados, porém, podem se apresentar de forma separada, sendo a amilose se apresentando em forma de feixe. No entanto, quando juntas, estas moléculas apresentam ligações por pontes de hidrogênio, apresentando uma estrutura altamente organizada, sendo que, a função das moléculas de amilose é manter as moléculas de amilopectina juntas durante um determinado processo térmico, mantendo assim a integridade física do grânulo de amido, com isso, em função desta compactação e cristalização das estruturas do amido, estas moléculas apresentam insolubilidade em água à temperatura ambiente (JANE, 2006; JANE et al., 1986).

Analisando as estruturas espacialmente, pode-se dizer que a amilose se encontra em forma de hélice, onde que, seus grupos hidroxilas se apresentam na superfície da hélice, resultando desta forma em uma cavidade hidrofóbica, com superfície interna apresentando os grupos metileno e oxigênios glicosídicos, sendo que, esta organização espacial permite que ocorram diversos complexos

com outros ligantes, sejam eles orgânicos ou inorgânicos, como por exemplo, os lipídios no interior da molécula (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). Sendo assim, em amidos de cereais, a amilose pode se apresentar basicamente de duas maneiras, na forma livre de lipídeos ou em complexos amilo-lipídio (BULÉON et al., 1998). Estes complexos podem e devem afetar as propriedades estruturais destes grânulos, pois em grãos de cereais, onde se observa alto conteúdo de amilose, esta amilose associada às regiões amorfas dos grânulos de amidos normais, podem se empacotar em duplas hélices formando uma estrutura cristalina (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

Segundo Buléon et al. (1998), a quantidade de lipídeo em grânulos de amido de milho pode chegar a 0,8%. Os principais lipídeos presentes são o ácido linoleico (C18:2) e o ácido palmítico (C16:0), sendo estes lipídeos altamente correlacionados com os teores de amilose do grão (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). A porção hidrofóbica do lipídeo fica inserida no interior da hélice, enquanto os grupos hidroxilas estão localizados fora da hélice (Figura 5).

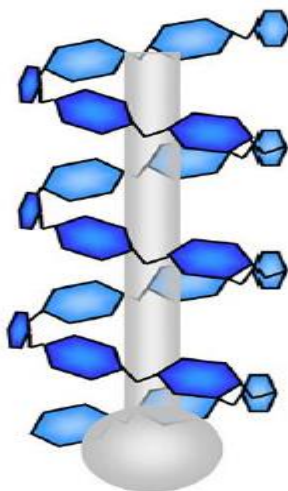


Figura 5 Hélice de amilose complexada com lipídeo
Fonte: (CARLSON et al., 1979).

Em relação à amilopectina, a teoria mais atual quanto à organização de suas moléculas dentro do grânulo foi desenvolvida por Gallant, Bouchet e Baldwin (1997), que propuseram que as moléculas de amilopectina se organizam em estruturas maiores, mais ou menos esféricas, denominadas de bloquetes. Sua conformação de dupla hélice permite uma redução na sua cristalinidade, em função de sua interação com as moléculas de amilose. Por fim, estas camadas de bloquetes menores indicam menor organização cristalina (GALLANT; BOUCHET; BALDWIN, 1997; TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

Quanto às características físicas dos grânulos de amido, a vitreosidade é bastante estudada pela literatura (CORONA; OWENS; ZINN, 2006; SZASZ et al., 2007). Correa et al. (2002), avaliando a vitreosidade presente no endosperma de diferentes cultivares de milho em todo o mundo, concluíram que existem basicamente dois tipos de grãos de milho produzidos quanto à sua vitreosidade. Nas principais regiões do mundo, o milho produzido é basicamente do tipo farináceo (*Dent – Zea mays ssp. Indentada*) e, no Brasil, o milho produzido é do tipo duro (*Flint – Zea mays ssp. Indentura*). Estes mesmos autores mostram que o milho do tipo farináceo apresenta um amido mole e poroso, com baixa densidade. Em termos nutricionais, de maior digestibilidade, em função da facilidade do ataque bacteriano e ação enzimática. Este tipo de milho quando perde umidade, no processo de maturação fisiológica da planta, seu endosperma farináceo reduz de volume formando assim a indentação, ou seja, o enrugamento do endosperma no topo do grão. Por outro lado, o milho duro apresenta o endosperma cristalino, não apresentando a redução do volume com a maturação fisiológica da planta (Figura 6). A relação endosperma duro e farináceo define a vitreosidade de um grão de milho. Desta forma, quanto maior a vitreosidade, maior a quantidade de endosperma duro presente no grão.

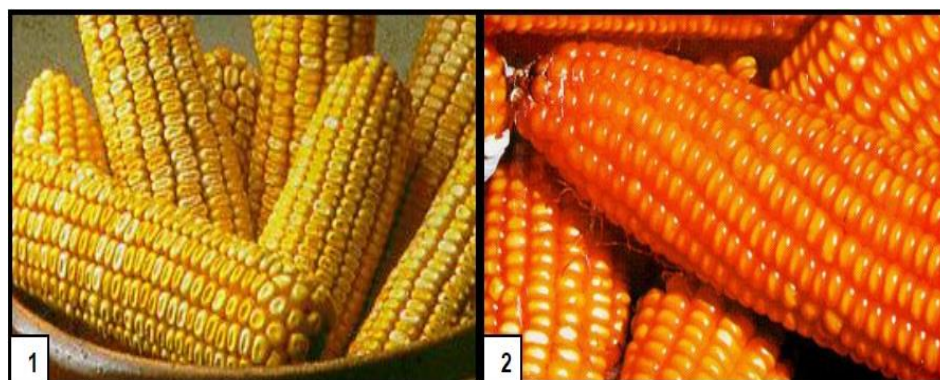


Figura 6 Milho Farináceo (1) e Milho duro (2)

Nesse mesmo trabalho desenvolvido com diferentes híbridos de milho, os autores concluíram que os híbridos utilizados no Brasil apresentam maior vitreosidade quando comparados aos híbridos utilizados nos EUA, sendo que, o híbrido de menor vitreosidade no Brasil apresentou maior vitreosidade que o híbrido de maior vitreosidade nos EUA.

Jaeger et al. (2006), trabalhando com animais terminados em confinamento tratados com diferentes híbridos de milho, mostraram que híbridos com alta proporção de endosperma macio quando fornecidos na forma de milho seco laminado apresentaram maior proporção de propionato e foram mais eficientes em ganhar peso quando comparados àqueles animais que receberam híbridos de milho com endosperma duro. Segundo Philippeau, Landry e Michalet-Doreau (1998), grãos de milho que apresentam alta proporção de endosperma duro apresentam menor taxa de degradação do amido, podendo apresentar, desta forma, maior resposta ao processamento do mesmo.

Para animais ruminantes, o milho se apresenta como a fonte energética mais importante e mais utilizada em todo o mundo, o que torna imprescindível, os estudos de fornecimento deste cereal e sua eficiência de assimilação ao longo do trato digestivo dos mesmos, uma vez que, cada vez mais haverá maior

competição por sua utilização, pois este ingrediente também é utilizado e de muita importância para a nutrição humana.

2.3 Digestibilidade ruminal do amido

No desempenho de bovinos terminados em confinamento, o local e a dimensão da digestão do amido no trato gastrointestinal influencia a eficiência com que é utilizada a energia dietética. Sendo que, estes locais e a dimensão podem ser influenciados pelo tamanho da partícula do grão (NOCEK; TAMMINGA, 1991) e nível de forragem (GALYEAN; DEFOOR, 2003). Galyean e Defoor (2003) comentam que a adição de forragem promove diluição na concentração energética da dieta, o que permite maior CMS pelos animais, alterando assim a produção de ácidos no rúmen e, conseqüentemente, maior ruminação e produção de saliva pelo animal. Isto é suficiente para alterar a cinética ruminal e intestinal da digesta, interferindo nos sítios e locais de digestão dos alimentos.

A digestão ruminal do amido é o passo inicial de todo o processo. Como principal fator que influencia este processo, está a matriz proteica que envolve o grânulo de amido a qual dificulta a ação das enzimas digestivas. Essa matriz proteica é insolúvel em água e solúvel em soluções alcalinas fracas, com pH acima de 10 (SOAST, 1994). As prolaminas, como são conhecidas, são proteínas estocadas no endosperma e que apresentam alta quantidade de prolina e glutamina (AA). A prolamina recebe um nome específico em cada grão de cereal que se encontra, sendo que, para o milho, as prolaminas recebem o nome de zeínas. Segundo Momany et al. (2006), as prolinas são aminoácidos altamente hidrofóbicos, capazes de se complexarem entre si, o que leva a proteínas que apresentam prolina em sua composição formarem estruturas terciárias intensamente hidrofóbicas.

Já está bem definido que, grãos de milho com endosperma do tipo farináceo apresentam menor conteúdo de prolaminas-zeína quando comparados aos grãos de milho com endosperma duro (KAMAKER et al., 1995). Neste sentido, grãos de milho desse tipo apresentam um endosperma com menor grau de encapsulamento pela matriz proteica quando comparados aos grãos de milho com endosperma do tipo duro. Na nutrição de ruminantes, a quebra inicial desta matriz proteica via proteólise é importante antes da atividade amilolítica do rúmen (COTTA, 1998), podendo essa etapa ser um fator limitante na digestão do amido em ruminantes.

Segundo Harmon e Taylor (2005), regiões dos grãos onde se observa endosperma mais farináceo, a matriz proteica que envolve os grãos é espaça e fragmentada, facilitando o ataque bacteriano e a ação enzimática, enquanto que, na região onde está presente o endosperma vítreo, esta matriz proteica é densa e compacta, dificultando o ataque bacteriano, e conseqüentemente, a digestibilidade dos nutrientes.

No entanto, vários são os métodos de processamento e estratégias, que apresentam como objetivo principal a quebra destas barreiras físicas que impedem o acesso dos micro-organismos e de suas respectivas enzimas aos compostos nutricionais do alimento ou, até mesmo, o tempo de retenção do material nas diferentes porções do intestino (MCALLISTER et al., 1990).

A digestão ruminal é alta para muitas espécies de cereais, exceto para os grãos de milho e sorgo, que são muito utilizados nos sistemas de terminação de bovinos em confinamento. Esta menor digestão se deve, principalmente, à presença da matriz proteica envolvendo os grânulos de amido do endosperma, limitando a ação de enzimas amilolíticas sobre o amido. De forma geral, a digestão do amido de milho e sorgo no trato digestivo de bovinos ocorre, em média, 80% no rúmen, e 95% no trato digestivo total (OWENS; ZINN; KIM, 1986), embora o grau do processamento altere esse número.

No processo de digestão ruminal, as enzimas microbianas responsáveis pela digestão ruminal do amido são basicamente, as α -amilases, as Isoamilases (isodextrinas limites), glucoamilases (extremidade redutora) e as β – amilases (Maltase). Ambas são enzimas extracelulares de bactérias, podendo ocorrer também interações entre bactérias no processo de digestão (ANTUNES; RODRIGUEZ; SALIBA, 2011).

Na nutrição de ruminantes, de maneira geral, aumento na produção de ácidos orgânicos, proteína microbiana e decréscimo na digestão de fibra, nas concentrações de amônia e na relação acetato:propionato são características perceptíveis na maioria dos trabalhos, quando se avalia o fornecimento de dietas com alta quantidade de grãos de amido fermentáveis no rúmen (OBA; ALLEN, 2003).

Harmon, Yamka e Elam (2004) revisaram os fatores que afetam a digestão de amido no intestino e mostraram que a digestibilidade ruminal do amido para dietas à base de milho é de 80%, sendo que, o amido que escapa da fermentação ruminal pode ser digerido no intestino em torno de 35 a 60% da quantidade que chega ao local. Porém, estes autores não observaram relação entre consumo de amido e digestibilidade ruminal do amido, mostrando que a digestão ruminal do amido não foi limitante.

Quando os grãos de cereais são a maior fonte de amido das dietas, os teores de amido fecal podem ser utilizados como indicadores da digestibilidade do amido no trato gastrointestinal total (ZINN; OWENS; WARE, 2002). Estas maiores concentrações de amido nas fezes são também os indicadores de uma provável alteração no local de digestão, passando do rúmen para o trato gastrointestinal (TGI) posterior. Entretanto, há divergência entre os pesquisadores sobre o local de digestão mais eficiente para o amido. De forma resumida, durante a fermentação ruminal ocorrem perdas por calor e metano (OWENS; ZINN, 2005), enquanto que, a digestão no duodeno e jejuno pode não

ser plenamente eficiente devido à alta taxa de passagem da digesta, adaptação enzimática na digestão do amido, absorção e utilização da glicose pelas vísceras drenadas pela veia porta, dentre outros (CHANNON; ROWE; HERD, 2004; NOCEK; TAMMINGA, 1991).

Após a ocorrência deste processo no rúmen, e conseqüentemente, a liberação dos monômeros de glicose pelo mesmo, ocorre o processo de fermentação desses carboidratos livres. A fermentação ruminal dos carboidratos não estruturais ocorre, principalmente, devido à atuação de bactérias conhecidas como amilolíticas. Segundo Russel e Rychlik (2001), as principais bactérias que participam deste processo são *Streptococcus bovis*, *Ruminobacter fibrisolvens*, *Prevotella ruminicola*, *Butirivibrio fibrisolvens*, *Succinomonas amylolytica*, *Selenomonas ruminantion*, *Eubacterium ruminantion* e *Clostridium* spp. Antunes, Rodriguez e Saliba (2011), em uma extensa revisão sobre o assunto, mostraram que a maioria dos micro-organismos ruminais fermentam a glicose, proveniente da digestão do amido, até o piruvato utilizando a via da glicólise (Ciclo de Embden-Meyerhof), sendo o piruvato, o composto-chave, antes dos carboidratos serem convertidos a ácidos graxos voláteis (AGV).

O processo da fermentação ruminal, como um todo, apresenta como produtos finais os AGV, gás carbônico, metano, amônia e células microbianas (LENG, 1970). Entre os AGV, que são os produtos finais da fermentação de carboidratos, o acetato é o principal a ser formado, podendo representar até 75% do total de AGV em dietas com alta forragem (ANTUNES; RODRIGUEZ; SALIBA, 2011). Outro AGV importante produzido durante a fermentação é o propionato. Basicamente este AGV é formado por duas vias conhecidas. A primeira envolve a formação de oxaloacetato e succinato e a segunda envolve conversão do piruvato à lactato e acrilato, posteriormente, sendo a primeira via a mais ativa.

Além desta perda na forma de metano, como discutido anteriormente, Mcleod et al. (2001) comentam que a conversão dos substratos em produtos finais da fermentação apresenta certa ineficiência, o que causa perda de energia dietética também na forma de calor durante o processo de fermentação. Esta perda de calor está em função da estequiometria da reação, em que se calcula o calor proveniente da combustão dos substratos (Glicose) utilizados e dos produtos formados (AGV's). Portanto, devido à ineficiência da incorporação de hidrogênio proveniente do metabolismo ruminal, as eficiências de incorporação no processo de fermentação de hexose aos acetato, propionato e butirato são de 62, 109 e 78% respectivamente. Segundo Chalupa (1977), é mais eficiente energeticamente a fermentação a propionato se comparado aos acetato e butirato, em função da produção e utilização do H^+ .

Segundo Soast (1994), a fermentação da fibra no rúmen do animal gera como principais produtos o acetato e butirato, sendo assim, dietas com alta inclusão de forragem apresentaram maiores proporções destes ácidos e maior relação acetato:propionato. No entanto, em dietas com altas inclusões de concentrado, observa-se reduções consideráveis nas concentrações de acetato e aumento nas de propionato. O aumento nas concentrações de propionato e, conseqüentemente, redução na relação acetato:propionato é devido ao aumento observado na população de bactérias responsáveis pela degradação de amido em detrimento à população de bactérias que degradam fibra (DEHORITY, 2003).

Em trabalho avaliando a estequiometria na produção de ácidos graxos para uma relação de AGV produzidos de 62% acetato, 22% propionato e 16% butirato, Hungate (1966) mostrou que 6,4% da fermentação do amido seriam como perdas na forma de calor.

Após a digestão e fermentação, os ácidos graxos voláteis devem ser eliminados do rúmen de alguma forma. O termo "*Clearance Ruminal*" se refere à eliminação dos AGV do rúmen por passagem e/ou absorção dos mesmos

(RESENDE JUNIOR et al., 2006). Segundo Resende Junior et al. (2006), a eliminação por passagem dos AGV está relacionada à passagem da fase líquida do fluido ruminal, em função dos AGV estarem dispersos nessa fase. A absorção se refere ao transporte dos ácidos graxos de cadeia curta pela parede do rúmen, ácidos estes provenientes também da fermentação da glicose disponível no rúmen. Em situações normais de pH ruminal, este pH se encontra acima do valor de pK_a dos ácidos graxos voláteis (FUKUSHIMA, 1995) que normalmente são valores abaixo de 4,8, com isso, estes AGV encontram-se na forma dissociada (ionizada) a qual pode ser absorvida por processos de troca iônica envolvendo Cl^- e HCO_3^- (GABEL et al., 2001). No entanto, quando o pH ruminal é reduzido em função de dieta, por exemplo, esta redução está relacionada com o aumento na proporção de AGV na forma protonada, sendo assim, a forma de absorção será por difusão simples (SEHESTED et al., 1999) aumentando a absorção de AGV pela parede.

Em animais bem alimentados, os ácidos graxos de cadeia curta são os ânions presentes em maiores quantidades, podendo chegar a uma concentração total de ânions de 60 a 160 mM. Já a concentração de ácidos graxos de cadeia curta na corrente sanguínea é baixa, em torno de 3,5 mM. Neste sentido, há um gradiente entre o lúmen e a corrente sanguínea para transporte de forma passiva (GABEL, 1995).

A utilização de dietas com alta proporção de carboidratos rapidamente fermentáveis apresenta resposta de adaptação rápida por parte dos micro-organismos do rúmen. Segundo Owens et al. (1998), os micro-organismos respondem com aumento na produção de ácidos, promovendo redução do pH ruminal e, conseqüentemente, reduzindo a motilidade normal do rúmen. Não existem relatos da atuação direta do pH ruminal sobre o consumo, no entanto, de forma indireta, a redução do pH ruminal permite maior concentração de AGV na forma protonada (SEHESTED et al., 1999) e, conseqüentemente, maior

absorção pela parede do rúmen destes. A presença de quimiorreceptores nas paredes do rúmen-retículo monitora estes AGV e pH ruminal, deprimindo a motilidade do TGI (FURLAN; MACARI; FARIA FILHO, 2006). E ainda, dietas com alta inclusão de grãos, as quais levam à redução do pH ruminal, são dietas mais fluídas, ou seja, de menor consistência relacionadas com baixa tensão sobre a camada muscular do rúmen-retículo, reduzindo também a motilidade ruminal.

Em uma revisão sobre o metabolismo de ácidos graxos de cadeia curta pelos tecidos em animais domésticos, Bergman (1990) chegou à conclusão que apenas 30% do acetato produzido no rúmen foram metabolizados pela parede do trato gastrintestinal, sendo que a maior parte deste é utilizada como fonte de energia em tecidos periféricos, sendo os mais metabolizados o Propionato, 50% do produzido e o Butirato 90% do produzido no rúmen. Após absorvidos e parte destes ser metabolizado na parede do rúmen, o fígado tem a função de remover estes ácidos graxos de cadeia curta do sistema porta (ANTUNES; RODRIGUEZ; SALIBA, 2011).

Ainda quanto aos ácidos graxos de cadeia curta gerados pela fermentação da glicose, de acordo com Bergman e Wolff (1971), uma pequena parte do acetato absorvido foi removida pelo fígado e metabolizada, muito pouco, considerado pelo fato da baixa atividade da enzima acetil-CoA sintetase neste órgão, quando comparado a tecidos periféricos. Já quando se trata do propionato e butirato, de 80 a 100% destes ácidos graxos de cadeia curta que foram removidos do sistema porta, são metabolizados pelo fígado, restando muito pouco destes ácidos na circulação arterial, por volta de 95% dos ácidos graxos de cadeia curta na circulação são representados pelo acetato circulante não metabolizado no fígado. Segundo Aschenbach et al. (2010), a conversão do propionato produzido no rúmen à glicose no fígado é regulada pela enzima fosfoenolpiruvato presente no citosol (PEPCK-C), sendo esta enzima

considerada chave no metabolismo energético do ruminante, uma vez que, o propionato produzido no rúmen é o precursor principal da gliconeogênese em ruminantes (ANNISON; BRYDEN, 1999).

Valadares Filho e Pina (2011) mostraram que o ácido propiônico oriundo da fermentação ruminal é absorvido e metabolizado no fígado, sendo utilizado no ciclo de Krebs, podendo também ser direcionado para a via gliconeogênica, dependendo do estado fisiológico do animal.

Há dois pontos importantes para se analisar a gliconeogênese em bovinos de corte. Em animais mais velhos e com alto teor de gordura na carcaça, a contribuição do propionato na gliconeogênese é reduzida em função de maior participação de aminoácidos gliconeogênicos neste processo (EISEMANN; HUNTINGTON, 1994). Por outro lado, em dietas de alto concentrado, em que se observa alta taxa de fermentação, foi relacionado com alta produção de propionato, e conseqüentemente, aumento na gliconeogênese (LOZANO et al., 2000).

O processamento do grão, como já mencionado, altera a digestão e aproveitamento do amido. Vários relatos têm sido publicados em benefícios do processamento do milho (GOROCICA-BUENFIL; LOERCH, 2005; OWENS; ZINN, 2005). No entanto, a falta de resposta na digestibilidade da dieta e desempenho dos animais para a utilização de milho inteiro ou processado, demonstra que o custo adicional de moagem do milho pode não ser justificado (CAETANO, 2008).

Owens e Soderlund (2007) trabalharam em uma compilação de dados na literatura, na qual avaliaram a digestibilidade e os sítios de digestão do amido em diferentes processamentos. Os autores observaram que, quando o milho grão é fornecido inteiro, a digestibilidade do amido no rúmen apresenta, em média, 68,34% de digestibilidade, e que, esta digestibilidade diminui nos segmentos posteriores ao rúmen, sendo, 64,64% no intestino delgado e 32,9% no intestino

grosso. No trato total do animal, a digestibilidade do amido foi de 87,1%. Segundo Owens, Zinn e Kim (1986), a eficiência de utilização da energia digestível, quando se tem a digestão do amido no intestino delgado é 42% superior quando comparado à digestão do amido no rúmen do animal, uma vez que, não apresenta as perdas por produção de metano e calor.

Zinn et al. (2007) fez uma extensa avaliação sobre o uso de amido fecal como indicador da digestibilidade do amido. Entretanto, ainda são poucas as pesquisas que descrevem as influências do grupo genético e a eficiência de digestão de amido no pós-rúmen.

Olbrich Junior (1996) demonstrou que o uso do milho inteiro na dieta resulta em teores de amido nas fezes de 21,2% na MS, comparado com apenas 10,9% de amido na MS fecal, quando se utilizou o milho moído. Apesar do uso do milho inteiro aumentar o teor de amido fecal, o autor demonstrou que não há correlação entre moagem e eficiência alimentar em animais recebendo dietas com alto concentrado. Isto sugere que a digestibilidade em todo o trato digestivo não é o único parâmetro que afeta a eficiência. O local da digestão e, no caso do milho inteiro, a menor taxa de passagem pode aumentar a sua eficiência.

2.4 Digestibilidade pós-ruminal do amido

Em função de todos os processos citados acima, com suas perdas pontuais na fermentação via formação do formato e metano, bem como, perdas na estequiometria das reações nos processos de fermentação e também a metabolização de AGV na parede do rúmen, para Harrelson et al. (2009), ter maior digestibilidade pós-ruminal, caracterizaria maior eficiência alimentar, uma vez que, haveria a utilização direta de glicose pela absorção no intestino.

Sendo assim, dependente de vários fatores, como por exemplo, tamanho da partícula do grão (NOCEK; TAMMINGA, 1991) e nível de forragem

(GALYEAN; DEFOOR, 2003), uma quantidade variável de amido pode chegar ao intestino delgado e ser digerido por ação da α -amilase pancreática e por enzimas produzidas pela própria mucosa intestinal, como a maltase e isomaltase (HARMON, 1993).

De acordo com Swanson, Richards e Harmon (2002b), em dietas fornecidas aos animais ruminantes com baixa quantidade de amido, ou seja, altos níveis de forragem, este amido é, quase que em sua totalidade, digerido pelos micro-organismos ruminais. Já Theurer (1986) cita que em dietas de alto concentrado, grande quantidade de amido atinge o intestino delgado, estando este disponível para a digestão pós-ruminal.

O primeiro processo que ocorre quando o amido chega ao intestino delgado é a quebra ao acaso das ligações α 1-4 nas moléculas de amilose e das regiões retilíneas da molécula de amilopectina, liberando produtos como maltose e dextrinas-limites pela ação da α -amilase pancreática (HARMON, 1993). No entanto, segundo Kreikemeier et al. (1991), há hipótese que a α -amilase pancreática é a fase limitante da assimilação intestinal de amido pelos ruminantes, em função de uma falta de resposta adaptativa do pâncreas em dietas de alto amido.

Trabalhando com ovelhas que recebiam dietas com alto e baixo amido, Swanson et al. (2000) observaram que as ovelhas alimentadas com dietas de alto amido apresentaram mais proteína α -amilase pancreática e maior atividade para a mesma. No entanto, o mRNA para a α -amilase tendeu a ser menor. Os autores complementam que os mecanismos de regulação desta enzima em ruminantes são muito complexos e, provavelmente, são regulados por eventos transcricionais e pós-transcricionais.

Já em trabalhos com bovinos, Swanson et al. (2002), avaliando o efeito da infusão abomasal de amido parcialmente hidrolisado e caseína sobre a expressão do mRNA, a proteína e atividade da α -amilase pancreática,

observaram que, quando os animais receberam amido parcialmente hidrolisado no abomaso, estes apresentaram tendência de redução na expressão de mRNA para a α -amilase pancreática e redução na proteína α -amilase e na atividade da α -amilase pancreática. Os autores sugerem a existência de uma relação inversa entre o fluxo de amido no intestino sobre as variáveis analisadas e voltam à questão de que possa haver regulação pelo menos em partes em função de eventos pós-transcrição.

Avaliando a infusão de carboidratos no abomaso, Swanson, Richards e Harmon (2002) observaram aumento na secreção de suco pancreático e redução significativa na atividade da α -amilase pancreática (Figura 7).

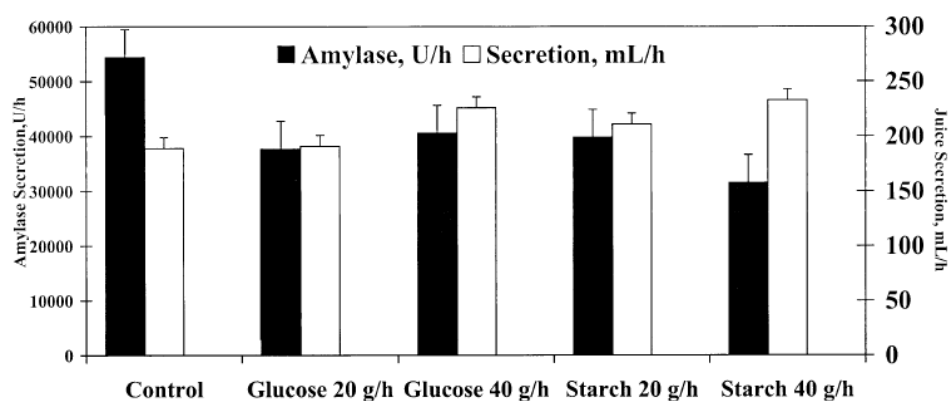


Figura 7 Influência da infusão abomasal de água (Control), glicose e amido sobre o suco pancreático e secreção de α -amilase em novilhos com canula pancreática

O processo seguinte, após a quebra das moléculas de amido pela α -amilase, é realizado pelas enzimas da borda em escova maltase e isomaltase, que são dissacaridases produzidas pela mucosa intestinal e apresentam maior atividade no jejuno e íleo (HARMON, 1993). A maltase hidrolisa as moléculas de maltose, enquanto que, a isomaltase hidrolisa as moléculas com ligações α 1-6 nos pontos de ramificações da amilopectina.

Segundo Harmon e McLeod (2001), o intestino delgado de bovinos alimentados com dietas de alto concentrado apresenta mudanças em função das consideráveis quantidades de glicose chegando ao lúmen, ao passo que, em bovinos alimentados com dietas à base de forragem, a quantidade de glicose no intestino é muito reduzida em função da fermentação ruminal da mesma. No entanto, Kreikemeier et al. (1990) comentaram que os trabalhos têm demonstrado pouca ou nenhuma resposta adaptativa da atividade da maltase e isomaltase em função das dietas.

Em trabalho avaliando a infusão pós-ruminal de amido e caseína, Guimarães et al. (2007) não observaram mudanças na atividade da maltase ao longo do intestino delgado dos animais, em função dos diferentes substratos. Isto demonstra que a regulação das dissacaridases no intestino apresenta pouca resposta à presença destes substratos no lúmen intestinal. Porém, estes mesmos autores mostram a maior atividade da maltase na porção central do intestino delgado, região do jejuno quando comparado à atividade nas regiões do duodeno e íleo.

Da mesma forma, Bauer et al. (2001b), trabalhando com animais fistulados no abomaso e rúmen e fornecendo amido hidrolisado via cânulas, observaram que animais que receberam amido hidrolisado direto no abomaso não diferiram quanto à atividade da maltase. Resultados semelhantes também foram encontrados por Swanson et al. (2000) ao trabalharem com ovelhas recebendo diferentes níveis de amido.

Resultados contrários aos trabalhos anteriores verificaram que a infusão abomasal de amido e glicose proporcionou aumento na atividade da maltase, independente da porção do intestino (RODRIGUEZ et al., 2004). Porém, da mesma forma que os trabalhos anteriores, os autores observaram que a atividade da maltase foi maior no jejuno quando comparado com as porções duodeno e íleo.

Por fim, Bauer et al. (2001b) sugeriram que o amido que ainda possa a vir escapar da digestão enzimática no intestino, pode ser fermentado a AGV no intestino grosso dos animais. Neste sentido, Channon, Rowe e Herd (2004) mostraram correlações significativas entre o pH fecal e teores de amido fecal.

2.5 Absorção de glicose

Após a digestão pós-ruminal do amido e liberação da glicose no lumen intestinal, a glicose é direcionada ao processo de absorção pelos enterócitos. Segundo Kellet et al. (2008), mamíferos apresentam pelo menos três carreadores de monossacarídeos nas membranas, responsáveis pelo transporte do lúmen intestinal para dentro dos enterócitos do intestino delgado via proteínas integrais de membrana.

Ferraris e Diamond (1997) mostraram que carboidratos dietéticos regulam a absorção intestinal de monossacarídeos em muitas espécies, por meio da síntese de mRNA dos carreadores de glicose em função de diferentes dietas fornecidas.

O principal carreador de monossacarídeos é conhecido como SGLT1, um transportador de glicose dependente de sódio e capaz de transportar glicose e a maioria dos monossacarídeos, com exceção de frutose, pelas membranas de borda de escova dos enterócitos. O GLUT5 é um transportador somente de frutose através das membranas de borda de escova, enquanto que o GLUT2 transporta glicose, frutose e os demais monossacarídeos pela membrana de borda de escova e membranas basolaterais dos enterócitos (LIAO et al., 2010).

Liao et al. (2010) desenvolveram um trabalho para definir o padrão de distribuição dos carreadores de monossacarídeos ao longo do intestino delgado de animais da raça Angus. Os resultados mostram que a *SGLT1* está mais presente na porção mediana do intestino delgado, a região do jejuno, sendo

semelhante sua expressão, no duodeno e íleo. O mesmo comportamento foi observado para a *GLUT2*, tendo apresentado maior expressão na porção do jejuno.

Avaliando a infusão abomasal e ruminal de amido hidrolisado sobre a expressão de mRNA dos carreadores de monossacarídeos no intestino, Liao et al. (2010) observaram que essa infusão ruminal aumentou a expressão da *SGLT1* no duodeno em aproximadamente 64%. Segundo estes autores, o resultado inesperado obtido pode estar em função da maior presença de microorganismos simples e complexos de carboidratos provenientes de micro-organismos ruminais no lúmen intestinal, o que levou a maior expressão da *SGLT1*. Bovinos em crescimento possuem habilidade em regular a capacidade de absorção de glicose pelo epitélio em função, simplesmente, de aumento de substrato no lúmen intestinal. Sendo que, os mecanismos de regulação da expressão do *SGLT1* pelo epitélio duodenal podem diferir daqueles presentes no jejuno e íleo (LIAO et al., 2010).

Em avaliação da infusão pós-ruminal de amido e caseína em bovinos da raça holandesa, Guimarães et al. (2007) não observaram efeito dos diferentes substratos presentes no pós-rúmen sobre a abundância de *SGLT1* no intestino dos animais, mas observaram maior abundância de mRNA nas porções finais e médias do jejuno, independente dos tratamentos. Já Rodriguez et al. (2004), trabalhando com animais cruzados recebendo infusão abomasal de amido e glicose e ruminal de amido, não encontraram efeito destes tratamentos sobre a abundância de carreadores de glicose *SGLT1*. Porém, observaram efeito linear dos locais do intestino sobre a abundância deste carreador, sendo que, indo do duodeno sentido íleo, a abundância dos carreadores *SGLT1* vai aumentando. Como conclusão, estes autores sugerem que os bovinos apresentam deficiência na regulação do consumo de glicose intestinal pelos carreadores com aumentos

substanciais do substrato no lúmen, uma vez que houve maior atividade da maltase nos tratamentos com infusão abomasal.

Em outro trabalho, avaliando a infusão ruminal e abomasal de amido hidrolisado, utilizando a técnica de filtração por membranas, foi observado que animais que receberam amido hidrolisado direto no abomaso apresentaram o mesmo consumo de glicose pelo intestino, o que leva a pensar em uma mesma atividade do SGLT1 em ambos os tratamentos (BAUER et al., 2001a).

Para animais ruminantes, segundo Huntington (1997), o suprimento de toda a glicose necessária pelo animal, apenas 25% é oriundo dos produtos da digestão amilolítica do amido que são absorvidos pelo TGI. Portanto, a maior parte do suprimento de glicose é oriunda da gliconeogênese proveniente principalmente do propionato e aminoácidos, sendo que o processo de gliconeogênese apresenta correlação positiva com o consumo de energia (HUNTINGTON; HARMON; RICHARDS, 2006).

A absorção de glicose pelos enterócitos no intestino delgado dos bovinos promove aumento significativo na produção de calor das vísceras e também na utilização periférica da glicose em relação à digestão ruminal do amido (HARMON; MCLEOD, 2001). Segundo Britton e Krehbiel (1993), quase que a maioria da glicose absorvida no intestino delgado dos bovinos é transformada a lactato nos enterócitos, que por sua vez, auxiliaria no fornecimento de energia requerida pelos intestinos, permitindo assim, economia de aminoácidos pelo organismo (RICHARDS, 1999). Por isso, o amido digerido no pós-rúmen interfere muito pouco nas concentrações sanguíneas de glicose em ruminantes. Richards (1999) trabalhando com infusão ruminal e abomasal de amido hidrolisado em novilhos sugeriu que o uso direto da glicose absorvida pelas vísceras representa 28% do total de glicose disponível para absorção no intestino delgado, podendo ocorrer utilização do restante nos tecidos periféricos. No entanto, as respostas em produção podem ser variadas, dependendo

diretamente do estágio fisiológico dos animais (HUNTINGTON; HARMON; RICHARDS, 2006).

Segundo Owens e Soderlund (2007), a utilização da energia via fermentação ruminal ou digestão intestinal tem sido muito discutida na literatura, uma vez que, a recuperação de glicose pela veia porta nunca é completa. Trabalhando com infusão abomasal e ruminal de glicose em ovinos, Armstrong, Blaxter e Graham (1968) observaram que 54% da energia infundida no rúmen foram convertidas a ácidos graxos, enquanto que, 71% da energia infundida no abomaso foi estocada como tecido adiposo. Segundo esses autores, a lipogênese do intestino e omento, pode explicar porque a glicose não é recuperada totalmente pela veia porta que drena os tecidos viscerais. Estes mesmos autores comentam que, uma vez que a glicose pós-ruminal contribua para a deposição de tecido adiposo em torno e no intestino, a digestão intestinal não seria útil para o crescimento ou lactação, mesmo que, evite a perda de energia por produção de metano e calor quando o amido é digerido e fermentado no rúmen.

A fim de mensurar qual a real eficiência do local de digestão do amido para animais ruminantes, McLeod et al. (2001) trabalharam com infusão ruminal e abomasal de amido parcialmente hidrolisado para novilhos em crescimento e observaram que as mensurações indiretas de calorimetria têm mostrado que a energia retida nos tecidos é maior para o amido digerido no intestino delgado, com coeficiente de eficiência $K_r = 0,60$, do que digerido ruminalmente que apresenta coeficiente de eficiência $K_r = 0,48$. Segundo estes autores, a eficiência parcial (K_r) na conversão da energia metabolizável do amido para os tecidos foi calculada como o aumento da energia retida acima da energia retida pela dieta basal, dividido pela energia metabolizável fornecida pela infusão do amido, seja no rúmen ou abomaso. Este valor de eficiência reflete ambos as perdas de energia por digestão, absorção e assimilação do substrato dentro do tecido.

Estes mesmos autores particionando a energia retida em proteína retida e lipídios retidos utilizando uma técnica de balanço entre carbono e nitrogênio, observaram que, da energia retida com a infusão ruminal de amido, 30% da energia foram retidas na forma de proteína e os outros 70% foram retidos na forma de lipídios. Quando avaliaram a infusão abomasal de amido, estes valores foram diferentes, em que 16% da energia foi retida na forma de proteína e 84% na forma de lipídios.

Diante destes resultados, foi realizado um experimento com o objetivo de avaliar as respostas nos diferentes tecidos adiposos, onde foram coletadas amostras de três tecidos em novilhos recebendo infusão ruminal e abomasal de carboidratos para analisar a atividade e expressão de mRNA de enzimas envolvidas no metabolismo lipídico. Neste trabalho, Baldwin et al. (2006) observaram que a infusão abomasal de glicose aumentou a transcrição dos genes *SREBF-1*, *FAS* e *ACC*. A literatura tem mostrado que a glicose estimula a expressão do mRNA de enzimas lipogênicas, como a FAS e ACC em tecido adiposo de ratos quando há elevação dos níveis de glicose-6-fosfato dentro da célula (GIRARD; FERRE; FOUFELLE, 1997).

Baldwin et al. (2007), trabalhando com os mesmos tratamentos de infusão abomasal e ruminal de carboidratos, observaram que a taxa lipolítica não foi afetada pelos tratamentos, porém, a taxa de incorporação tanto de glicose quanto de acetato foi maior no tecido adiposo dos animais que foram infundidos com glicose e amido no abomaso, quando comparado aos animais infundidos ruminalmente. Estes mesmos autores não encontraram efeito dos tratamentos sobre os níveis circulantes de insulina, resultado inesperado, uma vez que, com maiores níveis de suprimentos de glicose se esperava maiores níveis de insulina. Na falta deste resultado, os autores concluíram que a glicose teve papel importante em estimular o processo de lipogênese, independente da insulina.

Em uma revisão sobre os sítios, extensão e limitantes da digestão do amido no intestino de ruminantes, (2006) Huntington, Harmon e Richards calcularam o rendimento da energia digestível para cada porção do trato gastrointestinal e reportaram estes resultados de forma bem interessante (Figura 8), utilizando os valores de eficiência segundo Harmon e McLeod (2001).

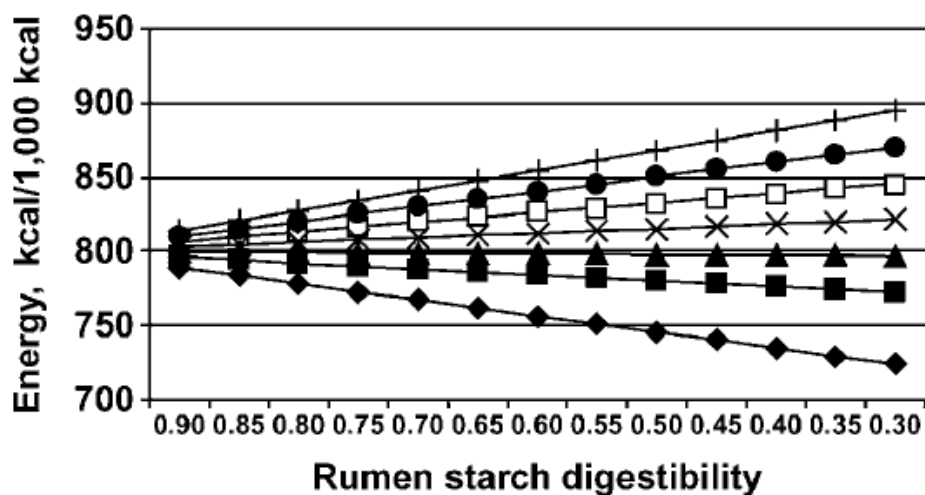


Figura 8 Impacto da mudança do sítio e da extensão da digestão do amido do rúmen para o intestino delgado sobre o rendimento de energia

Legenda: As linhas representam diferentes digestibilidades do amido no intestino delgado. Losango cheio representa baixa digestibilidade (0,60), o X representa digestibilidade igual a 0,75 até cruz que representa a maior digestibilidade (0,90).

Pode-se observar que, quando o sítio de digestão do amido é deslocado do rúmen para o intestino delgado, a eficiência de rendimento do uso da energia digestível é reduzida, se a digestão do amido no intestino se apresentar menor que 75%. Quando a digestibilidade do amido no intestino delgado se apresentar acima de 75%, o deslocamento do sítio de digestão do rúmen para o intestino delgado aumenta o rendimento de utilização da energia digestível.

Neste mesmo trabalho, Huntington, Harmon e Richards (2006), utilizando os dados revisados por Harmon, Yamka e Elam (2004), desenvolveram um modelo para descrever a digestão de amido no intestino delgado (Figura 9).

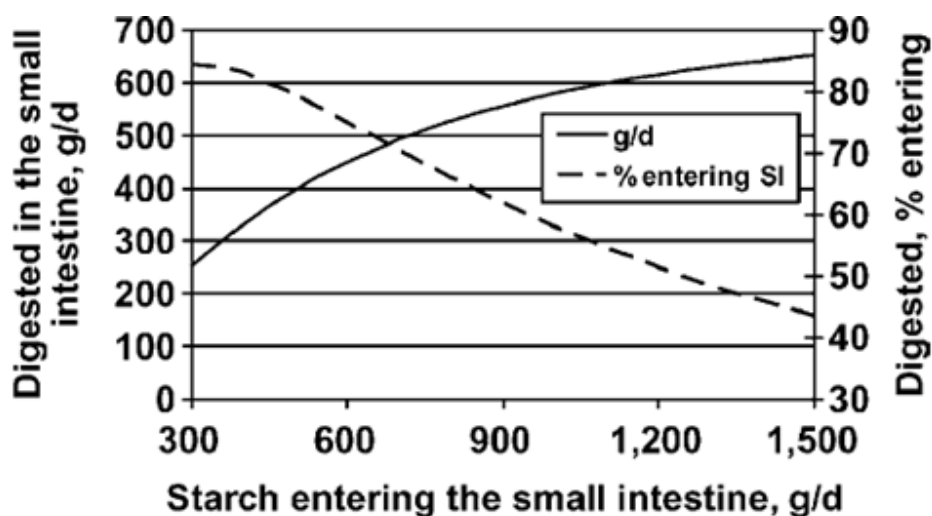


Figura 9 Relação entre a entrada de amido no intestino delgado e o amido digerido (g/dia) = $\{765 \pm 161/[1 + (476 \pm 166/\text{entrada de amido})^{1,53 \pm 0,46}]\}$

A figura mostra que a digestibilidade do amido no intestino delgado foi superior a 70% somente quando as quantidades de amido que chegaram ao intestino foram menores ou iguais a 700 g/dia. Do contrário, altas quantidades de amido chegando ao intestino, somente apresentarão boa eficiência em função do tipo de processamento do grão, e conseqüentemente, da forma com que o amido atinge o intestino delgado.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forage by ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, n. 12, p. 3063-3075, Dec. 1996.
- ALLEN, M. S.; BRADFORD, B. J.; OBA, M. Board invited review: the hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 10, p. 3317-3334, Oct. 2009.
- ANNISON, E. F.; BRYDEN, W. L. Perspectives on ruminant nutrition and metabolism: II., metabolism in ruminant tissues. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v. 12, n. 1, p. 147-177, June 1999.
- ANTUNES, R. C.; RODRIGUEZ, N. M.; SALIBA, E. O. S. Metabolismo de carboidratos não estruturais. In: _____. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2011. p. 239-263.
- ARMSTRONG, D. G.; BLAXTER, K. L.; GRAHAM, N. M. Fat synthesis from glucose by sheep. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 19, p. 121-131, 1968.
- ASCHENBACH, J. R. et al. Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. **IUBMB Life**, Washington, v. 62, n. 12, p. 869-877, Dec. 2010.
- BALDWIN, R. L. et al. Influence of abomasal carbohydrates on subcutaneous, omental, and mesenteric adipose lipogenic and lipolytic rates in growing beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 9, p. 2271-2282, Sept. 2007.
- BALDWIN, R. L. et al. Influence of carbohydrate infusion on lipogenic enzyme and regulatory protein expression in growing beef steers. **FASEB Journal**, New York, v. 20, p. LB380, 2006. Abstract.
- BAUER, M. L. et al. Influence of α -linked glucose on jejunal sodium-glucose co-transport activity in ruminants. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Oxford, v. 129, n. 2/3, p. 577-583, June 2001a.
- BAUER, M. L. et al. Influence of α -linked glucose on sodium-glucose cotransport activity along the small intestine in cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, n. 7, p. 1917-1924, July 2001b.

BENTON, J. R. et al. Effects of roughage source and level with the inclusion of wet distillers grains on finishing cattle performance and economics. **Nebraska Beef Report**, Lincoln, n. 66, p. 29-32, Jan. 2007.

BERGMAN, E. N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 70, n. 2, p. 567-590, Apr. 1990.

BERGMAN, E. N.; WOLFF, J. E. Metabolism of volatile fatty acids by liver and portal-drained viscera in sheep. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v. 221, p. 587-590, 1971.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Valor bruto da produção**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BRITTON, R.; KREHBIEL, C. Nutrient metabolism by gut tissues. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, n. 7, p. 2125-2131, July 1993.

BRITTON, R. A.; STOCK, R. A. Acidosis, rate of starch digestion and intake. In: SYMPOSIUM FEED INTAKE, 1987, Stillwater. **Proceedings...** Stillwater: Oklahoma State University, 1987. p. 125-137.

BULÉON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis: mini review. **Internacional Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 23, n. 2, p. 85-112, 1998.

CAETANO, M. **Estudo das perdas de amido em confinamentos brasileiros e do uso do amido fecal como ferramenta de manejo de bovinos confinados**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

CARLSON, T. L. G. et al. A study of the amylase monoglyceride complex by Raman spectroscopy. **Starch**, Weinheim, v. 31, n. 7, p. 222-224, 1979.

CHALUPA, W. Manipulating rumen fermentation. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 45, n. 3, p. 585-599, 1977.

CHANNON, A. F.; ROWE, J. B.; HERD, R. M. Genetic variation in starch digestion in feedlot cattle and its association with residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 44, n. 5, p. 469-474, June 2004.

CHILLIARD, Y. et al. Leptin in ruminants: gene expression in adipose tissue and mammary gland, and regulation of plasma concentration. **Domestic Animal Endocrinology**, Auburn, v. 21, n. 4, p. 271-295, Nov. 2001.

CORONA, L.; OWENS, F. N.; ZINN, R. A. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 11, p. 3020-3031, Nov. 2006.

CORREA, C. E. S. et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, Nov. 2002.

COTTA, M. Amylolytic of selected species of ruminal bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 54, n. 3, p. 772-776, 1998.

COULTATE, T. P. **Food: the chemistry of its components**. 4th ed. London: Royal Society of Chemistry Paperbacks, 2002. 432 p.

DEHORITY, B. A. **Rumen microbiology**. Nottingham: Nottingham University Press, 2003. 372 p.

EISEMANN, J. H.; HUNTINGTON, G. B. Metabolite flux across portal-drained viscera, liver, and hindquarters of hyperinsulinemic, euglycemic beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 11, p. 2919-2929, Nov. 1994.

FAVERDIN, P.; BAREILLE, N. Lipostatic regulation of feed intake in ruminants. In: HEIDE, D. van den et al. (Ed.). **Regulation of feed intake**. Wallingford: CAB International, 1999. p. 88-102.

FERRARIS, R. P.; DIAMOND, J. Regulation of intestinal sugar transport. **Physiological Reviews**, Baltimore, v. 77, p. 257-302, 1997.

FUKUSHIMA, M. In: CUMMINGS, J. H.; ROMBEAU, J. L.; SAKATA, T. (Ed.). **Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 15-34.

FURLAN, R. L.; MACARI, M.; FARIA FILHO, D. E. Anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal. In: _____. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 1-21.

GABEL, G. Transport of short-chain fatty acids in the ruminant forestomach. In: CUMMINGS, J. H.; ROMBEAU, L.; SAKATA, T. (Ed.). **Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids**. Cambridge: Cambridge University, 1995. chap. 9, p. 133-147.

GABEL, G. et al. Influence of isoform and DNP on butyrate transport across the sheep ruminal epithelium. **Journal of Comparative Physiology B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology**, Berlin, v. 171, n. 3, p. 215-221, Apr. 2001.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 32, n. 3/4, p. 177-191, 1997.

GALYEAN, M. L.; DEFOOR, P. J. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 81, n. 2, p. E8-E16, 2003. Supplement.

GIRARD, J.; FERRE, P.; FOUFELLE, F. Mechanisms by which carbohydrates regulate expression of genes for glycolytic and lipogenic enzymes. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 17, p. 325-352, 1997.

GOROCICA-BUENFIL, M. A.; LOERCH, S. C. Effect of cattle age, forage level, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 83, n. 3, p. 705-714, Mar. 2005.

GOULART, R. S.; NUSSIO, L. G. Exigências de fibra fisicamente efetiva para bovinos confinados. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE, 7.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PECUÁRIA DE CORTE, 2., 2011, Lavras. **Anais...** Lavras: Suprema, 2011. p. 111-154.

GUIMARÃES, K. C. et al. Influence of starch and casein administered postruminally on small intestinal sodium-glucose cotransport activity and expression. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 50, n. 6, p. 963-970, Nov. 2007.

HAMAKER, B. R. et al. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 6, p. 583-588, 1995.

HARMON, D. L. Nutritional regulation of postruminal digestive enzymes in ruminants. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, n. 7, p. 2102-2111, July 1993.

HARMON, D. L. Understanding starch utilization in the small intestine of cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 22, n. 3, p. 915-922, Mar. 2009.

HARMON, D. L.; MCLEOD, K. R. Glucose uptake and regulation by intestinal tissues: implications and whole-body energetics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, p. E59-E72, 2001. Supplement.

HARMON, D. L.; TAYLOR, C. C. Factors influencing assimilation of dietary starch in beef and dairy cattle. In: SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 2005, Nebraska. **Proceedings...** Nebraska, 2005. p. 55-56.

HARMON, D. L.; YAMKA, R. M.; ELAM, N. A. Factors affecting intestinal starch digestion in ruminants: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, n. 3, p. 309-318, 2004.

HARRELSON, F. W. et al. Influence of corn hybrid and processing method on nutrient digestibility, finishing performance, and carcass characteristics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 7, p. 2323-2332, July 2009.

HUNGATE, R. E. **The rumen and its microbes**. New York: Academic, 1966. 533 p.

HUNTINGTON, G. B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, n. 3, p. 852-867, Mar. 1997.

HUNTINGTON, G. B.; HARMON, D. L.; RICHARDS, C. J. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. E14-E24, 2006. Supplement.

JAEGER, S. L. et al. Influence of corn hybrid traits on digestibility and efficiency of gain in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 7, p. 1790-1800, July 2006.

JANE, J. Current understanding on starch granule structure. **The Japanese Society of Applied Glycoscience**, Tokyo, v. 53, n. 3, p. 205-213, 2006.

JANE, J. et al. Characterization of granular cold water-soluble starch. **Starch**, Weinheim, v. 38, p. 258-263, 1986.

KETELAARS, J. J. M. H.; TOLKAMP, B. J. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants: 1., causes of differences in voluntary feed intake: critique of current views. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 30, n. 4, p. 269-296, Apr. 1992.

KELLETT, G. L. et al. Sugar absorption in the intestine: the role of GLUT2. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 28, p. 35-54, 2008.

KREHBIEL, C. R.; KREIKEMEIER, K. K.; FERRELL, C. L. Influence of *Bos indicus* crossbreeding and cattle age on apparent utilization of a high-grain diet. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 78, n. 6, p. 1641-1647, June 2000.

KREIKEMEIER, K. K. et al. Influence of dietary forage and feed intake on carbohydrase activities and small intestinal morphology of calves. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 68, n. 9, p. 2916-2929, Sept. 1990.

KREKEMEIER, K. K. et al. Small intestinal starch digestion in steers: effect of various levels of abomasal glucose, corn starch and corn dextrin infusion on small intestinal disappearance and net glucose absorption. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 69, n. 1, p. 328-338, Jan. 1991.

LEEK, B. F. Sensory receptors in the ruminant alimentary tract. In: MILLIGAN, L. P.; GROVUM, W. L.; DOBSON, A. (Ed.). **Control of digestion and metabolism in ruminantes**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986. p. 3-18.

LEEK, B. F.; HARDING, R. H. Sensory nervous receptors in the ruminant stomach and the reflex control of reticuloruminal motility. In: MCDONALD, I. W.; WARNER, A. C. I. (Ed.). **Digestion and metabolism in the ruminant**. Armidale: University of New England, 1975. p. 60-76.

LEHMAN, F. Die lehre vom ballast. **Zeitschrift für Tierernaehrung Futtermittelkde**, Heidelberg, v. 5, n. 2, p. 155-173, 1941.

LEHNINGER, L. A.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2002. 1009 p.

LENG, R. A. Formation and production of volatile fatty acids in the rumen. In: PHILLIPSON, A. T. (Ed.). **Physiology of digestion and metabolism in the ruminant**. Cambridge: Oriel Press, 1970. p. 406-421.

- LIAO, S. F. et al. The small intestinal epithelia of beef steers differentially express sugar transporter messenger ribonucleic acid in response to abomasal versus ruminal infusion of starch hydrolysate. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, n. 1, p. 306-314, Jan. 2010.
- LOZANO, O. et al. Net absorption and hepatic metabolism of glucose, L-lactate, and volatile fatty acids by steers fed diets containing sorghum grain processed as dry-rolled or steam-flaked at different densities. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 78, n. 5, p. 1364-1371, May 2000.
- MCALLISTER, T. A. et al. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 70, n. 2, p. 571-579, Feb. 1990.
- MCLEOD, K. R. et al. Influence of ruminal and postruminal starch infusion on energy balance in growing steers. In: _____. **Energy metabolism of farm animals**. Wageningen: Wageningen Pers, 2001. p. 385-388. (EAAP Publication, 103).
- MERTENS, D. R. Factors influencing feed intake in lactating cows: from theory to application using neutral detergent fiber. In: GA NUTRITION CONFERENCE, 46., 1985, Athens. **Proceedings...** Athens: University of Georgia, 1985. p. 1-18.
- MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JUNIOR, G. G. et al. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994a, p. 450-493.
- MERTENS, D. R. Using a mass action model of ruminal function to estimate the filling effect of forage NDF. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON MODELLING NUTRIENT UTILIZATION IN FARM ANIMALS, 4., 1994, Foulum. **Proceedings...** Foulum: Ministry of Agriculture, National Institute of Animal Science, 1994b. p. 27.
- MOMANY, F. A. et al. Structural characterization of alpha-zein. **Journal of Agricultura and Food Chemistry**, Easton, v. 54, p. 543-547, 2006.
- MOORE, R. L.; ESSIG, H. W.; SMITHSON, L. J. Influence of breeds of beef cattle on ration utilization. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 41, n. 1, p. 203-207, 1975.

NAGARAJA, T. G.; LECHTENBERG, K. F. Liver abscesses in feedlot cattle. **Veterinary Clinics of Food Animal**, Philadelphia, v. 23, n. 2, p. 351-369, July 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. Washington: National Academy, 1996. 249 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington: National Academy, 2000. 242 p.

NEVES, M. **Estratégias para a carne bovina no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2012. 272 p.

NOCEK, J. E.; TAMMINGA, S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 74, n. 10, p. 3598-3629, Oct. 1991.

NOLLER, C. H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; QUEIROZ, D. S. Exigências nutricionais em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 13., 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1996. p. 151-184.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 86, n. 1, p. 174-183, Jan. 2003.

OLBRICH JUNIOR, J. F. **The effect of corn particle size and corn silage level on the performance of Angus (*Bos taurus*) and Brahman (*Bos indicus*) steers**. 1996. 181 p. Thesis (Ph.D. in Animal Science) - University of Florida, Gainesville, 1996.

OWENS, F. N. et al. Acidosis in cattle: a review. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, n. 1, p. 275-286, Jan. 1998.

OWENS, F. N. et al. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 75, n. 3, p. 868-879, Mar. 1997.

OWENS, F. N.; SODERLUND, S. Ruminal and postruminal starch digestion by cattle. In: PIONEER HI-BRED, A DUPONT BUSINESS CONFERENCE, 2007, Jonston. **Proceedings...** Jonston, 2007. Disponível em: <http://www.beefextension.com/proceedings/cattle_grains06/06-17.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.

OWENS, F.; ZINN, R. A. Corn grain for cattle: influence of processing on site and extent of digestion. In: SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 2005, Tucson. **Proceedings...** Tucson: University of Arizona, 2005. p. 86-112.

OWENS, F. N.; ZINN, R. A.; KIM, Y. K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 63, n. 5, p. 1634-1648, May 1986.

PARSONS, C. H. et al. Effects of wet corn gluten feed and roughage levels on performance, carcass characteristics, and feeding behavior of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, n. 11, p. 3079-3089, Nov. 2007.

PHILIPPEAU, C.; LANDRY, J.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of the biochemical and physical characteristics of the maize grain on ruminal starch degradation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, p. 4287-4291, 1998.

PITTROFF, W.; KOTHMANN, M. M. Regulation of intake and diet selection by herbivores. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE NUTRITION OF HERBIVORES, 5., 1999, San Antonio. **Proceedings...** San Antonio, 1999. p. 366-422.

RESENDE JUNIOR, J. C. et al. Comparison of techniques to determine the clearance of ruminal volatile fatty acids. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 89, n. 8, p. 3096-3106, Aug. 2006.

RICHARDS, C. J. **Influence of small intestinal protein on carbohydrate assimilation and metabolism in beef cattle**. 1999. 284 p. Thesis (Ph.D. in Animal Science) - University Kentucky, Lexington, 1999.

RODRIGUEZ, S. M. et al. Influence of abomasal carbohydrates on small intestinal sodium-dependent glucose cotransporter activity and abundance in steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 82, n. 10, p. 3015-3023, Oct. 2004.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 63, p. 1607-1623, 1986.

RUSSEL, J. B.; RYCHLIK, J. L. Factors that alter rumen microbial ecology. **Science**, New York, v. 292, n. 5519, p. 1119-1122, May 2001.

SEHESTED, J. et al. Ruminal transport and metabolism of short-chain fatty acids (SCFA) in vitro: effect of SCFA chain length and pH. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Molecular & Integrative Physiology**, New York, v. 123, n. 4, p. 359-368, Aug. 1999.

SILVA, J. F. C. da. Mecanismos reguladores de consumo. In: BERCHIELI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. (Ed.). **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2011. p. 61-81.

SNIFFEN, C. J.; BEVERLY, R. W.; MOONEY, C. S. Nutrient requirement versus supply in dairy cow: strategies to account for variability. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 76, n. 10, p. 3160-3178, 1993.

SOEST, P. J. van. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2nd ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.

SOEST, P. J. van. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 24, p. 834-835, 1965.

SWANSON, K. C. et al. Dietary carbohydrate source and energy intake influence the expression of pancreatic α -Amylase in lambs. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 130, p. 2157-2165, 2000.

SWANSON, K. C. et al. Postruminal administration of partially hydrolyzed starch and casein influences pancreatic α -amylase expression in calves. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 132, p. 376-381, 2002.

SWANSON, K. C.; RICHARDS, C. J.; HARMON, D. L. Influence of abomasal infusion of glucose or partially hydrolyzed starch on pancreatic exocrine in beef steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 80, n. 4, p. 1112-1116, Apr. 2002.

SZASZ, J. I. et al. Influence of endosperm vitreousness and kernel moisture at harvest on site and extent of digestion of high-moisture corn by feedlot steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, n. 9, p. 2214-2221, Sept. 2007.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J. Starch. In: VANDAMME, E. J.; DE BAETS, S.; STEINBÜCHEL, A. (Ed.). **Biopolymers: polysaccharides: II.**, polysaccharides from eukaryotes. Weinheim: Wiley-VCH, 2002. p. 381-438.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch: composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, London, v. 39, n. 2, p. 151-165, 2004.

THEURER, C. B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 63, p. 1649-1662, 1986.

THIAGO, L. R. L. S.; GILL, M. **Consumo voluntário: fatores relacionados com a degradação e passagem da forragem pelo rúmen.** Campo Grande: EMBRAPA - CNPGC, 1990. 65 p.

TURGEON, O. A. et al. Manipulating grain processing method and roughage level to improve feed efficiency in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 88, n. 1, p. 284-295, Jan. 2010.

VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S. Fermentação ruminal. In: _____. **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal: FUNEP, 2011. p. 151-179.

VASCONCELOS, J. T.; GALYEAN, M. L. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: the 2007 Texas Tech University survey. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, n. 9, p. 2772-2781, Sept. 2007.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

ZINN, R. A. et al. Starch digestion by feedlot cattle: predictions from analysis of feed and fecal starch and nitrogen. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 85, n. 7, p. 1727-1730, July 2007.

ZINN, R. A.; OWENS, F. N.; WARE, R. A. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 80, n. 5, p. 1145-1156, May 2002.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

**ARTIGO 1 Performance and carcass characteristics of nellore and angus
young bulls fed whole shelled corn diet without forage**

**Artigo formatado segundo as normas do periódico Journal of Animal
Science**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o consumo, desempenho e características de carcaça de tourinhos Nelore e Angus alimentados com dieta contendo grão de milho inteiro sem volumoso ou com uma dieta com silagem de milho e milho moído. Trinta e seis tourinhos (18 Nelore e 18 Angus) com idade inicial média de 20 meses e peso vivo inicial de $381 \pm 11,8$ kg foram usados neste estudo. O estudo foi em um delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 2 x 2 de tratamentos (2 raças e 2 dietas). A dieta com silagem de milho continha 30% de silagem de milho e 70% concentrado a base de milho e farelo de soja. A dieta com grão de milho inteiro continha 85% de grão de milho inteiro e 15% de um premix a base de farelo de soja e mineral. Oito animais foram abatidos ao início do período experimental para a determinação do ganho em carcaça. Os animais foram pesados no início e ao final do período experimental, para obtenção do ganho de peso médio diário (GMD). O pH ruminal foi mensurado durante os 2 últimos dias antes do abate usando bolus intra-ruminal que foi introduzido via oral. Após o abate, foi determinado o rendimento de carcaça quente (RCQ) e realizado as mensurações de área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS). Foi observado maior CMS ($P < 0,01$), GMD ($P < 0,01$) e eficiência alimentar ($P < 0,01$) para os animais da raça Angus comparado aos animais Nelore. O fornecimento da dieta com grãos de milho inteiro resultou em menor valor de pH ruminal médio ($P = 0,04$) e tendeu a reduzir o GMD dos animais ($P = 0,08$), bem como o CMS ($P < 0,01$), o que resultou aos animais com maior eficiência alimentar ($P < 0,01$). A utilização de dietas com grãos de milho inteiro é indicada para a terminação de bovinos de corte em confinamento, pois esta dieta promove maior eficiência alimentar, independente da utilização de animais *Bos taurus* ou *Bos indicus*. No entanto, cuidados especiais são necessários no manejo alimentar durante a adaptação e ao longo do confinamento para estes animais para evitar desordens digestivas, principalmente em animais Nelore.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the intake, performance and carcass characteristics of Nellore and Angus young bulls fed a diet containing whole shelled corn without forage or a diet containing corn silage and ground corn. Thirty-six young bulls (18 Nellore and 18 Angus) with an average initial age of 20 months and initial live weight of 381 ± 11.8 kg were used for this study. The study was a completely randomized design, with a 2 x 2 factorial arrangement of treatments (two breeds and two diets). The diet with corn silage contained 30% corn silage and 70% corn and soybean meal-based concentrate. The diet with the whole shelled corn contained 85% whole shelled corn and 15% soybean meal and a mineral-based premix. Eight animals were slaughtered at the beginning of the experimental period for the determination of carcass gain. Animals were weighed at the beginning and end of the trial period in order to obtain the average daily gain (ADG). Ruminal pH was measured during the last 2 d prior to slaughter using a wireless intra-ruminal bolus that was delivered orally. After slaughter, hot carcass weight (HCW) was determined, and measurements were taken of the ribeye area (REA) and subcutaneous fat thickness (SFT). Greater dry matter intake (DMI) ($P < 0.01$), ADG ($P < 0.01$) and feed efficiency ($P < 0.01$) were observed in Angus compared with Nellore cattle. Feeding whole shelled corn resulted in a lower mean ruminal pH value ($P = 0.04$) and tended to reduce ADG of the animals ($P = 0.08$) as well as the DMI ($P < 0.01$), which resulted in animals with greater feed efficiency ($P < 0.01$). Feeding whole shelled corn diets is indicated for the finishing of beef cattle in feedlots because this diet promotes greater feed efficiency, regardless of whether it is being used with *Bos taurus* or *Bos indicus* animals. However, special care is needed in feed management during adaptation and throughout the feedlot of these animals in order to avoid digestive disorders, especially in Nellore cattle.

1 INTRODUCTION

Of the nutrients present in feedlot beef cattle diets, starch is the major component and provides the greatest amount of digestible energy intake for the animal. The primary source of starch used in these diets is corn. However, diets high in starch may lead to decreases in ruminal pH, which can result in clinical or subclinical acidosis and negatively affect the performance of the animals (Owens et al., 1998).

In a review of the processing of grains, Owens et al. (1997) showed that diets with whole shelled corn fed in the United States contained, on average, 6% forage in the diet's dry matter, as there were no studies at that time on feeding whole shelled corn without forage. Nevertheless, countries in South America have increased the use of this type of diet without forage. Probably this is possible because the American corn grain presents the farinaceous endosperm while the Brazilian corn grain presents mainly the vitreous endosperm (Correa et al., 2002) enabling its use in without forage diets. According to Turgeon et al. (2010), feeding unprocessed whole shelled corn in diets with low inclusion of forage may be an alternative to help avoid digestive disorders by regulating the fermentation rate of starch in the rumen.

In concentrate-rich diets, *Bos taurus* consume more food relative to their maintenance requirements than *Bos indicus* and thus gain weight faster and more efficiently (Krehbiel et al., 2000), which may be related to the lesser utilization

of starch by *B. indicus* cattle (Olbrich, 1996). Furthermore, Zebu animals develop problems with acidosis more frequently when consuming diets high in concentrates, which results in a high incidence of rumenitis (Millen et al., 2015; Pacheco et al., 2015).

The hypothesis is that the diets based on whole shelled corn result in higher feed efficiency. However, Nellore animals are more susceptible to acidosis when fed a diet of whole shelled corn, which may affect feed efficiency. Therefore, this study aimed to evaluate the performance and carcass characteristics of Nellore and Angus cattle finished on a diet composed of whole shelled corn without forage or on a diet containing corn silage and concentrate.

2 MATERIALS AND METHODS

The experimental procedures were approved by the Ethics and Animal Welfare Committee of the Federal University of Lavras (Universidade Federal de Lavras) (protocol 002/2013). The experiment was conducted in the Beef Cattle Division of the Department of Animal Sciences of the Federal University of Lavras.

Experimental design, animals and diets

Eighteen Nellore young bulls and 18 Aberdeen Angus young bulls with an average initial age of 20 months and initial live body weight of 381 ± 11.8 kg

were used. Animals were confined in individual pens with individual feeders and automatic waterers. The experimental design was completely randomized in a 2 x 2 factorial design, consisting of the following treatments: Nelore fed a diet of corn silage and concentrate (NCSC); Nelore fed a diet of whole shelled corn (NWSC); Angus fed a diet of corn silage and concentrate (ACSC) and Angus fed a diet of whole shelled corn (AWSC). The experimental diets were fed *ad libitum*, twice daily, at 7:30 am and 3:30 pm (Table 1). Nine animals from each genetic group received the diet with corn silage and nine animals from each genetic group received the diet of whole shelled corn without forage.

Performance and behavior study

Animals were given a period of 28 days for adaptation to the facilities, at which point they were fed a diet of corn silage and concentrate. At the beginning of the adaptation period animals were treated for internal and external parasites (Ivomec®, Paulínia, Brazil). Therefore, at the end of the adaptation period to the facilities, all animals were fed a diet comprising 30% corn silage and 70% concentrate. The experimental period was 81 days long, which was divided into three periods of 27 days only to adjust the supply of the diet. During the first 27 days, the animals underwent an adaptation period to the diet of whole shelled corn, at which point the animals received decreasing quantities of corn silage (*step up* system) for 14 days. This procedure was adopted to test whether total

adaptation to this diet could cause performance problems in the animals. To determine the average daily weight gain, the animals were weighed at the beginning and at the end of the experimental period after fasting for 16 hours.

To measure the dry matter intake of the animals the amount of feed offered was recorded, and the feed remaining on the following day was weighed. Samples of the ingredients of the concentrate and corn silage were collected every 14 days. A composite sample was created from these samples and after being pre-dried in a forced ventilation oven at 65°C for 72 hours the composite sample was ground in a grinder with a 1 mm mesh sieve. The chemical analysis of the diets was carried out according to the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) (CP, AOAC 984.13; Ash, 942.05; EE, 920.39; Moisture, 934.01). The non-fiber carbohydrates (NFC) were obtained according to Sniffen et al. (1992), the neutral detergent fiber (NDF) according to Van Soest et al. (1991) and the metabolizable energy (ME) was determined in the digestibility trial during the performance study (Presented in chapter 3).

Feeding behaviors were determined by visual observation technique for 72 hours, recording every 5 minutes the observed behaviors. The feeding behaviors time recorded were: feeding, ruminating, resting and water intake.

The variation in the dry matter intake was calculated using the difference in dry matter intake in kilograms between two consecutive days, according to Bevans et al. (2005) and following the equation:

Variation in DMI (%) = $\{(DMID - DMIPD)/DMIPD\} * 100^*$,

Where, DMID = the dry matter intake of the current day (kg), and DMIPD = the dry matter intake of the previous day (kg). When the value was negative multiply by -1.

Daily values were obtained for variation in the DM intake for each animal, which were used to calculate the average variation in the treatment for each period and for the total experiment.

The ruminal pH was measured using the Kahne bolus system (KB1000; Kahne Ltd., Auckland, New Zealand) two days prior to slaughter, with the probes being placed in the rumen orally. The system was composed of Kahne bolus probes and a wireless receiver (433 MHz) connected to the computer and operated by Kahne V5.2.3 software (Kahne Ltd. Auckland, New Zealand), as described by Kaur et al. (2010). The apparatus was calibrated to pH 4.0 and 7.0 at 40°C and then adjusted to measure the pH every 10 min for a total of 24 hours (144 measurements) through a receiver (Kahne Receiver KR2002). After slaughter, the probes were recovered. The pH data were analyzed as follows: average pH, minimum pH, maximum pH, total time and area under the curve of pH 5.8 and total time and area under the curve of pH 6.2.

Carcass characteristics

At the end of the experiment the animals were slaughtered by cerebral concussion and exsanguination of the jugular vein followed by removal of the skin and evisceration. A comparative slaughter was also performed at the beginning of the experiment of four animals from each breed to determine the hot carcass weight of experimental animals at the beginning of the study and subsequently to perform the calculations of average daily gain and feed efficiency of the carcass, and yield carcass gain during the feedlot period. The animal's performance on carcass (ADG_c and FE_c), was determined using the final hot carcass weight and the carcass weights obtained at the beginning of the study using the comparative slaughter. The yield carcass gain represents how much of the average daily gain was present in the total carcass gain.

In the slaughter line, after the removal of the viscera, the digestive tract was emptied and washed to determine the total mass of the gastrointestinal (GI) tract as well as to obtain the weight of the viscera separately. Later, the carcasses were washed, divided into two equal halves and weighed to obtain the hot carcass weight (HCW) and hot carcass yield (HCY). The carcasses were chilled in a cooler (1°C) for 24 hours and, after cooling, were reweighed to obtain the cold carcass weight (CCW) and weight loss due to cooling (CWL). The initial pH of the carcass was measured at the end of the slaughter line, whereas the final pH was determined after 24 hours of carcass cooling. The pH and

temperature of the carcasses were measured by using Mettler M1120x digital thermometer (Mettler Toledo International Inc., Columbus, OH, USA). The measurements took place in the longissimus thoracis muscle between the 12th and 13th ribs of the left side of the carcass.

Subcutaneous fat thickness (SFT) was also measured between the 12th and 13th ribs of the left side of the carcass at $\frac{3}{4}$ the length of the ribeye from the dorsal portion (determined using a graduated caliper). The ribeye area (REA), was also measured between the 12th and 13th ribs by outlining on transparent paper and analyzing with graphing paper.

Statistical analyses

A Shapiro-Wilk test was performed to check the normality of the data. When the data did not have a normal distribution, they were transformed using PROC RANK from SAS 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Intake, average daily gain, feed efficiency and carcass characteristics were analyzed using the PROC MIXED procedure of SAS Software version 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA), with diet, breed and diet*breed interaction as the fixed effects and animals as a random effect. Ruminal pH, variation in intake was analyzed as repeated measurements using the PROC MIXED procedure of SAS Software version 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA), with diet, breed, diet*breed interaction and days as the fixed effects and the interaction between

the fixed effects and the animals as a random effect. It was used the CS covariance structure as the better parameter according to the BIC criterion of PROC MIX of SAS. The Pearson correlation analyses were performed using the PROC CORR procedure of SAS Software version 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Of the animals participating in the experiment, one Nellore and one Angus young bull did not complete the experimental period due to a failure to adapt to the diet of whole shelled corn.

For all variables of performance and carcass were not observed interaction between the treatments ($P > 0.05$) (Table 2). A greater dry matter intake was observed for Angus cattle ($P < 0.01$). This variable is of most importance for animal production systems because it directly influences the amount of nutrients ingested by the animal as well as the animal's performance. According to Krehbiel et al. (2000), *B. taurus* cattle consume more food relative to their maintenance requirements, thereby gaining faster and more efficiently than *B. indicus* cattle. This occurs under unlimited production conditions, such as diets in feedlots or pastures, and with the inclusion of high levels of concentrate. On the other hand, *B. indicus* cattle utilize more efficiently low quality diets than *B. Taurus* cattle (Karue et al., 1972).

The animals that received the whole shelled corn diet showed lower dry matter intake. The reduction in dry matter intake likely occurred due to the higher energy concentration of the diet composed of whole shelled corn (Table 1) obtained in a digestibility trial (Presented in chapter 3) where the TDN for whole sheled corn diet was 82.4 and 71.8 to the silage corn diet, reflecting a greater use of nutrients by the animals, which allowed them to meet nutritional requirements while consuming less food. According to Allen et al. (2009) in ruminants the greater flux of volatile fatty acids (VFA), mainly propionate and, consequently, the larger synthesis of ATP in the liver, inhibits the dry matter intake and acts directly on the satiety center.

The reduction in dry matter intake in the animals fed the whole shelled corn diet can also be explained by the presence of chemoreceptors in the muscle wall of the rumen-reticulum. According to Furlan et al. (2006), these chemoreceptors detect ruminal pH and VFA production. A reduction in ruminal pH and, consequently, a greater absorption of VFA in their protonated forms, activates these receptors, thereby decreasing the motility of the GI tract along with dry matter intake. These same authors comment that diets with a high inclusion of grains are also related to low muscle tension, which reduces the motility of the GI tract and, subsequently, the dry matter intake.

Animals that received the whole shelled corn diet, regardless of breed, showed lower maximum and average ruminal pH values compared to animals

fed the diet containing corn silage and concentrate (Figure 1). This result is explained by the role that forage plays in rumen motility and the rumination process. In this study was observed that the time spent to ruminating was greater ($P < 0.01$) to the animals that received the corn silage diet to compare the animals fed with whole shelled corn diet (Table 3). Besides, the time spent for feeding was different between the diets ($P < 0.01$) where the animals that received the diet with whole shelled corn had lower time spent to feeding to compare the animals fed with corn silage diet. This results show that the animals fed with corn silage diet had a intake more constant throughout the day. Forage intake is directly related to the production of saliva by the animal and the buffering of the rumen environment. Therefore, the cattle fed whole shelled corn had no forage in their diet, saliva production was decreased and subsequently ruminal pH was decreased.

Beauchemin et al. (2001) considered a pH value of 5.8 as the threshold for subclinical acidosis. According to these authors, subclinical acidosis occurs when ruminal pH remains below 5.8 for over 12 hours (more than 720 min). In the present study, there was a tendency ($P < 0.08$) for bulls consuming the diet consisting of whole shelled corn to maintain ruminal pH values below 5.8 for longer periods of time and to show a greater area under the curve of pH 5.8 (Table 3). Notably, the rumen of the animals fed whole shelled corn remained at pH values below 5.8 for 1,047 min, that is, in a condition of subclinical acidosis.

Interestingly, Angus bulls showed periods of pH lower than 5.8 for longer than 12 hours, even when fed the diet containing corn silage and concentrate. This may have resulted from the high dry matter intake observed in these animals compared to Nellore cattle.

The pH value of 6.2 is just as important as the ruminal pH value of 5.8. According to Ørskov (1982) and Mould et al. (1983), a reduction in the activity of cellulolytic bacteria and, consequently, a reduction in the digestion of fiber begins when the pH values remain at approximately 6.2. In addition, according to Russel and Wilson (1996), a pH of 6.2 may lead to a reduction in the efficiency of microbial protein synthesis. The whole shelled corn diet showed an effect ($P < 0.01$) on the time in which the ruminal pH remained below 6.2, similar to that observed when the pH was 5.8 (Table 3). However, the effect of the whole shelled corn diet on fiber degradation was less important because the diet did not contain fiber from forage (Table 1).

Reviewing the effects of physically effective fiber on beef cattle, Goulart and Nussio (2011) recommended the inclusion of neutral detergent fiber (NDF) from forage of between 10 and 18% to ensure the minimum requirements for rumen health. However, these values may vary depending on the use of ionophores, the use of good adaptation protocols, adoption of good bunk management or even the use of unprocessed grains which was the case in this study. The diet with corn silage and concentrate was 14.7% NDF coming from

forage, i.e., within the range recommended by Goulart and Nussio (2011), to maintain rumen health.

Ruminal pH over a 24 h period was influenced by both breed and diet (Figure 2). However, ruminal pH in the Angus was less affected by the diet over a 24-hour period compared to the Nellore cattle, which can be explained by the higher dry matter intake by Angus animals in both the diets of whole shelled corn and the diet of the corn silage with concentrate. Zebu animals develop problems with acidosis more frequently when consuming diets high in concentrates, which results in a high incidence of rumenitis and digestive disorders (Millen et al., 2015; Pacheco et al., 2015). Therefore, precautions are necessary in the adaptation phase of the animals to diets with high grain content as well as in the management of daily feeding in feedlot, to prevent digestive disorders, especially in Nellore cattle.

Whole shelled corn diets caused greater variation in DMI compared to the corn silage diet throughout the experimental period (Figure 3), but no noticeable effect of breed was observed on intake variation. Whereas the animals that received the diet of corn silage and concentrate showed a daily variation in dry matter intake of approximately 15.7%, the animals that received the diet with whole shelled corn showed a variation of 28.4%, that is, 80.9% greater variation ($P < 0,01$). The larger variation is probably due to the lower ruminal pH (Figure 1) observed in the animals fed this diet, which shows daily instability

in dry matter intake. Some authors use the variation in daily intake as an indicator of the presence of subclinical acidosis (Bevans et al., 2005).

The analysis of the variation in dry matter intake over the feedlot periods indicated a relation to feedlot time (Figure 3). During the first feedlot period, comprising the 14 days allotted for adaptation to the diet of whole shelled corn, the observed variation in intake was high for both diets but was higher in the diet of whole shelled corn ($P < 0.05$). In the second and third experimental periods, an effect of the whole shelled corn diet on intake can also be observed ($P < 0.01$); however, the effects were more pronounced in these periods.

Due to the greater dry matter intake and therefore the nutrient intake, Angus cattle showed greater average daily weight gain at the end of the feedlot (Table 2). Moreover, these animals showed higher feed efficiency. These results may be explained by better use of starch in the GI tract of Angus cattle ($P = 0.05$) compared to Nellore cattle, according to data obtained in the digestibility study (89.3 vs 86.1) (Presented in chapter 3). Another justification and probably the most important is the longer genetic selection period of Angus cattle compared with Nellore, where the genetic improvement for the Angus animals is more consistent over the years.

The average daily gain during the experiment of the animals fed the diet with whole shelled corn followed a decreasing trend ($P = 0.08$) compared to the gain observed in animals fed corn silage and concentrate (Table 2). This

reduction, if analyzed separately, can lead to the wrong conclusions about the effects of the whole shelled corn diet because the decreasing trend in ADG and the reduction in DMI by the animals fed the whole shelled corn led to increased feed efficiency.

Analyzing only the gain in body weight of the animals can present interpretation problems because it does not take into account the composition of the weight gain in the carcass, organs, viscera, etc. Consequently, the feed efficiency and carcass data are presented in Table 2. The animals fed the whole shelled corn diet had greater efficiency in the carcass deposition compared to the animals that received a diet of corn silage and concentrate. The trend of reduction in average daily gain was not more observed when the data were analyzed based on the average daily gain of the carcass ($P = 0.23$) (Table 2). Therefore, the amount of carcass produced was unaffected by providing a diet of whole shelled corn. These results corroborate the results of Turgeon et al. (2010), who observed that diets of whole shelled corn without forage reduced the dry matter intake but increased the feed efficiency by 3.5% compared to diets that included forage. In another study, which evaluated the use of diets based on whole shelled corn without forage, Traxler et al. (1995) found no effect on the weight gain of the animals; however, a reduction in dry matter intake was observed, which represented a 15% increase in feed efficiency compared with diets that included forage.

The variation in daily intake, as seen above, may be related to the ruminal pH of the animals. Thus, high levels of variation in dry matter intake are negatively correlated with the dry matter intake of animals (Table 4); that is, animals showing high variation in the dry matter intake were those who had lower dry matter intake and hence lower performance over the feedlot period. Regardless, the negative effect of DMI variation on ADG showed no correlation with feed efficiency, which favored the results of the diet of whole shelled corn. Likewise, no correlation of this variable with feed efficiency was observed in the carcass of the animals.

No diet effect was observed for carcass characteristics of animals in feedlot (Table 2). Angus cattle showed higher final body weight ($P < 0.01$), hot carcass weight ($P < 0.01$) and REA ($P = 0.02$) compared to the Nellore cattle. However, when the REA is analyzed in relation to 100 kg of carcass, this effect was no longer observed ($P = 0.88$).

Angus cattle showed higher SFT compared to Nellore cattle (Table 2). Purebred animals with smaller frame size exhibit earlier deposition of fat, and the Angus breed is considered small when compared with the Nellore, which has a medium frame size. Besides, the higher dry matter intake of Angus and, consequently, the higher energy consumption is also a possible cause of the greater observed deposition of subcutaneous fat. The higher SFT in Angus cattle allowed these animals to lose less weight during cooling ($P < 0.01$) compared to

the Nellore because fat acts as carcass-insulating against low temperatures, preventing the loss of water.

The subcutaneous fat thickness of Angus cattle, despite having a higher value when compared to Nellore cattle, is still below the recommended values for the North American market. This fact is explained by the slaughter weight recommended for each country. The United States advocates a slaughter weight of approximately 1300 lbs., which is approximately 590 kg of live body weight. In Brazil, the recommended values are lower, approximately 480-510 kg. The higher slaughter weight advocated by the North American market explains the higher deposition of subcutaneous and intramuscular fat in North American cattle. Furthermore, in the United States the slaughter is predominantly of steers that have greater deposition of fat compared to bulls as used in this experiment.

Nellore cattle tended to have higher carcass yield compared to Angus cattle ($P = 0.08$) (Table 2). These results are explained by the size of the viscera of the animals in each breed (Table 5). The Angus showed, in general, heavier organs and heavier mesenteric fat compared to the Nellore. The total weight of the GI tract was also higher for Angus cattle; therefore, the GI tract and the mesenteric fat affected the BW of the animal.

The calculation of carcass yield presented above is simple; however, it does not consider the content present in the GI tract because the calculations are performed based on the final body weight of the live animal after fasting from

water and feed for 16 hours. Another form of analysis is the yield of carcass gain, which seeks to exclude the content of the GI tract and the weight of the viscera between treatments from the calculations. In this sense, the Nellore cattle were not superior to the Angus cattle ($P = 0.27$) in yield of carcass gain (Table 2).

However, animals that received the whole shelled corn diet showed a higher yield in carcass gain ($P = 0.02$) compared to animals fed corn silage and ground corn. This result explains the higher feed efficiency observed in these animals, because the carcass is a part of the BW. This result is also explained by the lower weight observed for the omasum, the large intestine (Table 5) and, particularly, the mesentery. According to Baldwin et al. (2007), when examining abomasal and ruminal infusion of starch and glucose, the lipolytic rate was not affected by the treatments. However, the rate of incorporation of both glucose and acetate was higher in the fatty tissue of animals that were infused with glucose and starch in the abomasum, compared to animals who had glucose and starch infused into their rumen. This increased incorporation occurred in the mesenteric omental and subcutaneous tissues.

Accordingly, animals that received the corn silage and concentrate diet probably had a greater rate of passage and higher starch flow to the post-rumen and, consequently, an increased use of starch at this location. This would favor

the incorporation of substrates in adipose tissues, especially in mesenteric tissues, thus reducing the carcass yield gain of these animals.

In conclusion, the utilization of diets with whole shelled corn is indicated for the finishing of beef cattle in feedlot systems because this diet promotes greater feed efficiency, regardless of whether it is used with *B. taurus* or *B. indicus* cattle. However, precautions are necessary in the adaptation phase of the animals to diets with high grain content as well as in the management of daily feeding in feedlot, to prevent digestive disorders, especially in Nellore cattle.

LITERATURE CITED

- ALLEN, M.S., B.J. BRADFORD, and M. OBA. 2009. Board Invited Review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J. Anim. Sci.* 87: 3317-3334.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. 1990. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington.
- BALDWIN VI, R. L., K. R. McLEOD, J. P. McNAMARA, T. H. ELSASSER and R. G. BAUMANN. 2007. Influence of abomasal carbohydrates on subcutaneous, omental, and mesenteric adipose lipogenic and lipolytic rates in growing beef steers. *J. Anim. Sci.* 85: 2271-2282.
- BEAUCHEMIN, K.A.; W.Z. YANG, and L.M. RODE. 2001. Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. *J. Anim. Sci.* 79: 1925-1936.
- BEVANS, D. W., K.A. BEAUCHEMIN, K.S. SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, J.J. McKINNON, and T.A. McALLISTER. 2005. Effect of rapid or gradual grain adaptation on sub acute acidosis and feed intake by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 83: 1116-1132.
- CORREA, C.E.S.; SHAVER, R.D.; PEREIRA, M.N.; LAUER, J.G.; KOHN, K. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *Journal of Dairy Science*, v. 85, p. 3008 – 3012, 2002.
- FURLAN, R.L., M. MACARI, and D.E. FARIA FILHO. 2006. Anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal. In: **Nutrição de Ruminantes**. Ed. FUNEP, p. 1-21.
- GOULART, R.S., and NUSSIO, L.G. 2011. Exigências de fibra fisicamente efetiva para bovinos confinados. In: **VII SIMPEC – VII Simpósio de Pecuária de Corte e II Simpósio Internacional de Pecuária de Corte**. Gráfica e Editora SUPREMA, p. 111-154.
- KARUE, C. N., J. L. EVANS, and A. D. TILLMAN. 1972. Metabolism of nitrogen in Boran and in Hereford-Boran crossbred steers. *J. Anim. Sci.* 35:1025–1030.
- KAUR, R., S. C. GARCIA, A. HORADAGODA, W.J. FULKERSON. 2010. Evaluation of rumen probe for continuous monitoring of rumen pH, temperature and pressure. *Animal Production Science*. 50: 98-104.
- KREHBIEL, C.R.; K.K. KREIKEMEIER, C.L. FERRELL. 2000. Influence of *Bos indicus* crossbreeding and cattle age on apparent utilization of a high-grain diet. *J. Anim. Sci.* 78: 1641-1647.
- MILLEN, D.D., R.D.L. PACHECO, N. DILORENZO, C.L. MARTINS, C.T. MARINO, J.P.S.T. BASTOS, T.M. MARIANI, R.S. BARDUCCI, L.M.N. SARTI, A. DICONSTANZO, P.H.M. RODRIGUES, and M.D.B. ARRIGONI. 2015. Effects of feeding a spray-dried multivalent polyclonal antibody preparation on feedlot performance, feeding

- behavior, carcass characteristics, rumenitis, and blood gas profile of Brangus and Nellore yearling bulls. *J. Anim. Sci.* 90: 1898-1909.
- MOULD, F.L., E.R. ØRSKOV, and S.O. MANN. 1983. Associative effects of mixed feeds. 2. The effect of dietary additions of bicarbonate salts on the voluntary intake and digestibility of diets containing various proportions of hay and barley. ***Animal Feed Science and Technology***. 10: 15-25.
- NAGARAJA, T. G., and K. F. LECHTENBERG. 2007. Acidosis in Feedlot Cattle. ***Vet. Clin. Food Anim.*** 23: 333-350.
- OLBRICH JR, J.F. The effect of corn particle size and corn silage level on the performance of Angus (*Bos taurus*) and Brahman (*Bos indicus*) steers. 1996. 181 p. Thesis (PhD – Animal Science) - University of Florida, Gainesville, 1996.
- OWENS, F. N., D. S. SECRIST, W. J. HILL, and D. R. GILL. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. ***J. Anim. Sci.*** 75:868-879.
- OWENS, F. N., D. S. SECRIST, W. J. HILL, and D. R. GILL. 1998. Acidosis in cattle: A review. ***J. Anim. Sci.*** 76: 275-286.
- ØRSKOV, E.R. 1982. **Protein nutrition in ruminants** . London: Academic Press. 160p.
- PACHECO, R.D.L., D.D. MILLEN, N. DILORENZO, C.L. MARTINS, C.T. MARINO, M.V. FOSSA, S.L. BEIER, A. DICONSTANZO, P.H.M. RODRIGUES, and M.D.B. ARRIGONI. 2015. Effects of feeding a multivalent polyclonal antibody preparation on feedlot performance, carcass characteristics, rumenitis, and blood gas profile in *Bos Indicus* biotype yearling bulls. *J. Anim. Sci.* 90: 1898-1909.
- RUSSELL, J. B., and D. B. WILSON. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? ***J. Dairy Sci.*** 79: 1503-1509, 1996.
- SAS INSTITUTE. **SAS procedures guide for computers**. Cary, 2003.
- SNIFFEN, C. J., J.D. O'CONNOR, and P.J. VAN SOEST. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. carbohydrate and protein availability. ***J. Anim. Sci.*** 70: 3562-3577.
- TAJIMA, K., R. I. AMINOV, T. NAGAMINE, H. MATSUI, M. NAKAMURA, and Y. BENNO. 2001. Diet-dependent shifts in the bacterial population of the rumen revealed with real-time PCR. ***Appl. Environ. Microbiol.*** 67: 2766-2774.
- TRAXLER, M. J., D. G. FOX, T. C. PERRY, R. L. DICKERSON, and D. L. WILLIAMS. 1995. Influence of roughage and grain processing in high-concentrate diets on the performance of long-fed Holstein steers. ***J. Anim. Sci.*** 73: 1888-1900.

- TURGEON, O.A., J.I. SZASZ, W.C. KOERS, M.S. DAVIS, and K.J. VANDER POL. 2010. Manipulating grain processing method and roughage level to improve feed efficiency in feedlot cattle. **J. Anim. Sci.** 88: 284-295.
- VAN SOEST, P.J. 1982. **Nutritional ecology of the ruminant: ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation, and the chemistry of forages and plant fibers.** O & B Books: 2nd ed., Universidade de Wisconsin, 374p.
- VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON, AND B.A. LEWIS. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and Nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy. Science.** 74: 3583-3597.
- VAN SOEST, P.J. 1994. **Nutritional Ecology of the Ruminant.** Ithaca: 2nd ed., Cornell University Press, 476p.

Table 1. Percentage of ingredients and chemical composition of the experimental diets

Ingredients, %	Diets (%DM)	
	CSC	WSC
Whole shelled corn	-	85.0
Protein and Mineral supplement*	-	15.0
Corn silage	30.0	-
Ground corn	58.0	-
Soybean meal	10.0	-
Mineral supplement**	2.0	-
Nutrients, %		
Dry matter ¹	57.3	87.8
Crude protein ²	12.7	14.6
Neutral detergent fiber ²	24.0	11.1
NDF from forage	14.7	0.0
Non-fiber carbohydrate ²	56.6	66.8
Starch ²	49.0	61.8
Mineral matter ²	4.6	4.9
Ether extract ²	2.1	2.6
Metabolizable energy ² (Mcal)	2.54	2.88

* CP: 32,0%; TDN: 50,0%; Ca: 45 g/kg; Mg: 7,5 g/kg; P: 11 g/kg; Cu 104 mg/kg; Zn: 344 mg/kg; Se: 0,83 mg/kg; Virginiamycin: 140 mg/kg; Monensin: 120 mg/kg.

**Assurance levels per kilogram of product: Ca: 170 g; P 31 g; Na: 155 g; Zn: 2 mg; Cu: 396 mg; Mn: 515 mg; Co: 15 mg; I: 29 mg; Se: 5,4 mg; Vit. A: 111.000 UI; Vit. D3: 22.000 UI; Vit. E: 265 UI; Rumensin: 12,53 g/kg.

¹ - natural matter basis, ² - dry matter basis

Table 2. Dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), average daily gain of carcass (ADGc), feed efficiency (FE), feed efficiency in carcass gain (FEc), initial body weight (IBW), final body weight (FBW), hot carcass weight (HCW), cold carcass weight (CCW), ribeye area (REA), ribeye area per 100 kg of cold carcass (REAc), subcutaneous fat thickness (SFT), weight loss due to cooling (CWL), hot carcass yield (HCY), yield of carcass gain (YCG) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

Item	Nellore		Angus		SEM	P - Value		
	CSC	WSC	CSC	WSC		Breed	Diet	B*D
	kg/day							
DMI	10.4	6.86	13.7	10.2	0.414	<0.01	<0.01	0.99
	%BW							
DMI	2.48	1.68	2.93	2.09	0.071	<0.01	<0.01	0.78
	kg/day							
ADG	1.41	0.98	1.96	1.82	0.160	<0.01	0.08	0.33
ADGc	0.85	0.70	1.33	1.26	0.104	<0.01	0.23	0.59
	ADG/DMI							
FE	0.128	0.152	0.147	0.202	0.0110	<0.01	<0.01	0.13
FEc	0.079	0.097	0.096	0.123	0.0090	0.02	0.02	0.59
	kg							
FBW	471	432	547	544	18.97	<0.01	0.24	0.30
HCW	280	259	315	315	10.85	<0.01	0.31	0.30
CCW	274	253	310	310	10.88	<0.01	0.32	0.31
	cm ²							
REA	72.1	67.6	84.8	79.3	5.13	0.02	0.32	0.91
REAc	26.1	26.5	27.3	25.5	1.23	0.88	0.54	0.36
	mm							
SFT	4.5	3.5	6.9	6.6	0.57	<0.01	0.19	0.46
	%							
CWL	1.91	2.30	1.61	1.67	0.156	<0.01	0.15	0.30
HCY	59.5	60.1	58.3	59.2	0.57	0.08	0.16	0.78
YCG	73.5	81.4	70.3	77.6	3.76	0.27	0.02	0.93

Table 3. Time (minutes/day) spent for ruminating (R) and feeding (F), time (minutes/day) at ruminal pH below 5.8 and 6.2, area under the curve for the pH of 5.8 and 6.2 in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

Item	Nellore		Angus		SEM	<i>P</i> - Value		
	CSC	WSC	CSC	WSC		Breed	Diet	B*D
R	355	102	355	83	14.7	0.04	<0.01	0.23
F	159	91	144	94	8.81	0.35	<0.01	0.34
Area under the curve, pH x min								
5.8	2041	5747	4476	5527	1484	0.40	0.08	0.32
6.2	2656	6488	5775	7556	1162	0.06	0.01	0.33
Time at pH, min/day								
<5.8	363	1070	822	1024	276	0.40	0.08	0.31
<6.2	487	1167	1025	1368	210	0.06	0.01	0.38

Table 4. Pearson correlations between variation in dry matter intake (VarDMI) with dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), average daily gain in carcass (ADGc), feed efficiency (FE) and feed efficiency in carcass (FEc) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

	DMI	ADG	ADGc	FE	FEc
Var DMI	-0.78	-0.38	-0.37	0.25	0.21
<i>P</i>	<0.01	0.04	0.04	0.19	0.24

Table 5. Weight and yield of heart, liver, rumen-reticulum (RuRe), abomasum, omasum, small intestine (SI), large intestine (LI), mesenteric adipose tissue (Mes) and total gastrointestinal tract (GIT) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

Item	Nellore		Angus		SEM	<i>P</i> - Value		
	CSC	WSC	CSC	WSC		Breed	Diet	B*D
	Weight, kg							
Heart	1.7	1.6	2.2	2.3	0.09	<0.01	0.83	0.41
Liver	5.0	5.0	6.8	6.7	0.26	<0.01	0.91	0.78
RuRe	6.2	6.6	8.0	9.2	0.35	<0.01	0.03	0.23
Abomasum	1.1	1.2	1.5	1.5	0.08	<0.01	0.55	0.37
Omasum	2.1	1.8	3.7	2.4	0.15	<0.01	<0.01	<0.01
SI	4.7	4.5	6.4	6.2	0.24	<0.01	0.48	0.98
LI	3.1	3.0	3.8	3.2	0.16	<0.01	0.02	0.07
Mes	14.8	11.9	18.6	17.7	1.11	<0.01	0.09	0.37
GIT	17.2	17.1	23.4	22.5	0.79	<0.01	0.53	0.63
	Yield, %							
Heart	0.36	0.38	0.40	0.44	0.016	<0.01	0.09	0.72
Liver	1.05	1.18	1.26	1.29	0.045	<0.01	0.09	0.29
RuRe	1.3	1.5	1.5	1.8	0.05	<0.01	<0.01	0.42
Abomasum	0.23	0.29	0.28	0.29	0.019	0.24	0.10	0.17
Omasum	0.44	0.42	0.68	0.47	0.027	<0.01	<0.01	<0.01
SI	1.0	1.1	1.2	1.2	0.04	<0.01	0.39	0.52
LI	0.65	0.70	0.70	0.61	0.029	0.48	0.49	0.02
Mes	3.1	2.7	3.4	3.4	0.19	0.01	0.30	0.38
GIT	3.6	4.0	4.3	4.2	0.13	<0.01	0.29	0.06

Figure 1. Maximum (A), average (B) and minimum (C) ruminal pH in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

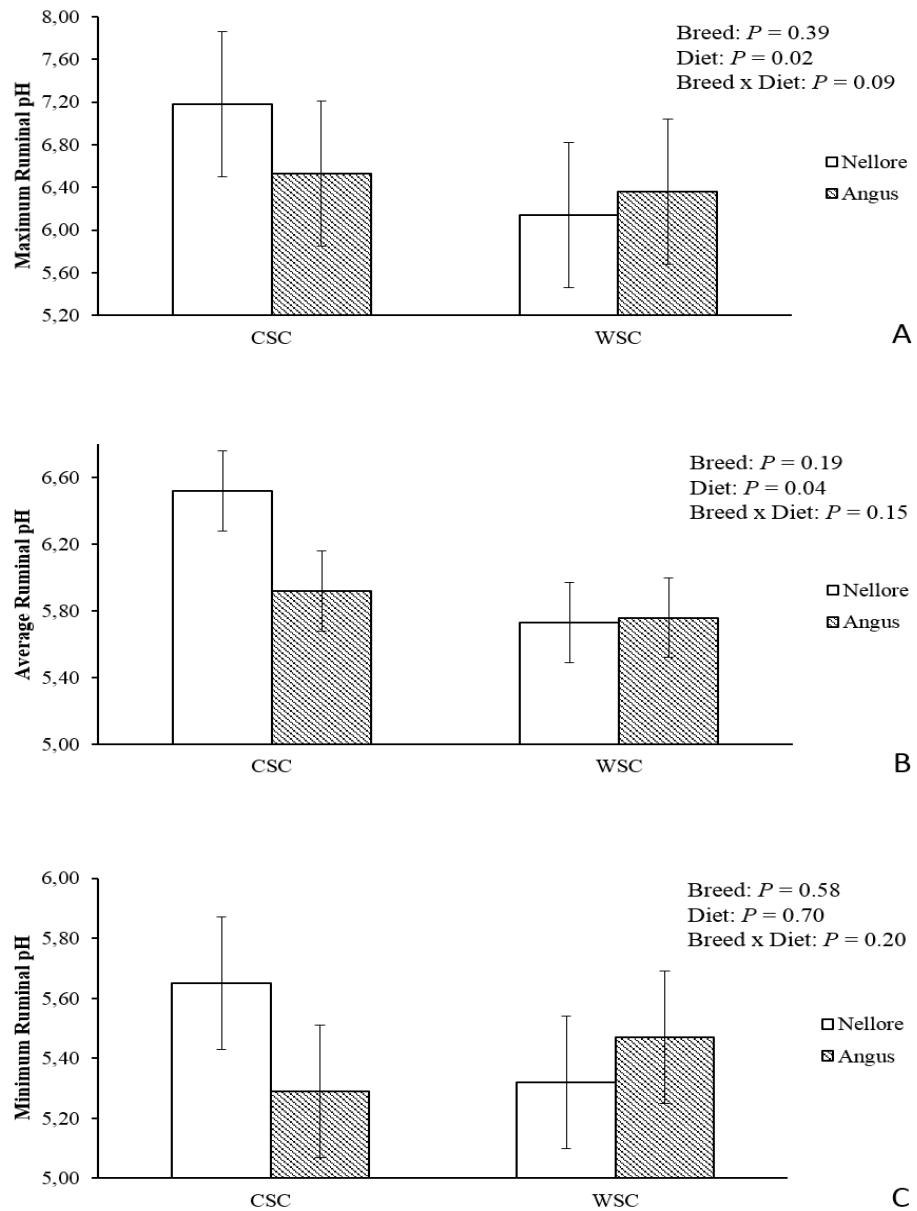


Figure 2. Ruminal pH, over a period of 24 hours, in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

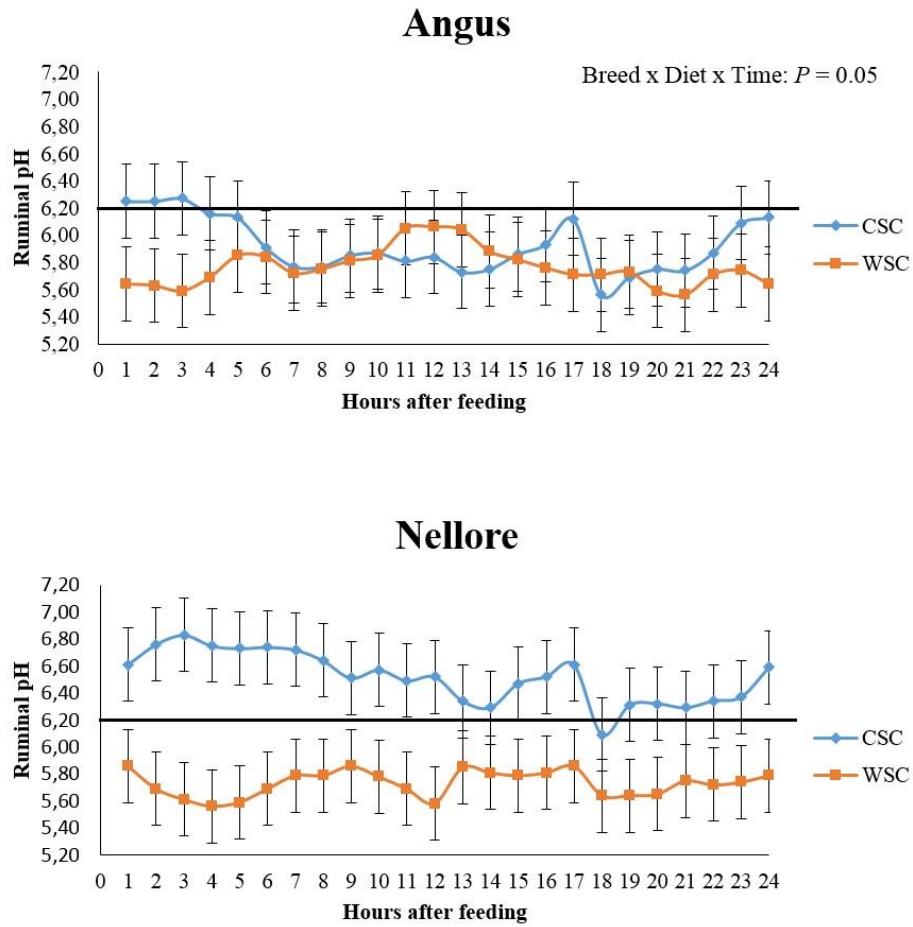
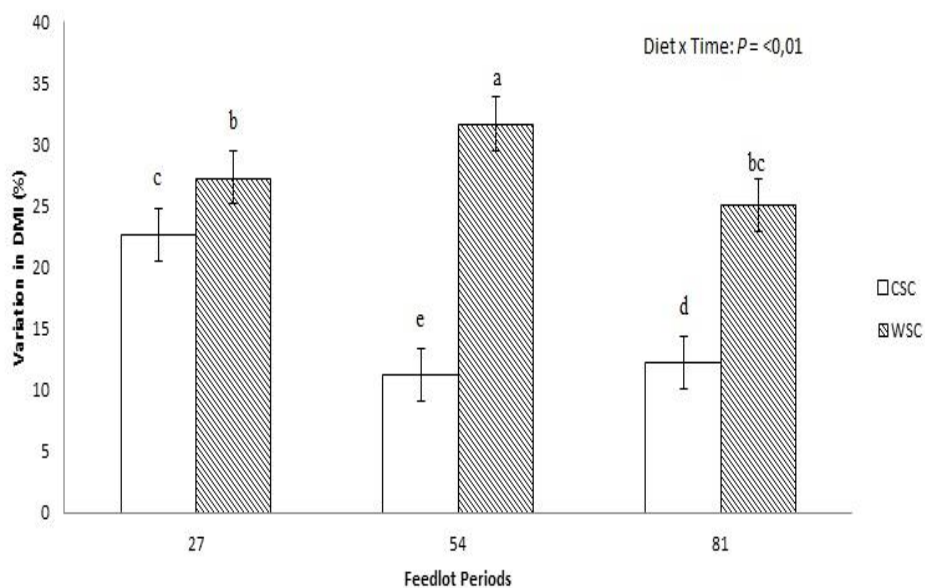


Figure 3. Variation in the consumption of dry matter by Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)



(VERSÃO PRELIMINAR)

ARTIGO 2 Digestibility and postruminal starch digestion of nellore and angus young bulls fed with whole shelled corn without forage

Artigo formatado segundo as normas do periódico Journal of Animal Science

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a digestibilidade dos nutrientes, atividade das enzimas α -amilase pancreática e maltase e a expressão no fígado do gene Fosfoenolpiruvato carboxinase 1 (*PCK1*) em tourinhos Nelore e Angus alimentados com dieta com grãos de milho inteiro ou silagem de milho mais concentrado moído. Trinta e seis tourinhos, sendo 18 Nelore e 18 Angus, com 20 meses de idade e peso vivo inicial de $381 \pm 11,8$ kg foram alocados em um delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 2 x 2 de tratamentos (2 raças e 2 dietas). A dieta com silagem de milho continha 30% de forragem e 70% concentrado a base de milho moído e farelo de soja. A dieta com grão de milho inteiro continha 85% de grão de milho inteiro e 15% de um premix a base de farelo de soja e mineral. A determinação da digestibilidade ocorreu durante os dias 48 e 50 do período experimental, usando coleta total de fezes. Após o abate, amostras foram retiradas do pâncreas para analisar a atividade da α -amilase pancreática; duodeno e jejuno para atividade da maltase e fígado para analisar a expressão do gene *PCK1*. A dieta com grãos de milho inteiro reduziu o consumo de matéria seca (MS) e da FDN ($P < 0,01$). Os animais da raça Angus apresentaram maior consumo de nutrientes comparado aos Nelore ($P < 0,01$). No entanto, não foi observado efeito quando o consumo foi apresentado em função do peso vivo dos animais ($P > 0,05$). A dieta com grãos de milho inteiro apresentou maior digestibilidade para a MS, FDN e amido ($P < 0,01$) quando comparada à dieta com silagem de milho e concentrado. Os animais da raça Angus apresentaram maior digestibilidade do amido ($P = 0,03$) comparado aos animais Nelore. No entanto, a atividade da α -amilase pancreática foi maior para os animais Nelore ($P < 0,01$), não tendo sido observado efeito de dieta ($P = 0,52$). No duodeno, a atividade da maltase foi maior nos animais que receberam a dieta com silagem de milho e concentrado ($P = 0,02$), não tendo efeito no jejuno. Observou-se em Nelore maior abundância de RNAm para o gene *PCK1*. Em conclusão, os animais Nelore tiveram baixa capacidade para digerir amido. No entanto, eles não tiveram menor atividade da α -amilase e maltase quando comparado aos Angus. A digestibilidade da matéria seca e do amido aumentou quando os animais foram alimentados com a dieta com grãos de milho inteiro sem forragem.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate nutrient digestibility, pancreatic α -amylase, intestinal maltase activities, and liver expression of the gene Phosphoenolpyruvate Carboxykinase 1 (*PCK1*) in Nellore and Angus young bulls fed a whole shelled corn diet or a corn silage plus ground concentrate diet. Thirty six young bulls, 18 Nellore and 18 Angus, aged 20 months and initial live weight of 381 initial \pm 11.8 kg were placed in a completely randomized design with a 2 x 2 factorial arrangement of treatments (two breeds and two diets). The corn silage diet contained 30% corn silage and 70% of a concentrate based on ground corn and soybean meal. The whole shelled corn diet containing 85% whole shelled corn and 15% of a premix based on soybean meal and minerals. The digestibility determination occurred during the days 48 and 50 of the experimental period, using total feces collection. After slaughter, samples were taken from the pancreas to analyze α -amylase activity; duodenum and jejunum for maltase activity and liver to analyze *PCK1* gene expression. Whole shelled corn diet reduced dry matter (DM) and neutral detergent fiber (NDF) intake ($P < 0.01$). Angus animals had greater nutrient intake compared to Nellore ($P < 0.01$). However, there was no effect when intake was evaluated on live weight basis ($P > 0.05$). The whole shelled corn diet had greater DM, NDF and starch digestibility ($P < 0.01$), compared to the corn silage and concentrate diet. Angus animals had greater starch digestibility ($P = 0.03$) compared to Nellore. However, the activity of α -amylase was greater in the Nellore animals ($P < 0.01$), and had no diet effect ($P = 0.52$). In the duodenum, maltase activity was greater in the animals fed corn silage and concentrate ($P = 0.02$) and had no effect in the jejunum. It was observed in Nellore greater abundance of *PCK1* mRNA. In conclusion, Nellore animals have low capacity to digest starch. However, they don't have less α -amylase and maltase activity, compared to Angus. Dry matter and starch digestibility increased when animals fed whole shelled corn diets without forage.

1 INTRODUCTION

Starch is an important nutrient in feedlot diets, providing a large amount of digestible energy to the animal. Therefore, the evaluation of its use in the gastrointestinal tract of beef cattle is important to achieve high animal performance and, according Kreikemeier et al. (1991), α -amylase action is limiting for starch digestion in ruminants. In addition, it is unknown whether this potential limitation occurs similarly in *Bos taurus* and *Bos indicus*. In this sense, according Olbrich (1996), in diets with high grain inclusion, big losses of fecal starch in *Bos indicus* animals have been observed. Some possibilities for the lesser starch digestion by *Bos indicus* reported are: differences in the gastrointestinal tract size, ruminal microbiome and post-rumen enzymatic activity (Caetano et al., 2015).

Moreover, post-ruminal starch digestion is affected by the diet. Swanson et al. (2002a) evaluated the effect of abomasal infusion of partially hydrolysed starch and reported that infusion tended to decrease the expression of the gene that encode the pancreatic α -amylase and decreased pancreatic α -amylase activity. In addition, maltase activity may also be a factor that influences starch absorption (Bauer et al., 2001; Rodriguez et al., 2004; Guimaraes et al., 2007; Liao et al., 2010).

Our hypothesis was that Nellore animals have low capacity to digest starch because they have low pancreatic α -amylase and maltase activity and low

expression of the gene that encode the PCK1 enzyme. In addition, the lack of corn processing in a diet without forage will decrease starch digestibility in the whole shelled corn diet. Therefore, this study had the objective to evaluate nutrient digestibility, pancreatic α -amylase, intestinal maltase activities, and liver expression of the gene *PCK1* in Nellore and Angus young bulls fed a whole shelled corn diet or a corn silage plus concentrate diet.

2 MATERIAL AND METHODS

The experimental procedures were approved by the Ethics Committee and Animal Welfare of the Federal University of Lavras (protocol 002/2013), and was carried out in the Beef Cattle unit of the Federal University of Lavras.

Experimental design, animals and diets

A total of 18 Nellore and 18 Angus young bulls with an average initial age of 20 months and an average initial live weight of 381 ± 11.8 kg were used in a completely randomized design. Treatments were arranged as a 2 x 2 factorial, with 4 treatments and 9 replicates per treatment. Treatments were: Nellore fed a corn silage plus concentrate diet (NCSC); Nellore fed a whole shelled corn diet without forage (NWSC); Angus fed a corn silage plus concentrate diet (ACSC); and Angus fed a whole shelled corn diet without forage (AWSC) (Table 1). Animals were housed in individual pens, with an area of 6 m², and

were fed *ad libitum* twice a day at 0730 and 1530. The adaptation period had 28 days and the experimental period lasted for 81 days.

Digestibility study

The digestibility study occurred during the days 48 and 50 of the experimental period, with total feces collection performed for three consecutive days. Total apparent digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), ether extract (EE), non-fiber carbohydrates (NFC), neutral detergent fiber (NDF), starch and total digestible nutrients (TDN) were analyzed. The chemical analysis of the diets was carried out according to the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) (CP, AOAC 984.13; Ash, 942.05; EE, 920.39; Moisture, 934.01). The non-fiber carbohydrates (NFC) were obtained according to Sniffen et al. (1992), the neutral detergent fiber (NDF) according to Van Soest et al. (1991) and starch was analyzed according to Hall (2009) procedure. The passage rate (Kp) for concentrate was calculated using the formula of NRC (2001) where using dry matter intake (% of BW) and the percentage of concentrate in the diet DM.

Fecal pH was analyzed after adding 100 mL of distilled deionized water into 15 g of fresh faeces using a pHmeter (Model HI 208 - Splabor, Presidente Prudente, SP, Brazil) according to Turgeon (1983).

Animal slaughter, tissue sample collection

After 81 days of the experiment, animals were slaughtered using the concussion technique and exsanguination of the jugular vein, followed by hide removal and evisceration. Just after evisceration, samples of the small intestine from the duodenum, jejunum and ileum were removed to be analyzed the gene expression of glucose transporter and maltase activity, samples of pancreas to measure α -amylase pancreatic activity and liver to measure the gene expression of gene *PCK1*. The small intestine was removed, and its total length (from pyloric valve to ileal-cecal junction) was measure. The sites for collection of small intestinal epithelial samples for maltase activity has been described previously (Howell et al., 2003). Briefly, one-meter sections of duodenum (0.5 to 1.5 m distal to the pyloric junction), jejunum (middle of the first half nonduodenal small intestine), and ileum (middle of the second half non-duodenal small intestine) were taken after removing the digesta.

All of the instruments that were used for the tissue collection were sterile. The liver samples were washed with a 0.9% NaCl physiological solution. The samples were wrapped in aluminum foil, frozen, and transported in liquid nitrogen and stored at -80°C .

Enzyme activity and gene expression analyses

Pancreas samples were collected to analyze pancreatic α -amylase activity and liver samples were obtained to analyze expression of the gene *PCK1* (Primer Efficiency: 98.3%, Reverse sequence: ATTGGAGGTGGACAGTCAGG and Forward sequence: CCCCCAGAGATCAAGAATCA), which encodes the enzyme phosphoenolpyruvate carboxiquinase (PEPCK-C). Pancreatic tissue (110 mg) was homogenized in 0.5 mL of the Amylase Assay Buffer and jejunum and duodenum (0.3 – 0.6 g) tissue were homogenized in Maltase Assay Buffer in proportion 1/10 (1 part of sample to 9 parts of buffer) with a T 25 basic ULTRA-TURRAX® (IKA®, Wilmington, NC, USA). The enzyme activity analyses were performed using commercial kits (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) where the number of amylase's kit is MAK009 and for maltase's kit is MAK019 in a spectrophotometer Multiskan GO® (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) according to manufacturer's specifications. Enzyme activity data were expressed as units per micrograms of protein.

The design of target and reference primers was performed using sequences that are registered and published in the GenBank public data bank, a National Center for Biotechnology Information (NCBI) platform. For the gene characterization, the open reading frames (ORF) of the selected sequences were obtained using the ORFinder tool from NCBI and the sequences of the codified proteins were obtained using the translate tool from the ExPASy protein bank.

The primers (Table 2) were designed using the OligoPerfect Designer software (Invitrogen, Karlsruhe, Germany). Total RNA was extracted from the liver samples using QIAzol (QIAGEN, Valencia, CA) and treated with DNA-free DNase (Ambion, Austin, TX) according to the manufacturer's instructions. For the analysis of the 28S and 18S bands of the rRNA, the total RNA was electrophoresed in a 1.0% (m/v) agarose gel, stained with GelRed nucleic acid gel stain (Biotium, Hayward, CA), and visualized with a UVitec FireReader XS D-77Ls-20M (UVitec, Cambridge, UK). The RNA quantity (ng/ μ L) and quality (260/280 and 260/230) were quantified using a spectrophotometer (NanoDrop Spectrophotometer ND-1000, Thermo Scientific, Wilmington, DE) at 260 nm. The cDNA synthesis was performed using the HighCapacity cDNA Reverse Transcription Kit (Applied Biosystems, Foster City, CA) according to the manufacturer's instructions and then samples were stored at -20°C . For the quantitative gene expression analysis by reverse-transcription quantitative PCR (RT-qPCR), the ABI PRISM 7500 Real-Time PCR model (Applied Biosystems) was used with the SYBR Green detection system (Applied Biosystems). The RT-qPCR program was as follows: 50°C for 2 min, 95°C for 10 min, 40 cycles of 95°C for 15 sec, 60°C for 1 min, and 95°C for 15 sec. The data were collected and stored with the Os 7500 Fast Software (Version 2.1; Applied Biosystems). For each reaction, 1.0 μ L cDNA (10 ng/ μ L), 0.3 μ L of each primer (1.5 μ M; forward and reverse), and 5.0 μ L SYBR Green Master Mix were combined in a

10.0- μ L/sample final volume in a 96-well MicroAmp Optical plate (Applied Biosystems). The RT-qPCR analyses for each studied gene were performed using cDNAs from 6 biological replicates, with 3 technical replicates per biological replicate. The results were normalized using the threshold cycle (CT) method for the expression of the reference genes β -actin (Primer Efficiency: 99.4%, reverse sequence: CAGTCCGCCTAGAAGCATTT and forward sequence: GTCCACCTTCCAGCAGATGT) and glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (Primer Efficiency: 101.4%, reverse sequence: TTGTCGTACCAGGAAATGAGC and forward sequence: CGACTTCAACAGCGCACTC). The CT was determined by the total number of cycles using the comparative CT method. As one requisite of this method, a validation assay was performed to demonstrate that the amplification efficiencies of the target and reference genes were approximately the same. Standard curves were generated for the studied genes with the following dilutions: 1:5, 1:25, 1:125, 1:625, and 1:3125. The relative expression levels were calculated according to the method described by Pfaffl (2001) which is based on Ct values that are corrected for the amplification efficiency for each primer pair.

Statistical analyses

A Shapiro-Wilk test was performed to check the normality of the data. When the data did not have a normal distribution, they were transformed using PROC RANK from SAS 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The apparent digestibility, gene expression and enzyme activity were analyzed using the PROC MIXED from SAS 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC) with diet, breed and diet*breed interaction as fixed effects and animals such as random effect.

The effect of different intestine sections (duodenum and jejunum) on the specific activity of maltase were analyzed by a design in split plot using the PROC MIXED from SAS 9.3 (SAS Inst., Inc., Cary, NC).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Intake of DM, NDF, NFC and starch were greater in Angus animals compared to Nellore ($P < 0.01$) (Table 2). This result was due to the greater body weight of Angus animals in the period that the digestibility assay was performed. However, when we analyzed the dry matter and nutrient intake as percentage of live weight, there was no breed effect ($P > 0.05$). With the greater intake of starch by the Angus animals, it was expected that the amount of starch reaching the gut would be higher in this Angus as compared to the Nellore cattle. This may have a negative effect on starch utilization efficiency in the

post-rumen, since there is the possibility that the action of α -amylase would be limiting for intestinal use of starch (Kreikemeier et al., 1991).

Animals fed whole shelled corn diets had lower intake of DM, NDF and NFC, which can be explained by the greater digestibility of the dry matter and other nutrients. The greater digestibility resulted in better utilization of the available energy by the animals, which would allow them to meet their nutritional requirements with a smaller feed amount. Therefore, there was an energy regulation of the intake. According to Allen et al. (2009), diets with high VFA production causes the ATP produced in the liver to increase the animal's satiety, reducing intake. Although VFA production was not analyzed in this study, the lower ruminal pH values observed for the whole-shelled corn diet (5.74 vs 6.22; presented in chapter 2) indicates greater ruminal fermentation in animals fed whole shelled corn diet. Moreover, according to Furlan et al. (2006), diets with high inclusion of grains are related to low tension on the rumen mechanoreceptors, reducing ruminal motility and consequently intake and passage rate of dry matter and nutrients.

On the other hand, reviewing the effects of physically effective fiber on beef cattle, Goulart and Nussio (2011) recommended the inclusion of neutral detergent fiber (NDF) from forage of between 10 and 18% to ensure the minimum requirements for rumen health. The role that forage plays in rumen motility and the rumination process is important because is directly related to the

production of saliva by the animal and the buffering of the rumen environment, increasing the passage rate. It was observed that the corn silage diet had a greater predicted passage rate ($P < 0.01$, 4.74% vs 3.20%) compared to whole shelled corn diet.

The greater intake of dry matter and nutrients in animals fed corn silage plus concentrate diet may also be a result of the increase in saliva flow and thus greater ruminal motility due to the long particles, which are able to increase rumination and salivation by the animal (Lechtenberg and Nagaraja, 2007).

There was a breed and diet interaction for starch intake. For this nutrient, Nellore animals fed whole shelled corn diet had lower starch intake, while in the Angus cattle the consumption was not affected by the diets. Despite the greater starch content in the whole shelled corn diet (Table 1; 26.1%), Nellore animals had a greater reduction in the dry matter intake from silage to whole shelled corn diets compared to Angus (36.4% vs 26.2%), which can explain that interaction.

Digestibility of DM, NDF, CP and starch were greater in the whole shelled corn diet, and can be explained by the greater retention time in the rumen for this diet, as previously discussed. Owens et al. (1997), evaluating different corn processing, in diets with 15 to 30% of forage, reported that starch digestibility and net energy was greater in whole shelled corn diet compared to rolled corn diets. The authors justified the results due to the greater retention time in the rumen for the unprocessed corn diets. The longer retention time in

the rumen or lesser passage rate gives more time for microorganisms' fermentation. In addition, in the present study the forage in the corn silage plus concentrate diet was the main source of peNDF important to increase the motility and probably the passage rate of this diet.

As expected, Nellore animals had less capacity to digest starch than Angus animals, regardless the diet. According to Olbrich (1996), diets with high grain inclusion have lesser digestibility in zebu animals, because the fecal starch concentration was 31.5% higher in this study. Observing the fecal starch content, there was no effect for breed or diets (Table 3). However, when assessing the overall starch excretion (kg/day), lesser excretion was observed when animals were fed the whole shelled corn diet. This effect is explained by the lesser fecal output in animals fed this diet and concentrating the starch in feces. Moreover, there was greater fecal pH when animals fed whole shelled corn diet. Therefore, considering the same fecal starch content and fecal pH values, probably the starch granules reaching the large intestine were more difficult to be digested by large intestinal bacteria because the intact protein matrix present in the grain for this diet.

Despite the greater total starch digestibility in Angus animals, their pancreas had lesser α -amylase activity, compared to Nellore (Figure 1). It was not observed effect of breed on the weight of the pancreas that was in average 0.372 g ($P = 0.47$). Thus, the data are presented in U/ μ g of protein. The breed

effect can be explained by the greater starch intake in the Angus. It reflects a greater flow of starch to the small intestine, which has negative effect on α -amylase activity. According to Swanson et al. (2002a), possibly there is an inverse relationship between starch flow and the mRNA expression and activity of pancreatic α -amylase in ruminants. These authors evaluated the effect of abomasal infusion of partially hydrolyzed starch and casein, and found that animals receiving starch showed less mRNA expression for α -amylase and lesser α -amylase synthesis and activity. The latter result is similar to the finding in this study. Therefore, it appears that the lesser starch digestion in *Bos indicus*, reported in the literature (Olbrich, 1996), does not occur due to a low α -amylase activity.

In a review about insulin metabolism to ruminants, Harmon (1992) described that the main substrates responsible for affecting insulin and glucagon concentrations in the blood are volatile fatty acids, particularly butyrate and propionate. Therefore, the greater starch digestibility in Angus animals could increase VFA production in the rumen, particularly propionate, which may lead to enhanced circulating insulin levels. It is assumed that the circulating insulin levels may have effect on α -amylase activity, since the function of insulin is to maintain blood glucose levels within a normal range. According to O'Brien and Granner (1991), insulin is able to act in many body tissues and organs, including the pancreas.

It was observed in this study greater maltase activity ($P < 0.001$) in the jejunum when than duodenum (Figure 2). Corroborating these findings, Rodriguez et al. (2004) and Guimarães et al. (2007) also observed greater maltase activity in the jejunum, compared to the duodenum and ileum.

According to Harmon and McLeod (2001), the small intestine of cattle fed high concentrate diets changes due to the considerable amounts of glucose reaching the lumen, while in cattle fed forage base diets, the amount of glucose in the intestine is low because it is largely fermented in the rumen. In addition, Kreikemeier et al. (1990) commented that the diet has little or no effect on maltase and isomaltase activity. In this study, small intestine of animals fed whole shelled corn diet had less specific activity of maltase in the duodenum, compared to animals fed corn silage diet (Figure 2). However, in the jejunum, there was no effect of the diets on maltase activity. Probably, corn silage plus concentrate diet had a positive effect on the maltase activity in the duodenum due to the greater flow of carbohydrates to the small intestine. On the other hand, the way that the starch reached the small intestine at the animals that received the whole shelled corn diet was different in intact form compared to the other diet that was in ground form which may have influenced in a different way on the activity of the enzyme. Rodriguez et al. (2004) observed greater maltase activity when the animals received abomasal infusion of starch and glucose, regardless of the intestine portion. However, Bauer et al. (2001a) observed that

animals receiving direct hydrolyzed starch in the abomasum had no differences in the maltase activity compared to ruminal infusion. In another study, Swanson et al. (2000) did not observe an effect of starch levels on maltase activity.

The results of α -amylase and maltase activity demonstrate that the mechanisms regulating these enzymes are independent and antagonistic because the greater starch content inhibits the α -amylase activity, while stimulates maltase activity. In addition, the breed effect found in the α -amylase activity was not seen for maltase. This indicates that the greater use efficiency of starch by Angus were not due to the maltase activity in this experiment.

According Aschenbach et al. (2010), conversion of propionate produced in the rumen to glucose in the liver is regulated by the enzyme phosphoenolpyruvate carboxykinase present in the cytosol (PEPCK-C), and this enzyme is a key in the ruminant energy metabolism, since propionate is the main precursor for gluconeogenesis in ruminants (Annison and Bryden, 1999). It was observed in Nellore greater abundance of *PCK1* mRNA (Figure 3), which possibly shows greater dependence of these animals on gluconeogenesis. Over the years, Nellore animals have gone through natural selection process in situations with poor nutritional conditions, compared to Angus animals that were selected for high nutritional programs. This fact may have caused a greater dependence of Nellore on endogenous production glucose as opposed to exogenous glucose. Therefore, gluconeogenesis may be more important for *Bos*

indicus compared to *Bos Taurus* breeds of cattle. Moreover, according to Eisemann et al. (1994), in animals with high carcass fat content, the contribution of propionate to gluconeogenesis is decreased due to greater participation of gluconeogenic amino acids in this process. In this case, some amino acids are substrates for gluconeogenesis, which is not dependent on the PEPCK-C pathway.

In conclusion, Nellore animals have a low capacity to digest starch. However, Nellore cattle don't have less α -amylase and maltase activity, compared to Angus. Dry matter and starch digestibility increased when animals were fed whole shelled corn diets without forage. Therefore, the lack of corn processing was not detrimental to nutrient absorption.

LITERATURE CITED

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington.
- ANNISON, E. F., BRYDEN, W. L. Perspectives on ruminant nutrition and metabolism. II. Metabolism in ruminant tissues. *Nutr. Res. Rev.* 12:147-177, 1999.
- ASCHENBACH, J.R., N.B. KRISTENSEN, S.S. DONKIN, H.M. HAMMON, AND G.B. PENNER. Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. *IUBMB Life.* 62:869–877. doi:10.1002/iub.400, 2010.
- BAUER, M. L., D. L. HARMON, D.W. BOHNERT, A.F. BRANCO, and G.B. HUNTINGTON. 2001a. Influence of α -linked glucose on sodium-glucose cotransport activity along the small intestine in cattle. *J. Anim. Sci.* 79: 1917-1924.
- CAETANO, M., R.S. GOULART, S.L.SILVA, J.S. DROUILLARD, P.R. LEME, and D.P.D. LANNA. 2015. Effect of Flint corn processing method and roughage level on finishing performance of Nellore-based cattle. *J. Anim. Sci.* 93: 4023-4033.
- EISEMANN, J. H., and G. B. HUNTINGTON. 1994. Metabolite flux across portal-drained viscera, liver, and hindquarters of hyperinsulinemic, euglycemic beef steers. *J. Anim. Sci.* 72: 2919–2929.
- FURLAN, R.L., M. MACARI, D.E. FARIA FILHO. 2006. Anatomia e fisiologia do trato gastrintestinal. In: *Nutrição de Ruminantes*. Ed. FUNEP, p. 1-21.
- GUIMARÃES, K.C., S.R. HAZELTON, J.C. MATTHEWS, K.C. SWANSON, D.L. HARMON, and A.F. BRANCO, A.F. 2007. Influence of Starch and Casein Administered Postruminally on Small Intestinal Sodium-Glucose Cotransport Activity and Expression. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* 50: 963-970.
- HALL, M.B. 2009. Determination of starch, including maltooligosaccharides, in animal feeds: Comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study. *Journal of AOAC International.* 92, n. 1.
- HARMON, D. L., and K. R. MCLEOD. 2001. Glucose uptake and regulation by intestinal tissues: Implications and whole-body energetics. *J. Anim. Sci.* 79(E. Suppl.): E59-E72.
- HARMON, D. L. 1992. Impact of nutrition on pancreatic exocrine and endocrine secretion in ruminants: A review. *J. Anim. Sci.* 70: 1290-1301.
- HARMON, D.L., and TAYLOR, C.C. 2005. Factors influencing assimilation of dietary starch in beef and dairy cattle. In: *SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 2005. Nebraska, Proceedings...* Nebraska, p. 55-56.

- KREHBIEL, C.R., K.K. KREIKEMEIER, and C.L. FERRELL, C.L. 2000. Influence of *Bos indicus* crossbreeding and cattle age on apparent utilization of a high-grain diet. *J. Anim. Sci.* 78: 1641-1647.
- KREKEMEIER, K. K., D. L. HARMON, R. T. BRANDT, Jr., T. B. AVERY, and D. E. JOHNSON. 1991. Small intestinal starch digestion in steers: Effect of various levels of abomasal glucose, corn starch and corn dextrin infusion on small intestinal disappearance and net glucose absorption. *J. Anim. Sci.* 69: 328-338.
- KREIKEMEIER, K. K., D.L. HARMON, J.P. PETERS, K.L. GROSS, C.K. ARMENDARIZ, and C.R. KREHBIEL. 1990. Influence of dietary forage and feed intake on carbohydrase activities and small intestinal morphology of calves. *J. Anim. Sci.* 68: 2916-2929.
- LADELY, S., R. HUFFMAN, F. GOEDEKEN, and R. STOCK. 1991. Corn hybrids for finishing cattle. *Nebraska Beef Cattle Report*. p 48.
- LIAO, S.F., D.L. HARMON, E.S. VANZANT, K.R. MCLEOD, J.A. BOLING, and J.C. MATTHEWS. 2010. The small intestinal epithelia of beef steers differentially express sugar transporter messenger ribonucleic acid in response to abomasal versus ruminal infusion of starch hydrolysate. *J. Anim. Sci.* 88: 306-314.
- MERTENS, D. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80: 1463-1481.
- NAGARAJA, T.G., and K.F. LECHTENBERG. 2007. Liver abscesses in feedlot cattle. *Vet Clin Food Anim.* 23: 351-369.
- NRC (2001). National research council. Nutrient requirements of dairy cattle (7th ed. rev.) Washington, DC: Academy Press.
- NUSSEY, S. S., and S. A. WHITEHEAD. 2001. *Endocrinology: An Integrated Approach*. Bios Scientific, Oxford, UK.
- O'BRIEN, M., and D.K. GRANNER. 1991. Regulation of gene expression by insulin. **Biochem. J.** 278: 609-619.
- OLBRICH JR, J.F. 1996. The effect of corn particle size and corn silage level on the performance of Angus (*Bos taurus*) and Brahman (*Bos indicus*) steers. 181 p. Thesis (PhD – Animal Science) - University of Florida, Gainesville.
- OWENS, F. N., D. S. SECRIST, W. J. HILL, and D. R. GILL. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 75: 868–879.
- RODRIGUEZ, S. M., K. C. GUIMARAES, J. C. MATTHEWS, K. R. Mc, R. L. LEOD, V. I. BALDWIN, and D. L. HARMON. 2004. Influence of abomasal carbohydrates on small intestinal sodium-dependent glucose cotransporter activity and abundance in steers. *J. Anim. Sci.* 82: 3015-3023.
- SAS INSTITUTE. SAS procedures guide for computers. Cary, 2003.

- SWANSON, K.C., J.C. MATTHEWS, C.A. WOODS, and D.L. HARMON. 2002a. Postprandial Administration of Partially Hydrolyzed Starch and Casein Influences Pancreatic α -Amylase Expression in Calves. *Journal of Nutrition*. 132: 376-381.
- SWANSON, K. C., N. KELLY, H. SALIM, Y.J. WANG, S. HOLLIGAN, M.Z. FAN, and B.W. McBRIDE. 2008. Pancreatic mass, cellularity, and α -Amylase and trypsin activity in feedlot steers fed diets differing in crude protein concentration. *J. Anim. Sci.* 86: 909-915.
- SWANSON, K.C., J.C. MATTHEWS, A.D. MATTHEWS, J.A. HOWELL, C.J. RICHARDS, and D.L. HARMON. 2000. Dietary carbohydrate source and energy intake influence the expression of pancreatic α -Amylase in lambs. *The Journal of Nutrition*. 130: 2157-2165.
- SNIFFEN, C.J., R.W. BEVERLY, and C.S. MOONEY. 1993. Nutrient requirement versus supply in dairy cow: strategies to account for variability. *J. Dairy Sci.* 76: 3160-3178.
- TURGEON, O.A., D.R. BRINK JÚNIOR, and R.A. BRITTON. 1983. Corn particle size mixtures, roughage level and starch utilization in finishing steer diets. *J. Anim. Sci.* 57: 739-749.
- VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON, AND B.A. LEWIS. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and Nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy. Science.** 74: 3583-3597.

Table 1. Percentage of ingredients and chemical composition of the experimental diets

Ingredients, %	Diets (%DM)	
	CSC	WSC
Whole shelled corn	-	85.0
Protein and Mineral supplement*	-	15.0
Corn silage	30.0	-
Ground corn	58.0	-
Soybean meal	10.0	-
Mineral supplement**	2.0	-
Nutrients, %		
Dry matter ¹	57.3	87.8
Crude protein ²	12.7	14.6
Neutral detergent fiber ²	24.0	11.1
NDF from forage	14.7	0.0
Non-fiber carbohydrate ²	56.6	66.8
Starch ²	49.0	61.8
Mineral matter ²	4.6	4.9
Ether extract ²	2.1	2.6
Metabolizable energy ² (Mcal)	2.54	2.88

* CP: 32,0%; TDN: 50,0%; Ca: 45 g/kg; Mg: 7,5 g/kg; P: 11 g/kg; Cu 104 mg/kg; Zn: 344 mg/kg; Se: 0,83 mg/kg; Virginiamycin: 140 mg/kg; Monensin: 120 mg/kg.

**Assurance levels per kilogram of product: Ca: 170 g; P 31 g; Na: 155 g; Zn: 2 mg; Cu: 396 mg; Mn: 515 mg; Co: 15 mg; I: 29 mg; Se: 5,4 mg; Vit. A: 111.000 UI; Vit. D3: 22.000 UI; Vit. E: 265 UI; Rumensin: 12,53 g/kg.

¹ - natural matter basis, ² - dry matter basis

Table 2. Intake and digestibility of corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC) in Nellore and Angus young bulls

Item	Nellore		Angus		SEM	<i>P</i>		
	CSC	WSC	CSC	WSC		Breed	Diet	B*D
Intake, kg/day								
Dry matter	11.0	7.0	13.0	9.6	0.65	<0.01	<0.01	0.53
NDF ¹	2.6	0.8	3.1	1.1	0.19	<0.01	<0.01	0.69
NFC ²	6.2	5.0	7.4	6.9	0.39	<0.01	0.02	0.31
Starch	5.1	4.2	6.3	6.6	0.34	<0.01	0.28	0.05
Intake, %/BW								
DM	2.3	1.6	2.4	1.8	0.12	0.33	<0.01	0.59
NDF	0.6	0.2	0.6	0.2	0.03	0.67	<0.01	0.42
Starch	1.11	1.08	1.16	1.20	0.069	0.19	0.96	0.58
Apparent digestibility, %								
Dry matter	72.5	82.5	72.3	83.7	1.90	0.77	<0.01	0.69
OM	73.6	83.4	73.3	84.3	1.87	0.87	<0.01	0.73
NDF	60.2	79.6	54.6	81.7	2.99	0.52	<0.01	0.16
NFC	86.8	89.8	88.7	89.8	1.38	0.45	0.12	0.44
CP ⁴	72.1	79.0	71.2	80.3	1.66	0.89	<0.01	0.47
EE ⁵	58.3	80.1	63.5	82.7	0.05	0.42	<0.01	0.78
Starch	86.3	92.3	90.5	93.3	1.28	0.03	<0.01	0.17
TDN ³	72.0	81.9	71.6	82.8	1.79	0.88	<0.01	0.69

¹ neutral detergent fiber; ² non-fiber carbohydrates; ³ total digestible nutrients; ⁴ Crude protein; ⁵ Ether extract

Table 3. Fecal starch (FS), fecal production (FP) and fecal pH (FpH) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

Item	Nellore		Angus		SEM	<i>P</i>		
	CSC	WSC	CSC	WSC		Breed	Diet	B*D
Starch on feces, %								
FS ¹	23.7	24.0	18.4	23.7	0.02	0.21	0.21	0.27
Starch on feces, kg								
FS ¹	0.710	0.307	0.647	0.392	0.0763	0.87	<0,01	0.28
Fecal output, kg								
Foutput ²	3.02	1.21	3.59	1.57	0.263	0.06	<0.01	0.65
FpH ³								
	5.15	5.88	5.24	5.97	0.095	0.35	<0.01	0.97

¹ Starch on feces, ² Fecal output, ³ Fecal pH

Figure 1. Specific activity (U/ μ g of protein) of α -amylase pancreatic in Nellore (N) and Angus (A) bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

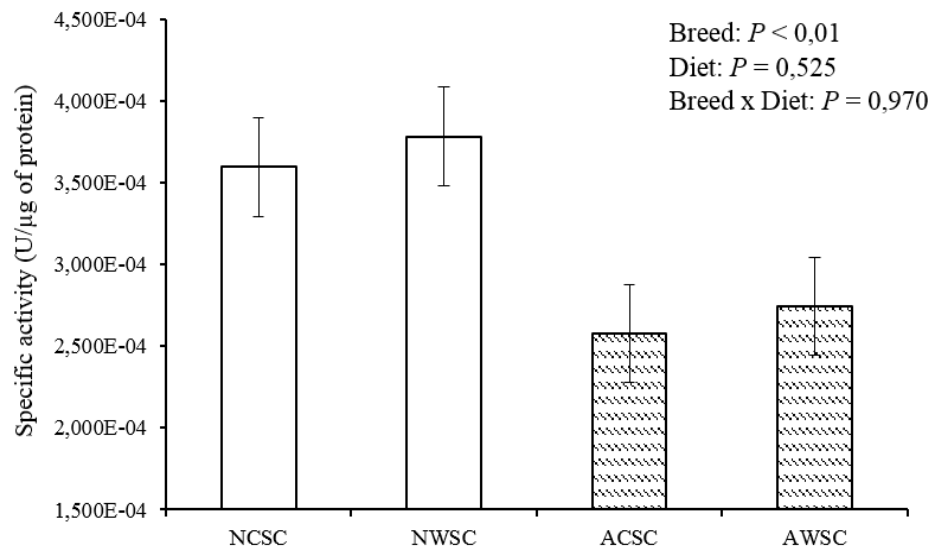


Figure 2. Specific activity (U/ μ g of protein) of maltase in the duodenum (A) and jejunum (B) in Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)

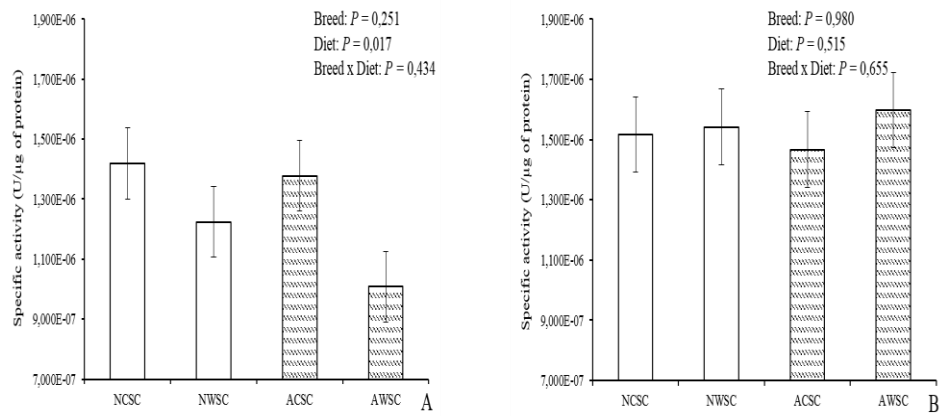
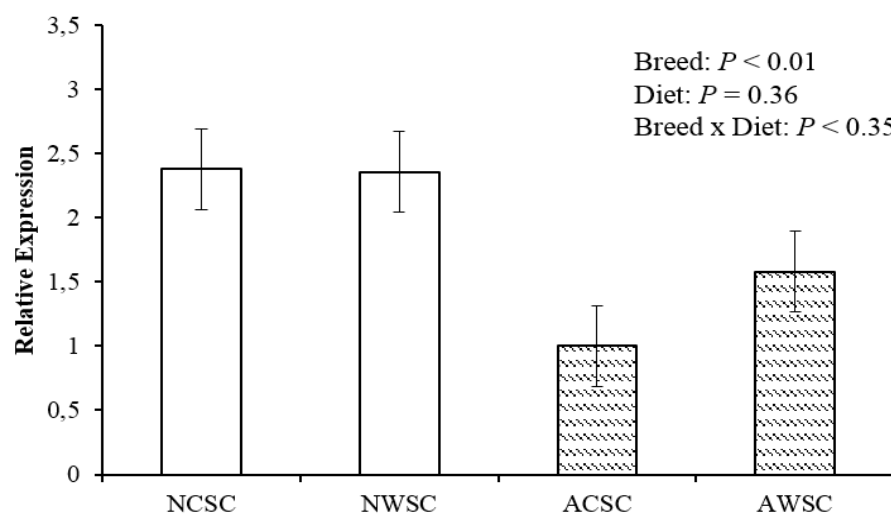


Figure 3. Relative expression *PCK1* gene in the liver of Nellore and Angus young bulls fed corn silage plus concentrate diet (CSC) and whole shelled corn diet (WSC)



(VERSÃO PRELIMINAR)