

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

**Inclusão de novos coprodutos derivados do processo de produção de etanol
de milho em dietas de terminação de bovinos**

Silvio Luís Antunes

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

**Piracicaba
2020**

Silvio Luís Antunes

Bacharel em Zootecnia

Inclusão de novos coprodutos derivados do processo de produção de etanol de milho em dietas de terminação de bovinos
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **FLÁVIO AUGUSTO PORTELA SANTOS**

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

Piracicaba
2020

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

Antunes, Silvio Luís.

Inclusão de novos coprodutos derivados do processo de produção de etanol de milho em dietas de terminação de bovinos / Silvio Luis Antunes. - -versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011- Piracicaba, 2020

44 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Grãos destilados 2. Confinamento 3. Bovinos de corte 4. Proteína não degradável no rúmen.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José e Eva, e meu irmão Flávio, pela minha educação e amor, moldando meu caráter, e aos ensinamentos de humildade e respeito. Pelo apoio em cada decisão que tomei em minha vida.

Ao meu orientador Flávio Augusto Portela Santos, por depositar em mim sua confiança. Agradeço aos ensinamentos que porventura despertaram-me o interesse pela pesquisa.

À “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz” (ESALQ), por disponibilizar toda estrutura necessária para condução deste trabalho, juntamente a seu excepcional grupo docente.

À “Gloriosa República Gato Preto” (GRGP), tornando-se meu lar em Piracicaba. Transmitindo-me seus valores por meio de seus pilares (Ética, Respeito, Comprometimento, Hierarquia, Família e Amizade). Agradeço aos meus novos irmãos por me acolherem e estarem sempre juntos a mim nos bons e maus momentos, e moldando em minha pessoa o verdadeiro significado do que é ser um “Gatopretense”.

Ao grupo de estágio e pesquisa Nutribov. Agradeço pela incomensurável contribuição para a concretização deste experimento, mesmo diante das mais adversas situações. Aos meus colegas de pós-graduação Djonatan, José Mauricio, Pedro, Murilo e Camila pela amizade e contribuição para minha formação pessoal e intelectual durante o Mestrado.

Ao Clube de Práticas Zootécnicas – CPZ, pelo auxílio nas atividades de manejo e condução do experimento de confinamento.

À FS-Bioenergia pela confiança e oportunidade de trabalharmos juntos para a condução deste experimento e suporte financeiro para que o mesmo viesse a se concretizar.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela disponibilidade da bolsa de estudos.

E às demais pessoas que de forma direta ou indiretamente vieram a contribuir para a elaboração e conclusão deste projeto. Meu muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. PRODUÇÃO DE ETANOL	11
2.2. TIPOS DE PROCESSAMENTO DE MILHO E COPRODUTOS GERADOS	12
2.2.1. <i>Processamento a seco</i>	12
2.2.2. <i>Processamento úmido</i>	14
2.3. COPRODUTOS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE MILHO	15
2.3.1. <i>Grãos destilados úmidos com solúveis (WDGS)</i>	15
2.3.2. <i>Grãos Destilados secos com solúveis (DDGS)</i>	15
2.3.3. <i>Fibra mais solúveis (DDBS ou WDBS)</i>	16
2.3.4. <i>Grão destilado com alta proteína (HPDG)</i>	17
2.4. INCLUSÃO DOS COPRODUTOS (HPDG, WDBS E DDBS) EM DIETAS PARA BOVINOS EM TERMINAÇÃO.	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. EXPERIMENTO 1: DESEMPENHO ANIMAL.....	19
3.1.1. <i>Data, Local, Animais e Tratamentos</i>	19
3.1.2. <i>Coleta de dados e Análises de Alimentos</i>	23
3.1.3. <i>Análise Estatística</i>	24
3.2. EXPERIMENTO 2: FERMENTAÇÃO RUMINAL E DIGESTIBILIDADE	24
3.2.1. <i>Coleta de dados e Análise de Amostras</i>	25
3.2.2. <i>Análise Estatística</i>	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1. DESEMPENHO ANIMAL (EXP. 1)	27
4.2. FERMENTAÇÃO RUMINAL E DIGESTIBILIDADE (EXP. 2)	33
5. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	41

RESUMO

Inclusão de novos coprodutos derivados do processo de produção de etanol de milho em dietas de terminação de bovinos

Dois experimentos foram conduzidos para avaliar o desempenho e as respostas metabólicas de bovinos em terminação alimentados com coprodutos de destilaria de milho. Todas as dietas foram formuladas para serem isoproteicas contendo 15% de silagem de milho, 12% de casca de soja, 0,55 a 0,85% de ureia e 1,80% de suplemento mineral e vitamínico. Os tratamentos foram (% da MS): Controle (8% caroço de algodão, 5% de farelo de soja e 57,60% de milho moído); Grão destilado seco com alta proteína (*High Protein Distillers Grains* - HPDG; 10,3% HPDG e 60,35% milho moído); Fibra seca de grãos destilados com solúveis (*Dry Distillers Bran plus Solubles* - DDBS; 30% DDBS e 40,35% milho moído); Fibra úmida de grão destilado com solúveis (*Wet Distillers Bran plus Solubles* - WDBS; 30% WDBS e 40,35% milho moído). No Exp. 1, 258 machos inteiros da raça Nelore (423,3 kg \pm 36,6 kg) foram distribuídos em 44 baias em um delineamento em blocos casualizados e alimentados por 102 dias, após dezesseis dias de período de adaptação. O consumo de matéria seca (CMS) tendeu ($P = 0,058$) a ser maior para DDBS comparado com o WDBS (11,2 vs. 10,3 kg, respectivamente). O ganho de peso diário (GPD) foi maior ($P = 0,0284$) para o DDBS comparado com o HPDG (1,62 vs 1,45 kg, respectivamente) e tendeu a ser maior ($P = 0,0861$) comparado com o tratamento Controle (1,62 vs 1,48 kg). O peso de carcaça quente (PCQ) foi maior ($P = 0,0107$) para o DDBS quando comparado aos demais tratamentos (331,48 vs 321,58; 321,27 e 320,26 kg, respectivamente). A eficiência alimentar, rendimento de carcaça, área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea não foram afetados ($P > 0,05$) pelos tratamentos. No Exp. 2, foram utilizados quatro novilhos Nelore (389 \pm 37 kg) canulados no rumem e distribuídos em baias individuais em um delineamento em Quadrado Latino. O CMS foi maior ($P = 0,018$) para os tratamentos Controle e DDBS em comparação ao WDBS, sem diferença ($P > 0,05$) entre o HPDG e os demais. A digestibilidade aparente no trato digestivo total da MS foi maior ($P = 0,018$) para o HPDG comparado ao DDBS (76,8 vs. 68,5%, respectivamente). A inclusão de HPDG e de DDBS reduziu ($P < 0,01$) a proporção molar de acetato, aumentou ($P < 0,01$) a proporção molar de propionato e reduziu ($P < 0,01$) a relação acetato:propionato em comparação aos tratamentos Controle e WDBS. O HPDG e o DDBS também reduziram ($P < 0,01$) as proporções molares de isobutirato e de isovalerato. Os coprodutos de etanol de milho reduziram ($P < 0,01$) a concentração ruminal de $\text{NH}_3\text{-N}$ em comparação ao tratamento Controle, com os valores mais baixos para o HPDG e intermediários para o DDBS e WDBS. O PCQ maior para os animais alimentados com DDBS pode ser justificado pelo efeito positivo no CMS e perfil de AGCC no rumem, mas não pela digestibilidade da MS no trato total.

Palavras-chave: grãos destilados; confinamento; bovinos de corte; proteína não degradável no rumem.

ABSTRACT

Inclusion of news byproducts derived from the corn ethanol production process in finishing cattle diets

Two experiments were conducted to evaluate the performance and metabolism responses of finishing cattle to dietary inclusion of corn ethanol byproducts. All diets were isoprotein and contained 15% corn silage, 12% soyhulls, 0.55 to 0.85% urea and 1.8% mineral supplement. Treatments were (dry basis): Control [8% whole cottonseed, 5% soybean meal and 57.6% ground corn (GC)]; High Protein Distillers Grains (HPDG; 10.3% HPDG and 60.35% GC); Dry Distillers Bran plus Solubles (DDBS; 30% DDBS and 40.35% GC); Wet Distillers Bran plus Solubles (WDGS; 30% WDGS and 40.35% GC). In Exp. 1, 258 Nellore bulls were blocked by initial body weight (423.3 kg \pm 36.6 kg), assigned to 44 pens in a randomized complete block design and fed for 102 days, post sixteen days adaption period. Dry matter intake (DMI) tended ($P = 0.058$) to be greater for DDBS compared with WDGS (11.2 vs. 10.3 kg, respectively). Average daily gain was greater ($P = 0.0284$) for DDBS compared with HPDG (1.62 vs 1.45 kg respectively) and tended a greater ($P = 0.0861$) compared with Control (1.62 vs 1.48kg). Hot carcass weight was greater ($P = 0.0107$) for DDBS compared with the other treatments (331.5vs 321.5, 321.2 e 320.26 kg respectively). Feed efficiency, carcass dressing, ribeye area and back fat thickness were not affected ($P > 0.05$) by treatments. In Exp. 2, four rumen cannulated Nellore steers (389 \pm 37 kg) were used in a 4 \times 4 Latin square design. The DMI was higher ($P = 0.018$) for the Control and DDBS treatments compared to WDGS, with no difference ($P > 0,05$) between HPDG and others. Total tract digestibility of dry matter was greater ($P = 0.018$) for HPDG compared with DDBS (76.8 vs. 68.5% respectively). The inclusion of HPDG and DDBS reduced ($P < 0.01$) the molar proportion of acetate, increased ($P < 0.01$) the molar proportion of propionate and reduced ($P < 0.01$) the acetate: propionate ratio compared to Control and WDGS treatments. HPDG and DDBS also reduced ($P < 0.01$) the molar proportion isobutyrate and isovalerate. Corn ethanol byproducts reduced ($P < 0.01$) the ruminal concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ compared to the Control treatment, with lower values for HPDG and intermediates for DDBS and WDGS. The greater HCW of bulls fed DDBS may be justified by the positive effect on DMI and rumen SCFA profile, but not by the digestibility of DM in the total tract.

Keywords: distillers' grain; feedlot; beef cattle; rumen undegradable protein.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Frações do grão de milho: pericarpo, endosperma (farináceo e vítreo) e gérmen (WATSON, 1987). 13
- Figura 2: Processo de extração de etanol a partir do milho e coprodutos gerados (WDG, WDGS, DDG, DDGS E CDS). Adaptado de MacDonalds (2018). 16
- Figura 3: Processo de extração de etanol a partir do milho com a separação da fibra antes da etapa de fermentação (Fiber Separation Technology™). Adaptado de Garland (2018). 17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ingredientes e composição química das dietas experimentais com coprodutos do processo de produção de etanol à base de milho (base em % da MS).....	21
Tabela 2: Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas experimentais para bovinos em confinamento suplementados com coprodutos de destilaria de milho.....	22
Tabela 3: Distribuição do tamanho médio de partículas do milho moído.....	22
Tabela 4: Desempenho de bovinos de corte alimentados com dietas contendo diferentes coprodutos do processo de produção de etanol à base de milho.....	31
Tabela 5: Valores observados de energia líquida (EL) e sua relação com os valores esperados de energia para ganho e manutenção.....	32
Tabela 6: Consumo e digestibilidade de nutrientes em bovinos alimentados com coprodutos de destilaria de milho.....	36
Tabela 7: Parâmetros de fermentação ruminal em bovinos alimentados com coprodutos de destilaria de milho.....	37

1. INTRODUÇÃO

Coprodutos como caroço de algodão, polpa cítrica e casca de soja são amplamente utilizados por 70,6% dos nutricionistas de confinamentos de bovinos de corte no Brasil, segundo levantamento realizado por Pinto e Millen (2018). As opções de coprodutos deverão aumentar nos próximos anos, em virtude principalmente do crescimento da produção de etanol de milho. Apesar de recente, a expectativa é que a produção de etanol de milho aumente significativamente nos próximos anos (UNEM,2018),disponibilizando assim, quantidade considerável de coprodutos de destilaria para a alimentação animal.

A produção de etanol a partir dos grãos de milho resulta em diferentes coprodutos, os quais podem ser utilizados na alimentação de ruminantes (DICONSTANZO et al.,2015). Tradicionalmente os produtos resultantes do processo de extração do etanol de milho são os DDG (grãos destilados secos), DDGS (grãos destilados secos + solúveis), WDG (grãos destilados úmidos) e WDGS (grãos destilados úmidos + solúveis), além do CDS (solúveis condensados ou xarope), os quais têm sido extensivamente estudados e utilizados para dietas comerciais em confinamento nos EUA (KLOPFENSTEIN et al., 2008; NASEM, 2016). Com os avanços tecnológicos e adoção de novos métodos de extração pelas usinas de etanol, separando as frações do amido, óleo, proteína e fibra, pode-se observar mudanças na composição química dos coprodutos resultantes do processo, conseqüentemente, gerando novos coprodutos com características nutricionais distintas (BERGER e SINGH, 2010; BUCKNER et al., 2011; BREMER et al., 2015; DICONSTANZO et al. 2015; GARLAND ET al., 2019a).

Recentemente um novo método vem sendo utilizado nas indústrias de etanol de milho, chamado “FiberSeparation Technology™ (ICM Inc., Colwich, KS)”. Este processo consiste na moagem dos grãos que são conduzidos para o tanque de cozimento. Após várias horas de cozimento em presença da enzima α -amilase há a formação de uma “massa”. A enzima glucoamilase é então adicionada para completar a quebra do amido em glucose. Antes da transferência dessa massa para o tanque de fermentação, ocorre a separação da fração fibrosa dos grãos. A remoção dessa fração aumenta a concentração total de açúcar na massa durante a produção de etanol e reduz o desgaste dos equipamentos. A fibra (“bran”) removida do grão pode ser combinada aos condensados solúveis, que são removidos após a centrifugação da vinhaça dos grãos úmidos, resultando em um coproduto conhecido como Farelo ou Fibra úmida de grão destilado com solúveis (*WetDistillersBran plus Solubles - WDBS*). Esse material pode ser seco, resultando no Farelo ou Fibra seca de grão destilado

com solúveis (*DryDistillersBran plus Solubles* - DDBS). Já a fração sólida resultante do processo de fermentação neste método de separação, gera o chamado Grão destilado seco de alta proteína (*High ProteinDistillersGrains* - HPDG), com alto teor proteico (GARLAND, 2018; GARLAND et al. 2019a). Os coprodutos de destilaria tradicionais assim como estes novos coprodutos já estão disponíveis no Brasil, para o uso pela indústria de produção de carne bovina, avícola e suína.

Entretanto, a literatura nacional é incipiente quanto ao uso de coprodutos da indústria de etanol de milho na alimentação animal, especialmente de bovinos. Além disso, os únicos trabalhos disponíveis na literatura revisada com dois desses novos coprodutos (DDBS e HPDG) foram conduzidos nos Estados Unidos por Garland et al. (2019a; 2019b; 2019c). No trabalho de Garland et al. (2019a) o DDBS e o HPDG, ambos perfazendo 40% da MS das dietas, tiveram respectivamente 26 e 21% maior valor alimentar {(EA DDBS/ EA milho) / %DDBS na dieta} que o milho (dieta controle com 50:50 milho laminado a seco e milho ensilado úmido).

Com base no exposto acima, fica evidente a relevância na condução de estudos sobre a utilização de coprodutos da indústria de etanol de milho produzido no Brasil, na alimentação de bovinos mantidos em nossos sistemas específicos de produção, tanto em pasto, quanto em confinamento. Assim sendo, os objetivos deste trabalho foram avaliar a inclusão do HPDG como fonte proteica e do DDBS e WDDBS como fontes proteico-energéticas em dietas de terminação de bovinos, onde as hipóteses foram : a) O HPDG na inclusão de 10,3% da MS da dieta é fonte proteica alternativa à mistura de farelo de soja e caroço de algodão, sem mudanças no desempenho animal; b) WDDBS e DDDBS incluídos na dieta (30% da MS) como fontes proteico-energéticas têm maior valor alimentar que o milho *flint* moído combinado ao caroço de algodão e farelo de soja e c) OWDBS tem maior valor energético e alimentar que o DDDBS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção de etanol

O etanol produzido a partir de cana-de-açúcar e milho representa 82% do mercado mundial de biocombustíveis. Brasil e EUA são os maiores produtores de etanol, responsáveis por 90% do mercado mundial. Entretanto, os dois países apresentam diferenças fundamentais em seus processos produtivos. Enquanto no Brasil quase todo o etanol é produzido a partir de cana-de-açúcar, nos EUA a matéria-prima predominante é o milho (BORTOLETTO e ALCARDE, 2015). A produção brasileira de etanol atingiu na safra 2019/20 o volume recorde de 35,50 bilhões de litros, sendo 33,80 bilhões de litros de etanol de cana-de-açúcar, e 1,70 bilhões de litros a partir do milho (CONAB, 2019).

Apesar de recente, a expectativa é que a produção de etanol de milho atinja 8 bilhões de litros em 2028 de acordo com a União Nacional do Etanol de Milho (UNEM, 2018). Outro aspecto relevante dentro do cenário da agricultura brasileira, é a possibilidade de utilização do milho para produção de etanol através de destilarias/usinas flex (produzem etanol a partir da cana ou milho), a qual foi iniciada na atual década e é opção para diminuir a ociosidade operacional das mesmas durante o período de entressafra da cana-de-açúcar (período de 90/120 dias por ano), facilitando o escoamento da produção do grão de milho. Além disso, a produção de etanol a partir do milho se mostra mais eficiente, pois para cada 1 tonelada de milho são produzidos 400 litros de etanol contra 85 litros advindos da cana-de-açúcar e não há necessidade de ser processado logo após a colheita, como ocorre com a cana-de-açúcar, onde o processo deve acontecer dentro das primeiras 24 horas (BORTOLETTO e ALCARDE, 2015).

A produção do etanol a partir da moagem do milho gera coprodutos que podem ser amplamente utilizados na alimentação animal, atuando como fontes de proteína e energia em dietas para ruminantes, tais como os tradicionais grãos destilados secos (*dry distillers grain* - DDG) e grãos destilados úmidos (*wet distillers grain* - WDG) ou os respectivos coprodutos combinados com os solúveis condensados (CDS) ou xarope originando os grãos destilados secos com solúveis (*dry distillers grain with soluble* - DDGS) e os grãos destilados úmidos com solúveis (*wet distillers grain with soluble* - WDGS) (VASCONCELOS e GALYEAN, 2007), os quais já são amplamente utilizados em dietas de confinamentos no EUA. Mais recentemente, com a separação da fração fibrosa dos grãos antes da fermentação, novos coprodutos têm sido gerados, como o Farelo ou Fibra úmida de grão destilado com solúveis (*Wet Distillers Bran plus Solubles* - WDBS). Esse material pode ser seco, resultando no Farelo ou Fibra seca de

grão destilado com solúveis (*DryDistillersBran plus Solubles* - DDBS). Já a fração sólida resultante do processo de fermentação neste método de separação, gera o chamado Grão destilado seco de alta proteína (*High ProteinDistillersGrains* - HPDG), com alto teor proteico (GARLAND, 2018; GARLAND et al. 2019a).

2.2. Tipos de processamento de milho e coprodutos gerados

O etanol pode ser produzido por dois processamentos: o processamento a seco ou o processamento úmido. Cada processo produz coprodutos exclusivos, portanto, é importante entender as técnicas de cada processo para entender melhor as características desses coprodutos (CARLSON, 2017).

2.2.1. Processamento a seco

A moagem a seco é muito diversificada em relação ao tipo de grão que pode ser fermentado, como milho, sorgo, trigo, cevada ou uma mistura de qualquer um desses grãos (STOCK et al., 2000). Estes grãos de cereais são constituídos por três principais partes: pericarpo, gérmen e endosperma (Figura 1). O pericarpo é a uma multicamada espessa localizada na superfície externa representando 5% do grão, com função de proteção das porções internas contra o ataque microbiano. Altas concentrações de lignina são depositadas durante o espessamento secundário do pericarpo e, muitas vezes, ésteres ainda estão associados à superfície como uma camada adicional para o impedimento do ataque microbiano e absorção de água. O gérmen é constituído pelo eixo embrionário e pelo escutelo, representando 11% do grão. O eixo embrionário dará origem à planta da próxima germinação e o escutelo é um órgão de absorção e secreção, responsável por atender às exigências do eixo embrionário, sendo rico em lipídeos e proteína e pobre em amido. O endosperma, que representa mais de 80% do grão, é constituído principalmente de amido (CORRÊA, 2002; MCALLISTER, 2006).

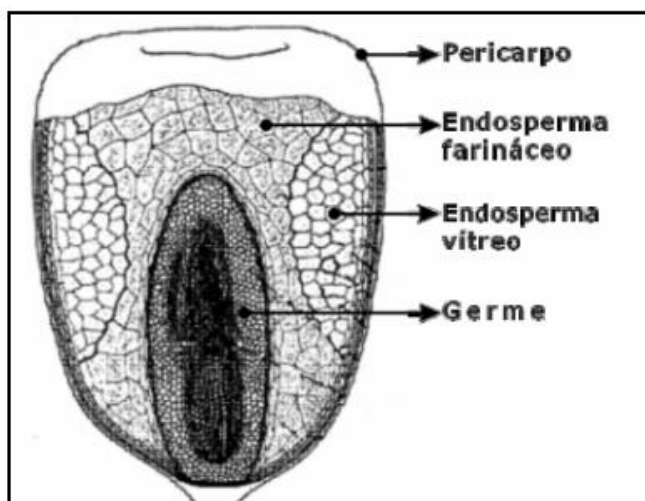


Figura 1: Frações do grão de milho: pericarpo, endosperma (farináceo e vítreo) e germen (WATSON, 1987).

O processo inicia-se com a moagem do milho inteiro seco, com aproximadamente 85% de matéria seca (MS), o grão moído é então transferido para o tanque de cozimento (“slurrytank”) onde é misturado com água e a enzima α -amilase formando um “lodo” (“slurry”). O material é cozido por várias horas a 80-85° C até a formação de uma massa conhecida por mosto. O pH desse material é mantido entre 6,0 e 6,5, faixa ideal para a ação da α -amilase. O mosto é transferido ao tanque de sacarificação, onde ocorre a adição da enzima glucoamilase a qual hidrolisa a dextrina em glicose. Ácido sulfúrico é adicionado no processo uma vez que a faixa de pH ideal para atividade desta enzima situa-se entre 4,0 a 5,5 (OSHA, 2015). O produto resultante é fermentado por leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) durante 40-60 horas, para que ocorra a transformação dos açúcares em etanol, seguido por um processo de destilação (BURHOOP, 2018; CARLSON, 2017). Para fazer isso, a mistura é bombeada através de um sistema contínuo de destilação de várias colunas, que usa os diferentes pontos de ebulição dos líquidos para separá-los em etanol, água e vinhaça. O etanol ainda contém um pouco de água e é enviado através de uma peneira molecular para produzir um produto com mais de 99% de etanol puro (BURHOOP, 2018).

O produto restante da fermentação é chamado de vinhaça pesada (35% MS), o qual é centrifugado para separar os sólidos dos líquidos. Durante a centrifugação, uma grande porção de óleo é emulsionada e as cinzas, na maioria das vezes, são solúveis, constituindo a fração líquida, também conhecida como vinhaça fina. Desta forma concentra-se a maior porção da proteína à fração sólida (LIU, 2011). O líquido é evaporado para produzir os solúveis condensados (CDS [20-35 % MS]) e posteriormente combinado aos grãos úmidos para formar o WDGS que pode ser seco gerando o DDGS (KIM et al., 2008). A composição de nutrientes

do WDGS e do DDGS pode mudar com base na quantidade de solúveis condensados adicionados ao WDG e ao DDG, respectivamente. Como resultado da remoção do amido, os teores de proteína, óleo e cinzas são maiores nesses coprodutos que no milho, em média três vezes superiores aos do milho (LIU, 2011).

2.2.2 Processamento úmido

O objetivo principal deste procedimento é isolar o amido para ser comercializado como amido em si ou transformado em xarope de milho, adoçantes ricos em frutose ou transformado em dextrose, destinados principalmente para a alimentação humana. O óleo de milho também é extraído e comercializado para a alimentação humana. O processamento úmido do milho também origina diversos coprodutos para a alimentação animal, como o farelo proteínoso de milho (*corn gluten feed*), o farelo de glúten de milho (*corn gluten meal*) e o farelo de gérmen (RAUSCH e BELYEA, 2006; STOCK et al., 2000).

A primeira etapa desse processo é o fracionamento do gérmen, fibra e amido, umedecendo os grãos para solubilizar os componentes ao redor do gérmen. Para isso utilizam-se tanques contendo água à qual é adicionado 0,1% de dióxido de enxofre, o que ajuda a quebrar a camada cerosa do grão. Os tanques são conectados em série, possibilitando a reciclagem da água entre os tanques, por 28 a 48 horas a uma temperatura controlada de 52 °C (BURHOOP, 2018). Por diferença de densidade e tamanho de partícula, o gérmen e a fração fibrosa são removidos da água por peneiras e centrifugação (RAUSCH e BELYEA, 2006; JANSEN, 2009). O gérmen após separado é seco e passa por um processo de extração para remover o óleo de milho. A porção restante do gérmen é comercializada como farelo do gérmen de milho.

A demais frações do milho continuam por mais uma etapa de moagem, onde o amido e a proteína do endosperma são separados da fração fibrosa. A água de maceração é adicionada à fração fibrosa, formando o farelo proteínoso de milho (*corn gluten feed*), enquanto a fração sólida restante é separada em proteínas e amido usando centrífugas. A proteína então é seca originando o farelo de glúten de milho (*corn gluten meal*), que é um alimento rico em proteínas e com baixo teor de fibras, utilizado na alimentação animal (RAUSCH e BELYEA, 2006). A fração do amido pode então ser transformada nos produtos previamente citados ou ser fermentado para a produção de etanol. Se o amido é fermentado em etanol, são formados os solúveis condensados (CDS), estes com menor teor de EE que o coproduto obtido no processamento à seco (STOCK et al., 2000).

2.3. Coprodutos da produção de etanol de milho

2.3.1. Grãos destilados úmidos com solúveis (WDGS)

Os grãos destilados podem variar em composição, dependendo dos métodos de processamento e extração do etanol como também o tempo de secagem (Figura 2). Quando os grãos úmidos e os solúveis condensados forem combinados sem as etapas de secagem, o produto gerado é conhecido como WDGS. Os WDGS normalmente contêm 65-70% de umidade. A inclusão de WDGS nas dietas de gado melhora o desempenho de bovinos em terminação em diferentes níveis de inclusão à dieta. O valor alimentar do WDGS em relação ao milho laminado, à silagem de grão úmido ou à mistura de ambos $\{(EA \text{ do WDGS}/EA \text{ do milho}) / \% \text{ do WDGS na dieta}\}$ foi 45, 42, 37, 31 e 26% maior quando incluído na dieta nos níveis de 10, 20, 30, 40 e 50% respectivamente (KLOPFENSTEIN et al., 2008). O fator mais limitante para o uso do coproduto úmido é a distância entre a fazenda ou confinamento e a indústria de etanol, em virtude do teor alto de umidade do material e o custo do frete.

2.3.2. Grãos Destilados secos com solúveis (DDGS)

A produção de DDGS segue o mesmo processo que o WDGS, no entanto, uma etapa adicional de secagem é incluída (Figura 2). Os DDGS tradicionais apresentam de 10 a 12% de umidade, muito menos do que os 65 a 70% encontrados no WDGS (HART, 2019). Foi demonstrado que a secagem adicional aumenta a uniformidade do produto, bem como seu prazo de validade, permitindo transporte adicional a confinamentos mais distantes (BOTHAST e SCHLICHER, 2004). O DDGS tem menor valor alimentar que o WDGS, porém, superior em 12% quando comparado com o milho laminado, silagem de grão úmido ou combinação de ambos (BREMER et al., 2011).

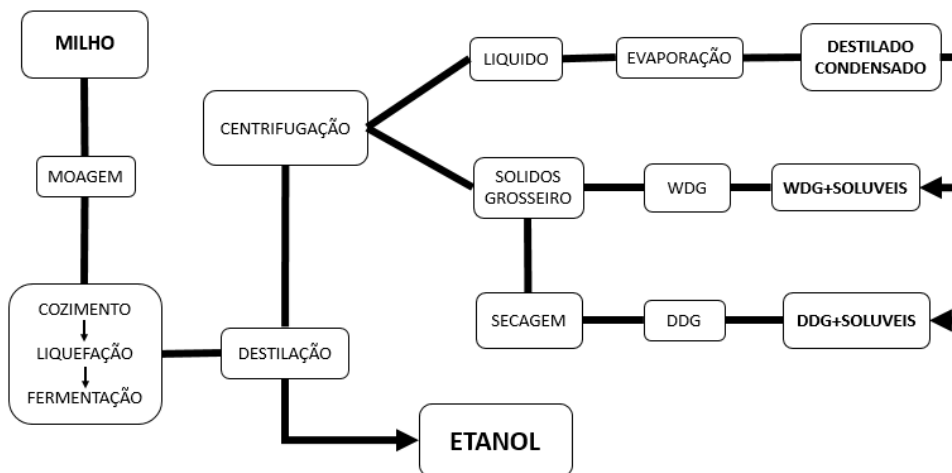


Figura 2: Processo de extração de etanol a partir do milho e coprodutos gerados (WDG, WDGs, DDG, DDGS E CDS). Adaptado de MacDonalds (2018).

2.3.3. Fibra mais solúveis (DDBS ou WDBS)

Com o intuito de melhorar a eficiência e aumentar os rendimentos na produção de etanol, as usinas buscam por novas tecnologias que visem reduzir seus custos e produzir novos coprodutos destinados à alimentação animal (SINGH et al., 2001; WINKER-MOSER e BREYER, 2011). Uma destas tecnologias é o fracionamento do grão milho antes da fermentação, pelo processo chamado FiberSeparation Technology™ ([FST] ICM Inc., Colwich, KS), o qual consiste em separar a fração fibrosa do grão (pericarpo) dos demais componentes (gérmen e endosperma). Essa tecnologia aumenta a eficiência durante o processo de fermentação em virtude da maior concentração de amido do substrato passível de ser fermentado. O farelo (fibra) removido do grão pode ser combinado aos solúveis extraídos durante a centrifugação (CDS) da vinhaça dos grãos úmidos, resultando em um produto conhecido como Fibra mais solúveis (Bran plus Solubles) (GARLAND et al., 2019a). O material pode ser fornecido úmido (WDBS) ou seco (DDBS) aos animais.

Garland et al. (2019a) relataram valores de PB, FDN e de EE para o DDBS respectivamente de 33,5%, 32,3% e 9,8%.

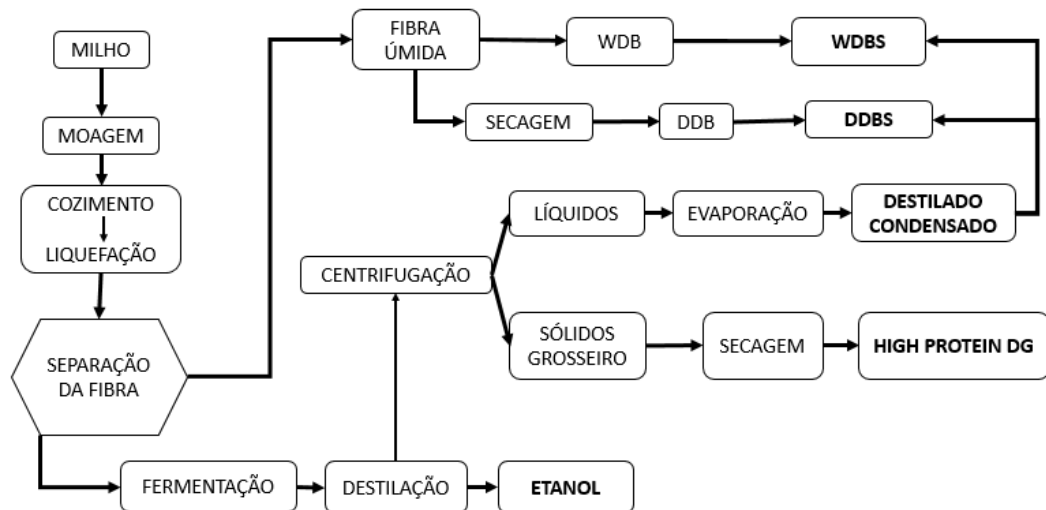


Figura 3: Processo de extração de etanol a partir do milho com a separação da fibra antes da etapa de fermentação (FiberSeparation Technology™). Adaptado de Garland (2018).

2.3.4. Grão destilado com alta proteína (HPDG)

Após o fracionamento do grão seco via FST e passagem pela etapa de fermentação o coproduto gerado é o HPDG. Devido à remoção do farelo ou fibra pré-fermentação e à remoção parcial do óleo durante o processo de centrifugação pós-fermentação, o coproduto HPDG contém teor de proteína mais alto que o WDGS, DDGS e DDBS (GARLAND et al., 2019a).

2.4. Inclusão dos coprodutos (HPDG, WDGS e DDGS) em dietas para bovinos em terminação.

Na literatura revisada apenas 2 trabalhos de desempenho animal e 1 de metabolismo (GARLAND et al., 2019a; GARLAND et al., 2019b; GARLAND et al., 2019c) foram encontrados onde os coprodutos HPDG e DDGS foram comparados entre si, comparados com dieta controle contendo alto teor de milho, comparados com WDGS e DDGS, assim como níveis de inclusão de HPDG e DDGS foram estudados.

Garland et al. (2019a) compararam a dieta controle com 78,5% de milho (50% laminado e 50% silagem de grão úmido) com dietas contendo HPDG, DDGS, DDGS e WDGS para bovinos em terminação. Todos os coprodutos foram incluídos nas dietas no nível de 40% da MS. O CMS não foi afetado pelos tratamentos, mas o GPD e a EA foram maiores para HPDG e DDGS, intermediário para DDGS e menor para WDGS e Controle. Os valores alimentares foram 21, 26, 11 e 6% mais altos para os respectivos coprodutos em comparação ao milho na dieta Controle.

Garland et al. (2019b) compararam a dieta controle com 88% de milho (50% laminado

e 50% silagem de grão úmido), com dietas contendo 20 ou 40% de DDBS e 20 ou 40% de WDGS. Os valores alimentares do DDBS foram 29 e 18% mais altos em comparação com o milho na dieta controle, quando incluído nas dietas nos níveis de 20 e 40% respectivamente. Os valores alimentares do WDGS foram 22 e 29% mais altos em comparação com o milho na dieta controle, quando incluído nas dietas nos níveis de 20 e 40% respectivamente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Unidade de Pesquisa em Confinamento de Bovinos de Corte do Departamento de Zootecnia da ESALQ-USP, em Piracicaba, SP, Brasil entre os meses de maio a setembro de 2018. Todos os procedimentos utilizando animais seguiram as normas do Comitê de Ética no Uso de Animais da ESALQ / USP, registrado com o número de protocolo 2018.5.926.11.2, nº CEUA: 2018-13.

3.1. Experimento 1: Desempenho animal

3.1.1. Data, Local, Animais e Tratamentos

Duzentos e sessenta e quatro machos inteiros da raça Nelore oriundos de sistema de recria em pasto, foram identificados com marcas auriculares, vacinados contra clostrídios (Sintoxan Polivalente T, Merial Saúde Animal Ltda, Paulínia, Brasil), vermifugados com 1 ml/50 kg de PV de Albendathor (Tortuga Companhia Zootécnica Agrária, São Paulo, Brasil), e tratados com ectoparasitas 21 d antes do início do estudo. Durante o período experimental seis animais foram retirados do estudo por demonstrarem baixo consumo alimentar ou alguma enfermidade, com isso os dados de desempenho foram referentes a 258 animais.

O período experimental (coleta de dados) de 102 dias foi precedido por um período de adaptação de 16 dias, quando a concentração dietética de silagem de milho foi mantida em 15% da MS da dieta, enquanto quantidade de bagaço de cana de açúcar foi reduzida a cada 4 dias a partir de 20% para 15%, para 10%, para 5%, finalizando em 0%.

Adotou-se o delineamento em blocos completos casualizados (DBC), com 11 repetições por tratamento, sendo os animais estratificados pelo PV inicial ($423.3 \text{ kg} \pm 36.6 \text{ kg}$) e alocados aleatoriamente em 44 baias de confinamento (6 animais / baia), sendo 36 baias (4 x 8 m) com piso de concreto e parcialmente cobertas e com 4 m lineares de cocho e outras 8 baias (7 x 12m) sem piso e cobertura e com 7 m lineares de cocho, todas as baias continham bebedouros compartilhados a cada duas baias os quais eram lavados semanalmente.

Os ingredientes utilizados nas dietas e suas respectivas composições químicas são apresentados na Tabela 2. Foram testadas 4 dietas experimentais (Tabela 1), a dieta controle (milho moído, farelo de soja e caroço de algodão) e 3 dietas onde o farelo de soja e o caroço de algodão foram totalmente e o milho parcialmente substituídos por três novos coprodutos de destilaria de milho, sendo estes o DDBS (*drydistillersbranwithsolubles*), o WDDBS (*wetdistillersbranwithsolubles*) e o HPDG (*high proteindistillersgrain*). As dietas foram

formuladas para atender às exigências nutricionais de bovinos Nelore para 1,5 kg de GPD, conforme especificado pelo NASEM (2016). Os coprodutos HPDG, DDBS e WDBS utilizados no experimento foram produzidos pela empresa FS Bioenergia, localizada em Lucas do Rio Verde - MT, Brasil e enviados à estação de pesquisa em confinamento de gado de corte do Departamento de Zootecnia da Esalq - USP, sendo uma única carga de HPDG (ensacado, 45 kg/sc), três cargas de DDBS e quatro cargas de WDBS a granel. Tanto o DDBS quanto o WDBS recebidos nas instalações de pesquisa foram armazenados no chão sobre uma lona plástica e cobertos também com lona plástica, protegendo-os do contato direto com o solo e das chuvas. Para obter-se os coprodutos WDBS e DDBS, o grão de milho foi moído e cozido na presença de enzimas, com posterior separação da porção fibrosa do material líquido. O material líquido foi fermentado e o etanol foi obtido por destilação, enquanto os solúveis condensados e o material insolúvel foram separados por centrifugação. O material insolúvel foi seco para produzir o HPDG, enquanto os solúveis condensados após remoção parcial de óleo foram adicionados à porção de fibra para produzir WDBS ou DDBS. O milho *flint* utilizado neste estudo foi processado através de um moinho de martelos promovendo um tamanho médio de partícula de 1,36 mm (Tabela 3). As dietas foram fornecidas durante os 110 dias experimentais após o período de adaptação, uma vez ao dia, a partir das 13:00 horas, com acesso livre dos animais à comida e água fresca. As dietas totais foram preparadas usando um vagão misturador (Totalmix 25, Casale Equipamentos, São Carlos, Brasil) com tempo de mistura de acordo com a recomendação do fabricante. A silagem de milho, o DDBS e o WDBS eram pesados utilizando-se da balança presente no vagão misturador, enquanto o caroço de algodão, o farelo de soja, a casca de soja, o HPDG, o núcleo mineral e vitamínico, o cloreto de sódio e a ureia eram pesados individualmente em balança fixa (MARTE[®]) com capacidade de 100 kg. Com base no CMS do dia anterior, a quantidade de alimento fresco ofertado para cada baia era ajustada de modo que as sobras de alimentos não ultrapassassem 3% da ingestão diária de MS/animal. As sobras foram recolhidas todos os dias, pesadas e secas em estufa de ventilação forçada a 105 ° C durante 12 h, para se estimar o CMS para cada baia.

Tabela 1: Ingredientes e composição química das dietas experimentais com coprodutos da produção de etanol milho (base em % da MS)

Item	Controle	HPDG	DDBS	WDBS
Ingredientes, %				
Silagem de milho	15,0	15,0	15,0	15,0
Casca de soja	12,00	12,00	12,00	12,00
Milho moído ¹	57,60	60,35	40,35	40,35
Caroço de algodão	8,00	-	-	-
Farelo de soja	5,00	-	-	-
HPDG ²	-	10,30	-	-
DDBS ³	-	-	30,00	-
WDBS ⁴	-	-	-	30,00
Ureia	0,60	0,55	0,85	0,85
Núcleo Mineral Vit, ⁵	1,50	1,50	1,50	1,50
Cloreto de sódio	0,30	0,30	0,30	0,30
Composição química				
PB, % ⁶	13,1	13,6	13,8	13,8
FDN, % ⁶	27,9	27,4	36	36,6
EE, % ⁶	4,7	4,7	5,5	5,6
EL _m , Mcal/kg ⁷	1,98	1,98	1,98	2,06
EL _g , Mcal/kg ⁷	1,33	1,33	1,34	1,4

¹O milho moído foi processado através de um moinho de martelos para obter tamanho médio de partículas de 1,36 mm. ²HPDG (FS ESSENTIAL®). ³DDBS (FS OURO®). ⁴WDBS (FS ÚMIDO®). ⁵ Núcleo Mineral Vitamínico formulado pela empresa Agrocerec Multimix, Piracicaba, Brasil, contendo (base em MS) 275 g/kg Ca, 10 g/kg Mg, 10 g/kg Mg, 56 g/kg S, 2,240 mg/kg de Mn, 3,360 mg/kg de Zn, 1,120 mg/kg de Cu, 16,46 mg/kg de Co, 56 mg/kg de I, 11,2 mg/kg de Se, e 2,000 mg/kg de monensina. ⁶ Com base na análise química de uma amostra composta de cada ingrediente coletado semanalmente ao longo do experimento. ⁷A energia líquida esperada na dieta para manutenção (EL_m) e ganho (EL_g) foram estimadas de acordo com as equações propostas pelo NASEM (2016; método empírico) com adição de monensina como aditivo alimentar, e com base na soma dos valores tabulares dos nutrientes digestíveis totais de cada ingrediente. Adotou-se os valores tabulares de NDT do NASEM (2016) do DDGS e WDGS para os coprodutos DDBS e WDBS respectivamente.

Tabela 2: Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas experimentais para bovinos em confinamento suplementados com coprodutos de destilaria de milho.

Nutrientes	Ingredientes ¹							
	Silagem de Milho	Milho moído	Casca de soja	Farelo de Soja	Caroço de algodão	HPDG	DDBS	WDBS
MS, %	40,7	89	89,8	91,6	90	94,5	88,5	42,4
PB, %	7,9	8,5	10,4	47	22,5	44,3	18,2	18,2
FDN, %	47,1	12,7	78,2	16,2	42,5	33,1	48,5	50,5
EE, %	3,1	4,5	1,1	2,2	17,8	14,3	10,3	10,9
MM, %	4	1,8	4,1	6,7	3,8	2,28	6,3	5,6
NDT	63	87,6	51	81,2	78,4	88,0	77,1	77,2
EB, Mcal/kg MS	4,40	4,51	4,17	4,34	5,45	6,20	5,34	5,40

¹HPDG = high protein distillers grains; DDBS = dry distillers bran plus solubles; WDBS = wet distillers bran plus solubles. Todos coprodutos gerados durante o processo de extração do etanol a partir do milho foram fornecidos pela empresa FS Bioenergia.

Tabela 3: Distribuição do tamanho médio de partículas do milho moído.

Poros na peneira	% do total
> 6,0 mm	0,0
≤ 6,0 e > 3,5 mm	0,34
≤ 3,5 e > 2 mm	13,54
≤ 2 e > 1,25 mm	44,22
≤ 1,25 mm	41,9
Díâmetro médio da partícula de milho, mm ¹	1,36

¹ O TMP do milho reído na peneira de 6,0 mm foi determinado em 20 partículas aleatórias usando paquímetro. Presume-se que os resíduos reídos no fundo tenham tamanho médio de partículas de 0,625 mm. Baseado em Yu et al. (1998).

3.1.2. Coleta de dados e Análises de Alimentos

No dia 0 (após 16 dias de adaptação) e no dia 102 do período experimental, o PV individual dos animais foi registrado após 16 horas de jejum de sólidos e água, e os dados usados para calcular o GPD da baía. A eficiência alimentar foi calculada a partir da divisão do GPD pelo CMS da baía.

Amostras de silagem de milho e WDBS foram coletadas a cada 3 dias e secas a 105° C por 12 h para ajustes da dieta e determinação da MS da dieta. Amostras de silagem de milho, milho moído, casca de soja, caroço de algodão, farelo de soja, HPDG, DDBS e WDBS foram coletadas semanalmente e armazenadas à -20° C. Ao término do período experimental as amostras foram descongeladas, compostas por ingrediente, secas em estufa de ar forçado a 55 ° C por 72 h e moídas utilizando um moinho de Wiley-tipo (MA-680 Marconi Ltda, Piracicaba, SP, Brasil) através de um crivo de 1 mm. Todas as amostras foram analisadas para MS (método 930.15; AOAC, 2000), cinzas (método 942.05; AOAC, 1986), FDN corrigida para cinzas (VAN SOEST et al., 1991, modificado para Ankon 200 fiberanalyser, Ankon Technology Corp), usando sulfato de sódio para todas as amostras e α -amilase termoestável para amostras de milho, FDA e LDA (GOERING e VAN SOEST, 1970), extrato etéreo (método 920.85; AOAC, 1986) e N (Leco FP-528, Leco Corp., St. Joseph, MI) e energia bruta (EB) em bomba calorimétrica (AOAC, 2000).

A EL (energia líquida) observada para cada dieta foi calculada a partir dos dados de desempenho de acordo com Zinn e Shen (1998). A Energia para ganho (EG), foi calculada como: $EG = (0.0557 \times PV^{0.75}) \times GPD^{1.097}$ (NRC, 1984), onde EG é a exigência energética de ganho (Mcal/d). A equação usada para o cálculo da exigência de energia para a manutenção (EM; Mcal/d) foi: $EM = 0.077 \times PV^{0.75}$ (Lofgreen and Garrett, 1968). A partir dos valores apurados das exigências energética para manutenção e ganho, a ELM de cada dieta foi estimada pela equação quadrática: $ELm = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$, onde $a = -0.41 \times EM$, $b = 0.877 \times EM + 0.41 \times CMS + EG$, e $c = -0.877 \times CMS$; e a ELg de cada dieta foi estimada pela equação: $ELg = 0.877 \times ELM - 0.41$ (ZINN e SHEN, 1998).

Os valores esperados de NDT das dietas foram calculados com base na soma dos valores tabulares de NDT dos ingredientes das dietas de acordo com a tabela de composição de alimentos do NASEM (2016). Para os coprodutos HPDG e DDBS foram adotados os valores tabulares do DDGS e para o WDBS foi adotado o valor tabular do WDGS. Com base nesses valores esperados de NDT, os valores esperados de ELM e ELg das dietas foram

calculados através das equações propostas pelo modelo “Empírico” do NASEM (2016) com a adição de monensina sódica. De posse dos dados de EL observada e EL esperada, as relações ELM observada: Elm esperada e ELg observada e ELg esperada foram calculadas.

Ao final do experimento de confinamento, aos 110 d, os animais foram pesados (após 16 h de jejum de sólidos e de líquidos) e enviados para planta de frigorífica comercial (Frigorífico Angelelli Ltda, Piracicaba, SP) localizada a 10 km de distância das instalações do confinamento, onde foram abatidos no dia seguinte. O peso da carcaça quente (PCQ) foi obtido após o animal ser abatido, sangrado, esfolado, eviscerado, desprovido de cabeça, patas, rabo, verga, rins e gordura renal, cardíaca e pélvica, sendo a cabeça separada da carcaça entre o osso occipital e a primeira vértebra cervical (atlas). O rendimento de carcaça foi calculado dividindo-se o PCQ pelo PV final. A área de olho de lombo (AOL) e a espessura de gordura subcutânea (EGS) foram mensuradas na altura da 12^a costela, com uso de uma câmera digital fixada a uma haste de 10 cm de altura acoplada à uma base retangular de aço de 15 x 20 cm. As imagens obtidas pela câmera digital foram interpretadas utilizando-se o software Lince® (M & S Consultoria Agropecuária, Pirassununga, SP, Brasil) por técnico experiente.

3.1.3. Análise Estatística

Os dados foram analisados utilizando-se o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC) para um delineamento em blocos casualizados (11 repetições / tratamento) e 4 dietas. Os animais foram blocados pelo PV inicial em jejum, sendo cada baia uma unidade experimental. Todas as premissas do modelo contemplaram os efeitos de tratamento e bloco. Os resultados foram apresentados como médias dos quadrados mínimos e o grau de significância estabelecido em $P \leq 0,05$ utilizando o teste de Tukey. Valores de $0,05 < P \leq 0,10$ foram interpretados como tendência.

3.2. Experimento 2: Fermentação ruminal e digestibilidade

Foram utilizados quatro machos da raça nelore (390 kg \pm 37 kg) castrados e canulados no rumem, distribuídos em um delineamento experimental em quadrado latino 4x4 (DQL), alimentados com os mesmos ingredientes do experimento de terminação (Tabelas 1, 2 e 3), com o intuito de avaliar os parâmetros de fermentação ruminal e digestibilidade total dos nutrientes.

3.2.1. Coleta de dados e Análise de Amostras

Os animais foram mantidos em baias individuais (4 x 8m) cobertas e com piso de concreto. O período experimental total foi de 56 dias, dividido em 4 períodos de 14 dias cada, sendo 10 d para adaptação seguidos por 4 d de coletas. Durante os primeiros 10 dias, as dietas foram oferecidas *ad libitum* uma vez ao dia às 08:00 h. Durante os últimos 4 dias de cada período, o consumo diário de ração foi restrito à 90% do consumo médio dos 10 dias de adaptação, para assegurar que toda quantidade ofertada fosse ingerida pelo animal.

Amostras fecais foram coletadas diretamente do reto de cada animal, duas vezes ao dia, durante cada um dos 4 dias do período de coleta como descrito por Zinn&Barrajas (1997), secas a 55 ° C por 72 h em estufa de ventilação forçada e trituradas a 1 mm (Wiley moinho). Quantidades iguais de MS fecal foram misturadas para obter uma amostra composta representativa para cada animal dentro de cada período experimental para análises químicas, com o intuito de determinar a composição química e a digestibilidade aparente da MS, PB, EE e FDN das dietas. A produção diária total de fezes foi medida através da coleta das fezes diretamente no piso de concreto, 2 vezes ao dia em horários simultâneos aos da coleta do reto. As amostras foram pesadas imediatamente após cada coleta, homogeneizadas e uma amostra de 10% dessa quantidade foi coletada para posterior determinação da MS. A quantidade total de fezes produzidas contemplou também o volume de material coletado diretamente da ampola retal destinado às análises químicas.

Durante o último dia de cada período de coleta (d 14), aproximadamente 50 ml de digesta foram coletados das porções cranial, ventral, dorsal e caudal do rúmen de cada boi através da cânula ruminal as 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 e 24 h após a alimentação, com a utilização de sonda. As amostras de líquido ruminal foram filtradas através quatro camadas de gaze e o pH ruminal mensurado imediatamente por um pHmetro portátil (Digimed Modelo DM22, Digicrom Analítica Ltda., São Paulo, SP, Brasil). As amostras foram preservadas usando 1 ml de solução de 8,6 M H₂SO₄ e armazenadas a -20 ° C. No final do experimento, as amostras de líquido ruminal foram descongeladas e centrifugadas a 15.000 × g por 30 min a 4 ° C. O fluido sobrenadante foi analisado para AGCC (ácidos graxos de cadeia curta) por GLC (PALMQUIST e CONRAD, 1971) e para NH₃-N (CHANEY e MARBACH, 1962).

3.2.2. Análise Estatística

Os dados do experimento de metabolismo foram analisados utilizando-se o procedimento MIXED do SAS, com o delineamento em Quadrado Latino 4 x 4. O modelo estatístico adotado para a análise de consumo e digestibilidade da MS e dos nutrientes incluiu o efeito fixo de tratamento e os efeitos aleatórios de animal e período. A unidade experimental foi o animal dentro do período. Os parâmetros de fermentação ruminal (AGCC, pH e $\text{NH}_3\text{-N}$) foram analisados como medidas repetidas no tempo. O modelo incluiu o efeito fixo de tratamento. Diferentes estruturas de matrizes de variância-covariância foram testadas e a matriz escolhida foi a que melhor se encaixou para a maioria das variáveis baseada no critério Akaike de informação. Os dados foram reportados como médias dos quadrados mínimos. A aproximação de Kenward-Roger foi usada para determinar o denominador correto dos graus de liberdade para testar os efeitos fixos. Quando os efeitos de tratamento foram significativos ($P \leq 0,05$) o teste de Tukey-Kramer foi usado para a comparação de médias, com significância considerada quando $P \leq 0,05$ e tendências quando $0,05 < P \leq 0,10$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Desempenho animal (Exp. 1)

Os coprodutos provenientes da produção de etanol de milho foram extensivamente estudados nas últimas décadas sob vários ângulos: valor nutritivo e sua variabilidade, condições de processamento, níveis de inclusão em dietas de crescimento em pasto ou em confinamento, níveis de inclusão em dietas de terminação, estratégias distintas de alimentação e seus efeitos sobre o desempenho dos animais da desmama à terminação, digestibilidade das dietas e da fração fibrosa, qualidade das frações proteica como também a dinâmica da degradabilidade ruminal e perfil de aminoácidos (SCHINGOETHE et al, 2009; STOCK et al, 2000; KLOPFENSTEIN et al, 2008; BREMER et al., 2011; NASEM, 2016). Entretanto, certas mudanças nas técnicas de processamento levaram a alterações significativas nos constituintes nutricionais destes coprodutos, ocasionando efeitos sobre o metabolismo ruminal e conseqüentemente modulando o desempenho animal (KELZER et al.; DRAGOMIR et al.; 2011). As composições dos coprodutos utilizados no presente estudo diferem das composições do DDGS e do WDGS tradicionalmente utilizados e descritos pela literatura americana (NASEM, 2016), uma vez que estes coprodutos mais recentes são resultantes da utilização da técnica de processamento conhecida como FiberSeparation Technology™, ICM, Inc., Colwich, KS, a qual consiste em separar a fração fibrosa dos grãos de milho antes do processo fermentativo. Apenas a fração concentrada de amido, proteína e extrato etéreo é enviada para as dornas de fermentação, conforme apresentado na Figura 3 (GARLAND, 2018).

Os coprodutos DDBS e WDBS testados neste estudo, apresentaram teor médio de PB de 18,2% (Tabela 2). Estes valores são inferiores aos relatados para os coprodutos convencionais DDGS e WDGS, ao redor de 30,7% de PB (NASEM, 2016). Por outro lado, os teores de FDN do DDBS (48,5%) e do WDBS (50,5%) foram superiores aos teores médios de FDN de 33,6% e 31,5% dos coprodutos convencionais DDGS e WDGS, respectivamente (NASEM, 2016). Os teores de EE do DDBS (10,3%) e do WDBS (10,9%) foram similares aos valores médios de 10,7% e 10,8% relatados para os coprodutos convencionais DDGS e WDGS, respectivamente (NASEM, 2016). Estas diferenças nos teores de PB e de FDN são esperadas em virtude do processo tecnológico adotado de separação da fibra pré-fermentação e produção do coproduto HPDG, alto em PB. O coproduto HPDG apresentou 44,34% de PB, 33,1% de FDN e 14,3% de EE, ou seja, teores mais elevados de PB e de EE que o coproduto

convencional DDGS (NASEM, 2016).

Outro ponto que merece consideração sobre os coprodutos utilizados neste estudo é o nível de enxofre (S). Os coprodutos convencionais DDGS e WDGS apresentam aproximadamente 0,65% de S em sua composição (NASEM, 2016), valor superior ao encontrado nos coprodutos de destilaria de milho testados neste experimento, onde a concentração de enxofre é entre 0,3 a 0,42%, conforme análises da empresa fornecedora dos coprodutos, a FS BIOENERGIA. Níveis elevados de enxofre em dietas para ruminantes podem ocasionar intoxicação ao animal, em certos casos podem ocorrer quadros de polioencefalomalacia (PEM) (SANT'ANA et al, 2009). Em trabalhos conduzidos por Uwituze et al. (2011), foram avaliadas dietas de terminação com 30% de DDGS na MS e com níveis de S moderado (0,42% da MS da dieta) e alto (0,65% da MS da dieta). As dietas com níveis altos de S (0,65% da MS) causaram queda de 8,9% no CMS e de 12,9% no GPD, resultando em diminuição de 4,3% no peso de carcaça quente dos animais, quando comparada ao tratamento com nível médio de S (0,42% da MS). Sarturi et al (2013) avaliaram níveis de inclusão de 20, 30, e 40% de WDGS e DDGS com 0,82 e 1,16% de S para bovinos em terminação e relataram que concentração de 1,16% de S na MS dos coprodutos, particularmente no tratamento com WDGS, ocasionou queda no CMS e ganho de peso e um pequeno efeito negativo sobre a EA, contudo, os animais não apresentaram quadros clínicos de PEM. Entretanto, a evolução tecnológica tem permitido menor utilização de ácido sulfúrico na produção de etanol de milho, resultando em coprodutos como WDGS, DDGS, WDDBS ou DDDBS com teores de S mais baixos que os relatados pelo NASEM (2016).

Conforme os dados apresentados na Tabela 4, os animais do tratamento DDDBS tenderam ($P = 0,058$) a apresentar CMS (11,23 kg/cab/dia) mais alto que os do tratamento WDDBS (10,31 kg/cab/dia), porém sem diferença ($P > 0,05$) em comparação aos tratamentos Controle (10,81 kg/cab/dia) e HPDG (10,44 kg/cab/dia). Garland et al (2019a; b), conduziram 2 experimentos de desempenho com os coprodutos HPDG e DDDBS. O HPDG e o DDDBS testados continham 36% de PB, 32% de FDN e 9,4% de EE e 33,5% de PB, 32,3% de FDN e 9,8% de EE, respectivamente. No Experimento 1, dietas contendo 40% de HPDG ou de DDDBS foram comparadas com dieta controle contendo milho laminado e silagem de grão úmido (50:50) e com dietas contendo 40% de DDGS ou de WDGS e não houve diferença no CMS dos animais. No segundo experimento, a inclusão tanto de 20 quanto de 40% de DDDBS na MS da dieta aumentou o CMS em comparação com a dieta controle. Com base no número limitado de trabalhos com esses novos coprodutos, ainda não se pode estabelecer padrão de

resposta para a variável CMS.

O GPD foi maior ($P = 0,0284$) para os animais tratados com DDBS (1,62 kg/dia) em comparação com os animais do tratamento contendo HPDG (1,45 kg/dia), refletindo em aumento de 11,7% no desempenho dos animais. Houve tendência ($P = 0,086$) de aumento de 9,45% no GDP dos animais do tratamento DDBS em comparação ao tratamento Controle (1,62 x 1,48 kg/cab). O GDP dos animais do tratamento WDBS não diferiu ($P > 0,05$) do GPD dos animais dos demais tratamentos. Concomitantemente, os resultados de PF foram um reflexo dos ganhos diários de peso, onde PF dos animais do tratamento DDBS diferiu do HPDG ($P = 0,0210$) resultando em um aumento de 15,3 kg por animal. Houve tendência ($P = 0,10$) de maior PF (11,7 kg por animal) dos animais do tratamento DDBS em comparação com os do tratamento Controle. Não houve diferença ($P > 0,05$) entre o tratamento WDBS e os demais.

Garland et al. (2019a) também reportou maior GPD e PF para os animais do tratamento DDBS em comparação ao tratamento controle contendo milho laminado e silagem de grão úmido (50:50) e ausência de diferença entre DDBS e HPDG.

Apesar das diferenças em GPD entre o tratamento DDBS e os tratamentos HPDG e Controle, não houve diferença ($P > 0,05$) para EA. Isso ocorreu em virtude do valor numérico mais alto de CMS dos animais do tratamento DDBS. Também não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre as EA do tratamento WDBS e os demais. Nos trabalhos de Garland et al. (2019a) a eficiência alimentar também não diferiu entre DDBS e HPDG, mas foi maior para ambos os coprodutos em comparação com o tratamento controle, indicando maior valor energético desses coprodutos que da mistura de milho laminado e silagem de grão úmido. Nos trabalhos de Garland et al. (2019a; 2019b) o valor alimentar do HPDG foi 21% maior que o do milho, enquanto o DDBS apresentou 13 a 26% maior valor alimentar que o milho. Tanto o DDBS quanto o HPDG apresentaram valores alimentares iguais ou superiores aos dos coprodutos convencionais DDGS e WDGS.

Como esperado, o PCQ foi maior para os animais alimentados com DDBS ($P \leq 0,05$) em comparação com os animais dos outros tratamentos, em virtude do maior GPD desses animais. As demais variáveis de característica de carcaça, RC, AOL e EGS não foram afetadas pelos tratamentos ($P > 0,05$). Aparentemente, a diferença de aproximadamente 10 kg de PCQ a favor dos animais do tratamento DDBS não foi grande o suficiente para alterar características de carcaça como RC, AOL e EGS. Estes dados assemelham-se aos de Garland et al. (2019a), onde os animais dos tratamentos HPDG e DDBS apresentaram maiores PCQ

que os do tratamento controle e não houve diferença para AOL e EGS.

Os dados de Energia Líquida estão descritos na Tabela 5. Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre as concentrações de ELM e de ELg e entre as relações de EL observada:esperada tanto para manutenção quanto para ganho entre os tratamentos testados neste estudo. A ausência de diferença no teor de EL entre os tratamentos era esperada em virtude da ausência de diferença na EA entre os tratamentos. Apesar da ausência de diferença estatística para EA e concentração de EL entre os tratamentos, os valores alimentares das dietas com DDBS e WDBS foram 12% e 24% superiores ao da dieta Controle. Da mesma maneira, com base nos valores numéricos 3,0 e 7,9% mais altos de ELg para as dietas com DDBS e com WDBS respectivamente em comparação com a dieta Controle e assumindo que 100% desta diferença se deve à adição de 30% dos coprodutos nas dietas, o DDBS e o WDBS teriam respectivamente 10% e 26,3% maior concentração de ELg que a mistura equivalente de milho moído, caroço de algodão e farelo de soja substituída das dietas. De acordo com os cálculos de Klopfenstein et al. (2008) citados pelo NASEM (2016) valores alimentares até 20% mais altos dos coprodutos de etanol em relação ao milho, podem ser explicados pelo teor de gordura e de PNDR desses coprodutos, entretanto, valores alimentares 30 a 50% maiores que do milho são normalmente relatados na literatura (Bremer et al., 2011; Garland et al., 2019a; Garland et al., 2019b).

Com relação às relações entre EL observada e EL esperada, apesar da ausência de diferença entre tratamentos, todos os valores foram inferiores a 1. Na dieta controle, isso sugere que os valores tabulares de NDT do NASEM (2016) principalmente para o milho são superestimados. Com relação às dietas com coprodutos, os valores de NDT do NASEM (2016) para o DDGS e WDGS parecem ser superiores aos valores observados para os coprodutos testados.

Tabela 4: Desempenho de bovinos de corte alimentados com dietas contendo diferentes coprodutos do processo de produção de etanol de milho.

Variáveis ¹	Tratamentos ²				EPM	P-valor
	Controle	HPDG	DDBS	WDDBS		
PI	423,38	423,36	423,42	423,18	13,89	0,1836
PF	573,7 ^{ab y}	570,2 ^b	585,5 ^{a x}	576,2 ^{ab}	13,1157	0,0275
GPD	1,483 ^{ab y}	1,453 ^b	1,62 ^{a x}	1,53 ^{ab}	0,05819	0,0284
CMS	10,81	10,44	11,23 ^x	10,31 ^y	0,2688	0,0557
EA (GPD/CMS)	0,139	0,14	0,144	0,149	0,0049	0,3002
PCQ	321,27 ^b	321,58 ^b	331,48 ^a	320,26 ^b	7,5138	0,0107
RC	56,05	56,79	56,54	55,87	0,46	0,4433
AOL	64,92	66,51	67,75	66,6	1,31	0,1741
EGS	3,55	4,17	3,98	4,20	0,2418	0,1828

¹ Onde: PI = Peso Inicial; PF = Peso Final; CMS = Consumo de Matéria Seca; GPD = Ganho de Peso Diário; EA = Eficiência Alimentar; PCQ = Peso de Carcaça Quente; RC = Rendimento de Carcaça; AOL = Área de Olho de Lombo; EGS = Espessura de Gordura Subcutânea.

² HPDG: High protein distiller grain; DDDBS: Dry distiller bran plus soluble; WDDBS: Wet distiller bran plus soluble.

**Letras a, b e c ($P \leq 0,05$); Letras x e y ($P \leq 0,1$).

Tabela 5: Valores observados de energia líquida (EL) e sua relação com os valores esperados de energia para ganho e manutenção.

Variáveis	Tratamentos ³				EPM	P -valor
	Controle	HPDG	DDBS	WDBS		
EL observada (Mcal/kg) ¹						
Mantença	1,893	1,913	1,931	2,006	0,06	0,266
Ganho	1,251	1,27	1,289	1,35	0,058	0,265
Relação EL Observada: Esperada ²						
Mantença	0,957	0,967	0,9755	0,974	0,038	0,923
Ganho	0,94	0,955	0,957	0,964	0,043	0,94

¹Calculada de acordo com ZinnandShen (1998).² Os valores esperados de EL_m e de EL_g das dietas foram calculados a partir das equações de EL do NASEM (2016) e dos valores tabulares de NDT do modelo empírico do NASEM (2016) para cada ingrediente e com uso de monensina sódica.³HPDG: High protein distiller grain; DDBS: Dry distiller bran plus soluble; WDBS: Wet distiller bran plus soluble.

4.2. Fermentação ruminal e digestibilidade (Exp. 2)

Os dados de consumo e digestibilidade dos nutrientes estão apresentados na Tabela 6. Assim como no experimento de desempenho, os animais alimentados com WDBS apresentaram o menor CMS, com diferença estatística ($P = 0,018$) em comparação com os animais dos tratamentos Controle e DDBS. Garland et al (2019a), Garland et al. (2019b) e Garland et al. (2019c) não testaram o coproduto WDBS, entretanto, com relação ao coproduto WDGS os autores não relataram qualquer feito negativo deste coproduto úmido no CMS dos animais. Em 1 trabalho de desempenho (Garland et al. 2019a) e no de metabolismo (Garland et al., 2019c) não houve diferença em CMS entre os animais dos tratamentos Controle (alto em milho), DDGS, WDGS, HPDG e DDBS, ao passo que em um segundo experimento de desempenho (Garland et al., 2019b), os animais dos tratamentos DDBS e WDGS apresentaram maior CMS que os do tratamento Controle (alto em milho). Em virtude do CMS mais alto estatisticamente (DDBS x WDBS) e numericamente (DDBS x HPDG e DDBS x Controle) e do teor elevado de EE e de FND, os animais do tratamento DDBS apresentaram consumo de EE mais elevado ($P = 0,01$) que os dos tratamentos HPDG e WDBS e consumo de FDN mais elevado ($P = 0,004$) que os dos tratamentos Controle, HPDG e WDBS.

A digestibilidade total da matéria seca foi menor ($P = 0,018$) na dieta DDBS comparada com a dieta HPDG e numericamente menor quando comparada com as dietas Controle e WDBS. Essa menor digestibilidade pode em parte ser consequência do CMS mais elevado dos animais alimentados com essa dieta. Entretanto, Garland et al. (2019c), relataram redução na digestibilidade total da MS e da MO quando HPDG, DDBS, DDGS e WDGS foram incluídos na dieta (40% da MS) em substituição parcial ao milho, apesar do CMS não ter sido aumentado pelos coprodutos de etanol de milho. Apesar da redução na digestibilidade da MS e da MO, não houve redução na ingestão de Energia Digestível (ED) dos animais (Garland et al., 2019c). Os coprodutos HPDG, WDBS e DDBS têm teores elevados de Energia Bruta, mais altos que do milho, conforme pode ser observado na Tabela 2. Com base nos dados do presente estudo e nos dados de Garland et al., (2019c), pode-se inferir que os consumos de MS ou de MO digestíveis podem não refletir adequadamente o consumo real de energia de animais alimentados com coprodutos de etanol de milho. O consumo de ED parece ser uma medida mais apropriada para avaliar a ingestão de energia de bovinos alimentados com esses coprodutos.

Hamilton et al. (2017) estudaram a relação entre NDT e a digestibilidade da MO em

dietas para bovinos em confinamento. De acordo com os autores, a relação entre NDT e digestibilidade da MO é consistente em dietas convencionais contendo milho, mas o mesmo não ocorre em dietas contendo coprodutos de etanol de milho. Quando esses coprodutos são incluídos na dieta observa-se aumento na eficiência alimentar, porém com redução na digestibilidade da MO. De acordo com esse estudo, parte da energia digestível das dietas com coprodutos de etanol de milho não é computada na digestibilidade da MO. Os autores inferiram que provavelmente essa energia digestível adicional se deve à energia da proteína e da gordura desses coprodutos.

A proporção molar de acetato ruminal foi menor para os tratamentos DDBS e HPDG (57,37 e 56,47 respectivamente) comparada com a dos tratamentos Controle e WDBS ($P < 0,0001$; 61,88 e 61,6, respectivamente) (Tabela 7). Já a proporção molar de propionato foi maior para o DDBS e HPDG (28,83 e 28,01, respectivamente) comparada ao Controle e o WDBS (24,29 e 23,04, respectivamente), resultando em menor relação Acetato: Propionato ($P < 0,0001$). Estes resultados são diferentes dos relatados por Garland et al (2019c), onde não foram observadas diferenças significativas entre as concentrações dos AGCC e nem para a relação acetato:propionato entre os tratamentos. O aumento da proporção molar de propionato e decréscimo da proporção de acetato indicam melhora na eficiência fermentativa dos microrganismos, com menor perda de energia na forma de metano, conseqüentemente, maior aporte energético disponível para tecido animal (KOSLOSKI, 2016).

A concentração de $\text{NH}_3\text{-N}$ ruminal diminui nas dietas contendo coprodutos de destilaria de milho ($P < 0,0001$), apesar das dietas com coprodutos apresentarem teores de PB ligeiramente mais altos que a dieta Controle (Tabela 1). Isso indica que esses coprodutos apresentam maior teor de proteína não degradável no rumem (PNDR) do que o farelo de soja e o caroço de algodão. De acordo com o modelo “Empírico” do NASEM (2016) o valor de PNDR (% PB) do DDGS é 67,93% e do WDGS é 69,93% contra valores de 30,4% do caroço de algodão e 29,5 a 44,0% do farelo de soja. O teor de PNDR dos coprodutos de etanol de milho é influenciado pelo método de processamento durante a produção de etanol. Kelzer et al. (2010) relataram que o teor de PNDR (% PB) de coprodutos que não tinham sido expostos ao calor antes da fermentação foi de 33,2%, enquanto o teor de PNDR de coproduto que foi exposto ao calor antes da fermentação foi de 56,3%. Dietas com DDGS ou WDGS suprem excesso de proteína metabolizável para animais em terminação. Provavelmente ocorre o mesmo com DDBS e WDBS. Essa proteína em excesso é convertida em energia pelo animal, teoricamente com maior eficiência que a fermentação ruminal de carboidratos, onde ocorrem

perdas na forma de calor e metano (NASEM, 2016). O maior valor calórico da proteína (aminoácidos absorvidos), a ausência de produção de metano e a produção incipiente de calor para sua conversão em ATP pelos tecidos do animal, em comparação com ATP proveniente da fermentação ruminal de carboidratos pode explicar parte do valor energético dos coprodutos de etanol não computados nos experimentos de digestibilidade.

As dietas contendo DDBS e HPDG apresentaram menores proporções molares de isobutirato ($P < 0,0001$; 0,50 e 0,58; respectivamente) e isovalerato ($P < 0,0001$; 1,29 e 1,50; respectivamente). A produção destes ácidos graxos de cadeia ramificada (AGCR) está associada à degradação de aminoácidos no meio ruminal (KOZLOSKI, 2016), consequentemente, pela menor disponibilidade de substrato proteico passível de ser degradado, a produção destes compostos é reduzida nas dietas contendo os coprodutos DDBS e HPDG quando comparadas às demais dietas testadas.

Não houve diferença ($P = 0,72$) entre os tratamentos para pH ruminal. Garland et al. (2019c) também não observaram diferenças de pH ruminal entre a dieta controle alta em milho (50% milho laminado + 50% silagem de grão úmido) e as dietas contendo DDGS, WDGS, HPDG e DDBS. Pesquisas anteriores demonstraram que a utilização de DDGS não afetam os parâmetros de pH ruminal (BREMER et al., 2010; CORRIGAN et al., 2009; VANDER POL et al., 2009).

Tabela 6: Consumo e digestibilidade de nutrientes em bovinos alimentados com coprodutos de destilaria de milho.

Variáveis	Tratamentos ²				EPM	P-valor
	CONTROLE	HPDG	DDBS	WDBS		
PV	445,06	439,00	442,68	437,49	13,84	0,45
¹ Consumo, kg/animal/dia						
MS	8,07 ^a	7,54 ^{ab}	8,39 ^a	6,60 ^b	0,41	0,018
PB	1,05	1,05	1,14	0,95	0,06	0,07
EE	0,36 ^{ab}	0,33 ^b	0,43 ^a	0,32 ^b	0,02	0,01
FDN	2,03 ^b	1,92 ^b	2,84 ^a	2,09 ^b	0,13	0,004
² Digestibilidade aparente total, %						
MSd	75,37 ^{ab}	76,82 ^a	68,48 ^b	73,70 ^{ab}	2,22	0,018
PBd	68,24	69,88	65,67	69,94	2,76	0,19
EEd	89,88	88,59	87,79	87,79	1,66	0,65
FDNd	43,82	42,15	45,83	45,39	6,84	0,97

¹ Onde: PV = Peso Vivo, MS = Matéria Seca, PB = Proteína Bruta, EE = Extrato Etéreo, FDN = Fibra insolúvel em Detergente Neutro.

² MSd = Matéria Seca digestível, PBd = Proteína Bruta digestível, EEd = Extrato Etéreo digestível, FDNd = Fibra insolúvel em Detergente Neutro digestível
HPDG: High protein distiller bran plus soluble; WDBS: Wet distiller bran plus soluble.

^{abc} Médias na mesma linha seguidas de letras distintas apresentam diferença significativa ($P \leq 0,05$).

Tabela 7. Parâmetros de fermentação ruminal em bovinos alimentados com coprodutos de destilaria de milho.

Item	Tratamentos ²				EPM	P-valor
	CONTROLE	HPDG	DDBS	WDBS		
¹ AGCC proporção, mol/100 mol						
Acetato	61,88 ^a	56,47 ^b	57,37 ^b	61,60 ^a	1,26	<0,0001
Propionato	24,29 ^b	28,01 ^a	28,83 ^a	23,04 ^b	1,27	<0,0001
Butirato	9,44 ^b	11,16 ^a	10,44 ^{ab}	10,65 ^{ab}	0,47	0,0102
Isobutirato	0,98 ^a	0,58 ^b	0,50 ^b	0,98 ^a	0,065	<0,0001
Valerato	1,39 ^{ab}	1,51 ^a	1,56 ^a	1,32 ^b	0,051	0,0025
Isovalerato	2,24 ^a	1,50 ^b	1,29 ^b	2,26 ^a	0,23	<0,0001
Acetato:Propionato	2,70 ^a	2,12 ^b	2,07 ^b	2,74 ^a	0,16	<0,0001
pH Ruminar	6,58	6,55	6,63	6,37	0,16	0,7286
NH ₃ -N Ruminar, mg/dL	14,53 ^a	6,66 ^c	10,60 ^b	10,45 ^b	1,42	<0,0001

¹ AGCC = Ácidos Graxos de Cadeia Curta.

² HPDG: High protein distiller grain; DDBS: Dry distiller bran plus soluble; WDBS: Wet distiller bran plus soluble.

abc Médias de mesma linha seguidas de letras distintas apresentam diferença significativa ($P \leq 0,05$; $P \leq 0,0001$)

5. CONCLUSÕES

O HPDG incluído no nível de 10,3% da MS da dieta é fonte proteica alternativa à mistura de farelo de soja e caroço de algodão;

A inclusão de 30% de DDBS na dieta, em substituição total ao farelo de soja, caroço de algodão e parcial ao milho moído seco, aumenta o GPD e o PCQ de bovinos terminados em confinamento.

A substituição parcial do milho e total do caroço de algodão e do farelo de soja por WDDBS e DDDBS (30% da MS) aumenta o valor alimentar da dieta.

O efeito positivo do DDDBS no desempenho animal pode estar associado parcialmente ao maior CMS, ao maior teor de EE da dieta, à menor relação C2:C3 na fermentação ruminal e menor degradação da proteína no rúmen.

REFERÊNCIAS

- AOAC international. 1986. Official methods of analysis. 14th ed. AOAC, Arlington, VA. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 12th ed. Washington, 1990. 1313p.
- Berger, L., and Singh, V. 2010. Changes and evolution of corn coproducts for beef cattle. **Journal Animal Science**, 88(E. Suppl.):143-150.
- Bortoletto, A. M.; Alcarde, A. R. Dominante nos EUA, etanol de milho é opção, no Brasil, para safra excedente. 13. ed. Piracicaba: Visão Agrícola, 2015. p.3.
- Bothast, R. J., & Schlicher, M. A. (2004). Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67(1), 19–25. doi:10.1007/s00253-004-1819-8
- Bremer, M. L., C. J. Bittner, D. B. Burken, G. E. Erickson, and J. C. MacDonald. 2015. Response to increasing concentrations of de-oiled modified distillers' grains plus solubles in beef feedlot diets. *Neb. Beef Cattle Rep.* 74-76.
- Bremer, V. R., A. J. Liska, G. E. Erickson, K. G. Cassman, K. J. Hanford, and T. J. Klopfenstein. 2011. Effect of distiller's grains moisture and inclusion on greenhouse gas emissions in the corn-ethanol-livestock life cycle. *The Professional Animal Scientist*. 27:449-455.
- Buckner, C. D., B. R. Bremer, T. J. Klopfenstein, G. E. Erickson, K. J. Vander Pol, K. K. Karges, and M. L. Gibson. 2011b. Evaluation of a prefermentation-fractionated byproduct corn grain dry milling ethanol process in growing and finishing cattle diets. *The Prof. Anim. Sci.* 27:295-301.
- Buckner, C. D., M. F. Wilken, J. R. Benton, S. J. Vanness, V. R. Bremer, T. J. Klopfenstein, P. J. Kononoff, and G. E. Erickson. 2011. Nutrient variability for distillers' grains plus solubles and dry matter determination of ethanol by-products. *The Prof. Anim. Sci.* 27:57-64.
- Burhoop, J.E., Jolly-Breithaupt, M.L., Gramkow, J.L., Luebke, M.K., MacDonald, J.C., and Erickson, G.E. 2018. Impact of Feeding Distillers Grains with or Without Oil Removal as Well as Supplemental Corn Oil on Nutrient Digestibility by Finishing Cattle. 2018 Nebraska Beef Cattle Report. MP105:105-108
- Carlson, Z. E. 2017. Evaluation of protein and fiber from distillers grains plus solubles in finishing beef cattle diets. Masters theses. Univ. of Nebraska- Lincoln.
- Carlson, Zachary E.; Erickson, Galen E.; MacDonald, James C. Donald; and Luebke, Matt K., "Evaluation of the Relative Contribution of Protein in Distillers Grains in Finishing Diets on Animal Performance" (2016). *Nebraska Beef Cattle Reports*. 865.
- Castanheira, D. D. Estudos sobre a produção de etanol em células de *Saccharomyces cerevisiae* com maior atividade da enzima H⁺-ATPase de membrana citoplasmática. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.
- Castillo-Lopez, E., T. J. Klopfenstein S. C. Fernando, and P. J. Kononoff. 2013. In vivo determination of rumen undegradable protein of dried distillers' grains with solubles and evaluation of duodenal microbial crude protein flow. **Journal Animal Science** 91:924-934.
- Cereal Process Technologies. 2018. Available Online. Acessado 10/05/2019. <http://www.cerealprocess.com/fractionation/>
- Chaney, A.L.; Marbach, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.*, v.8, p.130-132, 1962.

- CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. Produção de etanol deve chegar a 35,5 bilhões de litros e consumirá 65% da safra. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3202-producao-de-etanol-deve-chegar-a-35-5-bilhoes-de-litros-e-consumira-65-da-cana-moida>> acesso: 01/04/20.
- Correa, C. E., R. D. Shaver, M. N. Pereira, J. G. Lauer, and K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, 85:3008–3012. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5.
- Corrigan, M. E., G. E. Erickson, T. J. Klopfenstein, M. K. Luebke, K. J. Vander Pol, N. F. Meyer, C. D. Buckner, S. J. Vanness, and K. J. Hanford. 2009. Effect of corn processing method and corn wet distillers' grains plus solubles inclusion level in finishing steers. **Journal Animal Science**, 87:3351-3362.
- Díaz-Royón, F., A. Garcia, And K. A. Rosentrater. 2012. Composition of fat in distillers grains. Agricultural and Biosystems engineering Publications. Iowa State University.
- DiCostanzo, A.; Hohertz, A.; Owens F. 2015. Ethanol co-products: Changes in the last 15 years, Changes to come. In: Proceedings of Plains Nutrition Council.
- Dragomir C, Toma S. Subprodusele de la prelucrareaporumbuluiboabe – particularitati nutritive sioportunitati de valorificare in furajearumegatoarelor. Analele IBNA 2011; 16: 5–20 (in Romanian with English abstract).
- Garland, S.A. 2018. Impact of ethanol process changes on distillers grains for beef cattle. M.S. Thesis. University of Nebraska, Lincoln.
- Garland, S.A., Boyd, B.M., Hilscher, F.H., Erickson, G.E., MacDonald, J.C., and Mass, R.A. 2019a. Evaluation of fractionated distillers' grains (high protein and bran plus solubles) on performance and carcass characteristics in finishing diets. 2019 Nebraska Beef Cattle Report. MP106:88-90
- Garland, S.A., Jolly-Breithaupt, M.L., Wilson, H.C., G.E., MacDonald, J.C., and Mass, R.A. 2019c. Evaluation of the energy value and nutrient digestibility of distiller's grains that have undergone a fiber separation process in finishing diets. 2019 Nebraska Beef Cattle Report. MP106:94-96
- Garland, S.A.; Boyd, B. M.; Hilscher, F. Henry Hilscher; Erickson, G.E.; MacDonald, J. C.; and Mass, R.A., 2019b. "Evaluation of Corn Bran Plus Solubles on Performance and Carcass Characteristics in Finishing Diets" Nebraska Beef Cattle. Reports. 1020.
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses. Agr. Res. Serv. U.S. Dep. Agr., Agr. Handbook No. 379.
- Hamilton, H. C., J. L. Gramkow, J. C. Macdonald, G. E. Erickson, A. K. Watson, And T. J. Klopfenstein. 2017. Relationship between dietary total digestible nutrients and digestible organic matter in beef cattle finishing and growing diets with or without distillers grains. Nebraska Beef Cattle Report. MP 104:76-78.
- Hart, K. B; Ribeiro, F. A.; Henriott, M. L.; Herrera, N. J.; Calkins, C. R.; Quality effects on beef strip steaks from cattle fed high-protein corn distillers' grains and other ethanol by-products; **Journal Animal Science**, 2019.97:2087–2098 doi: 10.1093/jas/skz086.
- Jansen. R., J. Kerr, P. Lloyd-Jones, and R. Tanner. 2009. Corn wet milling process. United States Patent Application Publication. US 2009/0238918 A1.
- Kelzer, J. M., J. M. Popowski, S. Bird, R. B. Cox, G. I. Crawford, and A. DiCostanzo. 2011. Effect of including low fat, high protein dried distillers grains in finishing diets on feedlot performance and carcass characteristics of beef steers. Univ. of Minnesota Beef Rep. BR-1104.
- Kim, Y., N. S. Mosier, R. Hendrickson, T. Ezeji, H. Blaschek, B. Dien, M. Cotta, B. Dale, and M. R. Ladisch.

2008. Composition of corn dry-grind ethanol byproducts: DDGS, wet cake, and thin stillage. *Bioresour. Technol.* 99:5165– 5176.
- Kleinschmit DH, Anderson JL, Schingoethe DJ, Kalscheur KF, Hippen AR. Ruminant and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *Journal of Dairy Science*, 2007; 90: 2909–2918.
- Klopfenstein, T. J., G. E. Erickson, and V. R. Bremer. 2008. Board-Invited Review: Use of distiller's by-products in the beef cattle feeding industry. *Journal Animal Science*. 86:1223-1231.
- Kozloski GV. *Bioquímica dos ruminantes*. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2016.
- Liu K. Chemical composition of distillers grains: a review. *J Agr Food Chem* 2011; 59: 1508–1526.
- MacDonald, J. 2018. Does removing nutrient components from distillers grains affect the feeding value for beef cattle. 22nd Annual Distillers Grains Symposium, Des Moines - Iowa - United States, 16–18 May, 2018. 30 slides. Disponível em <<https://distillersgrains.org/wp-content/uploads/2018/05/1-MacDonald-Nutrient-Components-Distillers-Grains-Beef-Cattle.pdf>> Acessado 03/04/2020.
- Mcallister, T.A.; Gibb, D.J.; Beauchemin, K.A.; Wang, Y. Starch type, structure and ruminal digestion. In: *Cattle Grain Processing Symposium*, 86., 2006, Tulsa. **Proceedings...** Tulsa: Oklahoma State University, 2006. p. 30-41.
- NASEM. 2016. *Nutrient Requirements for Beef Cattle*, 8th Rev. Ed. Washington, DC. National Academy Press. doi.org/10.17226/19014
- National Research Council - NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1984. 381p.
- National Research Council - NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1996. 242p.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th rev. Natl. Acad. Press ed., Washington, DC.
- OSHA. Occupational Safety and Health Administration. 2015. Section II: Ethanol industry and process descriptions. https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/descriptions.pdf. Accessed: Jun 10, 2019.
- Palmquist, D.L., and H. Conrad. 1971. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high fat diets. *Journal of Dairy Science*, 54:1025-1033.
- Palmquist, D.L.; Conrad, H. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high fat diets. *Journal of Dairy Science*, v. 54, p.1025-1033, 1971.
- Pinto, A. C. J.; Millen, D. D. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 1, p. 46, 2018. doi:10.1139/cjas-2018-0031
- Rausch. K. D. and R. L. Belyea. 2006. The future of co-products from corn processing. *App. Biochem. And Biotechnol.* 128:47-86.
- S. Dien, and M. A. Cotta. 2010. Effect of compositional variability of distiller's grains on cellulosic ethanol production. *Bioresource Tech.* 101:5385-5393.
- Sant'ana, Fabiano J.F. de et al . Polioencefalomalacia em ruminantes. *Pesquisa Veterinária Brasileira.*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 9, p. 681-694, Sept. 2009.
- Sarturi, J. O.; Erickson, Galen E.; Klopfenstein, Terry; Vasconcelos, Judson; Griffin, William A.; Rolfe, Kelsey; Benton, Joshua R.; and Bremer, Virgil R., "Effect of sulfur content in wet or dry distillers grains fed at several inclusions on cattle growth performance, ruminal parameters, and hydrogen sulfide" (2013). Faculty

Papers and Publications in Animal Science. 788. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/788>

- Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., & Garcia, A. D. (2009). *Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets*. **Journal of Dairy Science**, 92(12), 5802–5813. doi:10.3168/jds.2009-2549
- Singh, V., Rausch, K. D., Yang, P., Shapouri, H., Belyea, R. L., & Tumbleson, M. E. 2001. Modified Dry Grind Ethanol Process. *Cereal Chemistry* 82:187-190
- Stock, R. A., J. M. Lewis, T. J. Klopfenstein, and C. T. Milton. 2000. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by-products in feedlot diets. **Journal Animal Science**. 77:1-12.
- UNEM. União Nacional de Etanol de Milho. Desafios do etanol de milho no Mato Grosso - e no Brasil. 2018. <<https://www.novacana.com/n/eventos/ricardo-tomczyk-unem-desafios-etanol-milho-mato-grosso-brasil-030719>> Acessado 01/04/2020.
- US Grains Council. 2012. Ethanol Production and Exports. <https://grains.org/buyingselling/ethanol/>. Acessado 8/2/2019.
- Uwituze S, Parsons GL, Karges KK, Gibson ML, Hollis LC, Higgins JJ, Drouillard JS. Effects of distillers grains with high sulfur concentration on ruminal fermentation and digestibility of finishing diets. **Journal Animal Science** 2011; 89: 2817–2828.
- 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. **Journal of Dairy Science**, 74:3583–3597.
- Vander Pol, K. J. et al. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. **Journal Animal Science**, v. 87, n. 2, p. 639-652, 2009.
- Vasconcelos, J. T.; Galyean, M. L., 2007. Effects of proportions of wet corn gluten feed and distiller's dried grains with solubles in steam-flaked, corn-based diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. **Professional Animal Scientist**, n. 23, p. 260-266.
- Watson, S. A. Structure and composition. In: WATSON, S. A.; RAMSTAD, P. E. (Ed.). *Corn: chemistry and technology*. St Paul: American Association Cereal Chemistry, 1987. p. 53-82.
- Weiss, W. P.; Conrad, H. R.; Pierre, R. S. A theoretically-base model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, London, v.39, p.95-119, 1992.
- Winkler-Moser, J. K., L. Breyer. 2011. Composition and oxidative stability of crude oil extracts of corn germ and distillers grains. *Industrial Crops and Products*. 33: 572- 578.
- Yu, P., J. T. Huber, F. A. P. Santos, J. M. Simas, and C. B. Theurer. 1998. Effects of ground, steam-flaked, and steam-rolled corn grains on performance of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, 81:777-783.
- Zinn, R. A., and Y. Shen. 1998. An evaluation of ruminal degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. **Journal Animal Science** 76:1280-1289.
- Zinn, R. Barrajas, Comparative ruminal and total tract digestion of a finishing diet containing fresh vs air-dry steam-flaked corn, **Journal Animal Science**, Volume 75, Issue 7, July 1997, Pages 1704–1707, <https://doi.org/10.2527/1997.7571704x>