



LARISSA ALVES CARDOSO

**DIGESTIBILIDADE E METABOLIZABILIDADE DE DIFERENTES
FONTES DE DDGS PARA
SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

LAVRAS – MG

2024

LARISSA ALVES CARDOSO

**DIGESTIBILIDADE E METABOLIZABILIDADE DE DIFERENTES
FONTES DE DDGS PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

Dissertação 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 Não Ruminantes, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Márvio Lobão Teixeira de Abreu

Orientador

Prof. Dr. Bruno Alexander Nunes Silva

Coorientador

LAVRAS – MG

2024

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

Cardoso, Larissa Alves.

Digestibilidade e metabolizabilidade de diferentes fontes de
DDGS para suínos em crescimento / Larissa Alves Cardoso. - 2023.

45 p. : il.

Orientador(a): Márvio Lobão Teixeira de Abreu.

Coorientador(a): Bruno Alexander Nunes Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. suínos. 2. metabolismo. 3. DDGS. I. Teixeira de Abreu,
Márvio Lobão. II. Silva, Bruno Alexander Nunes. III. Título.

LARISSA ALVES CARDOSO

**DIGESTIBILIDADE E METABOLIZABILIDADE DE DIFERENTES
FONTES DE DDGS PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

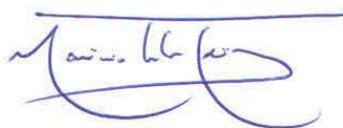
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Não Ruminantes, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de dezembro de 2023

Prof. Dr. Bruno Alexander Nunes Silva UFMG

Prof. Dr. Fábio Loures Cruz UFLA

Prof. Dr. Leonardo da Silva Fonseca UFVJM



Orientador: Prof. Dr. Márvio Lobão Teixeira de Abreu

LAVRAS – MG

2024

A minha família, que tanto admiro, por sempre me apoiar e a todos que fizeram parte dessa conquista.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me proteger e iluminar o meu caminho, colocando pessoas maravilhosas em minha vida e mantendo minha fé de um mundo melhor.

Aos meus pais, Daniele e Helton, por nunca medirem esforços para me apoiar, pelo exemplo de amor e companheirismo. Sem vocês essa conquista não seria possível.

A minhas irmãs, Mariana e Caroline, por todas as palavras de incentivo e carinho, que cuidaram tão bem de mim durante todo esse processo.

A minha família, por todo amor e união. Obrigada por acreditar nos meus sonhos e sempre me incentivar a seguir em frente.

A Universidade Federal de Minas Gerais por me permitir a execução desse projeto tão importante para minha formação.

A Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Zootecnia, por toda contribuição durante a graduação acadêmica e pós-graduação.

Ao meu orientador, Prof. Márvio Lobão Teixeira de Abreu pela oportunidade de realizar este trabalho, pelos ensinamentos e apoio que foram de fundamental importância para conclusão dessa etapa.

Ao meu coorientador, Prof. Bruno Alexander Nunes Silva, por toda orientação desde a graduação até o final desse projeto de grande importância. Obrigada pela confiança e por toda paciência de me atender sempre que necessário.

Ao Núcleo de Estudos em Produção de suínos (NEPSUI), por todo apoio e incentivo durante o período de graduação e pós-graduação.

Aos professores Fábio Loures, Leonardo por terem aceitado ao meu convite e pelas contribuições feitas como membros da banca de defesa.

Ao Grupo de Estudos em Suinocultura (NESUI), por todas as contribuições feitas no meu aprendizado e pelo acolhimento.

A linha de pesquisa Nutrição Funcional de Suínos, por toda troca de conhecimentos, trabalho em equipe, parcerias e amizade.

A Adisseo, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes).

RESUMO GERAL

A utilidade de cereais para produção de biocombustível está em expansão, visto que as exigências políticas e de mercado vem buscando uma produção de biocombustíveis sustentáveis, reduzindo impactos ambientais. O cereal mais utilizado para essa produção é o milho, devido a sua alta disponibilidade no mercado, sendo que o etanol produzido a base de milho resulta em subprodutos fluídos e sólidos. Os grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) é a parte não é digerida na fermentação do etanol. Com a demanda por biocombustíveis sustentáveis, a produção desse subproduto tende a aumentar devido a sua importância econômica para a nutrição animal de suínos, frangos, bovinos, equinos e cães. O DDGS do milho vem sendo bastante utilizado como fonte alternativa na alimentação animal, devido ao seu elevado valor nutricional e redução nos custos. Porém, as diversas variações encontradas no DDGS pode ser um fator errôneo na formulação das dietas, afetando a produtividade animal, ainda que é considerado um ingrediente relativamente novo no mercado de nutrição se faz necessário explorar muitas variáveis para provar a sua capacidade como ingrediente alternativo. Sendo assim, diversos pesquisadores estão avaliando tipos de DDGS de diferentes fontes de fornecedores para padronizar o ingrediente na ração animal. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a utilização de diferentes fontes de grão seco de destilaria com solúveis no metabolismo e digestibilidade de suínos em fase de crescimento. O uso de diferentes fontes de DDGS para suínos em crescimento mostrou-se eficiente e com potencial para bom substituto. Dentre os ingredientes testados, o ES apresentou coeficientes de digestibilidade semelhantes a dieta controle com milho e farelo de soja.

Palavras-chave: Coproduto; suínos machos castrados; metabolismo; DDGS.

GENERAL ABSTRACT

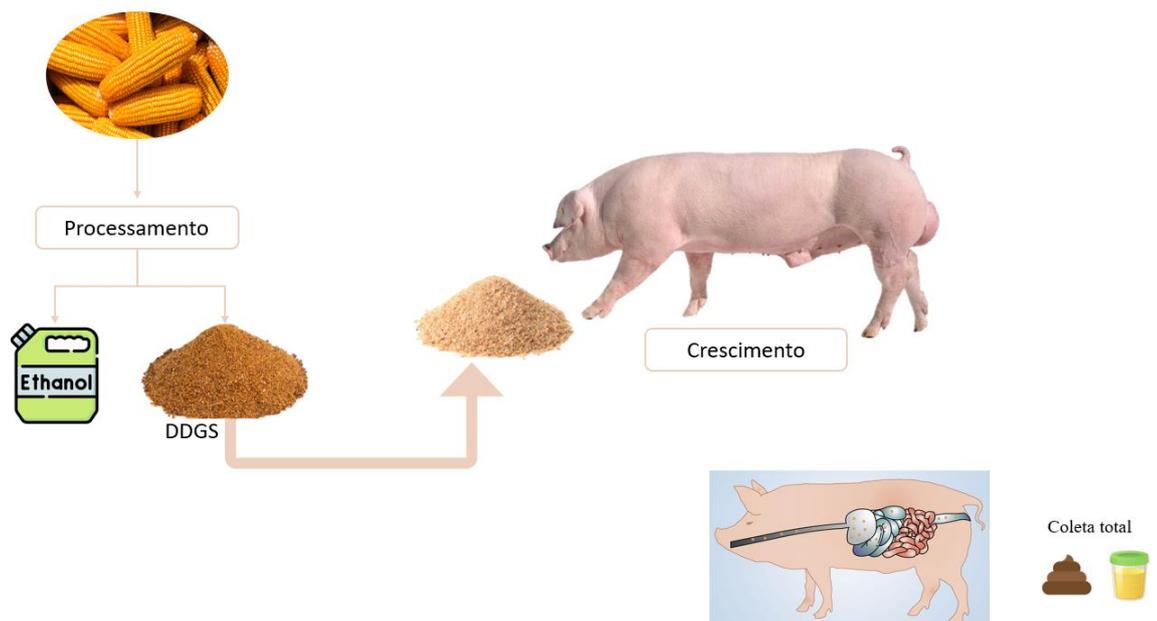
The cereal economy for biofuel production is expanding, as political and market criteria are seeking sustainable biofuel production, with reduced environmental impacts. The cereal most used for this production is corn, due to its high availability on the market, and ethanol produced from corn results in fluid and solid by-products. Dried distillers grains with solubles (DDGS) are the undigested part in ethanol fermentation. With the demand for sustainable biofuels, the production of this byproduct tends to increase due to its economic importance for animal nutrition for pigs, chickens, cattle, horses and dogs. Corn DDGS has been widely used as an alternative source in animal feed, due to its high nutritional value and reduced costs. However, the various variations found in DDGS can be an erroneous factor in the formulation of diets, affecting animal productivity. Even though it is considered a relatively new ingredient in the nutrition market, it is necessary to explore many variables to prove its capacity as an ingredient. alternative. Therefore, several researchers are evaluating types of DDGS from different supplier sources to standardize the ingredient in animal feed. Therefore, the objective of this work was to evaluate the use of different sources of distillers dry grain with solubles in the metabolism and digestibility of pigs in the growth phase. The use of different sources of DDGS for growth results proved to be efficient and has the potential to be a good substitute. Among the ingredients tested, ES presented digestibility coefficients similar to the control diet with corn and soybean meal.

Keywords: Coproduct; castrated male pigs; metabolism; DDGS.

Uso de diferentes fontes de DDGS na digestibilidade de suínos em fase de crescimento e terminação

Elaborado por Larissa Alves Cardoso e orientado por Márvio Lobão Teixeira de Abreu

Com a alta nos preços dos insumos tradicionalmente utilizados, como milho e soja, nas dietas dos suínos é necessário inserir alimentos alternativos para reduzir o custo alimentar de forma eficiente e sustentável. O grão seco de destilaria com solúveis (DDGS) do milho é resultante do processo de destilaria do milho no preparo do etanol, e seu resíduo possui alto valor proteico, sendo de grande interesse para a nutrição animal de forma sustentável. O DDGS do milho pode ser utilizado como fonte de aminoácidos na dieta, porém é necessário conhecer as características bromatológicas, pois a composição nutricional é bastante variável, a depender da técnica de processamento, quantidade de solúvel adicionado, eficiência da fermentação e principalmente a metodologia utilizada para produção do etanol. Sendo assim, avaliar diferentes fontes de DDGS pode representar uma ferramenta fundamental para entender o impacto desta variabilidade na capacidade de digestão e absorção dos nutrientes. Por isso o objetivo desse trabalho foi avaliar a utilização de diferentes fontes de grão seco de destilaria com solúveis no metabolismo e digestibilidade de suínos em fase de crescimento. O uso de diferentes fontes de DDGS para suínos em crescimento mostrou-se eficiente e com potencial para bom substituto. Dentre os ingredientes testados, o ES apresentou coeficientes de digestibilidade semelhantes a dieta controle com milho e farelo de soja.



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição das dietas experimentais	31
Tabela 2 - Análise da composição proximal das dietas experimentais	35
Tabela 3 - Análise da composição das dietas experimentais.....	35
Tabela 4 - Composição das matérias-primas	35
Tabela 5 - Análises de micotoxinas presentes nas amostras	37
Tabela 6 - Resultados dos aminoácidos via HPLC	38
Tabela 7- Consumo e produção de fezes e urina dos animais	39
Tabela 8 - Resultados das análises das fezes	39
Tabela 9 - Coeficientes de digestibilidade e metabolizabilidade	41

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Utilização do milho para produção do etanol	13
2.2 Processamento do milho para obtenção do etanol e seus coprodutos	14
2.3 Valor Nutricional.....	15
2.4 Uso de DDGS na alimentação animal.....	17
2.5 Micotoxinas	19
2.6 Valor Econômico	20
3. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	21
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

SEGUNDA PARTE

1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
2.1 Comissão de Ética no Uso de Animais.....	30
2.2 Animais e Procedimento Experimental.....	30
2.3 Ensaio de Metabolizabilidade e Digestibilidade	32
2.4 Análises Laboratoriais	33
2.5 Análises estatísticas	34
3. RESULTADOS.....	34
3.1 Análises Laboratoriais	34
3.2 Metabolismo e digestibilidade	39
4. DISCUSSÃO	41
5. CONCLUSÃO	44
6. REFERENCIAS	45

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

Com o atual cenário na produção de suínos, devido as altas nos preços de insumos tradicionais, como o milho e soja, faz necessário a utilização de alimentos alternativas para redução com custo de alimentação de forma sustentável. O mercado também tem buscado alternativas sustentáveis na produção animal, de forma consciente e responsável, sendo a utilização de coprodutos uma dessas alternativas. Com isso, cresce a procura destes alimentos, assim como o DDGS, oferecendo qualidade nutricional para os animais e redução dos custos de produção.

Todavia é necessário conhecer as características bromatológicas desse alimento para que não haja nenhum déficit na dieta. O DDGS é resultante do processo de destilaria do milho no preparo do etanol, e seu resíduo possui alto valor proteico, sendo de grande interesse para a nutrição animal, e também dar destino ao resíduo de forma sustentável. Os subprodutos do milho, podem ser utilizados como fonte de aminoácidos na dieta de suínos, desde que sejam balanceadas de acordo com a exigência de cada aminoácido.

A composição nutricional do DDGS do milho pode ser bastante variável. Alguns trabalhos mostram que existe correlação entre a intensidade de cor do DDGS e a composição de alguns aminoácidos, como por exemplo a lisina, que no trabalho relatado por (Fastinger et al., 2006) obteve redução na quantidade de lisina total para as amostras mais escuras, que pode ser explicada pelo superaquecimento do DDGS durante o processo de secagem. Neste contexto, a avaliação das diferentes fontes de DDGS podem representar uma ferramenta de fundamental importância para entender o impacto desta variabilidade sobre a capacidade de digestão do suíno e melhorar a eficiência de formulação bem como o desenvolvimento e retorno econômico do setor suinícola.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Utilização do milho para produção do etanol

Os Estados Unidos é o maior produtor de milho do mundo, representando cerca de 95% dos grãos produzidos (HONG, 2020), com isso as indústrias de refinarias de biocombustíveis produtoras de etanol por meio desse ingrediente aumentaram significativamente nas últimas décadas (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION, 2020). A maior produção de etanol nos Estados Unidos é a partir do milho, em torno de 98%, já no Canadá e Europa o que mais se utiliza é trigo e cevada, sendo o Brasil a cana-de-açúcar (WERLE, 2018). Um grande desafio no processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar é o período da entressafra, onde não é possível estocagem dessa matéria, o que não é um problema na cultura do milho (MILANEZ *et al.*, 2014).

Na tentativa de mitigar esse desafio, as usinas do Brasil são adaptadas para a produção do biocombustível a partir do milho, o que favorece a economia de toda a produtividade, reduzindo os prejuízos da falta de matéria (APROSOJA, 2013). O Brasil se encontra entre um dos maiores produtores mundiais de milho, ainda que apresente 9,9% da produtividade total, representa a maior porcentagem de cereais produzidos (EMBRAPA, 2021). A produção de etanol advindo dessa matéria é de aproximadamente 1,8% de todo o biocombustível produzido (FANTINI, 2021).

A utilidade de cereais para produção de biocombustível está em expansão, visto que nos últimos anos as exigências políticas e de mercado vem buscando uma produção de biocombustíveis sustentáveis, reduzindo impactos ambientais, além de grande o interesse por novas tecnologias (STRAZZI, 2015). O cereal mais utilizado para essa produção é o milho, devido a sua alta disponibilidade no mercado, além de fácil armazenamento quando comparado a cana de açúcar (DA SILVA; PERES NETO; SCUSSEL, 2016). O etanol produzido a base de milho resulta em subprodutos fluídos (componentes aquosos e óleo) e sólidos (DDGS) correspondendo 30% do grão empregado (SPIEHS *et al.*, 2002).

Com as oscilações do preço do milho impacta na economia das indústrias produtoras. Os grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) é a parte não é digerida na fermentação do etanol, e devido as maiores demandas por biocombustíveis sustentáveis, a produção desse subproduto tende a aumentar, assim impulsionando os valores no mercado (IRAM, 2020).

2.2 Processamento do milho para obtenção do etanol e seus coprodutos

O processamento do milho para obtenção do etanol é rentável, pois os seus subprodutos, como o DDGS (Grãos Secos de Destilaria com Solúveis) são de grande importância econômica para a nutrição animal (suínos, frangos, bovinos, cães e equinos), devido as suas características nutricionais, como seu alto valor de proteína, e energia (BRITO, 2008).

Todo o processo que envolve a produção é de fácil execução, mas é necessário o acompanhamento de todas as operações. O processamento do milho pode ser feito de duas maneiras, como a moagem úmida, onde o ingrediente é moído e armazenados em tanques com água aquecida, quantidade adequada de ácido sulfuroso para o controle de fermentação e auxiliar no processo da separação do amido e de proteínas pela diferença de densidade (STRAZZI, 2015). Os coprodutos derivados dessa moagem são a farinha de glúten de milho e óleo de milho (ALVES *et al.*, 2012).

A moagem a seco é outra forma de processamento onde dão origem a outros coprodutos importantes, sendo necessário menor investimento financeiro, contribuindo para economias locais, com maior rendimento (SINGH *et al.*, 2001), por isso é o método mais utilizado para produção de etanol (DA SILVA; NETTO e SCUSSEL, 2016). O processo por completo é formado por seis etapas (moagem, cozimento, liquefação, sacarificação, fermentação e separação). Na etapa que consiste a fermentação, acrescenta a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para papel fundamental na quebra da glicose, transformando em etanol e liberando dióxido de carbono, além de reduzir os contaminantes encontrados no ingrediente (ALVES *et al.*, 2012). Posterior a isso, segue para o processo de destilação e centrifugação, para separá-lo em fase sólida (grãos de destilaria úmidos) e fase líquida. No líquido que possui níveis elevados de nutrientes solúveis, é evaporado formando um xarope, e para origem do DDGS, esse xarope é misturado aos grãos para incluir solúveis que são presentes pós-destilação, onde são misturados e secos (BOTHAST, 2005).

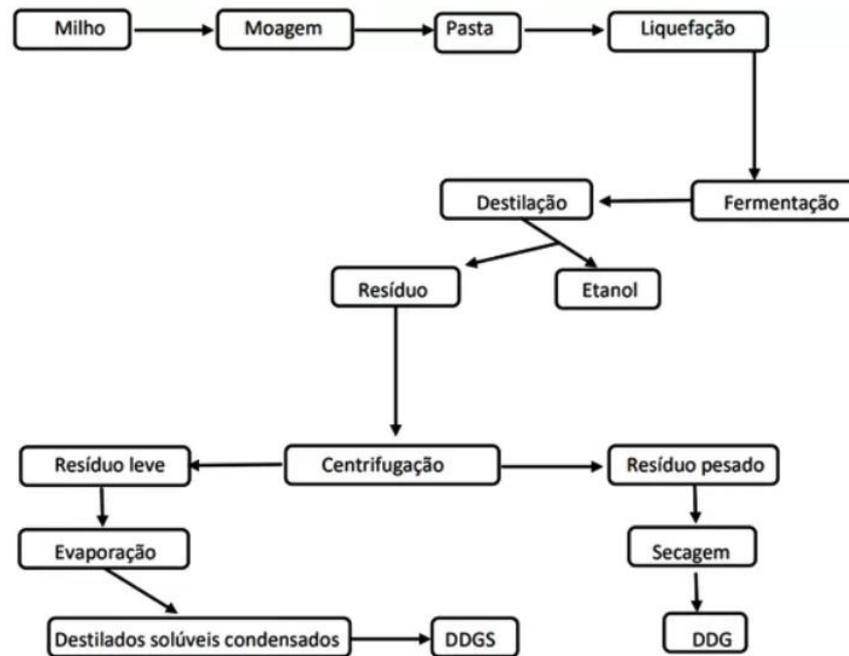


Figura 1 : Processamento do milho para obtenção do etanol e seus subprodutos (US Grains Council, 2012)

Esse subproduto, além de ser incluído na alimentação animal pode-se também extrair a celulose dos resíduos para produção de filmes, fibras e papel (ALVES, *et. al.*, 2012), carvão e incluído nas massas em panificados (LIU, SINGH e IGLETT, 2011).

2.3 Valor Nutricional

Estudos são feitos com objetivo de testar diferentes níveis de inclusão do subproduto na alimentação animal, buscando reduzir os custos de produção e aumentando a eficiência produtiva. Dos nutrientes dietéticos, a proteína é considerada o de maior valor econômico, e que possui grande efeito no crescimento e desenvolvimento dos animais. Como se foi observado nos últimos anos, as fontes de proteína normalmente utilizadas na nutrição animal, elevaram os custos e por isso novos estudos estão sendo feitos na tentativa de desenvolvimento de novas fontes de proteína a baixo custo (AZM, 2022). Para a utilização de um substituto de qualidade na dieta é necessário obter as características nutricionais, como composição química, digestibilidade dos nutrientes, toxidez, energia metabolizável e os fatores que podem afetar o desempenho do animal (PACHECO, 2013).

O grão seco de destilaria com solúveis (DDGS) do milho vem sendo bastante utilizado como fonte alternativa na alimentação animal, devido ao seu elevado valor nutricional e redução nos custos. A composição nutricional dos DDGS varia de acordo com o grão utilizado para o processamento, além de outras variáveis influenciar em sua composição, como a técnica de

processamento, quantidade do solúvel adicionado, eficiência da fermentação, e principalmente a metodologia utilizada na produção do etanol entre os diferentes produtores (BUENAVISTA, 2021). Porém, as diversas variações encontradas no DDGS pode ser um fator errôneo na formulação das dietas, afetando a produtividade animal (BELYEA, 2004). O DDGS ainda é considerado um ingrediente relativamente novo no mercado de nutrição, e se faz necessário explorar muitas variáveis para provar a sua capacidade na ração animal (IRAM, 2020). Sendo assim, diversos pesquisadores estão avaliando tipos de DDGS de diferentes fontes de fornecedores para padronizar o ingrediente na ração animal.

Um dos fatores físicos de suma importância para mercado exportador dos DDGS é a sua cor, pois é utilizado como parâmetro para avaliação de alta ou baixa qualidade, o que foi achado dos estudos feitos por Cromwell *et al.*, (1993) e Fastinger *et al.*, (2006), onde o ingrediente de cor escura apresentou uma menor digestibilidade quando comparado com o de cor clara, afetando diretamente o desempenho dos animais. A cor do DDGS pode ser alterada pelo tipo de secador utilizado, a temperatura de secagem e principalmente pela cor do grão que foi utilizado no processamento (WELKER *et al.*, 2014). RAY *et al.*, 2022 afirmou que não existe correlação linear entre as variáveis composição e cor dos DDGS.

O DDGS do milho é um concentrado classificado como um ingrediente proteico e energético, mas pode variar de acordo com a variedade do milho considerada. Sabe-se que é uma fonte de proteína, variando entre 26% a 31,7%, gordura de 9% a 14,1%, cinzas entre 3,7% e 8,1%, fibra bruta de 5,4% a 10,4%, FDN entre 33,1% e 43,9%, FDA de 11,4% 20,8% e matéria seca aproximadamente 90,5% (BUOSI; DIAN, 2014), além de boa fonte de cálcio, fósforo e enxofre, que trazem benefícios para a saúde animal e reduz impactos ambientais (BUENAVISTA, 2021).

Assim como os outros componentes da dieta, a quantidade dos aminoácidos no DDGS é variável. A lisina, por exemplo, apresenta valores menores pois é termossensível, e por isso diversos autores fazem relação com a coloração do subproduto, sendo os mais claros os mais desejáveis. Na produção de suínos a lisina é o principal aminoácido limitante, e com isso, grande maioria das usinas produtoras buscam reduzir o aquecimento no processo para diminuir os danos causados pelo excesso de calor (ACHARYA *et al.*, 2015; DA SILVA; NETTO; SCUSSEL, 2016), como mostrara Cols (2012) que os teores de lisina encontradas nos DDGS tenderam a aumentar com o passar dos anos, o que pode sim ser um indicativo de melhora nos processos das indústrias.

Mesmo com todas as boas características do DDGS, eles não podem ser utilizados sozinhos na alimentação animal, pois possuem alguns componentes que em altas quantidades podem reduzir a eficiência dos animais, sendo assim, é somente utilizado como substituto parcial (IRAM, 2021). Um dos fatores que comprometem a utilização do DDGS é a presença de fungos e micotoxinas nesses alimentos. Esses compostos são produzidos por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, quando em ambiente propício (úmidos e quentes) causam efeitos deletérios aos animais (CAUPERT *et al.*, 2011).

Além do fator clima quente e úmido, predominante nas regiões brasileira, outro fator que influencia no crescimento desses fungos são presença de oxigênio, lesão dos grãos, competição entre as linhagens fúngicas, e os fatores envolvidos na secagem (QUEIROZ *et al.*, 2009). A principal preocupação com os contaminantes presentes no DDGS é a permanência e resistência durante o processo e a presença deles no produto final. Sendo assim, alterações de efeitos tóxicos podem ser causadas no organismo dos animais, como imunodeficiências, toxidez para o fígado e rim entre outros efeitos variando conforme o tipo de micotoxina, manifestando de forma aguda ou crônica (SILVA; NETTO; SCUSSEL, 2016).

2.4 Uso de DDGS na alimentação animal

Devido ao alto crescimento populacional, a competitividade por alimento levou a uma busca por alternativas para substituição daqueles comumente utilizados na alimentação animal, além de reduzir os custos da produção (SILVA, 2015). Além disso, em 2020, o Brasil passou por um período crítico, cheio de incertezas com a pandemia do COVID-19, e muitas das empresas produtoras de etanol do milho tiveram que encerrar suas atividades devido à baixa demanda e preços altos da matéria-prima (SHAD, 2020).

As fontes primárias de energia e aminoácidos nas dietas dos suínos é a base de milho e farelo de soja, entretanto como foi mencionado acima, os valores econômicos dos produtos aumentaram significativamente (ZANGARO, 2022). Sendo assim, encontrar estratégias para o uso do subproduto do milho na alimentação animal é de grande importância para a recuperação dos negócios além de proteção ao meio ambiente com descartes incorretos (SHAD, 2021). Como foi abordado acima, os valores nutricionais do DDGS fazem dele um eficiente substituto do milho e soja na alimentação de várias espécies animal, principalmente para suínos (USGC, 2012), podendo substituir parcialmente alimentos que deixam a ração mais cara, como o milho (energia), soja (proteína) e fósforo (fósforo digestível) (SHIN *et al.*, 2018).

O DDGS pode ser utilizado em todas as fases da produção de suíno, desde a fase de creche, gestação e até a terminação, com inclusão de até 30% sem afetar o desenvolvimento animal (STEIN, 2009). Porém, dietas que incluem mais de 20% de DDGS possui alto teor de ácidos graxos poli-insaturados, que é sensível a peroxidação e pode prejudicar o crescimento dos animais em terminação (BOLER *et al.*, 2012), reduzindo a firmeza da gordura, aumentando o volume de fezes e excreção de fósforo (SILVA, 2016). Apesar disso, Hanson *et al.*, (2015) afirmaram que os aminoácidos que contêm enxofre presentes no DDGS previne as falhas do crescimento desses animais e com formulação de dietas adequadas para cada fase.

As características da carne devem atender as exigências de mercado, com cheiro específico, textura firme e sabor levemente azedo, com marmoreio ideal. Estudo feito por Schwarz (2021) mostrou que quando se tem inclusão de até 15% em animais na fase de engorda teve melhora na conversão alimentar e não alterou qualidade de carcaça e ganho de peso médio diário dos animais, porém reduziu o consumo de ração.

Observa-se que as recomendações do aumento da inclusão do DDGS nas dietas podem ser devido a melhora no processo de produção desse subproduto, com valores mais altos de gordura, energia digestível, metabolizável e principalmente de aminoácidos (ANDERSON, 2021). As recomendações de inclusão são feitas de que 10% é o valor ideal, pois assim não compromete o desempenho dos animais, mas foram avaliados níveis mais elevados, como 15% e 30% na fase de maternidade e creche sem afetar o desempenho dos suínos (TRAN *et al.*, 2012).

Uma alternativa seria o DDGS de alta proteína ($\geq 34\%$), que tem características distintas do convencional, como o teor de fibra que é retirado, aumentando a digestibilidade dos aminoácidos e com isso reduzir a suplementação de aminoácidos industriais (BUENAVISTA, 2021). Ainda, dietas de suínos com DDGS de alta proteína apresentou maior digestibilidade de energia metabolizável, mas menor digestibilidade total de fosforo se comparado ao convencional (ROMERO *et al.*, 2020), e interferiu no desempenho enquanto o teor da gordura suína aumentava (YANG *et al.*, 2020)

O grande problema para o aumento dos níveis de inclusão de DDGS nas dietas de suínos se dá devido aos teores elevados de fibra encontradas nesse subproduto e leva a redução de digestibilidade de alguns nutrientes. Essas fibras são principalmente insolúveis, devido ao teor de arabinoxilanos, celulose e lignina (PEDERSEN *et al.*, 2014). Com isso, a inclusão do DDGS em dietas de suínos pode afetar a saúde intestinal dos animais, pois estes não conseguem digerir

teores elevados de fibra (HICKS, 2014), e somente metade da fibra total é fermentado no trato gastrointestinal (URRIOLA *et al.*, 2010), e por sua vez contém cerca de três vezes a mais o teor de fibra (FDN) (XU, *et al.*, 2010) e como resultado disso a energia digestível é reduzida em comparação a dietas que possuem ingredientes convencionais como o milho e soja.

Nesse contexto, os teores elevados da fibra afetam a digestibilidade de proteína, energia e outros nutrientes, levando a redução do consumo de ração dos animais e aumento de excreção fecal. Os achados de Ganchev (2020) comprovou que animais alimentados com níveis acima de 40% de DDGS tiveram consumo reduzido de 20% quando comparados a dietas constituídas principalmente de milho, além do aumento das fezes excretadas de 2% e 45% quando a inclusão foi de 40% e 60% respectivamente. Nesse mesmo estudo também mostrou que a digestibilidade da matéria seca diminuiu, proteína bruta e extrato éter, e aumento da excreção de nitrogênio.

Outro estudo feito por Corassa (2017) mostrou que energia digestível e metabolizável não foram influenciados por níveis de inclusão do DDGS até 45%. Já os coeficientes de digestibilidade de proteína bruta, extrato éter, matéria mineral também não foram diminuídos pela inclusão. Porém, o que se foi observado e que concorda com o estudo apresentado de Ganchev (2020) é que as excretas de fezes foram aumentadas, sendo justificável pelo teor de fibra alterando o tempo de passagem do alimento. Ainda que o uso de DDGS é muito estudado na suinocultura, encontra-se na literatura resultados bastante distintos na composição da mesma matéria-prima.

2.5 Micotoxinas

Micotoxinas podem ser definidas como metabólitos secundários que são produzidos por diversos fungos que podem causar danos à saúde dos animais (Coulombe, 1993). A presença dessas micotoxinas no DDGS está relacionada a contaminação da matéria utilizada, pois o milho é susceptível ao crescimento de fungos devido as suas condições ambientais durante a sua produção, colheita e armazenamento (Yang *et al.*, 2020). Ainda que seja um ingrediente com diversos benefícios a alimentação dos suínos, o DDGS é relatado com grande risco de contaminação por micotoxinas (ZHANG E CAUPERT, 2012).

O processamento para a produção do etanol não destrói as micotoxinas, por isso a importância de realizar testes antes da utilização do subproduto. Stein & Shurson (2009) afirmaram que a concentração desses metabólitos no DDGS aumenta em duas a três vezes se comparado com o milho, pois a remoção do amido faz com que todos os componentes não fermentáveis se concentram. Sendo assim, a alimentação de suínos contendo variáveis

micotoxinas e concentrações podem ter efeitos negativos no crescimento e saúde desses animais.

Em decorrências dos efeitos conhecidos e bem estabelecidos na literatura, como, redução de crescimento, diminuição de consumo alimentar, imunossupressão, lesões gastrointestinais, distúrbios neurológicos e reprodutivos, as micotoxinas agrícolas mais conhecidas são aflatoxinas, fumonisina, desoxinivalenol, acratoxina e a zearalenona (BRACARENSE *et al.*, 2012).

As fumonisinas são micotoxinas produzidas por *Fusarium verticillioides* e *F. proliferatum*, que causam efeitos tóxicos e cancerígenos, comumente encontrados no milho. A intoxicação por essas micotoxinas podem causar edema pulmonar e atrofia das vilosidades, afetando a absorção dos nutrientes (BRACARENSE *et al.*, 2012). Ainda, a estrutura das fumonisinas se assemelham com as bases esfingóides, e por isso age na interrupção do metabolismo dos esfingolípídeos em que influencia de forma direta os efeitos de crescimento, diferenciação e morte celular e na peroxidação lipídica (YAZAR & OMURTAG., 2008).

2.6 Valor Econômico

O processamento do milho transforma-o em dois produtos de grande valor econômico, sendo o etanol e grãos secos de destilaria (PERKIS, 2008). No entanto, o valor comercial do DDGS está inteiramente relacionado a sua composição nutricional (BELYEA *et al.*, 2004). Animais alimentados com dietas de inclusão a 10% teve uma redução sobre o custo da alimentação, independente dos preços do DDGS no mercado (LINNEEN, 2006), concordando com os achados de Schwarz (2021) que mostrou a baixa inclusão de DDGS na alimentação de suínos pode diminuir significativamente o custo da ração em cerca de 5% a 8%, e assim aumentar o lucro na produção animal.

Ainda considerando os altos preços de mercado dos ingredientes tradicionais, a inclusão de até 30% do DDGS ainda é lucrativa, se utilizado apenas nas fases de crescimento e terminação. De acordo com Schwarz (2021), as carcaças de animais alimentados com esse subproduto apresentaram melhor qualidade, fazendo com que o preço por kg aumentasse quase 3%, sendo de grande importância devido a instabilidade do mercado.

Entretanto, estudo feito por Fantini (2021) mostrou que animais em crescimento e terminação alimentados com 20% de inclusão tiveram uma redução de 2,44% do faturamento devido ao impacto no desempenho animal, mesmo que o custo da ração tenha diminuído, o

ganho de peso também teve diminuição. Entretanto, quando houve uma inclusão mais baixa nas rações, teve uma economia de 1,28% na ração quando comparado a uma dieta controle. Quando o autor comparou o lucro por cabeça, a dieta com 10% foi a mais rentável, o que não ocorreu em níveis acima. Por fim, ele conclui que a inclusão do DDGS na alimentação de suínos pode reduzir o custo com a alimentação, porém deve-se estudar o melhor nível para que não afete o crescimento e desenvolvimento animal.

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A utilização de alimentos alternativos estão sendo cada vez mais estudadas para substituir os convencionais na nutrição animal, buscando redução dos impactos ambientais e interesses econômicos e eficiência produtiva. O grão seco de destilaria com solúveis (DDGS) do milho vem sendo bastante utilizado como fonte alternativa na alimentação animal, devido ao seu elevado valor nutricional e redução nos custos. Com isso, o DDGS pode ser utilizado em todas as fases da produção de suíno, desde a fase de creche, gestação e até a terminação, com inclusão de até 30% sem afetar o desenvolvimento animal.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, I. P. et al. Response of lactating dairy cows to dietary protein from canola meal or distillers' grains on dry matter intake, milk production, milk composition, and amino acid status. **Canadian journal of animal science**, v. 95, n. 2, p. 267-279, 2015.
- ALVES, Joner Oliveira et al. Síntese de nanomateriais de carbono a partir de resíduos de milho (DDGS). **Química Nova**, v. 35, pág. 1534-1537, 2012.
- ANDERSON, Brooke Elizabeth. Impact on Performance and Carcass Characteristics When Replacing Soybean Meal With Distillers Dried Grains With Solubles and Crystalline Amino Acids in Diets of Growing and Finishing Pigs. **North Carolina State University**, 2021.
- ABOUEL AZM, Fatma Ragab et al. The Interaction of Dried Distillers Grains With Solubles (DDGS) Type and Level on Growth Performance, Health, Texture, and Muscle-Related Gene Expression in Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*). **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 832651, 2022.
- BELYEA, Ronald L.; RAUSCH, Kent D.; TUMBLESON, M. E. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. **Bioresource technology**, v. 94, n. 3, p. 293-298, 2004.
- BOLER, D. D. et al. Effects of oxidized corn oil and a synthetic antioxidant blend on performance, oxidative status of tissues, and fresh meat quality in finishing barrows. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 13, p. 5159-5169, 2012.
- BOTHAST, R. J.; SCHLICHER, M. A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 67, p. 19-25, 2005.
- BRACARENSE, Ana-Paula FL et al. Chronic ingestion of deoxynivalenol and fumonisin, alone or in interaction, induces morphological and immunological changes in the intestine of piglets. **British Journal of Nutrition**, v. 107, n. 12, p. 1776-1786, 2012.
- BRITO, C. Uso do DDGS, um subproduto na produção do etanol, na alimentação de monogástricos. **Artigo técnico Poli-Nutri alimentos**, 2008.
- BUENAVISTA, Raña Marie E.; SILIVERU, Kaliramesh; ZHENG, Yi. Utilization of distiller's dried grains with solubles: A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 5, p. 100195, 2021.
- BUOSI, João Paulo; DIAN, Paulo Henrique Moura. **Boletim Técnico da Produção Animal**, 11/Universidade Camilo Castelo Branco: grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de ruminantes. 2014.
- CORASSA, Anderson et al. Nutritional value of Brazilian distillers dried grains with solubles for pigs as determined by different methods. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 740-746, 2017.
- CROMWELL, G. L.; HERKELMAN, K. L.; STAHLY, T. S. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. **Journal of animal science**, v. 71, n. 3, p. 679-686, 1993.
- DA SILVA, Gonçalo Mesquita et al. Avaliação de forrageiras tropicais: Revisão. **Pubvet**, v. 10, p. 190-270, 2016.

DAS CHAGAS CARDOSO FILHO, Francisco; DE CALDAS, Mikaela Lopes; MURATORI, Maria Christina Sanches. Fungos e aflatoxinas em cereais: Uma revisão. **Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública**, v. 2, n. 2, p. 122-130, 2015.

ECKERT, C. T. et al. Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 3907-3912, 2018.

FANTINI, Caiki Calepso et al. Economic evaluation of the use of distillers dried grains with solubles in swine feeding. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e0110716082-e0110716082, 2021.

FASTINGER, N. D.; MAHAN, D. C. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. **Journal of animal science**, v. 84, n. 7, p. 1722-1728, 2006.

GANCHEV, Gancho; ILCHEV, Atanas; NEDELKOV, Krum. Influence of different inclusion levels of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) in the diet of growing pigs on the digestibility of nutrients. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 26, 2020.

HICKS, Kevin B.; MONTANTI, Justin; NGHIEM, Nhuan P. Use of barley grain and straw for biofuels and other industrial uses. In: **Barley**. AACC International Press, 2014. p. 269-291.

IRAM, Attia; CEKMECELIOGLU, Deniz; DEMIRCI, Ali. Distillers' dried grains with solubles (DDGS) and its potential as fermentation feedstock. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 104, p. 6115-6128, 2020.

LINNEEN, S. K. et al. Effects of dried distillers grain with solubles on nursery pig performance. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, n. 10, p. 100-102, 2006.

LIU 2011 - Liu K. (2011). Composição química de grãos de destilaria, uma revisão. **J. Agricult. Química de Alimentos**, 59: 1508–1526.

MARQUES, Sidnei José Perreira; DA CUNHA, Magda Elisa Turini. Produção de álcool combustível utilizando milho. **Unopar Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 7, n. 1, 2014.

OLENDORFF, Samantha A.; CHMIELEWSKA, Karolina; TUCKER, Kevin R. Survey of antibiotics residues in DDGS from 14 different states by LCMS. **Cereal Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 81-88, 2021.

PACHECO, W. J. et al. Effect of particle size and inclusion level of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS) and pellet quality on growth performance and gastrointestinal (GIT) development of broilers. **Poult. Sci**, v. 92, p. 14, 2013.

PEDERSEN, M. B. et al. Compositional profile and variation of distillers dried grains with solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 130-141, 2014.

PERKIS, David; TYNER, Wallace; DALE, Rhys. Economic analysis of a modified dry grind ethanol process with recycle of pretreated and enzymatically hydrolyzed distillers' grains. **Bioresource technology**, v. 99, n. 12, p. 5243-5249, 2008.

- RAY, Gyan Watson et al. A review on the use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in aquaculture feeds. **Annals of Animal Science**, v. 22, n. 1, p. 21-42, 2022.
- ROMERO, A. Cristobal; LEE, Su A.; STEIN, Hans H. Concentrations of digestible and metabolizable energy and digestibility of phosphorus in a new source of high-protein distillers dried grains with solubles fed to growing Pigs. **Journal of Animal Science**, v. 98, p. 187-187, 2020.
- SCHWARZ, Tomasz et al. Effects of using corn dried distillers' grains with solubles (cDDGS) as a partial replacement for soybean meal on the outcomes of pig fattening, pork slaughter value and quality. **Animals**, v. 11, n. 10, p. 2956, 2021.
- SHAD, Zeinab; VENKITASAMY, Chandrasekar; WEN, Zhiyou. Corn distillers dried grains with solubles: production, properties, and potential uses. **Cereal Chemistry**, v. 98, n. 5, p. 999-1019, 2021.
- SHIN, Eui-Cheol; SHURSON, Gerald C.; GALLAHER, Daniel D. Antioxidant capacity and phytochemical content of 16 sources of corn distillers dried grains with solubles (DDGS). **Animal Nutrition**, v. 4, n. 4, p. 435-441, 2018.
- SILVA, Juliana Regina da. Uso de resíduo seco de destilaria contendo solúveis (DDGS), com e sem xilanase, na alimentação de cães. 2015. SINGH, Vijay et al. Modified dry grind ethanol process. Departments of Agricultural Engineering, **University of Illinois at Champaign-Urbana**, UILU, n. 2001-7021, 2001.
- SPEROTTO, Felipe Carlos Spneski. Abordagem multiprocessual e caracterização dos grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) de milho. 2017.
- SPIEHS, M. J.; WHITNEY, M. H.; SHURSON, G. C. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. **Journal of animal science**, v. 80, n. 10, p. 2639-2645, 2002.
- STEIN, H. H.; SHURSON, G. C. Board-invited review: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. **Journal of animal science**, v. 87, n. 4, p. 1292-1303, 2009.
- STEIN, Hans H. et al. Energy and nutrient digestibility in four sources of distillers dried grains with solubles produced from corn grown within a narrow geographical area and fed to growing pigs. **Asian-Aust. J. Anim. Sci**, v. 22, n. 7, p. 1016-1025, 2009.
- STRAZZI, Sueli. Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 13, p. 146-150, 2015.
- TRAN, H. et al. Effect of corn distillers dried grains with solubles on growth performance and health status indicators in weanling pigs. **Journal of animal science**, v. 90, n. 3, p. 790-801, 2012.
- URRIOLA, P. E.; SHURSON, G. C.; STEIN, H. H. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. **Journal of animal science**, v. 88, n. 7, p. 2373-2381, 2010.
- VO, Duc Hong et al. Sustainable agriculture & energy in the US: A link between ethanol production and the acreage for corn. **Economics and Sociology**, v. 13, n. 3, p. 259-268, 2020.

WANG, L. F.; BELTRANENA, E.; ZIJLSTRA, R. T. Diet nutrient digestibility and growth performance of weaned pigs fed wheat dried distillers grains with solubles (DDGS). **Animal Feed Science and Technology**, v. 218, p. 26-32, 2016.

WELKER, Thomas L. et al. Use of distiller's dried grains with solubles (DDGS) in rainbow trout feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 195, p. 47-57, 2014.

WERLE, Caroline Hoscheid et al. Grãos secos de destilaria com solúveis de milho: uma alternativa na alimentação de ruminantes—revisão de literatura. **Arquivos Ciência Veterinária Zootecnia**, v. 21, n. 3, p. 107-113, 2018.

XU, G. et al. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. **Journal of animal science**, v. 88, n. 4, p. 1398-1410, 2010.

YANG, Zhaohui et al. Effects of feeding high-protein corn distillers dried grains and a mycotoxin mitigation additive on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality of growing–finishing pigs. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 2, p. 666-681, 2020.

YANG, Zhaohui et al. Effects of feeding high-protein corn distillers dried grains and a mycotoxin mitigation additive on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality of growing–finishing pigs. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 2, p. 666-681, 2020.

YAZAR, Selma; OMURTAG, Gülten Z. Fumonisin, trichothecenes and zearalenone in cereals. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 9, n. 11, p. 2062-2090, 2008.

ZANGARO, Casey A.; WOYENGO, Tofuko A. Nutrient digestibility of heat-or heat plus citric acid-pretreated dried distillers grains with solubles for pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 285, p. 115238, 2022.

ZHANG, Yanhong; CAUPERT, John. Survey of mycotoxins in US distiller's dried grains with solubles from 2009 to 2011. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 2, p. 539-543, 2012.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

**Digestibilidade e metabolizabilidade de diferentes fontes de DDGS para
suínos em crescimento**

(Normas NBR 6022 (ABNT 2003))

RESUMO

Objetivou-se avaliar a utilização de diferentes fontes de DDGS para suínos de 30 aos 85kg de peso vivo sobre digestibilidade e metabolizabilidade. O experimento foi realizado no laboratório de metabolismo e digestibilidade de suínos no setor de suinocultura no Instituto de Ciência Agrárias da UFMG, *campus* Montes Claros. Foram utilizados 8 suínos machos castrados, de mesma origem genética comercial (TN70*Talent®), com peso inicial de 30 kg, distribuídos em um esquema de quadrado latino com quatro tratamentos de dois animais, durante quatro períodos, oito repetições de suínos por dieta. Os tratamentos dietéticos foram: Controle (CON) – dieta à base de milho e farelo de soja; (IN) – 20% de inclusão Inpasa; (ES) – 20% de inclusão FS Essencial; e (GS) – 20% de inclusão Goldsac. As rações foram fornecidas de acordo com o peso metabólico ($PV^{0,60}$) na pesagem do animal ao início de cada período. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas, onde permaneceram por 12 dias, sendo que foram cinco de adaptação e sete de coleta de amostras de fezes e urinas. Os dados foram submetidos a testes de normalidade e analisados pelo procedimento de modelo linear generalizado (GLM) do pacote estatístico SAS (SAS Inst., Inc, Cary, NC). As médias foram comparadas pelo teste de Student Newman-keuls com valor 0,05 foi considerado significativo. Os resultados do experimento mostram que o consumo de matéria seca não houve diferença entre os tratamentos. O volume de fezes produzidos foram influenciados ($P<0,05$) pela dieta, onde animais alimentados com DDGS IN produziram mais fezes em comparação aos demais tratamentos. As análises de fezes indicaram que a fonte de DDGS influenciou ($P<0,0001$) a PB, N, EE, MM e P. Também se observaram efeito no valor de PDa ($P<,0001$) da dieta, onde o uso do DDGS FS e GS apresentaram valores mais altos (24,90 vs. 21,77 %), respectivamente. O uso de DDGS apresentou ($P=0,0125$) os maiores valores de CDaMS, mas ambos inferiores ao CON. O CDPB reduziu com o uso do DDGS ($P=0,008$) e foi menor no DDGS GS (83,93%). O CDaE ($P=0,0245$) e CME ($P=0,0467$) foram influenciados pela dieta, onde o uso do DDGS apresentaram menores valores quando comparados com a dieta a base de milho ($P=0,0245$). As dietas também influenciaram a eficiência de retenção de P ($P= 0,0131$), onde dietas com DDGS apresentaram valores maiores comparados ao controle, e absorção de nitrogênio ($P=0,007$), onde a dieta com DDGS apresentaram valores menores ao controle.

Palavras-chave: Subproduto; suínos machos castrados; metabolismo; DDGS.

GENERAL ABSTRACT

The objective was to evaluate the use of different sources of DDGS for pigs weighing between 30 and 85 kg of live weight in terms of digestibility and metabolizability. The experiment was carried out in the pig metabolism and digestibility laboratory of the swine sector of the Instituto de Ciência Agrárias da UFMG, *campus* Montes Claros. Eight castrated male pigs were used, of the same commercial genetic origin (TN70*Talent®), with an initial weight of 30 kg, distributed in a Latin square scheme with four treatments of two animals, during four periods, eight repetitions of pigs per diet. The dietary treatments were: Control (CON) – diet based on corn and soybean meal; (IN) – 20% Inpasa inclusion; (FS) – 20% FS Essential inclusion; and (GS) – 20% Goldsac inclusion. The rations were supplied according to the metabolic weight (BW 0.60) when weighing the animal at the beginning of each period. The animals were housed in metabolic cages, where they remained for 12 days, five days of adaptation and seven days of collection of fecal and urine samples. Data were subjected to normality tests and analyzed using the generalized linear model (GLM) procedure of the SAS statistical package (SAS Inst., Inc, Cary, NC). The means were compared using the Student Newman-Keuls test, with a value of 0.05 considered significant. The results of the experiment show that there was no difference in dry matter consumption between treatments. The volume of feces produced was influenced ($P < 0.05$) by the diet, where animals fed DDGS IN produced more feces compared to the other treatments. Fecal analyzes indicated that the source of DDGS influenced ($P < 0.0001$) CP, N, EE, MM and P. An effect was also observed on the PDa value ($P < 0.0001$) of the diet, where the use of DDGS FS and GS presented higher values (24.90 vs. 21.77%), respectively. The use of DDGS presented ($P = 0.0125$) the highest CDaMS values, but both were lower than CON. CDPB reduced with the use of DDGS ($P = 0.008$) and was lower in DDGS GS (83.93%). CDaE ($P = 0.0245$) and CME ($P = 0.0467$) were influenced by the diet, where the use of DDGS presented lower values when compared to the corn-based diet ($P = 0.0245$). The diets also influenced the efficiency of P retention ($P = 0.0131$), where diets with DDGS presented higher values compared to the control, and nitrogen absorption ($P = 0.007$), where the diet with DDGS presented lower values compared to the control.

Keywords: Subproduct; castrated male pigs; metabolism; DDGS.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem como principal produto para a produção do etanol a cana-de-açúcar, porém o período de entressafra é comumente um problema devido a estocagem dessa matéria, o que já não é encontrado a partir do milho (MILANEZ *et al.*, 2014). Visando esses problemas, as indústrias brasileiras estão se adaptando a produção do etanol a partir do milho (APROSOJA, 2013), ainda que o Brasil esteja entre um dos maiores produtores mundiais de milho, contando com sua alta disponibilidade no mercado interno.

O etanol produzido a base de milho resulta em coprodutos fluídos (componentes aquosos e óleo) e sólidos (DDGS) correspondendo 30% do grão empregado (SPIEHS *et al.*, 2002). Os coprodutos obtidos são de grande relevância econômica, principalmente na nutrição animal de suínos, aves, bovinos, cães e equinos devido a suas características nutricionais como alto valor de proteína e energia (BRITO, 2008). Como é sabido, as fontes proteicas elevam o custo com a alimentação animal, e por isso estudos vêm sendo feitos como tentativa de novas fontes a baixo custo (AZM, 2022).

A composição nutricional dos DDGS varia de acordo com o grão utilizado para o processamento, além de outras variáveis serem influenciadas, como a técnica de processamento, quantidade do solúvel adicionado, eficiência da fermentação, e principalmente a metodologia utilizada na produção do etanol entre os diferentes produtores e ainda a quantidade de aminoácidos (BUENAVISTA, 2021). Para a utilização de um substituto de qualidade na dieta é necessário obter as características nutricionais, como composição química, digestibilidade dos nutrientes, energia metabolizável e os fatores que podem afetar o desempenho do animal (PACHECO, 2013).

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a utilização de diferentes fontes de grão seco de destilaria com solúveis no metabolismo e digestibilidade de suínos em fase de crescimento através das avaliações de consumo, volume de fezes e urina produzidas, análises fecais e coeficientes de digestibilidades calculados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Comissão de Ética no Uso de Animais

Todos os métodos envolvendo a manipulação de animais foram realizados de acordo com o regulamento aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA - UFMG) sob o nº 254/2021.

2.2 Animais e Procedimento Experimental

O experimento foi conduzido no período de outubro a dezembro de 2021 no laboratório de metabolismo e digestibilidade de suínos do setor de Suinocultura (NEPSUI – Núcleo de Estudos em Produção de Suínos) no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, *campus* Montes Claros. Foram utilizados 8 suínos machos castrados, geneticamente homogêneos de diferentes leitegadas, e de mesma origem genética comercial (TN70 * Talent®), com peso vivo médio inicial de 30 kg (aprox. 75 d de idade). Os animais foram distribuídos em um esquema de quadrado latino com 4 tratamentos x 2 animais x 4 períodos. Os animais foram alojados individualmente em baias de piso ripado (1 m x 1 m durante 05 dias em cada período) e gaiolas metabólicas (12 dias em cada período), ajustadas para o tamanho dos animais, mantidas em ambiente controlado em temperatura média de 26°C. No interior da instalação, foi utilizado um data-logger, à meia altura dos animais, para monitorar as temperaturas e umidades durante o todo período experimental.

Cada suíno foi considerado uma unidade experimental, onde os tratamentos experimentais foram divididos em um tratamento controle (CON) a base de milho e farelo de soja, um tratamento com a inclusão de 20% do DDGS Inpasa (IN), tratamento com 20% de inclusão DDGS FS Essencial (ES) e o tratamento com 20% de inclusão DDGS Goldsac (GS).

Tabela 1- Composição das dietas experimentais

<i>Ingredientes</i>	<i>CON</i>	<i>IN</i>	<i>ES</i>	<i>GS</i>
Milho (7,8%)	63,80	50,90	50,90	50,90
Soja Farelo (46%)	33,18	26,18	26,18	26,18
DDGS INPASA 30%	0,00	20,00	0,00	0,00
DDGS ES 42%	0,00	0,00	20,00	0,00
DDGS GOLDSAC 46%	0,00	0,00	0,00	20,00
Calcário calcítico	0,963	0,963	0,963	0,963
Fosfato bicálcico	0,985	0,985	0,985	0,985
Cloreto de sódio	0,460	0,460	0,460	0,460
L-Lisina HCL	0,180	0,180	0,180	0,180
L-Treonina	0,072	0,072	0,072	0,072
DL-Metionina	0,084	0,084	0,084	0,084
L-Triptofano	0,024	0,024	0,024	0,024
Celite 1%	0,100	0,100	0,100	0,100
Premix Mineral ¹	0,100	0,100	0,100	0,100
Premix Vitaminico ²	0,050	0,050	0,050	0,050
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada				
PB (%)	19,85	22,45	24,11	25,05
FB (%)	3,40	4,17	3,95	3,93
EE (%)	2,92	3,99	4,57	3,73
FDN (%)	10,73	14,98	14,91	18,18
FDA (%)	4,12	5,59	5,15	7,83
EM (kcal/kg)	3,186	3,220	3,300	3,063
EL (kcal/kg)	2,346	2,280	2,324	2,166
Cálcio total (%)	0,750	0,750	0,738	0,800
Fósforo dig. (%)	0,224	0,256	0,257	0,283
SID Lisina (%)	1,060	1,000	1,010	1,140
SID Met. (%)	0,370	0,420	0,450	0,410
SID Met. + Cyst. (%)	0,670	0,740	0,800	0,830

SID Treonina (%)	0,710	0,750	0,790	0,800
SID Triptofano (%)	0,220	0,210	0,210	0,340
SID Valina (%)	0,830	0,910	0,950	0,970
Sódio (%)	0,190	0,208	0,205	0,207

¹ Copper sulphate (Copper 13.00 g/kg), Iron sulphate (Iron 100.00 g/kg), Manganese monoxide (Manganese 50.00 g/kg), Sodium Selenium (Selenium 184.00 mg/kg), Zinc sulphate (Zinc 95.00 g/kg), Calcium Iodine (Iodine 1000 mg/kg). ²Vitamin A (225,00000 UI/kg), Vitamin D3 (380,0000 UI/kg), Vitamin E (200,000 UI/kg), Vitamin K (10,000 mg/kg), Biotin (1,000 mg/kg), Folic acid (9,000 mg/kg), Niacin (120,000 mg/kg), Pantotenic acid (60,000 mg/kg), Vitamin B2 (20,000 mg/kg), Vitamin B1 (8,000 mg/kg), Vitamin B6 (12,000 mg/kg), and Vitamin B12 (100,000 mcg/kg).

A inclusão do ingrediente foi feita através da substituição do milho em 13% e do farelo de soja em 7% pela fonte de DDGS a ser avaliada para manter a mesma relação de inclusão de Milho/Farelo de soja em todas as dietas, de acordo com a metodologia de MATTERSON *et al.* (1965). Este procedimento determina a digestibilidade do ingrediente (nutrientes e energia). Não avalia o nível de inclusão e seus efeitos. Assim conseguimos comparar entre ingredientes suas digestibilidades e metabolização da energia para sabermos qual tem mais EM ou melhor CDPB.

2.3 Ensaio de Metabolizabilidade e Digestibilidade

O ensaio de metabolizabilidade e digestibilidade foi realizado por 4 períodos de coleta e cada tratamento teve 8 repetições, sendo o animal considerado a unidade experimental. Cada período teve uma duração de 17 dias, onde os animais foram submetidos a um período de adaptação as dietas de 10 dias (5 dias em baias individuais e 5 dias na gaiola metabólica) e 7 dias de coleta total de fezes e urina (gaiola metabólica). As coletas de fezes foram realizadas às 8h e às 16h30. Após o término de um período de coleta os animais foram novamente redistribuídos entre os tratamentos, onde o mesmo animal não recebeu a mesma ração do período anterior. No dia de transição entre períodos, os animais receberam 50% da dieta atual e 50% da nova dieta. Após a distribuição os animais receberam a nova ração por 10 dias para adaptação e novamente passaram por 7 dias de coleta. As rações foram fornecidas de acordo com o peso metabólico ($PV^{0,60}$) determinado pela pesagem do animal no dia do início de cada período.

A quantidade de ração foi calculada pela energia de manutenção x peso metabólico ($kg^{0,60}$) x fator de produção ($FP = 3x$ manutenção; Stein *et al.*, 2006) / densidade da dieta:

$$\text{CMD kg/d} = 179 \text{ kcal EL} \times \text{PVkg}^{0,60} \times 3,0 \text{ (FP)} / 2279 \text{ kcal EL/kg}$$

O valor de 179 kcal é a energia de manutenção para suínos em fase crescimento de acordo com Noblet, J. *et al.*, (1999). O valor de 2279 kcal EL/ kg será o valor de energia líquida médio das dietas experimentais.

A dieta experimental basal foi formulada com a utilização do modelo e das recomendações nutricionais segundo o Manual da linhagem Topigs Norsvin (2019) usando a fonte de DDGS de menor valor proteico como a referência mínima. O alimento foi distribuído em duas refeições diárias de mesmo volume, às 8 e 16h, com os animais tendo livre acesso à água. A ração foi fornecida umedecida para facilitar a ingestão e evitar perdas, na proporção de 1: 1. Foi utilizado o método de coleta total de fezes. As fezes totais foram coletadas duas vezes ao dia, acondicionadas em sacos de plástico e conservadas em congelador a -10°C. No final do experimento, as fezes foram homogeneizadas e amostradas (0,5 kg), secadas em estufa de ventilação forçada (60°C por 82 horas) e moídas para análises posteriores. A urina excretada foi drenada para baldes de plástico com 25 mL de HCl 6N. A cada 12 horas, após homogeneização, o volume foi medido e uma amostra de 5% foi retirada e conservada sob refrigeração (4°C).

2.4 Análises Laboratoriais

As dietas experimentais e as excretas foram analisadas quanto a matéria seca (MS) e a Proteína Bruta (PB) segundo a Association of Official Analytical Chemists (1990). A energia bruta (EB) das rações, fezes e urinas foram determinadas em bomba calorimétrica. As análises das amostras das fezes, rações (MS, FDN, FDA, Ca, P, Matéria mineral, Extrato Etéreo, PB e EB) e das urinas (N e EB) foram realizadas no Laboratório CBO (Valinhos, SP). Subamostras das dietas experimentais foram coletadas e enviadas para análise de níveis de micotoxinas (aflotoxina, fumonisina, zearalenona, desoxinivalenol, ocratoxina, T2, ergosterol e nivalenol; Tabela 2) no Laboratório Samitec (Santa Maria, RS).

Foram avaliados o consumo de matéria seca (CMS), coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca (CDaMS), coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta (CDaEB), coeficiente de metabolização da energia (CME), proteína digestível aparente (PDa), Coeficiente de digestibilidade aparente da PB (CDaPB), energias digestíveis (EDa),

metabolizável (EMa) aparentes, balanço de fosforo (P-balance) e o balanço de nitrogênio (N-balance).

Ao final do período de coleta, as amostras de fezes foram descongeladas, pesadas, homogeneizadas e secas em estufa de ventilação forçada à 60°C por 72 horas a fim de promover a pré-secagem para as determinações analíticas de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e energia bruta (EB), de acordo com Silva & Queiróz (2002). O teor de matéria orgânica (MO) foi determinado pela diferença entre o teor de matéria seca e o teor de matéria mineral. As amostras de urina foram descongeladas e homogeneizadas para determinação do nitrogênio total. Os coeficientes de digestibilidade, teores de nutrientes digestíveis, valores de energia digestível e metabolizável foram determinados por equações de acordo com Sakomura & Rostagno (2007).

2.5 Análises estatísticas

Os dados foram analisados estatisticamente usando um procedimento Proc GLM do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). O animal foi considerado a unidade experimental. Os 04 tratamentos foram comparados usando uma ANOVA com a fonte de cereal, o animal, e o período como efeitos principais. As médias foram então comparadas pelo teste de Student Newman-keuls e um valor alfa de 0,05 foi considerado para determinar o nível de significância entre medias.

3. RESULTADOS

As temperaturas e a umidade relativas médias, mínimas e máximas medidas durante o período experimental foram de $24,2 \pm 1,96$ e $28,1 \pm 1,15$ °C e 77 ± 6 e 85 ± 2 %, respectivamente. Os dados de 3 animais foram excluídos das análises no período 01 de coletas: 01 animal do T1, T2 e T3 por terem apresentado um consumo voluntario baixo (<50% do oferecido).

3.1 Análises Laboratoriais

Os resultados das análises proximais, HPLC e NIRS das dietas experimentais e fontes de farelo de soja bem como dos valores de micotoxinas estão apresentados (tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2 - Análise da composição proximal das dietas experimentais

MATÉRIA NATURAL				
	CON	IN	ES	GS
PB%	24,32	26,11	28,91	28,72
EE%	3,65	4,79	6,04	4,41
FDA %	4,16	8,00	9,57	10,68
FDN%	7,49	13,10	11,07	16,03
EB cal/g	4468	4696	4696	4660
MM%	5,21	5,76	4,90	5,33
Ca%	0,68	0,71	0,69	0,71
P%	0,62	0,74	0,62	0,67

Proteína bruta (PB); extrato etéreo (EE); fibra em detergente ácido (FDA); fibra em detergente neutro (FDN); energia bruta (EB); matéria mineral (MM); cálcio (Ca); fósforo (P). CON (controle sem DDGS); IN (DDGS INPASA); ES (DDGS FS Essential); GS (DDGS Goldsac).

Tabela 3 - Análise da composição das dietas experimentais

MATÉRIA ORIGINAL				
	CON	IN	ES	GS
MS%	88,76	88,75	89,23	89,87
PB%	21,59	23,17	25,80	25,81
EE%	3,24	4,25	5,39	8,54
FDA %	3,69	7,10	8,54	9,88
FDN%	6,65	11,63	9,88	14,41
EB cal/g	3966	4116	4191	4188
MM%	4,62	5,11	4,37	4,79
Ca%	0,60	0,63	0,62	0,64
P%	0,55	0,66	0,55	0,60

Matéria seca (MS); proteína bruta (PB); extrato etéreo (EE); fibra em detergente ácido (FDA); fibra em detergente neutro (FDN); energia bruta (EB); matéria mineral (MM); cálcio (Ca); fósforo (P). CON (controle sem DDGS); IN (DDGS INPASA); ES (DDGS FS Essential); GS (DDGS Goldsac).

Tabela 4 - Composição das matérias-primas

Parâmetros	Milho	F. Soja	Goldsac	INPASA	ES
Matéria Seca	86,85	88,76	93,41	88,1	91,4
Proteína Bruta	7,67	43,64	40,6	30,01	40,69
Cinzas	1,15	4	1,95	5,76	2,9
Óleo	3,46	4,75	7,72	7,63	11,61

Fibra Bruta	2,16	6,03	8,21	7,77	6,59
Fósforo Total	0,27	0,56	0,5	0,87	0,58
Lisina	0,23	0,44	0,44	0,29	0,48
Metionina	0,08	0,33	0,32	0,56	0,37
Cistina	0,25	2,83	0,97	0,92	1,12
Treonina	0,16	0,64	0,95	0,6	0,91
Triptofano	0,17	0,65	0,62	0,55	0,63
Valina	0,30	1,87	1,57	1,19	1,64
Isoleucina	0,07	0,68	0,35	0,22	0,33
Leucina	0,38	2,34	2,16	1,5	2,08
Fenilalanina	0,29	2,26	1,65	1,15	1,57
Histidina	0,97	3,64	5,21	3,35	5,15
Arginina	0,39	2,31	2,28	1,41	2,18
Digestibilidade Lisina	0,23	1,16	0,99	0,73	0,99
Digestibilidade Metionina	0,37	3,04	1,43	1,09	1,61
Digestibilidade Cistina	76,80	90	58,2	58,2	58,2
Digestibilidade Treonina	84,7	86	76,4	76,4	76,4
Digestibilidade Triptofano	83,6	91	59,4	59,4	59,4
Digestibilidade Valina	76,4	86	61,6	61,6	61,6
Digestibilidade Isoleucina	77,5	89	73,4	73,4	73,4
Digestibilidade Leucina	82,8	88	66,3	66,3	66,3
Digestibilidade Fenilalanina	82,2	90	72,2	72,2	72,2
Digestibilidade Histidina	86,9	89	78,2	78,2	78,2
Digestibilidade Arginina	84,1	90	79	79	79
Lisina Digestível	83,3	91	58,7	58,7	58,7
Metionina Digestível	86,7	94	75,8	75,8	75,8
Cistina Digestível	0,19	2,55	0,57	0,53	0,65
Treonina Digestível	0,14	0,55	0,73	0,46	0,69
Triptofano Digestível	0,14	0,59	0,37	0,33	0,38
Valina Digestível	0,23	1,61	0,96	0,73	1,01
Isoleucina Digestível	0,05	0,61	0,25	0,16	0,24
Leucina Digestível	0,32	2,06	1,44	0,99	1,38
Fenilalanina Digestível	0,24	2,04	1,19	0,83	1,14
Histidina Digestível	0,85	3,24	4,07	2,62	4,03
Arginina Digestível	0,33	2,08	1,8	1,11	1,73

Milho; Farelo de soja; DDSG Goldsac; DDGS Inpasa; DDGS FS Essencial (ES). Análise NIRS.

Tabela 5 - Análises de micotoxinas presentes nas amostras

ID amostra	AFLATOXINA				AFLA TOTAL (ppb)	FUMONISINA		FUMO TOTAL (ppb)	ZEA (ppb)	DON (ppb)	OTA (ppb)	ERG (ppb)	NIV (ppb)	T-2 (ppb)
	B1	B2	G1	G2		B1	B2							
CON A1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	881,2	287,4	1168,6	<LQ	<LQ	<LQ	453,45	<LQ	<LQ
IN A1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	888,5	233,6	1122,1	<LQ	<LQ	<LQ	1869,68	<LQ	<LQ
ES A1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	1049,1	312,3	1361,4	<LQ	<LQ	<LQ	1910,43	<LQ	<LQ
GS A1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	672,1	236,3	908,4	<LQ	<LQ	<LQ	7352,47	<LQ	<LQ
CON A2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	384,4	134,6	519,0	<LQ	<LQ	<LQ	373,44	<LQ	<LQ
IN A2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	734,7	232,5	967,2	<LQ	<LQ	<LQ	2314,13	<LQ	<LQ
ES A2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	1421,5	602,7	2024,2	<LQ	<LQ	<LQ	2071,94	<LQ	<LQ
GS A2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	576,1	229,2	805,3	<LQ	<LQ	<LQ	7395,51	<LQ	<LQ

Dieta controle (Con); DDSG Goldsac (GS); DDGS Inpasa (IN); DDGS FS Essencial (ES). Amostra 1 (A1) e Amostra 2 (A2);

Tabela 6 - Resultados dos aminoácidos via HPLC

ID	Ac. Asp.	Ac. Glu.	Serina	Glicina	Histidina	Arginina	Treonina	Alanina	Prolina	Tirosina	Valina	Metionina	Cistina	Isoleucina	Leucina	Fenilalanina	Lisina	Total AA
D - CON	2,01	3,79	0,99	0,79	0,56	1,27	0,81	1,05	1,24	0,70	0,96	0,37	0,25	0,84	1,89	1,00	1,17	19,65
D- IN	2,02	4,08	1,04	0,89	0,72	1,34	0,92	1,26	1,57	0,80	1,11	0,40	0,28	0,93	2,21	1,10	1,22	21,84
D-ES	2,31	4,74	1,24	0,96	0,73	1,45	1,01	1,51	1,85	0,96	1,24	0,50	0,37	1,06	2,66	1,26	1,28	25,10
D-GS	2,27	4,57	1,27	0,95	0,69	1,37	1,04	1,48	1,72	0,79	1,18	0,49	0,34	0,98	2,62	1,23	1,32	24,29
IN	1,99	4,73	1,29	1,18	1,01	1,37	1,16	1,97	2,58	1,07	1,46	0,44	0,45	1,07	3,36	1,30	1,07	53,93
GS	3,17	7,58	2,18	1,51	1,14	1,71	1,72	3,13	3,63	1,81	2,25	0,89	0,65	1,78	5,62	2,19	1,43	83,34
FS	2,97	7,75	2,16	1,64	1,42	1,93	1,69	3,19	3,89	1,96	2,26	0,98	0,77	1,70	5,77	2,21	1,49	86,07

Dieta controle (D - Con); Dieta com Inpasa (D-IN); Dieta com FS Essential (D-ES); Dieta com Goldsac (D-GS); DDSG Goldsac (GS); DDGS Inpasa (IN); DDGS FS Essential (ES).

3.2 Metabolismo e digestibilidade

O ConsMN tendeu a ser influenciado pelos tratamentos (P=0.086) onde a inclusão de DDGS ES apresentou o maior consumo. O ConsMS não foi influenciado pelos tratamentos. O volume de fezes produzidos foram influenciados (P=0,0097) pela dieta, onde os animais recebendo DDGS IN produziram mais fezes em comparação com os demais tratamentos (7988 vs. 6520 g).

Tabela 7- Consumo e produção de fezes e urina dos animais

Variável	Tratamentos ¹					P-valor ²		
	CON	IN	ES	GS	CV	Tratamento	Repetição	Período
	ConsMN, g	18633	18602	18940	17277	6,79	0,086	<,0001
ConsMS, g	16539	16509	16901	15528	6,76	0,153	<,0001	<,0001
VFezesMN, g	6233b	8398a	7349b	6872b	14,39	0,009	0,0005	0,006
VUrina, l	70,61	87,75	79,36	73,03	30,39	0,556	0,640	0,012

Consumo de matéria natural e seca (CMN e CMS), volume de fezes produzidos na matéria natural (VFezesMN), volume de urina produzidos (VUrina).

As análises proximais das fezes indicaram que a fonte de DDGS influenciaram (P<0.0001) a PB, N, EE, MM e P.

Tabela 8 - Resultados das análises das fezes

Variável	Tratamentos ¹					P-valor ²		
	CON	IN	ES	GS	CV	Tratamento	Repetição	Período
	MS, %	33,76	33,57	34,14	33,70	3,05	0,740	0,0121
PB, %	23,12c	24,11c	28,27b	33,53a	5,90	<,0001	0,0002	0,001
N, %	3,75c	3,85c	4,52b	5,36a	5,93	<,0001	0,0002	0,001
EE, %	15,19b	13,18c	17,32a	13,67c	10,57	0,0006	0,0032	0,0443
FDA, %	11,53	11,94	10,51	11,82	13,73	0,371	0,0281	0,0091
FDN, %	27,44b	32,87a	25,63bc	23,07c	12,48	0,0001	0,0002	0,286
EB, cal/g	4343b	4396b	4635a	4634a	3,34	0,0031	0,161	0,0013
MM, %	18,51a	14,15b	13,83b	13,93b	9,74	<,0001	0,0242	0,0012
Ca, %	2,59	2,12	2,24	2,24	25,24	0,5811	0,711	0,161
P, %	2,79a	2,19b	1,95b	2,01b	10,47	<,0001	0,0156	0,0312

CON (controle sem DDGS); IN (DDGS INPASA); ES (DDGS ES Essencial); GS (DDGS Goldsac). ²Valores inferiores a 0.05 considerados significativos e valores entre 0.10 e 0.05 tendencia para análises considerando os efeitos de tratamento (dieta a base de milho ou dieta com fonte de DDGS).

Não houve efeito dos tratamentos ($P=0,544$) para EDa. Também não houve efeito ($P=0,169$) para EMa. Já para o valor de PDa, houve efeito ($P<,0001$) da dieta, onde o uso do DDGS ES e GS apresentaram valores mais altos (24,90 vs. 21,77 %, respectivamente DDGS ES e GS e DDGS IN/ Milho). O uso de DDGS GS e ES apresentou (86,42%; $P=0,0125$) os maiores valores de CDaMS entre as três fontes de DDGS, mas todos inferiores ao CON (88,22% vs. 85,81%, respectivamente para CON e DDGS).

O CDPB reduziu com o uso do DDGS (87,55 vs. 84,01%, respectivamente para CON e DDGS; $P=0,008$) e foi menor no DDGS GS (83,93%). O CDaE foi influenciado pela dieta. As dietas a base de DDGS apresentaram menores valores quando comparados com a dieta a base de milho (88,33 vs. 84,73%, respectivamente para CON e DDGS; $P=0,0245$). Já para a fonte de DDGS, o ES e GS apresentaram os maiores valores de CDaE (85,11%). Da mesma forma, os valores de CME seguiram os mesmos padrões, valores mais altos ($P=0,0467$) para dieta a base de milho (85,89 vs. 83,04%, respectivamente para milho e DDGS) e com aumento de valores para as fontes de DDGS ES e GS (83,31%). As dietas também influenciaram a eficiência de retenção de P, onde a dieta com DDGS GS apresentou os valores mais elevados (55,40 vs. 53,11 vs. 50,53 vs. 42,01%, respectivamente para GS, ES, IN e CON; $P=0,0131$). A eficiência de absorção de Nitrogênio também foi influenciada ($P=0,007$) pelos tratamentos, onde a dieta com DDGS GS (82,37%) apresentou o valor mais baixo, seguido IN (84,55%), ES (85,34%) e depois CON (87,55%).

Tabela 9 - Coeficientes de digestibilidade e metabolizabilidade

Variável	Tratamentos ¹					P-valor ²		
	CON	IN	ES	GS	CV	Tratamento	Repetição	Período
	EDa, cal/g	3906	3894	4002	3961			
EMa, cal/g	3837	3826	3923	3871	2,23	0,169	0,2143	0,0006
PDa*, %	21,45b	22,09b	25,00a	24,80a	2,02	<,0001	0,0512	0,0031
CDaMS, %	88,22a	84,60b	86,49ab	86,35ab	1,99	0,0125	0,0471	0,0032
CDPB, %	87,55a	84,55bc	85,34ab	82,37c	2,51	0,0082	0,1109	0,0006
CDaE, %	88,33a	83,98b	85,23b	85,00b	1,72	0,0245	0,0432	0,0005
CME, %	85,89a	82,52b	83,54b	83,07b	1,91	0,0467	0,235	<,0001
P retido, %	42,01b	50,53a	53,11a	55,40a	15,23	0,0131	0,539	0,0783
N retido, %	47,09	44,63	42,40	40,41	18,72	0,458	0,632	0,0071
N absorvido, %	87,55a	84,55bc	85,34ab	82,37c	2,51	0,007	0,1106	0,0006
N Abs/Ret, %	53,56	52,70	49,84	49,39	19,50	0,834	0,852	0,0215

¹Energia digestível aparente (EDa), Energia metabolizável aparente (EMa), Proteína digestível aparente (PDa), Coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDaMS), Coeficiente de digestibilidade da energia bruta (CDaE), Coeficiente digestibilidade proteína bruta (CDPB), Coeficiente metabolizabilidade da energia (CME), Coeficiente de retenção de fósforo (P retido), Coeficiente de retenção e absorção de N (N absorvido e N retido) e Coeficiente de absorvido/ retido (N Abs/ret). *PDa é calculada em função do nível de proteína bruta analisado da ração multiplicado pelo coeficiente de digestibilidade da MS.

4. DISCUSSÃO

Existe uma grande variedade de alimentos alternativos disponíveis que necessitam de avaliação para serem utilizados nas dietas animais (ROHLOFF, 2015). É necessário determinar a qualidade e o valor nutritivo destes alimentos, e assim verificar se são capazes de substituírem, adequadamente e economicamente, os alimentos convencionais nas dietas dos animais (SCAPINELLO et al., 1996). O conteúdo de alguns nutrientes no DDGS difere não apenas entre plantas de produção, mas também entre anos, composição original do grão, eficiência da fermentação do amido durante a produção de etanol, escala de fermentação, diferentes quantidades de solúveis adicionados e outros procedimentos como a secagem (LEWANDROWSKI et al., 2019).

Devido algumas limitações da utilização desse ingrediente, tem-se estabelecido um limite de inclusão na alimentação animal em que não afeta o desempenho animal, mas também a excreção de poluentes ambientais. O volume de fezes produzidos pelos animais no presente estudo teve efeito significativo entre as dietas oferecidas, e está bem esclarecido na literatura

que a quantidade de fibra presente na dieta fornecida aos animais pode influenciar de forma negativa a energia e utilização dos nutrientes e isso resulta no aumento da produção de fezes em suínos (URRIOLA *et al.*, 2010).

A presença de micotoxinas nesse subproduto é comprovada, e de acordo com as orientações da Food and Drug Administration (FDA, 2019) os níveis em subprodutos do milho para a alimentação de suínos são de concentração máxima 5 mg/kg para DON, e 20 mg/kg de FUM, e concentrações seguras de aflatoxinas totais e ZEA (< 1mg/kg) são utilizadas para avaliar o risco dos efeitos negativos de desempenho ao fornecer dietas contaminadas. Ainda assim, como mostrou Yang *et al.* (2020), baixas concentrações de micotoxinas, com níveis recomendados, reduzem o consumo de ração e ganho de peso de suínos em fase de crescimento e engorda.

Mesmo quando os teores de proteína são elevados, o DDGS possui problemas com os teores de lisina, metionina e triptofano, que são encontrados em baixas quantidades, o que muitas vezes fazem com que esses aminoácidos necessitem ser adicionados, em suas formas industriais nas dietas dos animais, visando melhorar seu desempenho (ROHLOFF, 2015).

A redução na digestibilidade da energia bruta, como observado no presente estudo, quando o DDGS foi incluído na dieta pode ser associado ao aumento da concentração de fibra (GUTIERREZ *et al.*, 2013), indicando uma má utilização da fibra pelos animais em crescimento, concordando com nossos resultados. Como é sabido, a fibra insolúvel influencia a taxa de passagem intestinal, ocasionando uma redução no tempo de digestão dos ingredientes, e assim diminui a digestibilidade da maioria dos componentes da dieta, concordando com os achados por Acosta & Stein & Patience, (2020).

O NRC (2012) separa entre níveis elevados (> 10% de óleo), médio (6-9% de óleo) e baixo (<4% de óleo) no DDGS. No presente estudo, os ingredientes avaliados são classificados em médio (Inpasa e Goldsac) e alto (ES) quanto ao teor de óleo. O valor energético dos ingredientes que compõe as dietas dos animais está inteiramente ligado à sua composição química e avaliando o extrato etéreo das rações utilizadas no estudo teve efeito significativo entre as fontes de DDGS e do grupo controle sendo assim demonstrado a diferença energética entre as fontes. De acordo com Torres *et al.*, (2014), a composição das fezes, em grande maioria, se encontra os nutrientes com menores taxas de digestibilidade apresentando em maior concentração.

Para a substituição de qualquer um desses ingredientes base, sem prejuízos na produtividade e lucratividade, é necessário o conhecimento dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes, pela necessidade de se otimizar o uso de matérias-primas de alto custo e, ainda, pelo fato de possibilitar a substituição do milho e do farelo de soja por ingredientes alternativos (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2007). Como observado, os coeficientes de digestibilidade das dietas foram afetados negativamente com a inclusão do DDGS, assim, achados desse estudo está de acordo com o estudo de Jarret *et al.*, (2011), onde relataram que a inclusão do mesmo subproduto diminuiu significativamente a digestibilidade dos nutrientes.

Existe diferença nas composições fibrosas dos alimentos, como, a fibra do farelo de soja tem uma proporção mais solúvel, enquanto a proporção da fibra do milho é insolúvel que são mais resistentes a fermentação no intestino e devido a isso o aumento da concentração da fibra em DDGS de milho diminui a digestibilidade total do trato nas dietas com o ingrediente testado (URRIOLA & STEIN., 2010). Ainda, diminui o tempo de trânsito no intestino, diminuindo a digestibilidade de energia e proteína nos suínos. A menor digestibilidade da proteína bruta pode estar associada à maior perda de nitrogênio nas fezes dos suínos quando alimentados com DDGS (REDDY *et al.*, 2020).

Reddy *et al.*, (2017) afirmaram que o fósforo disponível presente no DDGS é maior do que os encontrados nos cereais dos quais derivam o DDGS, pois devido ao processo fermentativo na produção do etanol se utilizam a fitase. Essa afirmação está em concordância com nossos achados, podendo ser a justificativa para o aumento na disponibilidade do fósforo. Além de uma melhor digestibilidade e o melhor aproveitamento do animal, é também indicativo de redução da poluição ambiental, pois o P não digerido é excretado nas fezes e pode impactar negativamente no meio ambiente.

O aumento do N na excreção das fezes quando animais são alimentados com DDGS ES e Goldsac está diretamente relacionado ao aumento da proteína bruta presente na dieta (WIDYARATNE & ZIJLSTRA; 2007). Outra explicação dada por Jarret (2011) é que a excreção de N poderia ser devido a uma maior atividade bacteriana e possivelmente uma maior excreção bacteriana nas fezes.

Segundo Schone *et al.* (2017), o emprego do DDGS na alimentação de não ruminantes é uma prática recente, uma vez que o alto conteúdo fibroso limitou sua utilização. Alguns estudos têm sido desenvolvidos visando determinar níveis e alternativas de inclusão do DDGS na alimentação de frangos de corte, sendo esse alimento reconhecidamente uma fonte de

energia, proteína, vitaminas e minerais (WANG et al., 2008), sendo a maior dúvida quanto a variação do conteúdo dos aminoácidos (SILVA et al., 2015). Para novos desenvolvimentos sustentável na produção de suínos, é necessário alternativas alimentares e tecnologias no processo de fabricação das rações. Como mostrado no presente estudo, os grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) são subprodutos da indústria do etanol que possui nutrientes adequados para inclusão na dieta dos suínos, porém com algumas limitações.

5. CONCLUSÃO

Dentre as fontes de DDGS avaliadas no presente estudo, podemos concluir que o DDGS ES apresentou melhores resultados de digestibilidade quando comparados as fontes Goldsac e Inpasa. Sendo assim, de acordo com os resultados apresentados podemos inferir que o DDGS ES tem potencial para ser substituto, pois os seus coeficientes de digestibilidade foram semelhantes a dieta controle de milho e farelo de soja.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, Jesus A.; STEIN, Hans H.; PATIENCE, John F. Impact of increasing the levels of insoluble fiber and on the method of diet formulation measures of energy and nutrient digestibility in growing pigs. **Journal of animal science**, v. 98, n. 6, p. skaa130, 2020.
- BAREA, Roberto et al. Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 88, n. 6, p. 2062-2072, 2010.
- CORDEIRO, Deibity Alves. Inclusão de complexo enzimático em dietas formuladas com grãos secos por destilação com solúveis (DDGS) na alimentação de frangos de corte. 2018.
- DA SILVA, Juliana Regina; NETTO, Diego Peres; SCUSSEL, Vildes Maria. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança—uma revisão. **Pubvet**, v. 10, p. 190-270, 2015.
- GUTIERREZ, N. A.; KERR, B. J.; PATIENCE, J. F. Effect of insoluble-low fermentable fiber from corn-ethanol distillation origin on energy, fiber, and amino acid digestibility, hindgut degradability of fiber, and growth performance of pigs. **Journal of animal science**, v. 91, n. 11, p. 5314-5325, 2013.
- JARRET, Guillaume et al. Impact of pig diets with different fibre contents on the composition of excreta and their gaseous emissions and anaerobic digestion. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 160, p. 51-58, 2012.
- JARRET, Guillaume; MARTINEZ, José; DOURMAD, J.-Y. Effect of biofuel co-products in pig diets on the excretory patterns of N and C and on the subsequent ammonia and methane emissions from pig effluent. **Animal**, v. 5, n. 4, p. 622-631, 2011.
- MATTERSON, L.D., POTTER, L.M., STUTUZ, N.W., SINGSEN, J.P. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. *Res. Reports, Univ. Conn.*, v. 7, p.3-11, 1965.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. Nutrient Requirements of Swine: Eleventh, Revised. **Washington DC: The National Academies Press**, v. 10, p. 13298, 2012.
- NOBLET, Jean et al. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 5, p. 1208-1216, 1999.
- REDDY, AV Siva et al. Effect of Inclusion of Rice DDGS on the Nutrient Digestibility, Energy and Mineral Balance in Crossbred Pigs. 2020.

STEIN, Hans H. et al. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. **Journal of animal science**, v. 84, n. 4, p. 853-860, 2006.

STUANI, Jessika Lucia. Valor nutricional de grãos secos destilados com solúveis de milho e de sorgo em dietas para suínos contendo xilanase. 2018.

TORRES-PITARCH, A. et al. The inclusion of rapeseed meal in fattening pig diets, as a partial replacer of soybean meal, alters nutrient digestion, faecal composition and biochemical methane potential from faeces. **Animal Feed Science and Technology**, v. 198, p. 215-223, 2014.

URRIOLA, P. E.; STEIN, H. H. Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. **Journal of animal science**, v. 88, n. 4, p. 1454-1462, 2010.

WERLE, Caroline Hoscheid et al. Utilização de grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) de milho na alimentação de vacas em lactação. 2017.

WIDYARATNE, G. P.; ZIJLSTRA, R. T. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. **Canadian journal of animal science**, v. 87, n. 1, p. 103-114, 2007.

YANG, Zhaohui et al. Effects of feeding high-protein corn distillers dried grains and a mycotoxin mitigation additive on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality of growing–finishing pigs. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 2, p. 666-681, 2020.

Zhang, Y. and Caupert, J., 2012. Survey of mycotoxins in US distiller's dried grains with solubles from 2009 to 2011. **Journal of agricultural and food chemistry**, 60(2), pp.539-543.