

Grãos secos de destilaria com solúveis na alimentação de tilápias

Distillery dry grains with solubles in tilapia feed

Granos secos de destilería con solubles em alimento para tilápia

Recebido: 23/08/2022 | Revisado: 04/09/2022 | Aceito: 07/09/2022 | Publicado: 16/09/2022

Alene Santos Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2197>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: alenesantos47@gmail.com

Adriano Carvalho Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1279-9756>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: adriano.costa@ifgoiano.edu.br

Igor Eli da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8897-152X>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: igorelizoo@gmail.com

Isabel Rodrigues de Rezende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8555-0567>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: isabel.r.rezende@gmail.com

Nathan Ferreira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5355-1998>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: nathan_zootec2017@outlook.com

Rafaella Machado dos Santos de Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7618-522X>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: rafaellamedeiros1@live.com

Marília Parreira Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3229-2226>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: mariliapfernandes@hotmail.com

Lessandro do Carmo Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4597-6034>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: lessandrobio@gmail.com

Hemílio Borges de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9276-3184>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: hemilliorborso@hotmail.com

Liege Dauny Horn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3813-5109>
Instituto Federal Goiano, Brasil
E-mail: liegedouny@gmail.com

Resumo

A produção de tilápias encontra-se dentre as atividades da piscicultura que mais crescem mundialmente. A alimentação encontra-se entre os principais fatores que impactam no custo de produção representando cerca de 70 a 80% em sistemas de criação intensivos, sendo a proteína o nutriente mais caro da dieta. Com isso, a aplicação de fontes alternativas que diminuam os custos de produção de ração torna-se relevantes para a cadeia produtiva de peixes. Os grãos secos de destilaria com solúveis, com sigla em inglês DDGS (Dried Distillers Grains With Solubles), são coprodutos obtidos pelo processo fermentativo do etanol e podem ser empregados em dietas de animais. Seu uso na alimentação de tilápias começou a ser explorado como uma fonte alternativa para substituição do farelo de soja ou farinha de peixe na ração, baseado nisso objetivou-se com essa revisão de literatura fazer uma abordagem do uso do DDGS em dietas para tilápias sob o ponto de vista do desempenho produtivo, respostas imunológicas e morfologia intestinal.

Palavras-chave: Aquicultura; Etanol de grãos; Desempenho zootécnico; Nutrição.

Abstract

Tilapia production is among the fastest-growing fish farming activities worldwide. Feeding is among the main factors that impact the cost of production, representing about 70 to 80% in intensive rearing systems, with protein being the most expensive nutrient in the diet. Thus, the application of alternative sources that reduce feed production costs becomes relevant for the fish production chain. Dried Distillers Grains With Solubles (DDGS) are by-products obtained by the fermentation process of ethanol and can be used in animal diets. Its use in tilapia feeding began to be explored as an alternative source to replace soybean meal or fish meal in the ration, based on that, the objective of this literature review was to approach the use of DDGS in tilapia diets under the point of view of productive performance, immune responses and intestinal morphology.

Keywords: Aquaculture; Grain ethanol; Zootechnical performance; Nutrition.

Resumen

La producción de tilapia se encuentra entre las actividades piscícolas de más rápido crecimiento en todo el mundo. La alimentación es uno de los principales factores que impactan en el costo de producción, representando alrededor del 70 al 80% en los sistemas de crianza intensiva, siendo la proteína el nutriente más costoso en la dieta. Así, la aplicación de fuentes alternativas que reduzcan los costos de producción de alimentos se vuelve relevante para la cadena productiva del pescado. Los Granos De Destilería Secos Con Solubles (DDGS) son subproductos obtenidos por el proceso de fermentación del etanol y pueden ser utilizados en dietas animales. Se comenzó a explorar su uso en la alimentación de tilapia como una fuente alternativa para reemplazar la harina de soya o la harina de pescado en la ración, en base a ello, el objetivo de esta revisión bibliográfica fue realizar una aproximación al uso de los DDGS en dietas de tilapia bajo el punto de vista del comportamiento productivo, respuestas inmunes y morfología intestinal.

Palabras clave: Acuicultura; Etanol de grano; Desempeño zootécnico; Nutrición.

1. Introdução

A tilapicultura e toda sua cadeia produtiva estão dentre as atividades da piscicultura que mais crescem no mundo. A produção pesqueira mundial, em 2018 foi de 179 milhões de toneladas, com um valor comercial de US\$ 401 bilhões de dólares. Os peixes de água doce e salgada contribuíram com 54.1 % milhões de toneladas. A tilápia participou com 4.5 milhões de toneladas, ou seja, 8.8 % da produção mundial (Fao, 2020). Em 2021 a produtividade de tilápias teve um ligeiro crescimento de 2%, com 6,25 milhões de toneladas produzidas, sendo a China a líder global. Desde modo, a aqualtura deve representar importante crescimento nos próximos anos, tendo em vista os benefícios do pescado, qualidades nutricionais, saúde e segurança alimentar (Fao, 2020; Peixe BR, 2022).

A alimentação encontra-se entre os principais fatores que impactam nos gastos de produção da tilápia representando cerca de 70 a 80% em sistemas de criação intensivos, sendo a proteína o nutriente mais nobre e caro da dieta. Com isso a fração proteica, dentre os demais nutrientes, é o que mais impacta economicamente a produção de ração animal (Almeida et al., 2019; Luiz Júnior et al., 2018). A aplicação de fontes alternativas, que auxiliam de forma estratégica os custos de produção de ração, torna-se importante para a cadeia produtiva de peixes.

Com objetivo de diminuir a dependência do petróleo, a busca de fontes renováveis de energia vem impulsionando a produção de biocombustível no mundo, principalmente o etanol (Buenavista et al., 2021). Algumas indústrias produtoras de etanol utilizam cereais como milho, trigo e cevada gerando um coproduto resultante do processo fermentativo que são os grãos secos de destilaria com solúveis, com sigla em inglês DDGS (Dried Distillers Grains With Solubles). O DDGS do milho disposto em forma farelada tem sido utilizado em formulações de rações para animais de produção (Schone et al., 2017).

Na forma farelada o DDGS possuem alta concentração de proteína sendo utilizados como substitutos de outras fontes proteicas na ração, sendo livres de fatores antinutricionais, além de ser viável economicamente (Medeiros et al., 2015). Estudos tem comprovado sua aplicação em várias espécies de animais, com resultados positivos de desempenho produtivo e viabilidade econômica, além de proporcionar melhora no sistema imunológico (Sperotto et al., 2018).

Em dietas de tilápias o uso de DDGS começou a ser explorado como uma fonte alternativa para substituir o farelo de soja ou farinha de peixe na ração, dessa forma, objetivou-se com essa revisão de literatura fazer uma abordagem sobre

utilização do DDGS na alimentação para tilápias e seus efeitos no desempenho produtivo, morformetria intestinal e respostas imunológicas.

2. Metodologia

O presente estudo descritivo baseou-se na revisão de literatura de caráter narrativo seguindo as normas metodológicas elaboradas por Pereira et al. (2018). As buscas pelos artigos foram feitas nas plataformas do Google Acadêmico, a base da Science direct e Scielo, utilizando as seguintes palavras chaves: nutrição de tilápias, alimentos alternativos, DDGS e desempenho e produção de tilápias. Foram selecionados cerca de 40 artigos publicados entre os anos 2000 a 2021, escritos em língua portuguesa e inglesa. A seleção dos artigos seguiu-se os critérios de relevância de acordo com a delimitação dos objetivos do estudo. A coleta dos artigos foi realizada entre o período de 08 de maio de 2022 a 25 de maio de 2022.

3. Produção de Tilápias

A aquicultura compreende as atividades de produção, com viés lucrativo, de organismos predominantemente aquáticos como peixes, moluscos, crustáceos, plantas aquáticas, répteis e anfíbios. A aquicultura é uma das atividades econômicas do agronegócio que mais cresce nos últimos anos, com média de crescimento mundial de 5,3% ao ano no período de 2001 a 2018 (Fao, 2020). Dentro da aquicultura, a principal atividade é a piscicultura, que compreende uma cadeia produtiva composta por conjunto de atividades relacionadas à criação de peixes em cativeiro (Faria et al., 2013).

Em 2018, foram produzidas 179 milhões de toneladas de pescado no mundo, com valor estimado em US\$ 401 bilhões de dólares. Dentre os produtores de pescado, o continente asiático, ganha destaque e lidera o ranking, sendo responsável por 42% da produção total. Esse montante supera a produção da África (17,9%), Europa (17,7%), Américas (15,7%) e Oceania (12,7%), sendo os principais países produtores China, Bangladesh, Chile, Egito, Índia, Indonésia, Noruega e Vietnã (Fao, 2020).

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é considerada uma das espécies de peixes mais importantes na aquicultura comercial, pois nas últimas décadas houve aumento expressivo na produção global (Prabu et al., 2019). A espécie é nativa da África e Oriente médio, introduzida nos anos 90 em diversos países fora de seu continente de origem, fato este ocasionado por apresentar resistência e boas características de adaptação a sistemas de criação (Filho & Schulter, 2017).

Entre as características que levaram a tilápia a ser uma espécie de relevância comercial, destaca-se, a facilidade de reprodução e obtenção dos alevinos, reversão sexual, aceitação dos diversos tipos de alimentação principalmente das dietas formuladas, grande habilidade de aproveitar alimentos naturais em viveiros, excelente conversão alimentar, bom crescimento em sistema intensivo e rápido desempenho produtivo (Alam et al., 2012). Com relação aos fatores sensoriais de sua carne que levam a boa aceitação pelo mercado consumidor, estão o sabor e odor suave, textura firme e coloração branca, além da ausência de espinhos em “Y” facilitando a filetagem (Santos et al., 2014; Moreti & Júnior, 2020).

O cultivo da tilápia é feito de diferentes formas de sistemas de criação entre eles estão os extensivos, semi-intensivos e intensivos, sendo o mais comumente utilizado o sistema semi-intensivo representado pelo cultivo em viveiros escavados. Outro modelo é sistema de tanques-rede (gaiolas) que tem sido bastante utilizado para a produção de tilápia, no qual consiste na utilização de corpos d’água para instalação dos tanques feitos de estrutura de tela onde os peixes ficam confinados e são alimentados com dieta controlada (Filho & Schulter, 2017).

A produção global de tilápia em 2021 teve um leve crescimento de 2%, sendo produzido 6,25 milhões de toneladas. A China mantém-se com larga margem na liderança global. O país tem expectativa em 2022 de atingir 2 milhões de toneladas, equivalente a 31,7% da produção total da espécie. A Indonésia vem em segundo lugar, com 1,4 milhão de toneladas, seguida pelo Egito, que pela primeira vez ultrapassou a barreira de 1 milhão de toneladas, distanciando-se um pouco do Brasil (4°

colocado), que produziu 534 mil toneladas. As informações dos principais países produtores consolidam a tilápia como o peixe de cultivo mais produzido no mundo, seguido por pangásio e salmão (Peixe BR, 2022; Fao, 2020).

O peso de abate para a comercialização da carne da tilápia varia entre 600g a 1 kg, com ciclos de produção de 210 a 270 dias. (Filho & Schuler, 2017). Essa espécie é vendida em diferentes formas, viva ou abatida *in natura*, inteira, eviscerada, resfriada, filetada e congelada. Sendo os principais produtos exportados, os peixes inteiros congelados e filés frescos e resfriados (Peixe BR, 2022).

4. Alimentação na Produção de Peixes

A ração representa em torno de 50 a 80% do custo total efetivo na produção de tilápias em sistemas intensivos devido à dependência da oferta de alimentos. A fração proteica, dentre os demais nutrientes, é a que representa maior custo, o que impacta economicamente a produção da espécie (Almeida et al., 2019; Oliveira et al., 2020).

As fontes de proteínas podem ser de origem animal ou vegetal. Dentre os de origem animal utilizados na formulação de dietas para peixes estão as farinhas de peixes, ossos, vísceras e sangue, as fontes de origem vegetal estão o farelo de soja, trigo, canola e girassol (Henriques et al., 2017).

Os componentes de origem animal apresentam proteínas de alto valor biológico, tem boa aceitabilidade dos animais, além de apresentar um excelente perfil de aminoácidos e de ácidos graxos essenciais. Porém, por serem ingredientes oriundos do processamento de resíduos do abate animal apresentam composição química variável e custo de produção onerosa (Marasca et al., 2019; Moutinho et al., 2017).

Em contrapartida os ingredientes de origem vegetal apresentam custos de produção mais baixos e menor variação química, apesar, de geralmente possuírem perfil de aminoácidos menos adequado e alguns possíveis fatores antinutricionais (Casagrande et al., 2021). O farelo de soja é a principal fonte utilizada em substituição às farinhas de origem animal, por possuir alto valor proteico e valor biológico (Marasca et al., 2019).

Pesquisas científicas têm sido realizadas para avaliar diferentes ingredientes alternativos na alimentação dos peixes, com foco principal na incorporação de coprodutos para substituição total ou parcial das fontes proteicas frequentemente utilizadas, a fim de diminuir os custos de produção (Lewandowski et al., 2017; Kim et al., 2022; Hanan et al., 2022). Com isso, a utilização desses coprodutos oriundos da agroindústria tem-se mostrado viável como potenciais substitutos dos ingredientes proteicos tradicionalmente usados na formulação da ração (Casagrande et al., 2021).

5. Características do DDG e Métodos de Obtenção

A necessidade elevada do etanol, aliada as exigências de mercado, fez com que a indústria de biocombustíveis desenvolvesse alternativas de produção mais sustentável, diminuindo assim o uso de combustíveis fósseis de alto impacto ambiental. Baseado nisso, a produção de biocombustível a partir de outras fontes teve crescimento exponencial nas últimas décadas (Buenavista et al., 2021).

O maior produtor mundial de etanol é os Estados Unidos (EUA), com total de 15,78 bilhões de galões de etanol em 2019. A maioria da produção do etanol, cerca de 95%, são a partir de grãos de cereais sendo o milho mais utilizado. A porcentagem de milho usada para produção de etanol nos EUA de 2000 a 2018 aumentou de 6,5 para 37,6% (Dumortier et al., 2021). Outros países produtores de etanol de grãos incluem China, Canadá, Tailândia, Argentina e Índia (Rosales & Arantes, 2019). As instalações de etanol pelo processo de moagem a seco contribuem com 97,1% da produção total de DDGS, enquanto os 2,9% restantes são provenientes de destilarias de bebidas (Buenavista et al., 2021).

Para a produção de etanol a partir do milho, os grãos são previamente selecionados. A prioridade é a escolha daqueles ricos em amido, sustentáveis, de baixo custo e que não afetem a produção para alimentação humana, dessa maneira, as usinas são conhecidas como usinas flex (Milanez et al., 2014). Esse termo refere-se à introdução do milho e o sorgo como matérias-primas nas usinas de etanol, essa tecnologia pioneira, nada mais é que o processo de produção de etanol de grãos na qual se aproveita as instalações da usina de cana-de-açúcar e reduz a ociosidade da planta no período de entressafra da cana (Silva et al., 2020; Conab, 2018).

O etanol é obtido por diferentes tecnologias no processamento de moagem, pela moagem úmida do grão de milho inteiro ou moagem seca. O processo de moagem úmida, primeiramente o milho é umedecido cru com finalidade de amolecê-lo, para em seguida passar pelo processo de moagem. Os componentes do milho são então separados (amido, gérmen, e fibra), por meio do processo de lavagem, peneiramento, filtragem e centrifugação. Os coprodutos do milho gerados por meio desse processo são o “West Distillers Grains” (WDG) ou grãos úmidos de destilaria sem solúveis e solúveis de destilaria condensada (CDS) com 35% a 40% de sólidos (Johnson e May, 2003).

Enquanto a moagem a seco é responsável por 70% da forma de produção do etanol de milho e sua crescente demanda origina também, um aumento na produção de seu coproduto, os DDGS (Iram et al., 2020). De acordo com Banco et al. (2000), o milho é o composto por cerca de dois terços de amido, do qual é fermentado durante o processo de obtenção do etanol. Os demais nutrientes são recuperados na vinhaça, onde a água é removida para produzir DDGS. Isso faz com que a quantidade de proteína, extrato etéreo e fibra aumentem cerca de três vezes se comparados ao milho *in natura*.

Na fermentação, o amido presentes nos grãos de milho é processado com a adição de enzimas, que são responsáveis pela conversão da glicose em etanol. O produto resultante desse processo é então destilado e segue em conjunto de centrifugas, onde ocorre à separação da parte fina, e a parte líquida restante seguirá para evaporadores, que transformará em xarope, com cerca de 50% de umidade. Em seguida, o xarope é misturado a sólidos retirados da centrifuga e esta mistura é seca até da origem ao DDG, podendo haver a inclusão de solúveis, conhecidos comercialmente como DDGS (Lu et al., 2009).

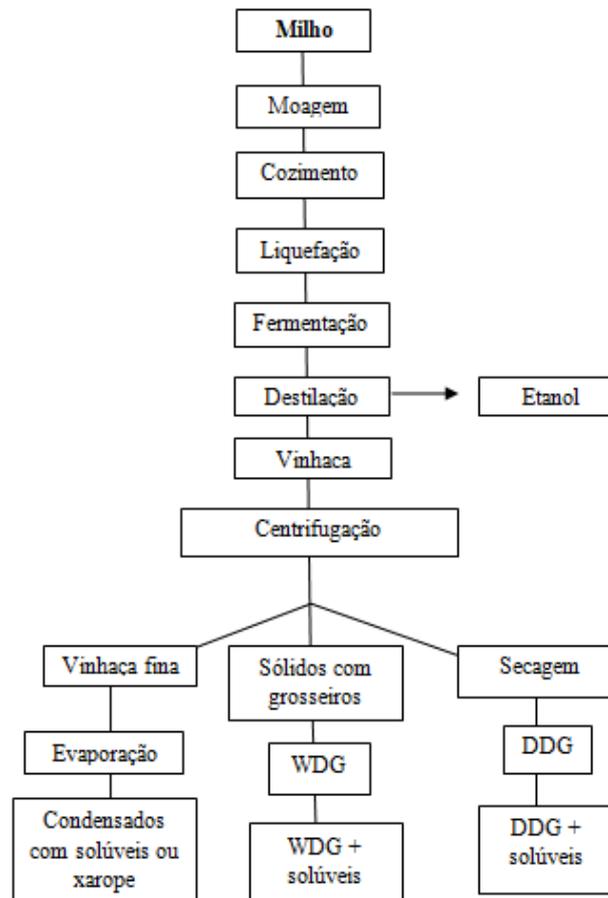
O DDG pode ser reaproveitado pela indústria como fonte alternativa de combustível já que este coproduto tem níveis energéticos consideráveis, podendo assim substituir o uso de carvões. Porém, devido aos valores proteicos este coproduto tem sido empregado na alimentação animal, entretanto, a utilização em animais monogástricos é limitante devido aos teores de fibras insolúveis (Wang et al., 2009; Wu & Munkvold, 2008).

5.1 DDGS- Grãos Secos de Destilaria com Solúveis

O DDGS é o coproduto sólido da indústria do etanol é o oriundo do processo de moagem a seco do milho e tem sido inserido como ingredientes na formulação de ração de diferentes animais devido aos seus bons valores de proteína, fibra e energia. O processo de moagem a seco é o mais comumente utilizado pelas indústrias de etanol por ser mais eficiente na produção e pelo baixo custo em relação à moagem úmida (Mohammadi Shad et al., 2020).

A obtenção do DDGS por meio do método de moagem a seco é dividida em 6 etapas de processamento sendo elas: moagem, maceração, cozimento, hidrólise enzimática, fermentação e destilação (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma da produção do etanol do milho e seus coprodutos.



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2015).

A primeira etapa da produção do etanol pelo método de moagem a seco é a redução do tamanho da partícula de milho através do moinho tipo martelo. Essas partículas são misturadas com água para liquefazer o amido. Em seguida é realizado o cozimento, que tem o objetivo de hidrolisar o amido em glicose para ser fermentado. Na fermentação são adicionados enzimas amilolíticas de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) para converter a glicose em etanol. Em fermentação ideal, cerca de 95% de açúcar é convertido em etanol e dióxido de carbono, 1% é convertido em matéria de celular das leveduras e 4% é convertido em outros produtos como o glicerol (Abbott & Ingledew, 2005; Lin & Tanaka, 2006).

Posteriormente a fermentação, o produto obtido passa por uma coluna de destilação para a separação do etanol dos componentes não voláteis (vinhaça inteira), que passa pela centrifugação, dando origem a uma fração líquida (vinhaça fina) e uma sólida conhecida como torta úmida, apresentando em torno de 70% de umidade (WDG). Em tanques de evaporação, a vinhaça fina é condensada e é combinada com a torta úmida, originando assim o DDGS (Iram et al., 2020).

O WDG possui alto teor de umidade o que limita sua vida útil em 5 dias, variando de acordo com o ambiente e local de armazenamento. O WDG é então submetido ao processo de secagem, da qual passa por um secador rotativo e é misturado ao CDS, o que reduz em média de 10 a 12% da umidade, sendo o produto final deste processo o DDGS (Mohammadi Shad et al., 2020).

O processo de secagem pode ter influências na qualidade da proteína do DDGS. Quando DDGS passa pelo processo de secagem, pode ocorrer superaquecimento, já que em usinas de etanol a temperatura de secagem pode variar de 127 a 621°C, fazendo com que ocorra reação de Maillard que é prejudicial para qualidade do produto. Em tais casos, alguns dos carboidratos e proteínas do DDGS podem tornar-se quimicamente ligados, formando um produto indigestível para o animal. Esse tipo de

reação química, associada a dano térmico, está condicionado à obtenção de um DDGS mais escuro, assim um coproduto com a coloração mais clara em geral é preferível (Swietkiewicz & Koreleski, 2008; Young, 2008; Hoffman & Baker, 2011).

A composição bromatológica dos DDGS pode ser muito variável o que torna sua utilização na formulação de dietas dependente de uma caracterização química prévia, pois as informações obtidas de tabelas podem não ser confiáveis, dependendo do nível de precisão e acurácia desejado na formulação (Hoffman & Baker, 2011; Chrenková et al., 2012). Sendo assim o conhecimento das características metabólicas e dos teores de proteína e energia dos DDGS é necessário para a exploração efetiva dos mesmos na nutrição animal.

5.2 Composição bromatológica do DDGS

Os valores de energia, proteína e de fósforo digestível do DDGS o caracterizam como um alimento alternativo com grande potencialidade para substituição parcial do milho e farelo de soja na alimentação animal, por se tratar de um alimento com caracterização proteica e energética (Corassa et al., 2018). A composição e o valor nutricional do DDGS dependem da origem da matéria-prima e seu processo de produção. O DDGS é uma boa fonte de fibra em detergente neutro (36,74%), proteína bruta (29,93%) e fibra em detergente ácido (16,2%). O DDGS também contém cinzas brutas (12,82%) e amido (11,07%) (Bhadra et al., 2007).

Outras matérias primas que são utilizadas são o sorgo, trigo e cevada. No entanto a produção de biocombustíveis a partir de diferentes cereais acaba por caracterizar variação na composição química e bromatológica do coproduto, por isso é recomendado analisar a composição do DDGS antes de seu fornecimento na alimentação animal (Stein & Shurson, 2009; Bottger & Sudekum, 2017). Na tabela 1 são apresentados os valores médios bromatológicos do DDGS.

Tabela 1. Composição nutricional média do DDGS de acordo com os dados de alguns autores.

Composição química na matéria mineral	Corassa	Santos	Wang	Lewandowski	Meloche
	2021	2019	2018	2017	2014
	Valores médios				
Matéria seca (%)	93,09	90,22	-	89,34	89,32
Proteína bruta (%)	16,15	42,06	29,11	37,08	27,98
Energia brutal (Kcal Kg ¹)	4808	4206	5049	4586	-
Extrato étereo (%)	6,64	3,21	11,12	5,27	8,44
Matéria mineral (%)	4,68	-	-	2,3	-
FDN*	49,58	53,34	37,08	-	31,36
FDA*	-	11,13	13,53	-	9,35

* FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida. Fonte: Autores.

A forma de armazenamento é outro forte fator que pode ocasionar alterações em componentes fitoquímicos do DDGS, como vitamina E, ácidos ferúlicos, carotenoides e xantofila, que possuem efeitos antioxidantes de relevância para a saúde animal pela proteção da oxidação lipídica (Shin et al., 2018). A forma de processamento como a alta temperatura de secagem, pode afetar também negativamente e reduzir a qualidade do DDGS.

Em relação aos teores proteicos em média o DDGS apresenta 28,39% e o seu perfil de aminoácidos existe uma correlação entre a intensidade de cor do DDGS e a composição de aminoácidos, onde as amostras mais claras apresentam

maior conteúdo de aminoácidos que as amostras mais escuras. Isso porque os DDGS durante o processo de secagem podem passar por aquecimento excessivo levando a perdas do conteúdo de aminoácidos (Silva et al., 2015).

O aminoácido mais limitante em DDGS quando comparado ao farelo de soja é a lisina. A concentração de vitaminas e minerais diferem entre as fontes e os lotes de DDGS. Os DDGS de milho são ricos em vitamina A, niacina, colina, e fósforo, que é altamente biodisponível (Lim et al., 2011).

Os níveis de ácidos graxos insaturados encontrados no DDGS de milho convencional são elevados. Os ácidos linoleico (C18:2), oleico (C18:1) e palmítico (C16:0) são os ácidos graxos mais abundantes, representando cerca de 89% do total de ácidos graxos em DDGS (Díaz-Royón et al., 2012). Embora o alto teor de ácidos linoleico e oleico contribua para o alto valor energético do DDGS, ele causa uma suscetibilidade do óleo DDGS à oxidação (Winkler-Moser & Breyer, 2011).

O DDGS apresenta alta concentração fibra bruta sendo a maior parte insolúvel. Esses componentes são concentrados em DDGS (três vezes) em relação aos grãos iniciais de milho (Anderson et al., 2006; Silva, 2015). Fato este que pode influenciar na digestibilidade (Magalhães, 2013), entretanto, não afeta a digestibilidade de proteína e pode melhorar a digestibilidade da energia, o que possibilita o ingrediente ser utilizado na alimentação de peixes (Overland et al., 2013). Ainda sua utilização é limitada, porém já tem estudos evidenciando potencial de inclusão com fonte proteica em peixes onívoros (Suehs & Gatlin, 2021).

No intuito de se obter coprodutos que se tornem mais atrativos no ponto de vista de utilização na aquicultura, pesquisas buscam elevar o conteúdo proteico e reduzir o teor de fibra não digerível dos ingredientes (Stone et al., 2005). Isto pode ser alcançado aplicando-se tecnologia de fracionamento, para separar a fração fermentável do grão, da porção não fermentável antes da moagem e processamento por fermentação (Singh et al., 2005; Robinson et al., 2008).

Os coprodutos que resultam a partir deste processo é o HPDDG (high protein distiller's dried grains), que comparado ao DDGS convencional produzido a partir do milho, possui maior conteúdo em proteína bruta (44,7 e 27,5%), menor teor de gordura (5,4 e 18,5%) e menor teor de fibra em detergente neutro (7,3 e 26,5%), respectivamente (Singh et al., 2005; Overland et al., 2013).

6. Inclusão do DDGS na Alimentação de Tilápias

6.1 Digestibilidade

A tilápia do Nilo se adapta a dietas comerciais completas baseadas em fontes de proteína animal e vegetal. Esta espécie pode tolerar maiores concentrações de fibra alimentar (3,5%) e carboidratos (30-40%) do que a maioria das outras espécies de peixes de aquicultura. A exigência de proteína da tilápia diminui com a idade, sendo maior durante os estágios de alevinos (45 -41%) e juvenil (40 - 36%) e menor (35 -30%) para tilápias maiores (Davis et al., 2009).

A utilização do DDGS na forma farelada facilita aplicabilidade na nutrição de tilápias e suas principais vantagens são a ausência de fatores antinutricionais e boa viabilidade econômica. Por ser um coproduto rico em energia, proteína, aminoácidos e fósforo, o DDGS é utilizado nas formulações de dietas em diferentes animais de produção (Sperotto et al., 2018; Shin et al., 2018).

Lewandowsk et al. (2017), avaliaram o coeficiente de digestibilidade do DDGS na alimentação de tilápias com 20% de inclusão na dieta, observaram que os valores de digestibilidade foram maiores para proteína bruta (89,51%) e para energia bruta (62,52%). Na formulação da dieta, é de extrema importância o conhecimento dos coeficientes de digestibilidade de proteína e energia bruta dos ingredientes utilizados, uma vez que esses dois nutrientes estão relacionados com o desempenho zootécnico dos animais, afetando diretamente o crescimento e conversão alimentar e indiretamente na rentabilidade e no impacto ambiental da piscicultura (Portz & Furuya, 2013).

Ao avaliar os coeficientes digestibilidade aparente (CDA) do coproduto HPDDG em diferentes níveis de inclusão (75, 150, 225, 300, e 375 g/ Kg da ração), observou-se que os CDAda matéria seca, proteína bruta e energia bruta foram maiores em comparação da dieta basal com farelo de soja, com valores de 61,1%, 74,9% e 73,1 % respectivamente, sendo altamente digestível em tilápias na fase de engorda (Suehs & Gatlin, 2021). Em outro experimento os valores do CDA da energia, proteína bruta, extrato etéreo, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e aminoácidos do DDGS foram 50,97; 87,96; 93,00; 22,33; 22,72 e 71,57%, respectivamente, enquanto o aminoácido com maior CDA foi à histidina com 91,78% e o menor foi a treonina 71,57% (Júnior Zanela, 2016).

Por se tratar de um peixe com hábito alimentar onívoro, a tilápia é um animal que se adapta facilmente a vários ingredientes, fato esse que pode ser comprovado com o CDA da proteína do DDGS, chegando próximo aos valores de ingredientes comuns, como milho (91,66% de proteína digestível) e farelo de soja (91,56% de proteína digestível). O CDA do DDGS encontrado para a tilápia do Nilo é semelhante ao de outros alimentos vegetais utilizados como fontes proteicas na ração de peixes como o farelo de canola (CDA de 87,00%) e da farinha de glúten de milho 60% (CDA de 95,96%) para a mesma espécie (Pezzato et al., 2002).

6.2 Efeitos no Desempenho Zootécnico

Em estudo com tilápias híbridas, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*, Welker et al. (2014) avaliaram o uso do DDGS proveniente de diferentes grãos (milho, sorgo e trigo) em substituição de 30% do farelo de soja combinado com farelo de milho (relação de 1,8) não encontraram diferenças no desempenho produtivo, hematologia e imunidade, podendo ser assim incluídas na dieta.

Suehs e Gatlin (2021) avaliaram a inclusão do HPDDG, constataram que não houve efeitos significativos no desempenho produtivo, ganho de peso, eficiência alimentar e rendimento de carcaça em tilápias juvenis, assim a substituição em até 365 g/Kg da ração é recomendado. Em outro trabalho com a mesma espécie com níveis de inclusão do DDGS (0%; 20% e 40%) na dieta, observou-se efeitos significativos no consumo da ração, ganho de peso, conversão alimentar e parâmetros de crescimento à medida que o nível de DDGS foi aumentado, sendo o nível de substituição do milho pelo coproduto em até 40% (Fouda et al., 2018).

Estudo realizado com juvenis de tilápia-do-Nilo, utilizando níveis crescentes de DDGS (0, 10, 20, 30 e 40% com suplementação de lisina) em substituição ao farelo de soja e milho, Lim et al. (2009) observaram que os peixes alimentados com dieta contendo 40% de DDGS sem adição de lisina, apresentaram ganho de peso reduzido comparado aos tratamentos com substituição pelo DDGS até 20%.

Shelby et al. (2008) observaram menor ganho de peso e eficiência alimentar pela tilápia-do-Nilo alimentadas com dieta contendo 60% DDGS sem adição de lisina em comparação aos peixes alimentados com as dietas controle a base de farelo de soja e dietas contendo menor quantidade de DDGS (0, 30 e 30% + lisina). A adição de lisina em dietas contendo 60% de DDGS melhorou o ganho de peso e a eficiência alimentar a níveis verificados com a dieta controle, sugerindo que, com a suplementação de lisina, podem ser incorporados 60% de DDGS em dietas de tilápias.

Na avaliação do DDGS suplementado com lisina em substituição ao farelo de soja para tilápias híbridas (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*), observou-se que a inclusão do coproduto em até 300g/Kg da ração não afetou o desempenho zootécnico dos peixes e ainda níveis mais altos de substituição pode ocasionar em dietas com baixo nível de energia digestível (Chatvijitkul et al., 2016).

Herath et al. (2016), avaliaram a inclusão do DDGS e HPDDG em substituição a farinha de peixe em níveis de 50%, constataram que não afetou negativamente o desempenho produtivo e nem a eficiência alimentar das tilápias. Em outro estudo foi avaliado a inclusão do DDGS em até 45% de substituição ao farelo de soja, constatou-se que os parâmetros de crescimento,

ingestão média diária e taxa de conversão alimentar foram maiores para tilápias alimentadas com o DDGS em relação à dieta controle somente com farelo de soja (Webster et al., 2016).

Conforme Lim et al. (2011) os níveis ótimos de inclusão variam de acordo com a qualidade (composição e teor de nutrientes) da dieta basal e do ingrediente substituído. Em dietas contendo 5–8% de farinha de peixe e/ou outras fontes de proteína animal, o DDGS pode ser incluído nas dietas de tilápia entre 20 e 30%, sem a necessidade de suplementação de lisina. No entanto, devido ao alto teor de fibra bruta e/ou gordura, altos níveis dietéticos de DDGS podem afetar a qualidade da dieta.

6.3 Influência na morfologia intestinal e respostas imunológicas

A saúde e bem-estar dos peixes são avaliados por meio dos parâmetros hematológicos. A substituição da farinha do peixe por uma fonte alternativa, a exemplo do DDGS, pode afetar os índices imunológicos bem como o metabolismo (Ray et al., 2021). A avaliação dos parâmetros sanguíneos e imunológicos exerce entendimento da nutrição, visto que, possibilita desenvolver estratégias para a redução dos efeitos ocasionados pelo estresse, além de melhorar a resistência imunológica dos peixes (Barros et al., 2014).

Torna-se importante verificar o estado de saúde dos peixes alimentados com fonte alternativa proteica. O estresse imunológico e indicadores nutricionais são averiguados pela análise do sangue, e os parâmetros determinantes são os índices bioquímicos e atividades antioxidantes, incluindo fosfatase ácida, fosfatase alcalina, glicose, proteína total, colesterol, alanina transaminase, capacidade antioxidante total, e superóxido dismutase, que desempenham papel essencial e ajudam a melhorar o sistema imunológico de peixes (Sun et al., 2015; Ray et al., 2021).

Em seus constituintes o DDGS possuem a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) e suas concentrações podem chegar a representar 3,9% da biomassa total destes alimentos. Os componentes nutricionais encontrados na parede celular de leveduras influenciam a melhora do sistema imunológico em peixes, e dentre esses componentes, incluem β -glucanas e α -D-manana (Teles, 2012; Ingledew, 1999).

O β -glucanas atuam como moduladores das respostas imune do peixe, melhora a atividade imune e a resistência contra determinados patógenos (Lim et al., 2007). Já α -D-manana tem função de ligar receptores de lecitinas específico de manose das bactérias enteropatogênicas, além de prevenir a adesão das glicoproteínas da superfície do vilosidade o que reduz o risco de colonização e disseminação dos patógenos bacterianos (Firion et al., 1983).

Li et al. (2011), avaliaram o efeito da inclusão do DDGS do trigo com suplementação de lisina sobre os parâmetros hematológicos, respostas imunológicas e resistência de tilápias desafiadas com *Streptococcus iniae*, observou-se que não houve efeito significativo entre os tratamentos dietéticos. Em outro estudo com a inclusão HPDDGS, também não foi observado efeitos significativos ($P>0,05$) nos parâmetros de resposta imune inata em tilápias, fator este, atribuído às diferenças fisiológicas entre os peixes bem como a discrepância da composição química do coproduto utilizado (Suehs & Gatlin, 2021).

O desenvolvimento da mucosa intestinal provém do aumento da altura e densidade dos vilos e caso algum agente estressor cause um desbalanço no equilíbrio da mucosa podem ocorrer modificações na altura na vilosidade intestinal. A melhor integridade da mucosa em tilápias foi observada em dietas com 50 e 70% de substituição do farelo de soja pelo DDGS. Isso pode ser atribuído à ausência de fatores antinutricionais no DDGS (Maiorka et al., 2002; Lim et al., 2011).

Os alimentos digeridos e os nutrientes absorvidos funcionam como uma barreira primária que evita a translocação de agentes patogênicos no organismo. Sendo assim, os ingredientes da ração podem afetar a morfologia intestinal nas tilápias. O farelo de soja afeta de maneira negativa os parâmetros da submucosa e no número de células caliciformes (Tran-Ngoc et al., 2019).

7. Considerações Finais

Os grãos secos de destilaria com solúveis são boa fonte de proteínas e podem ser incluídos em dietas para tilápias sem afetar negativamente o desempenho produtivo, taxa de conversão alimentar, ganho de peso, morfologia intestinal e respostas imunológicas. Porém o nível de inclusão varia de acordo com alguns fatores, como a composição nutricional do coproduto e o ingrediente proteico que será substituído, bem como a suplementação ou não de lisina. Com isso pesquisas futuras a cerca do DDGS tornam-se relevantes para a cadeia produtiva e nutrição de tilápias.

Referências

- Abbott, D. A., Hynes, S. H., & Ingledew, W. M. (2005). Growth rates of Dekkera/Brettanomyces yeasts hinder their ability to compete with *Saccharomyces cerevisiae* in batch corn mash fermentations. *Applied microbiology and biotechnology*, 66(6), 641-647. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1769-1>
- Alam, M. F. & Khan, M. A. (2012). Technical efficiency in tilapia farming of Bangladesh: a stochastic frontier production approach. *Aquaculture International*, 20(4): 619–634. <https://doi.org/10.1007/s10499-011-9491-3>
- Almeida, J. C. R., Bega, J. M. M., Ribeiro, N. U. F., de Moraes Ricardi, A., & Matsumoto, T. (2019). Sistema de recirculação de água com reator aerado em membrana na produção intensiva de tilápia. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 15(4). <https://doi.org/10.17271/1980082715420192203>
- Anderson, J. L., Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., & Hippen, A. R. (2006). Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(8), 3133-3142. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72587-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72587-5)
- Barros, M. M., Falcon, D. R., de Oliveira Orsi, R., Pezzato, L. E., Fernandes Jr, A. C., Guimarães, I. G., & Sartori, M. M. P. (2014). Non-specific immune parameters and physiological response of Nile tilapia fed β -glucan and vitamin C for different periods and submitted to stress and bacterial challenge. *Fish & shellfish immunology*, 39(2), 188-195. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.05.004>
- Böttger, C., & Südekum, K. H. (2018). Protein value of distillers dried grains with solubles (DDGS) in animal nutrition as affected by the ethanol production process. *Animal feed science and technology*, 244, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.018>
- Casagrande, C., Klinger, A. C. K., & Poletto, R. (2021). Eficiência produtiva de subprodutos e ingredientes alternativos utilizados na alimentação de coelhos. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 12015-12029. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-024>
- Chatvijitkul, S., Davis, D. A., & Lim, C. E. (2016). Lipid extracted distillers dried grains with solubles (LE-DDGS) as a partial replacement for soybean meal in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) diets. *Aquaculture*, 459, 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.023>
- Chrenková, M., Čerešňáková, Z., Formelová, Z., Poláčiková, M., Mlyneková, Z., & Ffak, P. (2012). Chemical and nutritional characteristics of different types of DDGS for ruminants. *J Anim Feed Sci*, 21(425), 35.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Diagnóstico da produção de etanol em Mato Grosso: binômio cana-de-açúcar/milho. Cuiabá, 2018.
- Costa-Pierce, B. A., & Riedel, R. (2000). Fisheries ecology of the tilapias in subtropical lakes of the United States. *Tilapia aquaculture in the Americas*, 2, 1-20.
- Corassa, A., da Silva Lautert, I. P. A., da Silva, L. L., & de Souza, C. (2018). Uso de DDGS de milho para suínos: uma breve revisão. *Scientia Agraria Paranaensis*, 17(2), 157.
- Davis, D., Nguyen, T., Li, M., Gatlin, D. M., & O'Keefe, T. (2009). Advances in aquaculture nutrition: catfish, tilapia and carp nutrition. In *New Technologies in Aquaculture* (pp. 440–458). Elsevier. <http://doi.org/10.1533/9781845696474.3.440>
- Bhadra, R., Muthukumarappan, K., & Rosentrater, K. A. (2009). Flowability properties of commercial distillers dried grains with solubles (DDGS). *Cereal Chemistry*, 86(2), 170-180. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-2-0170>
- Buenavista, R. M. E., Siliveru, K., & Zheng, Y. (2021). Utilization of distiller's dried grains with solubles: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100195>
- Faria, R. H. S., Morais, M., de Souza Soranna, M. R. G., & Sallum, W. B. (2013). Criação de peixes em viveiros. *Brasília. Codevasf*, 54-65.
- Figueiredo Junior, C. A., & Valente Junior, A. S. (2008). Cultivo de tilápia no Brasil: origens e cenário atual.
- Firon, N., Ofek, I., & Sharon, N. (1983). Carbohydrate specificity of the surface lectins of *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Salmonella typhimurium*. *Carbohydrate research*, 120, 235-249. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(83\)88019-7](https://doi.org/10.1016/0008-6215(83)88019-7)
- Schulter, E. P., & Vieira Filho, J. E. R. (2017). *Evolução da piscicultura no brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva da tilápia* (nº 2328). Texto para Discussão. p. 42, 2017.
- FAO. 2020. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome.
- Fouda, D. A., Khattab, H., Amer, M. A., & El-Kholy, K. H. (2018). Use of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) and foots in Nile tilapia. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), 529-538. <https://doi.org/10.21608/ajs.2018.15958>

- Henriques, J. K., Rodrigues, R. B., & Lazzari, R. (2017). Caracterização e uso das farinhas de abatedouros de aves em dietas para peixes. *Acta Tecnológica*, 12(2), 103-115. <https://doi.org/10.35818/acta.v12i2.589>
- Hoffman, L. A., & Baker, A. J. (2011). Estimating the substitution of distillers' grains for corn and soybean meal in the US feed complex. Washington, DC, USA: US Department of Agriculture.
- Ingledeu, W. M. (1999). Yeast-could you base a business on this bug. In Under the microscope—focal points for the new millennium—biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's 15th Annual Symposium. Nottingham University Press, Nottingham, UK (27-47)
- Dumortier, J., Carriquiry, M., & Elobeid, A. (2021). Where does all the biofuel go? Fuel efficiency gains and its effects on global agricultural production. *Energy policy*, 148, 111909. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111909>.
- Johnson, L. A., & May, J. B. (2003). Wet milling: the basis for corn biorefineries. *Corn: chemistry and technology*, (Ed. 2), 449-494.
- Lewandowski, V., Sary, C., Pessini, J. E., Boscolo, W., Bittencourt, F., & Feiden, A. (2017). DDGS (Distillers Dried Grains With Solubles) as an ingredient in feed of the Nile tilapia. *Scientia Agraria Paranaensis*, 225-229. <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v16n1p225-229>
- Li, E., Lim, C., Cai, C., & Klesius, P. H. (2011). Growth response and resistance to *Streptococcus iniae* of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed diets containing different levels of wheat distiller's dried grains with solubles with or without lysine supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 170(3-4), 246-255. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.002>
- Lim, C., Garcia, J. C., Yildirim-Aksoy, M., Klesius, P. H., Shoemaker, C. A., & Evans, J. J. (2007). Growth response and resistance to *Streptococcus iniae* of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed diets containing distiller's dried grains with solubles. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2), 231-237. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00093.x>
- Lim, C., Li, E., Klesius, P. H., (2011). Distiller's dried grains with solubles as an alternative protein source in diets of tilapia. *Reviews in Aquaculture*, 3 (4), 172-178. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2011.01054.x>
- Lim, C., Yildirim-Aksoy, M., Barros, M. M., & Klesius, P. (2011). Thiamin requirement of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(6), 824-833. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00531.x>
- Lin, Y., & Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*, 69(6), 627-642. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0229-x>
- Lu, D. R., Xiao, C. M., & Xu, S. J. (2009). Starch-based completely biodegradable polymer materials. *Express polymer letters*, 3(6), 366-375. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2009.46>
- Luiz Junior, W., Lemos, W. S., Costa, B. A. da., & Wander, A. E. (2018). Viabilidade econômica da utilização de ração própria na alimentação de tilápias no Estado de Goiás, Brasil. *Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Magalhães, R., Coutinho, F., Ferreira, P., P. Aires, T., Teles, A. O., & Peres, H. (2015). Corn distiller's dried grains with solubles: Apparent digestibility and digestive enzymes activities in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) and meagre (*Argyrosomus regius*). *Aquaculture*, 443, 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.016>
- Maiorka, A., Boleli, I. C., & Macari, M. (2002). Desenvolvimento e reparo da mucosa intestinal. *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*, 2, 113-124.
- Marasca, S., Jovanovichs, M. R. C., Durigon, E. G., Uczay, J., Gonzatto, J. B., & Lazzari, R. (2019). Substituição da farinha de carne e ossos por farelo de soja em dietas para *Cyprinus carpio*. *Boletim De Indústria Animal*, 76, 1-9. <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1435>
- Milanez, A. Y., Nyko, D., Valente, M. S., Xavier, C. E. O., Kulay, L. A., Donke, A. C. G., & Gouvêia, V. L. R. D. (2014). A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1921>.
- Medeiros S. R. de., Gomes, R. D. C., & Bungenstab, D. J. (2015). Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações. *Embrapa Gado de Corte-Livro técnico (INFOTECA-E)*.
- Meloche, K. J., Kerr, B. J., Billor, N., Shurson, G. C., & Dozier III, W. A. (2014). Validation of prediction equations for apparent metabolizable energy of corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks. *Poultry science*, 93(6), 1428-1439. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03712>
- Mohammadi Shad, Z., Venkatasamy, C., & Lamsal, B. (2021). Front-end corn germ separation: Process variations and effects on downstream products recovery and quality. *Cereal Chemistry*, 98(2), 189-211. <https://doi.org/10.1002/cche.10393>
- Moretti, G. A., & Júnior, E. G. (2020). Desempenho zootécnico de tilápias do Nilo criadas em tanques escavados sob baixa temperatura no município de Nova Aurora/PR. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG*, 3(1), 220-227.
- Moutinho, S., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., Oliva-Teles, A., & Peres, H. (2017). Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency. *Aquaculture*, 468, 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.024>
- Oliveira, G. R. de., Gemaque, T. C., Melo, K. D. M., da Silva, S. R., Oliveira, A. V. de., Freato, T. A., & Costa, D. P.(2020). Restrição alimentar na piscicultura: fisiologia, metabolismo e sustentabilidade. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 28224-28244. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-31>
- Oliveira, K. R. B., Segura, J. G., Oliveira, B. A., Medeiros, A. C. L., Zimba, R. D., Viegas, E. M. M., 2020. Distillers' dried grains with soluble in diets for Pacu, *Piaractus mesopotamicus* juveniles: Growth performance, feed utilization, economic viability, and phosphorus release. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 262, 114393. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114393>
- Ostrensky, A., Boeger, W. A., & Chammas, M. (2007). Potencial para o desenvolvimento da aquicultura no Brasil, 276. Boltrina

PEIXE BR - Associação Brasileira da Piscicultura (2022). Anuário da Piscicultura de 2022. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>.

Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Pezzato, L.E., Miranda, E.C., Barros, M.M., Pinto, L.G.Q., Furuya, W.M., Pezzato, A.C., 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). R. Bras. Zootec. 31, 1595-1604. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>

Portz, L., & Furuya, W. M. (2013). Energia, proteína e aminoácidos. *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. 1a ed. Florianópolis: Aquabio*, 65-77.

Prabu, E., Rajagopalsamy, C. B. T., Ahilan, B., Jeevagan, I. J. M. A., & Renuhadevi, M. (2019). Tilapia—an excellent candidate species for world aquaculture: a review. *Annual Research & Review in Biology*, 1-14. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v3i1330052>

Ray, G. W., Li, X., He, S., Lin, H., Yang, Q., Tan, B., ... & Zhang, S. (2022). A review on the use of distillers dried grains with solubles (ddgs) in Aquaculture feeds. *Annals of Animal Science*, 22(1), 21-42. <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0041>

Rosales, O. C., & Arantes, V. (2019). A review on commercial-scale high-value products that can be produced alongside cellulosic ethanol. *Biotechnology for biofuels*, 12(1), 1-58. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1529-1>

Salim, H. M., Kruk, Z. A., & Lee, B. D. (2010). Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as an ingredient of poultry diets: A review. *World's Poultry Science Journal*, 66(3), 411-432. <https://doi.org/10.1017/S0043933910000504>

Santos, F. R., Silva, M. R. S., Oliveira, N. R., Santos, H. B., Cordeiro, D. A., & Minafra, C. S. (2019). Composição nutricional e valores energéticos determinados com frangos de corte de coprodutos do processamento do etanol de milho. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71, 1759-1763.

Silva, H. J. T. da., Santos, P. F. A., Nogueira Junior, E. C., & Vian, C. E. D. F. (2020). Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, 29(4), 142.

Silva, J. R., Netto, D. P., & Scussel, V. M. (2015). Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança—uma revisão. *Pubvet*, 10, 190-270.

Schone, R. A., Nunes, R. V., Frank, R., Eyng, C., & Castilha, L. D. (2017). Resíduo seco de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de frangos de corte (22-42 dias) I. *Revista Ciência Agronômica*, 48, 548-557. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170064>

Shin, E. C., Shurson, G. C., & Gallaher, D. D. (2018). Antioxidant capacity and phytochemical content of 16 sources of corn distillers dried grains with solubles (DDGS). *Animal Nutrition*, 4(4), 435-441. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.07.003>

Sperotto, F. C. S., Brandão, F. J. B., de Lima Leite, A., de Magalhães Padilha, P., & Biaggioni, M. A. M. (2018). Caracterização química e proteômica dos grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) de milho. *Energia na agricultura*, 33(1), 87-91. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2018v33n1p87-91>

Stein, H. H., & Shurson, G. C. (2009). Board-invited review: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *Journal of animal science*, 87(4), 1292-1303.

Suehs, B. A., & Gatlin, D. M. (2022). Evaluation of a Commercial High-Protein Distiller's Dried Grain with Solubles (HP-DDGS) Product in the Diet of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1648747>

Sun, C. B., Wang, G., & Chan, S. F. (2015). Effects of artificial infection of *Litopenaeus vannamei* by *Micrococcus lysodeikticus* and WSSV on the activity of immunity related enzymes. *Fish & shellfish immunology*, 46(2), 778-786. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.06.029>

Świątkiewicz, S., & Koreleski, J. (2008). The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 64(2), 257-266. <https://doi.org/10.1017/S0043933908000044>

Tran-Ngoc, K. T., Haidar, M. N., Roem, A. J., Sendão, J., Verreth, J. A., & Schrama, J. W. (2019). Effects of feed ingredients on nutrient digestibility, nitrogen/energy balance and morphology changes in the intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 50(9), 2577-2590. <https://doi.org/10.1111/are.14214>

Wang, B., Ezeji, T., Shi, Z., Feng, H., & Blaschek, H. P. (2009). Pretreatment and conversion of distiller's dried grains with solubles for acetone-butanol-ethanol (ABE) production. *Transactions of the ASABE*, 52(3), 885-892. <https://doi.org/10.13031/2013.27377>

Wang, H. Y., Bai, S. P., Ding, X. M., Wang, J. P., Zeng, Q. F., Su, Z. W., ... & Zhang, K. Y. (2018). Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of corn distillers dried grains with solubles for laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 238, 66-72. <https://doi.org/10.13031/2013.27377>

Webster, C. D., Rawles, S. D., Koch, J. F., Thompson, K. R., Kobayashi, Y., Gannam, A. L., & Hyde, N. M. (2016). Bio-Ag reutilization of distiller's dried grains with solubles (DDGS) as a substrate for black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, along with poultry by-product meal and soybean meal, as total replacement of fish meal in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 22(5), 976-988. <https://doi.org/10.1111/anu.12316>

Welker, T. L., Lim, C., Klesius, P., & Liu, K. (2014). Evaluation of distiller's dried grains with solubles from different grain sources as dietary protein for hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* (♀) × *Oreochromis aureus* (♂). *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(6), 625-637. <https://doi.org/10.1111/jwas.12157>

Wu, F., & Munkvold, G. P. (2008). Mycotoxins in ethanol co-products: modeling economic impacts on the livestock industry and management strategies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(11), 3900-3911. <https://doi.org/10.1021/jf072697e>

Young, M. (2008). Using dried distillers grains with solubles (DDGS) in swine diets. In *8th London Swine Conf., London, Ontario, Canada*