

CAPÍTULO 1

Uso estratégico de enzimas carboidrases em rações para frangos de corte

Catarina Stefanello, Guilherme L. de Godoy, Yuri K. Dalmoro, Eduarda A. Taschetto, Valéria Biselo, Natielli S. Witt

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-29-9.c1>

Resumo

As enzimas exógenas são amplamente utilizadas em rações para aves, variando de acordo com os ingredientes utilizados nas formulações. A cada ano, compreendemos melhor as funções e os mecanismos de ação de cada enzima, com o objetivo de melhorar a recuperação enzimática e aprimorar as matrizes para que sejam competitivas e eficazes. Comercialmente, estão disponíveis enzimas monocomponentes, que possuem atividade declarada de apenas uma enzima, e complexos enzimáticos ou *blends*, que apresentam atividades enzimáticas declaradas de mais de uma enzima em um único produto. Muitas melhorias em tecnologia e qualidade estão sendo realizadas pelas empresas que produzem enzimas, em busca da redução dos custos das formulações e, ao mesmo tempo, manter ou melhorar o desempenho produtivo das aves. Depois da enzima fitase, que está presente em praticamente a totalidade das rações formuladas para aves no mundo, as carboidrases são as enzimas mais importantes e utilizadas, destacando-se as xilanases, glucanases e amilases. Neste capítulo é abordado o uso estratégico de enzimas carboidrases com foco na produção de frangos de corte.

1. Introdução

As enzimas exógenas são específicas para seus substratos; portanto, a qualidade dos ingredientes, os níveis de substrato para cada enzima e a quantidade de nutrientes e energia das rações podem afetar a eficiência de um produto enzimático. Além da redução dos custos de formulação das rações, a utilização de xilanases e glucanases se justifica, pois existem substratos nas rações para os quais não há secreção de enzimas endógenas, além de ajudar a

reduzir os efeitos antinutricionais dos polissacarídeos não amiláceos (PNA). Adicionalmente, essas enzimas atuam rompendo a parede celular das células vegetais, que encapsula os nutrientes fazendo com que estes estejam indisponíveis para a digestão, além de reduzirem os efeitos negativos das fermentações e do crescimento de microrganismos no trato intestinal das aves, contribuindo para a modulação favorável da microbiota intestinal, o que melhora a digestão e a absorção de nutrientes.

A utilização de amilases exógenas em rações para aves se justifica pela grande quantidade de amido presente nas formulações, associada ao alto consumo de ração, especialmente nos frangos de corte. Essa condição pode levar à insuficiência das amilases endógenas para uma digestão otimizada. Através da utilização de enzimas exógenas, também é possível incluir ingredientes considerados alternativos nas rações para aves. Rações formuladas com milho e farelo de soja são mais digestíveis em comparação às dietas que contêm ingredientes com maiores quantidades de PNA; no entanto, qualquer melhoria na digestibilidade e no aproveitamento dos ingredientes é desejável para aprimorar os índices produtivos.

As informações geradas pelas pesquisas realizadas nesta área permitem ampliar os conhecimentos, registrar e avaliar novas enzimas para o mercado, melhorando ainda mais a qualidade dos alimentos, a eficiência produtiva e a sustentabilidade da avicultura. A seguir, são descritas as principais enzimas carboidrases economicamente importantes para frangos de corte, com resultados de pesquisas realizadas na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

2. Principais enzimas carboidrases utilizadas em rações para aves

2.1. *Complexo Multicarboidrase*

O milho e o farelo de soja são os principais ingredientes utilizados em rações para aves. O milho é a principal fonte de energia, que é um componente importante do custo das rações para frangos de corte e contribui com cerca de 65% da energia metabolizável da ração, enquanto o farelo de soja pode fornecer até 80% da proteína bruta (PB) total da dieta. Além do milho, outros grãos de

cereais e coprodutos são fontes de energia nas rações; entretanto, esses ingredientes, juntamente com fontes proteicas vegetais, podem conter percentuais significativos de PNA, incluindo arabinoxilanos (xilose e arabinose) no trigo e centeio, e β -glucanos na aveia e cevada (KNUDSEN, 2014).

Os PNA presentes nos ingredientes vegetais são resistentes às enzimas digestivas das aves e podem ser classificados como PNA solúveis em água (PNA-s) ou PNA insolúveis (PNA-i) (CHOCT et al., 2004). Os efeitos antinutricionais dos PNA-i ocorrem porque esses polímeros, presentes na parede celular vegetal, encapsulam os nutrientes, resultando no efeito conhecido como "cage-effect". Os PNA-i têm pouco impacto na viscosidade do conteúdo intestinal e não prejudicam a digestibilidade de nutrientes, porém podem aumentar a taxa de passagem e o enchimento do intestino. Adicionalmente, os PNA-i podem ser facilmente degradados no intestino das aves, gerando fermentações desejáveis e maior produção de ácidos graxos de cadeia curta, sugerindo benefícios das fibras em rações para aves, quando presentes em baixas quantidades. Por outro lado, os PNA-s aumentam a viscosidade da digesta, interferindo na digestão e absorção de lipídios, proteínas e amido, o que reduz a energia metabolizável aparente (EMA) da ração e gera fermentações indesejáveis no intestino das aves, resultando em efeitos mais negativos do que os PNA-i (CHOCT et al., 2004; KNUDSEN, 2014).

O mecanismo de ação das enzimas presentes em produtos comercialmente disponíveis depende de sua eficácia na degradação dos diferentes substratos presentes nos ingredientes da ração e na quantidade desses substratos. Estima-se que o conteúdo de PNA-s no milho seja de 8%, sendo os arabinoxilanos os mais abundantes, correspondendo a aproximadamente 5%. Já o farelo de soja possui aproximadamente 3% de PNA-s e 16% de PNA-i. Em relação a outros PNA, as dietas à base de milho e farelo de soja são pobres em beta-glucanos, com uma estimativa de 0,26%, sendo que esses compostos estão presentes em maior quantidade na aveia, trigo e cevada, o que exige maior atenção ao utilizar esses ingredientes. O conteúdo de PNA no milho varia de acordo com a genética e as condições de cultivo, e no farelo de soja, além do efeito dos fatores ambientais na produção, a composição é afetada

pelo processamento, gerando variações que precisam ser conhecidas para otimizar a formulação das rações para aves (KNUDSEN, 2014).

Diante do conhecimento da composição dos principais ingredientes utilizados nas rações e da busca constante por maior eficiência produtiva, as enzimas carboidrases surgiram para degradar compostos para os quais as aves não produzem enzimas endógenas, como as xilanases e beta-glucanases, que reduzem os efeitos negativos dos PNA. Também são utilizadas alfa-amilases para potencializar a atuação das amilases endógenas, principalmente em rações para frangos de corte. Para isso, é importante lembrar o conceito da especificidade enzimática, ou seja, a ação das enzimas exógenas será otimizada com base no conhecimento dos substratos presentes nas rações, influenciando sua indicação de uso na prática.

Na produção comercial de frangos de corte, combinações de diferentes tipos de enzimas em complexos multienzimáticos são utilizadas para aumentar a disponibilidade de nutrientes e energia, especialmente com o uso de carboidrases. As carboidrases que degradam PNA, particularmente as xilanases, têm sido utilizadas há muito tempo em dietas para aves. Nesse sentido, as endoxilanases auxiliam na degradação dos arabinoxilanos, hidrolisando a espinha dorsal do xilano. No entanto, múltiplas substituições de arabinose reduzem a eficiência da xilanase, especialmente no milho e seus subprodutos (KNUDSEN, 2014). As arabinofuranosidases podem clivar a arabinose da espinha dorsal da xilose, permitindo melhor acesso à atividade da endoxilanase (COZANNET et al., 2017). Consequentemente, a utilização de enzimas de desramificação é uma maneira eficiente de aumentar o efeito geral de um produto enzimático.

A partir do conhecimento dos carboidratos presentes nas rações e dos benefícios esperados com o uso de carboidrases, os autores deste capítulo realizaram um estudo para avaliar os efeitos da suplementação de um complexo multcarboidrases contendo arabinofuranosidase + endo-1,4- β -xilanase + endo 1,3(4)- β -glucanase (CMC) para frangos de corte. Este projeto foi desenvolvido na UFSM, em parceria com uma agroindústria produtora de aves e uma multinacional que desenvolve e comercializa soluções para nutrição e saúde animal. Foram avaliados frangos de corte de 1 a 42 dias de idade, alimentados

com seis rações experimentais: uma dieta controle com níveis práticos comerciais de energia e nutrientes (Controle Positivo, CP), uma dieta com redução de 60 kcal/kg (Controle Negativo 1, CN1) e outra dieta com redução de 60 kcal/kg e do dobro da recomendação da matriz de aminoácidos do produto (Controle Negativo 2, CN2). Para compor os tratamentos restantes, essas dietas foram suplementadas com o complexo multcarboidrases (50 g/ton).

Até os 14 dias de idade, o ganho de peso (GP) e a conversão alimentar (CA) dos frangos foram similares. Entretanto, no período de 15 a 28 dias de idade, as dietas suplementadas com CMC resultaram em maior GP e melhor CA em comparação aos controles sem enzima. As melhorias na CA foram de 3, 2,7 e 2,4 pontos entre CP e CP+CMC; CN1 e CN1+CMC; e CN2 e CN2+CMC, respectivamente. No período total, a CA melhorou em 3,7 pontos na ração CP+CMC em comparação ao CP, e em 4,6 pontos quando os frangos receberam CN2+CMC em comparação a CN2. O uso de carboidrases melhorou o GP acumulado em 76, 35 e 56 gramas nas rações CP+CMC, CN1+CMC e CN2+CMC, respectivamente (dados da tese de doutorado do Guilherme de Godoy, PPGZ UFSM).

Outro estudo realizado na UFSM avaliou o mesmo produto enzimático para frangos de corte de 1 a 43 dias de idade. O CMC foi utilizado juntamente com uma fitase (1.000 FTU/kg de ração). As dietas experimentais foram: uma dieta controle com níveis comerciais de energia e nutrientes (Controle Positivo, CP) e uma dieta com redução de 5% na EMA, 5% nos aminoácidos digestíveis, 0,16% de cálcio (Ca), 0,17% de fósforo disponível (P disp.) e 0,03% de sódio (Controle Negativo, CN). Para compor os quatro tratamentos, ambos os controles foram suplementados com o complexo multcarboidrase com fitase (CMCP, 100 g/ton). Os frangos que receberam a ração CN+CMCP tiveram maior GP e melhor CA do que os alimentados com o CN. A CA melhorou em ambos os controles com a suplementação de CMCP. Aos 21 dias de idade, a EMA e a digestibilidade ileal da matéria seca (MS), PB, Ca, P, fibra e aminoácidos foram maiores com a utilização de CMCP, demonstrando resultados significativos da utilização de um complexo com arabinofuranosidase, xilanase e glucanase para frangos de corte alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja (dados da tese de doutorado do Guilherme de Godoy, PPGZ UFSM).

Para enfatizar o efeito da fitase, observou-se um maior percentual de cinzas, Ca e P nas tíbias dos frangos, além de maior resistência óssea quando receberam rações suplementadas com CMCP. Demonstrando os efeitos das enzimas como aditivos eubióticos, foi identificada uma maior diversidade de microrganismos no conteúdo ileal das aves, incluindo táxons associados a uma melhor saúde intestinal. Por fim, ao destacar a utilização das enzimas como aditivos sustentáveis, o CMCP resultou na diminuição da emissão de dióxido de carbono equivalente por kg de frango produzido, com uma redução de 3,4% no CP+CMCP e de 9% no CN+CMCP, em comparação ao CP. A ração CN+CMCP também reduziu a excreção de nitrogênio em 24% e a excreção de P em 67%, comparada ao CP. Esses dados serão cada vez mais necessários para garantir uma produção avícola economicamente eficiente e mais sustentável.

2.2. Xilanases

A suplementação de xilanases tem sido cada vez mais utilizada em todo o mundo, com vários produtos comerciais disponíveis para rações de aves. As xilanases podem ter origem em diferentes microrganismos, como bactérias e fungos, o que pode influenciar significativamente seu modo de ação (MOERS et al., 2003). Nesse contexto, as xilanases podem apresentar níveis variáveis de inclusão, diferentes unidades de atividade enzimática, afinidade ao substrato e resistência a inibidores de xilanase. Com o avanço da tecnologia, novas gerações de produtos enzimáticos têm sido desenvolvidas, e diversos efeitos benéficos da suplementação de xilanase podem ser esperados em formulações de ração para frangos de corte.

A xilanase de *Bacillus subtilis* hidrolisa os polímeros de arabinoxilanos (AX) no trato gastrointestinal, gerando produtos que variam conforme os substratos presentes nos ingredientes. Os AX do milho e do farelo de soja não são adequadamente hidrolisados pelas aves devido à falta de enzimas endógenas, o que compromete a digestibilidade dos nutrientes. O AX insolúvel é um dos principais componentes dos PNA no milho e no farelo de soja, sendo um importante fator antinutricional, pois aprisiona nutrientes, tornando-os indisponíveis para digestão e utilização pelas aves. As xilanases bacterianas parecem ter maior afinidade pela fração insolúvel de AX, em comparação às

xilanases de origem fúngica. Assim, os efeitos positivos de uma xilanase bacteriana em dietas à base de milho e farelo de soja podem ocorrer devido à maior degradação do AX insolúvel e à menor inibição da xilanase, aumentando a utilização de nutrientes e energia e reduzindo os agentes causadores de estresse na mucosa do intestino delgado.

Os produtos da digestão liberados pela ação da xilanase podem estimular diferentes processos digestivos e fermentativos em frangos de corte (VANDEPLAS et al., 2009). Os principais efeitos das xilanases bacterianas, que resultam em melhorias na saúde intestinal, digestibilidade de nutrientes e desempenho de crescimento dos frangos de corte, são atribuídos ao aumento da hidrólise e solubilização dos AX da parede celular das plantas, juntamente com a redução do peso molecular desses compostos. As xilanases bacterianas podem liberar oligossacarídeos derivados dos arabinoxilanos, como os oligossacarídeos de arabinoxilano (AXOS), que são mais facilmente fermentados pela microbiota intestinal e podem aumentar a produção de ácidos graxos de cadeia curta (KIARIE et al., 2013). Assim, o efeito benéfico das xilanases bacterianas sobre o equilíbrio da microbiota intestinal seria atribuído a duas ações principais: a redução de nutrientes residuais disponíveis no intestino posterior para o crescimento de bactérias potencialmente patogênicas e o aumento da quantidade de AXOS no intestino, que podem ser utilizados pela microbiota benéfica.

Atualmente, mais atenção tem sido dada à saúde intestinal, e diferentes modelos de desafio intestinal têm sido estudados. A suplementação de aditivos nas dietas de aves tem sido amplamente utilizada com o objetivo de melhorar a saúde intestinal e o desempenho zootécnico. Foi relatado anteriormente que a xilanase de *B. subtilis* melhorou a eficiência alimentar de frangos de corte sob desafio intestinal com *Salmonella* Typhimurium (VANDEPLAS et al., 2009). Esses efeitos foram atribuídos à degradação dos AX e à redução da população de bactérias potencialmente patogênicas devido à eubiose no intestino. Por essa razão, um efeito benéfico adicional da xilanase de *B. subtilis* pode ser esperado na presença de desafios entéricos ou de bactérias patogênicas. Desafios com *Eimeria* spp. e *Clostridium perfringens* demonstraram provocar disbiose intestinal em nossos experimentos anteriores. Nesses ensaios, a redução do

desempenho produtivo dos frangos de corte foi atribuída à alta inflamação intestinal, ao aumento da permeabilidade intestinal e aos danos à mucosa causados por esses desafios e pelas toxinas produzidas, resultando em perdas na homeostase (STEFANELLO et al., 2020; LEE & LILLEHOJ, 2022).

Há escassez de dados avaliando a xilanase de *B. subtilis* suplementada em dietas formuladas com milho e farelo de soja para frangos de corte, assim como seus efeitos quando um desafio intestinal é imposto. Os autores deste material conduziram uma pesquisa na UFSM com o objetivo de avaliar os efeitos de uma endo 1,4- β -xilanase de *B. subtilis* na utilização de nutrientes e energia, saúde intestinal, concentrações de ácidos graxos de cadeia curta no ceco e desempenho de frangos de corte submetidos a um modelo de desafio intestinal com *Eimeria* spp. e *C. perfringens*, alimentados com dietas com redução de energia.

As aves foram distribuídas em três tratamentos com 10 repetições, e as rações experimentais foram: dieta controle (CT); dieta com redução de energia (RE); e T3, dieta com redução de energia suplementada com xilanase de *B. subtilis* (RE+xilanase, 100 g/ton). As reduções de energia foram aplicadas conforme as recomendações da empresa, que é calculada de acordo com os ingredientes e a composição nutricional das rações, e foram 80, 82, 87 e 92 kcal/kg para as fases pré-inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente.

No período total, de 1 e 42 dias de idade, o GP e a CA dos frangos alimentados com a dieta RE+xilanase melhoraram em 5% e 4%, respectivamente, em comparação àqueles alimentados apenas com a dieta RE. A suplementação de xilanase em dietas com energia reduzida neste experimento aumentou a energia digestível ileal (EDI) em 9,1% e 3,9% aos 21 e 42 dias, respectivamente, atingindo níveis semelhantes ao grupo controle. A digestibilidade da MS também melhorou em 8,2% e 4,8% aos 21 e 42 dias, respectivamente, com a suplementação de xilanase. Adicionalmente, aos 42 dias, a digestibilidade da PB foi 2,8% maior nos frangos suplementados com xilanase em comparação àqueles alimentados com a dieta RE. Observou-se também um aumento nas concentrações cecais de ácidos acético, propiônico e butírico aos 21 dias nos frangos alimentados com a dieta suplementada com xilanase. Os frangos alimentados com a dieta RE+xilanase apresentaram melhor

integridade intestinal e maior expressão de mucina no jejuno (dados ainda não publicados).

Em um estudo anterior realizado para o registro e avaliação de uma nova xilanase fúngica para frangos de corte, foram observadas melhorias no desempenho dos frangos associadas a maior digestibilidade dos nutrientes e da eficiência na utilização de energia (STEFANELLO et al., 2017). Estimativas precisas sobre o impacto das xilanases exógenas na digestibilidade de energia são essenciais para ajustar a formulação das dietas, especialmente com a inclusão de diferentes ingredientes. Isso é relevante porque a eficiência na utilização da energia oriunda dos PNA é inferior à eficiência do uso de energia proveniente de gordura, amido ou proteína para o crescimento das aves. Entretanto, a digestibilidade dos PNA contribui para o aumento da EMA, como resposta à suplementação de xilanase em algumas dietas ou fases dos frangos.

Os xilooligossacarídeos liberados durante a degradação dos PNA pelas xilanases exógenas no intestino delgado são fermentados pela microbiota intestinal, e os produtos dessa fermentação são utilizados como substratos geradores de energia para os frangos. Embora os ácidos graxos de cadeia curta resultantes da fermentação tenham algum valor energético para as células intestinais, o pH mais baixo no intestino pode ser ainda mais importante, pois restringe a proliferação de microrganismos indesejáveis, estimula a proliferação de enterócitos e pode mediar o esvaziamento gástrico (LIU et al., 2021). Além disso, se a microbiota intestinal desempenha um papel central no efeito da xilanase exógena, esses benefícios podem se acumular à medida que o microbioma se adapta ao aumento do fornecimento de substratos.

Embora a literatura apresente diversos relatos sobre a eficácia da xilanase ou de misturas enzimáticas à base de xilanase no valor nutricional de dietas à base de milho, há uma lacuna no conhecimento sobre o impacto específico da xilanase em dietas com diferentes fontes de arabinoxilanos, como o milho e o farelo de soja, avaliadas de forma independente. Portanto, mais estudos são necessários para determinar se a xilanase atua predominantemente sobre as fibras do milho ou também sobre os carboidratos contendo arabinoxilanos no farelo de soja. Embora o farelo de soja tenha uma concentração muito baixa de arabinoxilanos, é possível que a hidrólise desses compostos no milho possa

influenciar indiretamente a digestibilidade dos nutrientes no farelo de soja, alterando o pH intestinal, a taxa de passagem e outros fatores digestivos.

Em um estudo anterior, foram avaliados níveis crescentes de uma nova xilanase (0, 50, 100, 150 e 200 unidades de xilanase fúngica/kg, FXU) em rações à base de milho e farelo de soja, ou em rações contendo 60% de substituição da dieta por milho (STEFANELLO et al., 2016). Nesse estudo, observou-se que a EDI, a digestibilidade da PB e da gordura foram maiores nos frangos alimentados com a dieta completa milho-soja, em comparação com as rações contendo maiores proporções de milho (~80%). A digestibilidade da PB e da energia em todas as dietas aumentou com a suplementação de xilanase.

Quando a β -xilanase foi testada em dietas à base de milho e farelo de soja, observou-se que 92 FXU/kg e 124 FXU/kg foram suficientes para maximizar a EDI e a EMA, respectivamente. Entretanto, em dietas com maiores proporções de milho ou com 100% de milho, a máxima resposta de liberação de energia não foi atingida até a inclusão de 200 FXU/kg, sugerindo que atividades enzimáticas maiores de xilanase são necessárias para otimizar os resultados nessas dietas e no milho. Os autores associaram o aumento na utilização de energia com a suplementação de xilanase à melhora na digestão do amido e da gordura do milho, além de uma melhor utilização da proteína do milho e da soja, bem como dos carboidratos provenientes dos componentes da dieta.

2.3. Amilases

Em rações práticas para frangos de corte, além das xilanases, há substratos para outras enzimas exógenas. A combinação entre uma xilanase (100 FXU/kg) e uma amilase (80 kilo-novo unidades de amilase, KNU/kg), ambas monocomponentes, resultou em aumentos de digestibilidade do amido em 3,5% e 2,7% para frangos de corte em duas pesquisas diferentes (STEFANELLO et al., 2015; 2023). O incremento de EMA foi de 99 kcal/kg com a utilização de amilase + xilanase em rações milho-farelo de soja para frangos de corte com 24 dias de idade (STEFANELLO et al., 2023). Finalmente, em uma pesquisa realizada em colaboração com uma agroindústria do Brasil, foi utilizada uma ração com redução de 100 kcal/kg de EMA, e observou-se que a amilase e a

xilanase foram suficientes para compensar a redução de energia e melhorar o GP e a CA dos frangos de corte (STEFANELLO et al., 2017).

Ao avaliar os efeitos de uma amilase, foram reportadas melhorias de 2,2% (STEFANELLO, 2015) e 2,3% (STEFANELLO et al., 2023) na digestibilidade do amido no jejuno de frangos de corte, com incrementos de energia de 70 kcal/kg. Essas pesquisas são importantes porque definem as recomendações práticas de uso de matrizes dessas enzimas em rações para aves, de acordo com os ingredientes da ração e as respostas esperadas, além de auxiliar nas melhorias a serem realizadas para obter melhores produtos enzimáticos, utilizando novas tecnologias e focando em termoestabilidade.

O amido presente nos cereais é quantitativamente a fonte de energia mais importante para aves. Por exemplo, o milho contém mais de 60% de amido, o que contribui para sua alta presença em rações para aves. Estimativas precisas do valor energético do milho são necessárias para que os frangos aproveitem adequadamente este ingrediente na ingestão diária, otimizando os custos econômicos se comparados a fontes de energia mais caras, como a gordura. O preço de mercado do milho influencia o preço das rações, e a produtividade das lavouras de milho varia substancialmente dependendo de vários fatores locais, o que provoca mudanças na composição nutricional e flutuações nos custos de formulação de rações. Portanto, espera-se que o milho cultivado em diferentes áreas geográficas tenha variações em sua capacidade de fornecer energia e nutrientes para as aves.

O amido do milho é bem digerido pelas aves; porém, esse processo não é completo. Em dietas convencionais formuladas com milho e farelo de soja contendo 3.000 kcal/kg de EMA, estima-se que 450 kcal/kg estejam disponíveis para utilização através de enzimas exógenas, das quais até 37% podem vir de amido não digerido (COWIESON et al., 2010). As amilases suplementares são capazes de complementar a secreção endógena, permitindo uma maior degradação do amido. Adicionalmente, na prática comercial, as respostas à suplementação enzimática em rações para frangos variam dependendo de fatores como atividade enzimática, especificidade e interações entre enzimas, qualidade e tipo de ingredientes, concentração de substrato, nível de nutrientes na dieta e idade das aves (STEFANELLO et al., 2015).

Embora os pintinhos se adaptem à utilização de amido logo após a eclosão, o alto consumo de ração dos frangos de corte das genéticas atuais pode gerar uma limitação fisiológica à digestão do amido (SVIHUS, 2014). O trato digestório das aves é considerado pequeno em relação ao crescimento dos animais e à capacidade de consumo de ração; por isso, cada vez mais se discute a necessidade de suplementação de enzimas exógenas que complementem a atuação de enzimas endógenas, como amilases e proteases, bem como as respostas de secreção endógena diante da utilização de enzimas industriais na ração.

A suplementação de α -amilase resultou em melhorias no desempenho de frangos de corte na fase inicial ou em fases posteriores (STEFANELLO et al., 2016; 2017), associadas a maior digestibilidade do amido e de nutrientes. STEFANELLO et al. (2023) compararam a digestibilidade para frangos de corte de milho proveniente do estado do Rio Grande do Sul ou do Mato Grosso e concluíram que a origem do milho afetou a utilização de energia e a digestibilidade de nutrientes, sendo que o milho de melhor qualidade resultou em melhores respostas. Os efeitos das carboidrases liberadoras de energia suplementadas ao milho variaram de acordo com as diferenças de substrato na ração. Quanto à textura do grão, o milho classificado como semiduro apresentou a maior EMA e digestibilidade de extrato etéreo, enquanto o milho semidentado apresentou a maior digestibilidade do amido resistente para frangos. Por esse motivo, a textura do endosperma também pode influenciar os valores energéticos e a digestibilidade dos nutrientes do milho para frangos de corte. Isso demonstra a importância do conhecimento da composição dos ingredientes para um maior aproveitamento através da utilização das enzimas mais favoráveis para cada tipo de dieta.

3. Considerações finais

Os estudos desenvolvidos na UFSM são inovadores e possuem relevância nacional e internacional, trazendo resultados práticos de utilização de enzimas avaliadas por empresas através das demandas das principais agroindústrias do país. Isso contribui para o crescimento e a capacitação dos discentes do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da UFSM.

O uso de enzimas exógenas em dietas para aves é uma realidade em todo o mundo, e isso contribuiu para reduzir os custos de produção e melhorar a eficiência alimentar e o desempenho das aves. Mesmo quando utilizadas em dietas à base de milho e farelo de soja, que são consideradas altamente digestíveis, ainda há margem para melhorar a digestibilidade dos nutrientes e o aproveitamento da energia. Por fim, com o desenvolvimento das enzimas, começamos a obter dados e realizar mais pesquisas avaliando o efeito das carboidrases não apenas nas melhorias de desempenho produtivo, mas também na redução de perdas endógenas, diminuindo fermentações indesejáveis no intestino, modulando a microbiota intestinal, melhorando a saúde intestinal e reduzindo a excreção de nutrientes na natureza.

4. Referências bibliográficas

- CHOCT, M., et al. A comparison of three xylanases on the nutritive value of two wheats for broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v.92, n.1, p.53-61. 2004. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15230987/>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.1079/BJN20041166.
- COWIESON, A., et al. Interactions between xylanase and glucanase in maize-soy-based diets for broilers. **British Poultry Science**, v.51, n.2, p.246-257. 2010. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00071661003789347>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.1080/00071661003789347.
- COZANNET, P., et al. Next-generation non-starch polysaccharide-degrading, multi-carbohydrase complex rich in xylanase and arabinofuranosidase to enhance broiler feed digestibility. **Poultry Science**, v.96, n.8, p.2743-2750. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119314725>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.3382/ps/pex084.
- KIARIE, E., et al. The role of added feed enzymes in promoting gut health in swine and poultry. **Nutrition Research Reviews**, v.26, n.1, p.71-88. 2013. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23639548/>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.1017/s0954422413000048.
- KNUDSEN, B. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. **Poultry Science**. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119323934>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.3382/ps.2014-03902.
- LEE, K. W.; H. S. LILLEHOJ. Role of *Clostridium perfringens* necrotic enteritis B-like toxin in disease pathogenesis. **Vaccines**, v.10, n.1, p.61. 2022.

Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8780507/>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.3390/vaccines10010061.

LIU, L., et al. Biological function of short-chain fatty acids and its regulation on intestinal health of poultry. **Frontiers in Veterinary Science**, v.8, p.736739. 2021. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8558227/>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.3389/fvets.2021.736739.

MOERS, K., et al. A screening method for endo-beta-1,4-xylanase substrate selectivity. **Analytical Biochemistry**, v.319, n.1, p.73-7. 2003. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12842109/>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.1016/s0003-2697(03)00161-1.

STEFANELLO, C., et al. Protected blend of organic acids and essential oils improves growth performance, nutrient digestibility, and intestinal health of broiler chickens undergoing an intestinal challenge. **Frontiers in Veterinary Science**, v.6. 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2019.00491>>. Acesso em: 09/09/2023. doi: 10.3389/fvets.2019.00491.

STEFANELLO, C., et al. Energy and nutrient utilization of broiler chickens fed corn-soybean meal and corn-based diets supplemented with xylanase. **Poultry Science**, v.95, n.8, p.1881-7. 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26976897>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.3382/ps/pew070.

STEFANELLO, C., et al. Effects of energy, α -amylase, and β -xylanase on growth performance of broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, v.225, p.205-212. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840116303820?via%3Dihub>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.01.019.

STEFANELLO, C., et al. Research Note: Corn energy and nutrient utilization by broilers as affected by geographic areas and carbohydrases. **Poultry Science**, v.102, n.2, p.102366. 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579122006605>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.1016/j.psj.2022.102366.

STEFANELLO, C., et al. Starch digestibility, energy utilization, and growth performance of broilers fed corn-soybean basal diets supplemented with enzymes. **Poultry Science**, v.94, n.10, p.2472-2479. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911931956X?via%3Dihub>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.3382/ps/pev244.

SVIHUS, B. Function of the digestive system. **Journal of Applied Poultry Research**, v.23, n.2, p.306-314. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617119303939>>. Acesso em: 09/09/2023. doi: 10.3382/japr.2014-00937.

VANDEPLAS, S., et al. Efficiency of a *Lactobacillus plantarum*-xylanase combination on growth performances, microflora populations, and nutrient digestibilities of broilers infected with *Salmonella* Typhimurium. **Poultry Science**, v.88, n.8, p.1643-54. 2009. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19590080/>>. Acesso em: 10/10/2024. doi: 10.3382/ps.2008-00479.

Autores

Catarina Stefanello, Guilherme L. de Godoy, Yuri K. Dalmoro, Eduarda A. Taschetto, Valéria Biselo, Natielli S. Witt

Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.