

CAPÍTULO 1

Colina: um nutriente essencial para as aves

Catarina Stefanello, Eduarda A. Taschetto, Guilherme L. de Godoy, Fábio Luís Gazoni, Valéria Biselo, Natielli S. Witt

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-39-8.c1>

Resumo

A colina é um nutriente essencial para aves, com funções importantes no metabolismo lipídico, na integridade celular, na saúde hepática, no desenvolvimento ósseo e na síntese de neurotransmissores. Dietas à base de milho e farelo de soja não suprem completamente as exigências nutricionais de colina para aves, sendo necessária a suplementação. A fonte sintética que é considerada padrão é o cloreto de colina líquido ou pó, porém essa forma apresenta limitações tecnológicas e menor biodisponibilidade. Em contrapartida, fontes de colina de origem vegetal, especialmente extratos ricos em fosfatidilcolina, já têm sido amplamente utilizadas e têm se mostrado mais eficazes, promovendo melhor desempenho zootécnico, menor acúmulo de gordura no fígado e maior estabilidade nas formulações. A escolha da fonte e do nível de inclusão de colina deve considerar a composição da dieta, a biodisponibilidade da fonte, as exigências de cada ave e os fatores fisiológicos. Pesquisas recentes indicam que o uso estratégico de colina herbal pode melhorar o desempenho produtivo e a saúde hepática de frangos de corte por ser mais biodisponível. Neste capítulo é abordada a importância da colina para aves e o uso estratégico de colina herbal com foco na produção de frangos de corte.

Palavras-chave: biodisponibilidade, colina herbal, desempenho zootécnico, frango.

1. Introdução

A colina é um nutriente indispensável para as aves e desempenha funções importantes no desenvolvimento ósseo, na saúde hepática e no metabolismo de lipídios e proteínas. É essencial para a maturação da matriz de cartilagem nos

ossos e para a síntese de fosfatidilcolina, sendo componente das membranas celulares e lipoproteínas (Mcdowell, 2008). A colina facilita a absorção e o metabolismo de gorduras, transportando e exportando triglicerídeos do fígado, prevenindo assim a síndrome do fígado gorduroso em frangos e atuando como agente lipotrópico (Selvam *et al.*, 2018). Adicionalmente, serve como precursor da acetilcolina, protege as células contra o estresse oxidativo e atua como doador de grupo metil, convertendo-se em metionina através da via de transmetilação no fígado (Wen *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2021).

É conhecido que as aves só sintetizam colina após 13 semanas de idade (Mcdowell, 2008); portanto, a colina é um nutriente necessário especialmente para frangos de corte e deve ser fornecida através da ração. O conteúdo colina total nos ingredientes da ração está em diferentes formas, que podem ser livres ou ligadas, incluindo fosfatidilcolina, fosfocolina, glicerofosfocolina e esfingomielina (Zeisel, 2009). A concentração de colina nos ingredientes também é variável, apresenta biodisponibilidade limitada e muitas vezes é difícil de analisar. A fosfatidilcolina consiste em uma molécula de colina ligada ao glicerol, unida a dois ácidos graxos e um grupo fosfato. Representa a forma primária de colina em materiais de origem animal ou vegetal. Embora relacionadas, às formas de colina e fosfatidilcolina diferem em estrutura e funções (Kanno *et al.*, 2007). Portanto, definir a fonte ótima e o nível de inclusão de colina requer conhecimentos sobre composição dos ingredientes, dos níveis de energia e nutrientes da dieta, da genética e das condições ambientais (NRC, 1994; Farina *et al.*, 2017).

O cloreto de colina em suas formas líquida ou pó é considerado a fonte padrão de colina para uso na avicultura; entretanto, fontes de colina de origem herbal ou vegetal têm sido cada vez mais utilizadas e avaliadas nos últimos anos. Esse uso está embasado na maior bioequivalência das fontes de origem vegetal, com melhores resultados de desempenho produtivo e saúde hepática das aves, além da facilidade de mistura (se comparadas ao cloreto de colina em pó) e da redução dos custos com transporte e armazenamento.

Dessa forma, existem novas fontes de colina que vem sendo disponibilizadas no mercado, o que indica que mais pesquisas devem ser realizadas para determinar a biodisponibilidade de novos produtos comerciais

para uso em rações para aves. A seguir, são apresentados resultados de pesquisas aplicadas realizadas pelo AvePRO (Grupo de Estudos em Nutrição e Produção de Aves) da UFSM, além de uma descrição sobre as funções da colina e da fosfatidilcolina para as aves, suas fontes e os contextos de aplicabilidade para frangos de corte.

2. Principais funções da colina para as aves comerciais

A colina é um nutriente essencial para aves, podendo estar presente em diferentes formas nos alimentos, sendo as mais relevantes a colina total e a fosfatidilcolina. Embora estejam metabolicamente relacionadas, essas formas apresentam diferenças importantes em estrutura química, biodisponibilidade e funções fisiológicas. A colina total refere-se à soma de todas as formas de colina presentes nos ingredientes, incluindo a colina livre e aquela ligada a outras moléculas, como fosfatidilcolina, fosfocolina, glicerofosfocolina, entre outras (Zeisel, 2009). Essas diferentes formas ocorrem em proporções variadas nos alimentos de origem vegetal e animal além de apresentarem diferente disponibilidade para as aves. No entanto, a quantificação precisa da colina total é desafiadora, pois requer processos laboratoriais de hidrólise das moléculas complexas, o que pode gerar variações nos resultados analíticos.

Entre essas formas, a fosfatidilcolina se destaca por sua relevância funcional e por sua maior biodisponibilidade. Estruturalmente, trata-se de um fosfolipídio composto por uma molécula de colina ligada a um grupo fosfato, a um glicerol e a dois ácidos graxos, estando presente principalmente nas membranas celulares e nas lipoproteínas. Essa estrutura confere à fosfatidilcolina uma grande importância na manutenção da integridade, fluidez e estabilidade das membranas celulares, influenciando diretamente a sinalização intracelular, o transporte de nutrientes e o funcionamento de receptores de membrana. Em frangos de corte, especialmente em fases de rápido crescimento, essa função estrutural é essencial para o desenvolvimento e regeneração celular.

A fosfatidilcolina desempenha papel central no metabolismo lipídico, sendo fundamental para a formação e secreção de lipoproteínas de muito baixa

densidade (VLDL) no fígado. A adequada produção de VLDL é necessária para o transporte de triglicerídeos do fígado para os tecidos periféricos, prevenindo o acúmulo de gordura hepática — condição comumente observada em aves sob estresse metabólico. Portanto, o fornecimento adequado de fosfatidilcolina na dieta pode auxiliar na prevenção da esteatose hepática e melhorar o desempenho zootécnico. Outro aspecto importante é sua contribuição para a proteção celular frente ao estresse oxidativo, uma vez que a maior integridade de membranas promovida pela fosfatidilcolina reduz os danos causados por radicais livres. Isso confere maior resiliência metabólica às aves, especialmente em situações desafiadoras, como altas temperaturas, infecções ou exposição a micotoxinas (Mcdowell, 2008).

Do ponto de vista prático, ingredientes com alto teor de fosfatidilcolina são considerados fontes superiores de colina, por apresentarem maior concentração da molécula ativa por unidade de massa e por liberarem colina de forma mais eficiente no organismo. Por isso, sua inclusão em dietas comerciais deve considerar fatores como estabilidade, absorção intestinal, custo-benefício e exigência fisiológica das aves. Em contextos de elevado desafio fisiológico, como crescimento acelerado, transição alimentar, estresse por calor ou quadros inflamatórios, o uso de fontes ricas em fosfatidilcolina pode contribuir significativamente para a saúde hepática, a eficiência produtiva e o bem-estar das aves.

Em termos gerais, a colina desempenha múltiplas funções metabólicas e estruturais fundamentais para o crescimento e a saúde dos animais. Abaixo, são brevemente relatadas as suas principais funções para as aves:

a) Síntese de fosfatidilcolina: é precursora da fosfatidilcolina, um dos principais componentes das membranas celulares e das lipoproteínas, sendo essencial para a integridade estrutural das células e para o transporte de lipídeos;

b) Transporte e metabolismo de gorduras: facilita o metabolismo lipídico ao participar da formação de lipoproteínas, que transportam gorduras no organismo das aves, evitando seu acúmulo em tecidos onde isso não é desejável;

c) Prevenção de fígado gorduroso: uma das funções mais conhecidas da colina é sua capacidade de prevenir a esteatose hepática (fígado gorduroso), ao auxiliar na exportação de triglicerídeos do fígado para a corrente sanguínea. Em termos práticos, além da saúde hepática, pode estar relacionada com a coloração do fígado e como consequência, maiores condenações de fígados em frigoríficos;

d) Síntese de acetilcolina: é precursora da acetilcolina, um importante neurotransmissor envolvido em funções neuromusculares, essenciais para o comportamento, locomoção e função intestinal das aves;

e) Metabolismo da metionina: atua como doadora de grupos metil no metabolismo da metionina, participando da metilação de compostos importantes no organismo, o que impacta o crescimento e o desenvolvimento celular;

f) Desenvolvimento ósseo: está envolvida na formação e mineralização óssea, contribuindo para o adequado desenvolvimento do esqueleto das aves. Possibilita melhor formação de cartilagens e ossos, o que é necessário para uma locomoção normal e indispensável para o consumo de ração, de água e o crescimento das aves.

3. Fontes de colina em rações para aves

As diferentes fontes de colina podem ser utilizadas como ingredientes com matriz nutricional, ou suplementadas diretamente nas rações, ou via premix. Quando estamos abordando nutrientes essenciais, há um interesse crescente em reavaliar as exigências de colina para aves, uma vez que níveis dietéticos elevados de colina têm sido associados a melhorias no desempenho produtivo. No entanto, a maioria dos estudos que avaliaram as exigências de colina foram realizados há várias décadas (Pesti *et al.*, 1980; Baker *et al.*, 1983). As diretrizes do NRC (NRC, 1994) recomendaram 1.300 mg/kg de colina total para frangos até 21 dias e 1.000 mg/kg dos 22 aos 42 dias de idade. Uma pesquisa mais recente, de Pompeu *et al.* (2013), relatou melhora na conversão alimentar em frangos de 21 dias alimentados com uma dieta basal contendo 1.357 mg/kg de colina total suplementada com 400 mg/kg de cloreto de colina 60%.

Mais recentemente, as exigências de colina de frangos de corte de genéticas atuais com alto rendimento foram atualizadas para garantir a ingestão adequada e o desempenho otimizado. A Cobb-Vantress (2022) recomendou 500, 400 e 350 mg/kg de cloreto de colina para as fases inicial, crescimento e final, respectivamente, enquanto a Aviagen (2022) sugeriu níveis totais de colina de 1.700, 1.600 e 1.500 mg/kg para essas mesmas fases. Com base nas recomendações atuais, dietas à base de milho e farelo de soja não atendem as exigências de colina para crescimento normal, sendo necessária a suplementação ou inclusão de fontes de colina nas dietas. Portanto, ao definir a fonte ideal de colina e os níveis de inclusão nas formulações de rações para aves, fatores como a composição dos ingredientes, os níveis de energia e nutrientes da dieta, os tipos de ingredientes em uma ração e seus níveis, a fase alimentar, a genética e as condições ambientais devem ser cuidadosamente considerados.

A quantidade de colina e sua disponibilidade nos ingredientes são variáveis. Nossas amostras na UFSM mostraram valores analisados de 166, 242 e 2.310 mg/kg de colina total em glúten de milho, quirera de arroz e farelo de soja, respectivamente. As tabelas do NRC suínos (NRC, 2012) trazem valores de colina total para ingredientes em que são descritos: 330, 1.003 e 2.710 mg/kg de colina total em glúten de milho, quirera de arroz e farelo de soja, respectivamente. Os valores de colina no milho, trigo, farelo de trigo e proteína isolada de soja foram: 620, 778, 1.232, 1.318 mg/kg, respectivamente. Dietas à base de milho e farelo de soja não geram deficiências severas em colina, mas também não atendem completamente às exigências nutricionais de colina, necessitando inclusão ou suplementação.

Na determinação das exigências nutricionais e também para comparações entre fontes de colina, é importante analisar a concentração total de colina nas dietas-controle para garantir que elas sejam formuladas com níveis deficientes do nutriente testado. Isso permite avaliar o efeito da inclusão de níveis crescentes de colina nas dietas para os frangos de corte. Quando fontes de colina são comparadas, níveis marginais de colina devem ser testados para que seja possível observar os efeitos dos níveis crescentes de cada fonte de colina, além da avaliação do teor de fosfatidilcolina em uma fonte de colina herbal

que é indispensável para esses estudos. As rações não devem ser totalmente deficientes em colina para permitir que os frangos apresentem taxas de crescimento mais próximas ao padrão esperado. Os valores calculados de colina devem ser considerados e as rações devem ser analisadas para conhecimento das concentrações de colina total.

O cloreto de colina é a fonte padrão de colina nas rações para aves; no entanto, fontes de colina de origem herbal têm sido utilizadas em todo o mundo. No Brasil, a maioria das fontes de colina utilizadas nas agroindústrias já é composta por colina herbal. Isso se deve porque o uso de cloreto de colina como ingrediente é desafiador devido à sua alta higroscopicidade, dificuldade em alcançar uma mistura uniforme na ração, teor de cloreto e interações com vitaminas que podem levar à oxidação das vitaminas (Dias *et al.*, 2023). Adicionalmente, como ingrediente sintético, o cloreto de colina está menos alinhado com as práticas sustentáveis atuais e demonstrou menor biodisponibilidade em comparação com fontes alternativas (Farina *et al.*, 2017). Consequentemente, o cloreto de colina exige níveis de inclusão mais elevados nas formulações de ração para atender as exigências nutricionais, aumentando assim as demandas logísticas relacionadas ao transporte e armazenamento.

Fontes herbais de colina oferecem outra forma de colina para dietas de aves, e os produtos comerciais são extratos derivados comumente de plantas como *Citrullus colocynthis*, *Achyranthes aspera* e *Andrographis paniculata*. Esses produtos naturais, ricos em fosfatidilcolina, que é mais prontamente absorvida, contêm altos níveis de colina esterificada, e mostraram maior biodisponibilidade, melhor desempenho e menor conteúdo de gordura no fígado de frangos de corte (Calderano *et al.*, 2015; Farina *et al.*, 2017; Khose *et al.*, 2019).

4. Resultados relevantes da utilização de fontes de colina e sua aplicabilidade

Na nossa pesquisa realizada na UFSM, foram avaliados níveis crescentes de cloreto de colina 60% (0, 200, 400 e 600 mg/kg) e de uma nova fonte comercial de colina herbal (0, 100, 200 e 300 mg/kg). As dietas foram formuladas

com farelo de soja, quirera de arroz e glúten de milho como ingredientes principais, em níveis de colina total analisada de 1.010 e 1.020 mg/kg na ração inicial (1 a 14 dias) e crescimento (14 a 34 dias), respectivamente. Foram avaliados os efeitos de ambas as fontes sobre desempenho produtivo de frangos de corte até 34 dias de idade, além de avaliações em rendimento de carcaça, locomoção das aves e características do fígado. Para determinar a bioequivalência da colina herbal (fonte alternativa) em relação ao cloreto de colina (fonte padrão) foram estimadas equações de regressão para os coeficientes angulares (Taschetto *et al.*, 2025).

Observou-se que a colina herbal apresentou maior bioequivalência do que o cloreto de colina. Valores de bioequivalência de 2,88 e 3,34 foram obtidos para o ganho de peso (GP) de 1 a 21 dias e de 1 a 28 dias, respectivamente. Na conversão alimentar (CA), os valores de bioequivalência foram de 2,23 e 2,88 para os períodos de 1 a 21 dias e de 1 a 28 dias, respectivamente. No período total, a bioequivalência para o GP foi de 2,43, enquanto para a CA foi de 2,30 (Taschetto *et al.*, 2025).

Como essa é uma fonte nova de colina que foi registrada para o mercado brasileiro, nenhuma pesquisa anterior avaliou este produto comercial em aves no Brasil. Portanto, nossos achados foram comparados a outros produtos de colina comercializados, provenientes de extratos herbais semelhantes. Farina *et al.* (2017) conduziram um estudo semelhante em que frangos foram alimentados até os 28 dias com uma dieta controle contendo quirera de arroz, farelo de soja e glúten de milho para determinar a bioequivalência de uma outra fonte de colina herbal em relação ao cloreto de colina. Com base na melhora da CA entre os dias 15 e 28 dias, os autores concluíram que a equivalência calculada da colina herbal em relação ao cloreto de colina foi de 1:2,52, sendo que o produto testado possuía fosfatidilcolina extraída principalmente de *Achyranthus aspera*, *Azadirachta indica*, *Citrullus colocynthis* e *Trachyspermum amni*.

A inclusão adequada de colina previne perose e condrodisplasia ao atuar na proliferação de condrócitos e no alongamento ósseo (Wen *et al.*, 2016). Muitas vezes, os problemas de locomoção e de patas em aves são atribuídos a outros fatores nutricionais ou a fatores exclusivamente genéticos, porém sabendo da importância da colina no metabolismo ósseo, seus efeitos passaram

a ser cada vez mais considerados. Desvios nas pernas como valgo e varo, pior *gait score* (escore de marcha) e incidência de perose são condições que podem estar relacionadas com a baixa oferta de colina nas dietas, especialmente para frangos de corte. Consequentemente, pode influenciar a mobilidade, o consumo de ração, o desempenho produtivo e também o bem-estar das aves.

Em nosso experimento, foi observado que em frangos de corte aos 34 dias de idade, o escore de locomoção foi influenciado pela colina dietética, sendo o pior escore observado no grupo controle (sem colina suplementar) e os melhores escores registrados em frangos alimentados com 200 e 300 mg/kg de colina herbal ou 400 mg/kg de cloreto de colina. O escore de marcha também aumentou de 28 para 34 dias, em que escores maiores são indicativos de pior locomoção. Embora os escores de locomoção tenham sido, no geral, baixos e dentro da faixa normal, a suplementação de colina na dieta melhorou a locomoção dos frangos tanto aos 28 quanto aos 34 dias (Taschetto *et al.*, 2025).

A função hepática também tem sido associada com o consumo de níveis adequados de colina, em nosso experimento, o teor de gordura hepática diminuiu com a suplementação de 200 e 300 mg/kg de colina herbal, o que foi associado a um aumento da coloração vermelha do fígado. Foram necessárias quantidades mais altas de cloreto de colina, especificamente 600 mg/kg, para alcançar uma redução semelhante no percentual de gordura. Fígado com coloração mais vermelha, pode ser indicativo de menor % de gordura e também de melhor saúde. A coloração do fígado pode ser alterada por outros fatores como deficiências nutricionais, altos percentuais de gordura nas rações, jejum pré-abate, ingestão de aflatoxinas em rações, infecções bacterianas ou virais, estresse térmico, entre outros. Em termos práticos, fígados com coloração mais amarela (mais pálida) e menos vermelha poderão ser condenados pelo serviço veterinário de inspeção em abatedouros, causando perdas econômicas.

Avaliando colina herbal de outras fontes, estudos anteriores também observaram redução no conteúdo lipídico hepático devido ao seu efeito lipotrópico (Selvam *et al.*, 2018). Assim, a colina é amplamente conhecida como agente lipotrópico, promovendo a utilização de gordura e facilitando a remoção da gordura hepática na forma de lipoproteínas, direcionando-a para tecidos extra-hepáticos (Kettunen *et al.*, 2001). Fontes de fosfatidilcolina aumentam a

absorção de colina e melhoram a função hepática, potencialmente levando a melhor GP e CA, à medida que o excesso de energia proveniente da gordura é redirecionado para o acúmulo de proteína muscular em vez da síntese de gordura corporal.

5. Considerações finais

Após a determinação da bioequivalência de uma fonte de colina em relação ao cloreto de colina, observou-se que a colina herbal é uma alternativa viável ao cloreto de colina em dietas para frangos de corte. Níveis crescentes de colina herbal promoveram melhorias no ganho de peso e na conversão alimentar, intensificaram a coloração do fígado, reduziram o teor de gordura hepática e diminuíram os problemas locomotores nas aves.

Os estudos desenvolvidos pelo AvePRO na UFSM são tecnicamente importantes e práticos pois conectam ciência e pesquisa com a aplicabilidade prática da nutrição de aves em um contexto nacional e global. Estas avaliações atendem as demandas de empresas, de nutricionistas, consultores e principalmente das agroindústrias e cooperativas do país. Isso contribui para o crescimento e a manutenção da qualidade da produção de aves e contribui para a formação e o desenvolvimento dos discentes do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da UFSM.

6. Referências bibliográficas

- AVIAGEN. 2022. Ross broiler nutrition specifications. **Aviagem**, Huntsville, AL.
- BAKER, H. David *et al.* The choline-methionine interrelationship for growth of the chick. **Poult. Sci.** 62:133–137, 1983. <https://doi.org/10.3382/ps.0620133>.
- CALDERANO, A. Arele *et al.* Replacement of choline chloride by a vegetal source of choline in diets for broilers. **Cienc. Anim. Bras.** 16:37–44, 2015. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v16i127404>.
- COBB-VANTRESS. Cobb500 broiler management supplement. **Cobb-Vantress**, Siloam Springs, AR, 2022.
- DIAS, G. F Allan. *et al.* Effects of herbal choline as a replacement for choline chloride on myopathy, locomotor system, and hepatic health of broilers. **Rev. Bras. Zootec.** 52:20220177, 2023. <https://doi.org/10.37496/rbz5220220177>.

- FARINA, Giovani. *et al.* Performance of broilers fed different dietary choline sources and levels. **Ciência Animal Brasileira**. 18:1–14, 2017. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v18e-37633>.
- KANNO, Keishi. *et al.* Structure and function of phosphatidylcholine transfer protein (PC-TP)/StarD2. **Biochim. Biophys. Acta**. 12;1771(6):654–662, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.bbailip.2007.04.003>.
- KETTUNEN, Hannele *et al.* Intestinal uptake of betaine in vitro and the distribution of methyl groups from betaine, choline, and methionine in the body of broiler chicks. **Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.** 128:269–278, 2001. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(00\)00301-9](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(00)00301-9).
- KHOSE, Kakasaheb *et al.* Replacement of synthetic choline chloride by herbal choline in diets on liver function enzymes, carcass traits, and economics of broilers. **J. Anim. Res.** 9:87–93, 2019. <https://doi.org/10.30954/2277-940X.01.2019.12>.
- MCDOWELL, L. R. Vitamins in animal and human nutrition. **2nd ed. Iowa State University Press, Ames, IA**. 2018. Disponível em: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Produccion_Animal/Vitamins_in_Animal_and_Human_Nutrition.pdf
- NRC. Nutrient requirements of poultry. **9th rev. ed. Natl. Acad. Press**, Washington, DC. 1994.
- NRC. Nutrient requirements of swine. **11th rev. ed. Natl. Acad. Press**, Washington, DC. 2012.
- PESTI, G.M., A. E. HARPER, and M. L. SUNDE. Choline/methionine nutrition of starting broiler chicks: three models for estimating the choline requirement with economic considerations. 1980. **Poult. Sci.** 59:1073–1081. <https://doi.org/10.3382/ps.0591073>.
- POMPEU, M. A. *et al.* Suplementação de colina em dietas para frangos de corte machos em fase de crescimento. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 65:1836–1842, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000600035>.
- SELVAN, Ramasamy *et al.* Evaluation of polyherbal formulation and synthetic choline chloride on choline deficiency model in broilers: implications on zootechnical parameters, serum biochemistry and liver histopathology. Asian-Australas. **J. Anim. Sci.** 31:1795–1806, 2018. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0018>.
- TASCHETTO, A. Eduarda. Bioequivalence of a commercial polyherbal choline for replacement of choline chloride for broiler chickens. **J. Appl. Poult. Res.** 34:100347, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2025.100571>.
- WEN, Z. G. *et al.* Effects of dietary methionine levels on choline requirements of starter white Pekin ducks. Asian-Australas. **J. Anim. Sci.** 29:1742–1747, 2016. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0729>.

YANG, Min *et al.* Choline attenuates heat stress-induced oxidative injury and apoptosis in bovine mammary epithelial cells by modulating PERK/Nrf-2 signaling pathway. **Mol. Immunol.** 135:388–397, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2021.05.002>.

ZEISEL, H. Steven. Importance of methyl donors during reproduction. **Am. J. Clin. Nutr.** 89:673–677, 2009. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26811D>.

Autores

Catarina Stefanello, Eduarda A. Taschetto, Guilherme L. de Godoy, Fábio Luís Gazoni, Valéria Biselo, Natielli S. Witt

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