

## Vitaminas para bovinos de corte

*Sebastião de Campos Valadares Filho, Dhones Rodrigues de Andrade, Júlia Travassos da Silva, Flávia Adriane de Sales Silva, Luciana Navajas Rennó, Mario Fonseca Paulino*

### INTRODUÇÃO

As vitaminas são importantes catalisadores metabólicos utilizados em dietas de animais de produção (Ball, 2006). Classificadas como micronutrientes, as vitaminas são exigidas em quantidades muito pequenas nas dietas de bovinos de corte. No entanto, são fundamentais para atender as demandas relacionadas aos processos imune (saúde), de crescimento e reprodução (McDowell, 2000). Além disso, as vitaminas são necessárias para o metabolismo de outros nutrientes, como carboidratos e proteínas. Assim, as vitaminas devem estar presentes nas dietas em quantidades adequadas.

A suplementação vitamínica, comumente incorporada aos suplementos minerais, pode contribuir para um maior desempenho de bovinos de corte em sistemas intensivos de produção, onde as exigências metabólicas podem ser aumentadas. Além disso, as vitaminas ajudam a prevenir doenças e a manter a saúde dos animais (Spears e Weiss, 2014).

As vitaminas estão disponíveis principalmente nos tecidos vegetais, como provitaminas. Nos bovinos, ocorrem devido ao seu consumo ou produção por microrganismos do trato digestivo (Berchielli et al., 2006). As vitaminas são classificadas de acordo com sua solubilidade em lipídios e solventes orgânicos como lipossolúveis (A, D, E e K) ou em água como hidrossolúveis (ácido pantotênico, biotina, tiamina, niacina, riboflavina e cianocobalamina).

De acordo com Acedo et al. (2018), apenas 69 artigos foram publicados no *Journal of Animal Science* avaliando as vitaminas A, D e E para bovinos de corte nos últimos 83 anos. Esses artigos representaram apenas 0,16% do total de publicações dessa revista. Além disso, as recomendações disponíveis na literatura sobre nutrição vitamínica de bovinos de corte são, em sua maioria, de estudos desenvolvidos entre as décadas de 1960 e 1980. Considerando

o melhoramento genético e as mudanças nas exigências de energia e proteína ao longo do tempo, pode ser necessário ajustar as recomendações atuais sobre suplementação vitamínica para bovinos de corte. Assim, ainda são necessários mais estudos sobre a suplementação vitamínica de bovinos de corte.

Estudos avaliando os efeitos da suplementação vitamínica sobre o desempenho produtivo de bovinos de corte em condições brasileiras são escassos. Nos últimos 27 anos no Brasil, apenas dois artigos foram publicados avaliando a suplementação vitamínica para bovinos leiteiros, nos quais foi testada a inclusão de vitaminas individuais (Acedo et al., 2018). Assim, devido à escassez de dados sobre suplementação vitamínica para ruminantes, o uso de referências de estudos com animais não ruminantes e humanos são, em alguns casos, inevitáveis. Portanto, objetivou-se com esse capítulo discutir os principais aspectos relacionados à suplementação de vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis para bovinos de corte. Posteriormente, são apresentados dois estudos avaliando os efeitos da suplementação vitamínica sobre o desempenho produtivo, fisiologia e metabolismo de bovinos confinados criados em condições brasileiras.

### VITAMINAS HIDROSSOLÚVEIS

As vitaminas hidrossolúveis são encontradas principalmente nos tecidos vegetais. No entanto, a microbiota ruminal pode sintetizar e fornecer vitaminas hidrossolúveis para ruminantes. Além disso, as vitaminas hidrossolúveis geralmente não são armazenadas no corpo do animal em grandes quantidades e devem ser fornecidas diariamente. No entanto, as exigências de vitaminas hidrossolúveis não foram estabelecidas para bovinos de corte. O não estabelecimento dos níveis de suplementação pode ser atribuído principalmente ao fato de que quantidades adequadas de vitaminas hidrossolúveis são supridas pela síntese

bacteriana ruminal na maioria das situações alimentares (NASEM, 2016). Além disso, os ruminantes são capazes de produzir sua própria vitamina C (NASEM, 2016).

As vitaminas hidrossolúveis, especialmente tiamina (vitamina B<sub>1</sub>), niacina (vitamina B<sub>3</sub>) e biotina (vitamina B<sub>7</sub>) desempenham papéis importantes como coenzimas no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios. Essas vitaminas promovem maior síntese proteica pelos microrganismos ruminais (vitamina B<sub>3</sub>), são responsáveis pela carboxilação enzimática de cetoácidos no ciclo do ácido tricarbóxico (vitamina B<sub>1</sub>) e desempenham papel relevante no metabolismo da glicose (vitamina B<sub>7</sub>; NASEM, 2016). Além disso, a niacina atua na conversão hepática de amônia em uréia, bem como no metabolismo hepático de corpos cetônicos.

Em geral, as vitaminas do complexo B apresentam características funcionais semelhantes e atuam de forma sinérgica. A síntese de vitaminas do complexo B em ruminantes é influenciada pelo tipo de dieta; no entanto, modificações consideráveis na dieta podem ocorrer sem causar nenhum sinal de deficiência (NASEM, 2016). A deficiência de vitaminas do complexo B em ruminantes é geralmente limitada a animais jovens que ainda não completaram o desenvolvimento ruminal. A deficiência também pode ocorrer quando antagonistas de vitaminas estão presentes no rúmen ou quando a síntese ruminal é limitada pela ausência de precursores. Uma breve descrição das principais vitaminas hidrossolúveis para bovinos de corte será apresentada a seguir. Informações adicionais podem ser obtidas nos estudos listados na seção de referências no final deste capítulo.

### ***Tiamina (Vitamina B<sub>1</sub>)***

A tiamina é amplamente distribuída em tecidos vegetais e animais. Nos tecidos animais, ocorre como pirofosfato de tiamina (Ball, 2004), que contém um anel pirimidina (2,5-dimetil-6-aminopirimidina) e um anel tiazol (4-metil-5-hidroxi etil tiazol) ligados por uma ponte metil (Aragón, 2018).

A deficiência de tiamina em ruminantes é rara. No entanto, a deficiência de

vitamina B<sub>1</sub> pode causar fraqueza, cabeça retraída e arritmia cardíaca, assim como outras vitaminas hidrossolúveis. Assim, deficiências de vitaminas hidrossolúveis podem resultar em anorexia, diarreia e redução do crescimento animal (NASEM, 2016).

A tiamina desempenha um papel central no fornecimento de energia ao animal, principalmente no metabolismo de carboidratos (Rodwell et al., 2015). O pirofosfato de tiamina é a coenzima de três importantes complexos enzimáticos, que estão envolvidos nas principais etapas de descarboxilação no metabolismo de carboidratos: piruvato desidrogenase (glicólise), transcetolase (via das pentoses fosfato) e  $\alpha$ -cetoglutarato desidrogenase (via do ciclo do ácido cítrico; Cunha et al., 2006). Portanto, o fornecimento incorreto de tiamina pode prejudicar o fornecimento de energia em todos os tecidos dos bovinos.

Embora os ruminantes geralmente sintetizem vitamina B<sub>1</sub> em quantidades adequadas (Miller et al., 1986), deficiência de tiamina em ovinos e bovinos relacionada à sua degradação aumentada pela tiaminase e diminuição da síntese microbiana de tiamina devido à ocorrência de acidose ruminal foi relatada na literatura (Brent, 1976; Pan et al., 2016). A produção de análogos de tiamina pela tiaminase (tiaminase I, principalmente) em bovinos alimentados com dietas a base de grãos pode induzir distúrbios do sistema nervoso central, como a polioencefalomalácia (PEM), que clinicamente é um amolecimento ou degeneração da substância cinzenta do cérebro (Brent et al., 1984).

Além disso, alguns compostos sintéticos (piritiamina e oxitiamina) são considerados antagonistas da tiamina, pois apresentam composição semelhante e atuam como inibidores (competitivos) da tiamina, interferindo em diferentes etapas do metabolismo animal (González e Silva, 2019).

Estudos recentes demonstraram efeitos positivos da suplementação de tiamina no transporte epitelial no rúmen e redução da inflamação induzida por dietas ricas em grãos em vacas leiteiras de alta produção e bovinos de corte em terminação (Karapinar et al., 2010; Pan et al., 2017; Aschenbach et al., 2019). Em um estudo realizado por Pan et al. (2016), a suplementação de tiamina para bovinos

alimentados com dietas ricas em grãos melhorou o pH ruminal e diminuiu as concentrações de lactato ruminal. Além disso, os autores afirmaram que a suplementação de tiamina foi capaz de regular a população microbiana ruminal em vacas com acidose ruminal subaguda (SARA), através da redução da população de *Streptococcus bovis* e do estímulo ao crescimento de *Megasphaera elsdenii*.

Na maioria dos casos, os estudos disponíveis avaliaram a suplementação de vitaminas hidrossolúveis combinadas na forma de *blends*, compostos principalmente por tiamina (vitamina B<sub>1</sub>), niacina (vitamina B<sub>3</sub>) e/ou biotina (vitamina B<sub>7</sub>; Zinn et al., 1987; Ebtehag et al., 2016; Aragón, 2018). Dessa forma, os efeitos da suplementação de vitaminas hidrossolúveis sobre o desempenho produtivo de ruminantes serão discutidos de forma conjunta (*blends*) ao invés da suplementação individual em muitas seções deste capítulo.

Melhores ganho médio diário (GMD) e ganho total de peso corporal (PC) foram observados para búfalos em terminação suplementados com vitaminas B<sub>3</sub> e/ou B<sub>1</sub> (Ebtehag et al., 2016). Os autores deste estudo relataram que os animais suplementados com niacina (0,992 kg/dia de GMD; ganho total de PC de 119 kg), tiamina (0,963 kg/dia de GMD; ganho total de PC de 115,6 kg) e niacina e tiamina (1,01 kg/dia GMD; ganho total de PC de 121,6 kg) apresentaram maior GMD e ganho total de PC quando comparados aos animais do tratamento controle (0,747 kg/dia de GMD; ganho total de PC de 89,6 kg). Segundo Aragón (2018), o melhor desempenho produtivo de animais suplementados com vitaminas B<sub>1</sub> e/ou B<sub>3</sub> pode estar relacionado a suas funções no metabolismo energético, resultando em um uso mais eficiente da energia da dieta.

### **Riboflavina (Vitamina B<sub>2</sub>)**

A riboflavina, também conhecida como vitamina B<sub>2</sub>, está disponível na natureza em três formas: riboflavina livre e suas coenzimas derivadas, mononucleotídeo de flavina (FMN) e dinucleotídeo de flavina e adenina (FAD). A riboflavina em sua forma coenzimática (FMN ou FAD) é chamada de flavoproteína e atua no

metabolismo intermediário, principalmente nas reações de oxidação-redução (McDowell, 2000). A vitamina B<sub>2</sub> também é necessária para a ativação e metabolismo de diferentes vitaminas do complexo B, como cianocobalamina (vitamina B<sub>12</sub>), ácido fólico (vitamina B<sub>9</sub>) e piridoxina (vitamina B<sub>6</sub>; Wu et al., 2021). Além disso, a riboflavina promove a conversão do triptofano em niacina e atua na mobilização do ferro (Ahmadian et al., 2021).

Zinn et al. (1987) observaram que a síntese e o fluxo da riboflavina no rúmen foram independentes do teor de concentrado na dieta de machos castrados. Contudo, Beudet et al. (2016) sugeriram que a síntese ruminal de riboflavina foi maior sob condições dietéticas que estimulam o crescimento microbiano ruminal (ou seja, dietas contendo fontes de carboidratos prontamente degradáveis e fornecimento adequado de N). No entanto, há um razoável consenso de que a degradação ruminal da riboflavina dietética é quase total (Zinn et al., 1987) e apenas aproximadamente 1% desta vitamina pode atingir o intestino delgado e ser absorvida (Santschi et al., 2005). Consequentemente, a suplementação de riboflavina em dietas para ruminantes adultos só seria justificada se fossem utilizadas tecnologias para protegê-la da degradação ruminal.

Não foram estabelecidas as exigências diárias de riboflavina para bovinos de corte, pois os microrganismos ruminais sintetizam grandes quantidades dessa vitamina, representando aproximadamente 1,5 vezes as exigências metabólicas estimadas de riboflavina (NASEM, 2016). Portanto, é improvável que deficiências de riboflavina ocorram em ruminantes adultos, e isso só foi observado em pré-ruminantes jovens (Casals e Calsamiglia, 2012). Zinn (1992) calculou, usando dados coletados de suínos (NRC, 1979), que as exigências de vitamina B<sub>2</sub> para bovinos confinados foram de 0,32 mg/kg PC<sup>0,75</sup>. Evidências recentes mostraram que o aumento dos níveis de suplementação de riboflavina na dieta de 600 para 900 mg/dia não influenciou o consumo de matéria seca (MS), mas tendeu a aumentar o GMD em machos não castrados (Wu et al., 2021). Entretanto, a suplementação de riboflavina só deve ser considerada em animais sob estresse e com baixo consumo, quando a população microbiana ruminal pode estar prejudicada (Zinn, 1992).

### **Niacina (Vitamina B<sub>3</sub>)**

Os ruminantes podem ter suas exigências de niacina (vitamina B<sub>3</sub>) supridas a partir de 3 fontes: 1) niacina dietética; 2) conversão de triptofano em niacina; e/ou 3) síntese de niacina pelos microrganismos ruminais (NASEM, 2016). A niacina faz parte das coenzimas NAD e NADP, sendo importante em todo o metabolismo animal. Ainda, a niacina é necessária para a desintoxicação da amônia em ureia e metabolismo de corpos cetônicos no fígado de ruminantes.

A suplementação de niacina geralmente não é necessária devido à sua síntese microbiana no rúmen. Contudo, estudos tem demonstrado uma variação na concentração de niacina no rúmen de acordo com o tipo de alimento fornecido e a relação volumoso:concentrado da dieta (Niehoff et al., 2008; Schwab et al., 2006). Porém, não está claro qual componente da dieta mais influencia a concentração ruminal de niacina. Independentemente disso, do total de niacina suplementada, apenas uma pequena parte chega ao duodeno (Niehoff et al., 2009), o que pode ser devido à degradação ruminal ou absorção no abomaso.

Segundo Zinn et al. (1987), a degradação ruminal do amido estimula a síntese de todas as vitaminas do complexo B. Resultados de Schwab et al. (2006) corroboram com as constatações de Zinn et al. (1987), os quais observaram uma correlação positiva entre as concentrações de carboidratos não fibrosos (CNF) e amido na dieta, bem como seus consumos e degradações ruminais, e a síntese de niacina em bovinos leiteiros. No entanto, não foi observado efeito da proporção de forragem (35 ou 60% na MS) ou CNF (30 ou 40% na MS) da dieta sobre a produção de vitaminas hidrossolúveis.

Os efeitos da suplementação de vitamina B<sub>3</sub> sobre o desempenho produtivo de bovinos de corte têm sido variáveis. Byers (1981) resumiu 14 estudos sobre os efeitos da suplementação de vitamina B<sub>3</sub> para bovinos de corte em uma meta-análise. Esse autor concluiu que a suplementação de niacina variando de 50 a 250 mg/kg MS durante a adaptação à dieta (primeiros 21 a 38 dias) melhorou a taxa de crescimento e a eficiência

alimentar de bovinos de corte em 9,7 e 10,9%, respectivamente. Luo et al. (2019) avaliaram os efeitos da suplementação de vitamina B<sub>3</sub> em níveis de 320, 480 e 640 mg/kg MS sobre o desempenho produtivo de bovinos *Jinjiang* em terminação. Os resultados mostraram que os bovinos alimentados com 640 mg/kg MS de niacina suplementar apresentaram GMD 43,75% maior do que os do grupo controle durante o período inicial (1 a 28 dias). Contudo, as doses dietéticas de 480 e 640 mg/kg MS de niacina suplementar reduziram a eficiência alimentar em 26,07% e 31,61%, respectivamente, em relação ao grupo controle. De acordo com Zinn et al. (1987), a ausência de efeitos benéficos da suplementação de vitamina B<sub>3</sub> em menores doses (100-400 ppm) sobre o desempenho de bovinos pode estar relacionada à degradação dessa vitamina pela microbiota ruminal.

No entanto, algumas pesquisas sugeriram que a suplementação dietética com niacina pode melhorar a fermentação ruminal e a síntese de proteína microbiana em bovinos de corte (Flachowsky, 1993; Girard, 1998). Além disso, maiores digestibilidades dos nutrientes e desempenho produtivo foram observados quando a vitamina B<sub>3</sub> foi suplementada na dose de 6 g/vaca/dia e 1 g/touro/dia (Flachowsky, 1993).

### **Ácido pantotênico (Vitamina B<sub>5</sub>)**

O ácido pantotênico (vitamina B<sub>5</sub>) é um componente de duas enzimas-chave do metabolismo de carboidratos, lipídeos e proteínas: a coenzima A (CoA) e a proteína transportadora de grupo acil (ACP; NASEM, 2016). Esta vitamina é composta por  $\beta$ -alanina e ácido pantoico (Bässler et al., 2002) e é encontrada em quase todos os alimentos e células vivas, associada a CoA, ACP ou como ácido pantotênico livre (Finlayson e Seeley, 1983; Ragaller et al., 2011).

A atividade biológica da vitamina B<sub>5</sub> está diretamente relacionada à CoA e ACP. Quando associada a CoA, a vitamina B<sub>5</sub> está envolvida em reações de liberação de energia a partir de carboidratos, ácidos graxos e aminoácidos, enquanto está envolvida na biossíntese de ácidos graxos quando associada a ACP (Ball, 2006). No metabolismo de carboidratos, o acetil-CoA fornece grupos

acetil para o ciclo do ácido tricarbóxico. Além disso, o acetil-CoA desempenha papel na acetilação de aminoácúcares e colina para formação de mucopolissacarídeos.

A quantificação da vitamina B<sub>5</sub> no rúmen é complexa, pois está sujeita aos processos de síntese, degradação, passagem pelo trato digestivo e, provavelmente, absorção, simultaneamente (Kon e Porter, 1954). Além disso, as variações nas concentrações de ácido pantotênico no líquido ruminal de bovinos alimentados com dietas ricas em alimentos concentrados tendem a ser maiores do que para aqueles alimentados com dietas a base de forragem (Hayes et al., 1966). Zinn et al. (1987) relataram uma síntese aparente negativa de vitamina B<sub>5</sub> (-13,5 mg/dia) em bezerros mestiços em crescimento (116 kg) sob estresse de transporte alimentados com uma dieta à base de milho, indicando que não houve uma síntese líquida de vitamina B<sub>5</sub>. Os autores afirmaram que isso pode estar relacionado à redução do consumo de alimentos dos animais em crescimento, quando comparados a animais mais velhos e às características da dieta, uma vez que a síntese de vitamina B<sub>5</sub> varia de acordo com a composição da dieta.

Há relatos na literatura sugerindo que a vitamina B<sub>5</sub> é necessária para o crescimento adequado de algumas bactérias ruminais, como *Lactobacillus* sp., *Streptococcus bovis* e *Megasphaera elsdenii* (Ford et al., 1958; Wolin et al., 1997). Efeito benéfico sobre a contagem *in vitro* de protozoários também tem sido relatado (Völker et al., 2011). Estima-se que a quantidade de vitamina B<sub>5</sub> sintetizada no rúmen seja 20 a 30 vezes maior do que a quantidade presente nas dietas comumente fornecidas a bovinos de corte (NASEM, 2016) e, por isso, as exigências nutricionais de vitamina B<sub>5</sub> ainda não foram estabelecidas.

Cerca de 80% da vitamina B<sub>5</sub> suplementar é degradada no rúmen (Zinn et al., 1987) e o uso de sua forma protegida (pantotenato) pode ser uma alternativa viável. De acordo com Liu et al. (2018), maiores concentrações ruminais de ácidos graxos voláteis totais (AGV), degradabilidades da fibra em detergente neutro (FDN) e proteína bruta (PB), abundância bacteriana, atividade enzimática microbiana e síntese de proteína microbiana foram observadas quando o

pantotenato foi suplementado para bovinos Blonde d'Aquitaine × Simental. Em estudo anterior, Li et al. (2017) observaram melhor utilização de nutrientes e GMD para bezerros Blonde d'Aquitaine × Simental suplementados com pantotenato.

### **Piridoxina (Vitamina B<sub>6</sub>)**

A piridoxina também é conhecida como vitamina B<sub>6</sub> e representa um grupo de três compostos: piridoxol, piridoxal e piridoxamina. As duas últimas formas são encontradas predominantemente em produtos de origem animal (McDowell, 2000). As atividades vitamínicas desses três compostos são semelhantes quando oferecidas aos animais, mas não são equivalentes quando administradas a microrganismos (Morris, 2001). Outras formas químicas associadas a esta vitamina incluem piridoxal fosfato e piridoxamina fosfato. O piridoxal fosfato é cofator em mais de 60 reações enzimáticas associadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios (McCormick, 2006). No entanto, é mais conhecido por seu importante papel na maioria das reações associadas ao metabolismo de aminoácidos (metionina e triptofano, principalmente; Mohammed et al., 2004). Portanto, as exigências de vitamina B<sub>6</sub> devem ser estabelecidas de acordo com o consumo de proteína (Casals e Calsamiglia, 2012). Isso significa que o uso de níveis mais elevados de metionina e triptofano em dietas de confinamento pode aumentar a exigência de piridoxina em bovinos.

Modificações na composição da dieta podem afetar a população microbiana ruminal e, provavelmente, o metabolismo de vitamina B<sub>6</sub>. Embora não se saiba muito sobre os fatores que afetam a síntese ruminal dessa vitamina, ela parece ser aumentada quando dietas ricas em concentrado são fornecidas (Schwab et al., 2006) e reduzida em bovinos alimentados com dietas ricas em forragem (Castagnino et al., 2016). Recentemente, Clemmons et al. (2020) indicaram que o metabolismo de um subproduto da vitamina B<sub>6</sub> foi maior no rúmen de animais de melhor eficiência alimentar, e isso poderia ter permitido um uso mais eficiente da proteína e maior crescimento muscular.

A maioria dos dados publicados na literatura indicam que a piridoxina é sintetizada em abundância e quantidades muito pequenas

são degradadas no rúmen. Portanto, o fornecimento de vitamina B<sub>6</sub> na dieta é suficiente para prevenir os sintomas de deficiência e permitir adequado crescimento e produção dos bovinos. Zinn (1992), extrapolando dados coletados de estudos com suínos, recomendou o fornecimento de 0,14 mg/kg PC<sup>0,75</sup> para bovinos confinados. Contudo, as exigências de vitamina B<sub>6</sub> não foram definidas para bovinos de corte.

### **Biotina (Vitamina B<sub>7</sub>)**

A biotina é comumente conhecida como vitamina B<sub>7</sub>, vitamina H ou coenzima R. Esta vitamina está presente na natureza na sua forma livre e ligada a proteínas. Entretanto, a maioria dos ingredientes utilizados em dietas de confinamento contém biotina ligada à proteína (ligações covalentes), o que dificulta sua digestão e biodisponibilidade para o animal (Habeeb e Gad, 2019). Proteases do sistema digestivo degradam essa forma ligada a proteína, liberando biocitina (vitamina ligada à lisina; McDowell, 2000). A ligação formada entre lisina e biotina só pode ser clivada sob a ação de uma enzima específica (biotinidase; McMahan, 2002), que está presente no pâncreas, células intestinais da borda em escova e algumas espécies bacterianas, liberando biotina em sua forma livre para ser absorvida (Santschi et al., 2005). Assim, alimentos com maiores teores de proteína geralmente contém mais biotina em relação àqueles com menores concentrações de proteína (por exemplo, farelo de soja = 0,30 mg/kg vs. cevada = 0,08 mg/kg; Ammerman et al., 1995).

A biotina é um cofator para muitas enzimas envolvidas em diversas vias metabólicas. A biotina é necessária como coenzima no metabolismo de aminoácidos, respiração celular, gliconeogênese e lipogênese (McDowell, 2000). Além disso, essa vitamina é necessária para o funcionamento normal das glândulas tireoide e suprarrenais, e dos sistemas reprodutivo e nervoso (Habeeb e Gad, 2019). Especificamente, a biotina é um cofator para quatro enzimas carboxilase: piruvato carboxilase e propionil-CoA-carboxilase, que são cruciais para a gliconeogênese; acetil-CoA-carboxilase, o primeiro passo e limitante da velocidade da síntese *de novo* de ácidos graxos; e metilcrotonil-CoA carboxilase (Weiss e Zimmerly, 2000). Além disso, a biotina é necessária para muitos

processos que contribuem para as propriedades mecânicas dos cascos e dos chifres. Esses processos incluem a queratinização, a formação de substâncias cimentantes intracelulares e a produção de outros lipídios necessários para manter a permeabilidade e a integridade epidérmica (Lischer et al., 1996; Mulling et al., 1999). Foi demonstrado que a suplementação de biotina é recomendada para melhorar a dureza dos cascos e chifres em bovinos leiteiros (Higuchi et al., 2003; Chen et al., 2012).

Embora os ingredientes comumente utilizados em confinamentos contendo concentrações variáveis de biotina, a principal fonte dessa vitamina para ruminantes é aquela sintetizada por microrganismos ruminais (NRC, 2001; Enjalbert et al., 2008). A biotina também é necessária para algumas bactérias ruminais, especialmente bactérias celulolíticas para seu crescimento (Baldwin e Allison, 1983). Além disso, essa vitamina também é necessária para a microbiota ruminal produzir propionato, pois a biotina é um cofator da enzima microbiana metilmalonil-CoA-carboxitransferase, que catalisa uma etapa na síntese do ácido propiônico (Zempleni e Mock, 1999).

As bactérias ruminais sintetizam grandes quantidades de biotina dependendo da disponibilidade energética (0,79 mg/kg matéria orgânica digerida [MOD]; Briggs et al., 1964, citado por Casals e Calsamiglia, 2012). No entanto, a síntese de biotina pode ser reduzida em dietas de alta energia. Dietas ricas em concentrado, geralmente utilizadas em confinamento, podem acidificar o rúmen ou alterar o local de fermentação do amido. Nesse sentido, a flora ruminal e intestinal pode ser alterada e, por sua vez, afetar a síntese ou degradação da biotina microbiana. Dessa forma, a suplementação de biotina pode ser necessária para ruminantes recebendo dietas ricas em concentrado.

Redução da síntese de biotina foi relatada *in vitro* para dietas contendo mais de 50% de concentrado (Da Costa Gomez et al., 1998). Além disso, Abel et al. (2001) observaram que a síntese de biotina ruminal diminuiu 50% à medida que a proporção de cevada para feno aumentou de 50:50 para 83:17 em um estudo de cultura contínua *in vitro*, provavelmente como resultado de um desequilíbrio entre as espécies de microrganismos ruminais causado pela redução

do pH. Além disso, a proporção e o tipo de grão na dieta influenciaram as sínteses aparentes ruminais e intestinais e a absorção de biotina em machos castrados canulados no duodeno (Miller et al., 1986).

Contudo, Rosendo et al. (2004) sugeriram que a redução do crescimento dos microrganismos celulolíticos, causada pelo baixo pH ruminal (5,3), reduz a utilização em vez da síntese de biotina ruminal. Entretanto, a biotina não se degrada extensivamente no rúmen (NRC, 2001). Schwab e Shaver (2005) observaram aumento significativo na concentração de biotina no leite e plasma de bovinos leiteiros, sugerindo que essa vitamina suplementada de forma desprotegida contra a degradação ruminal não foi completamente degradada ou utilizada pelos microrganismos ruminais.

Uma meta-análise usando 9 estudos indicou que a suplementação com biotina desprotegida influenciou positivamente a produção de leite de vacas leiteiras (Chen et al., 2011), sugerindo que a biotina não requer proteção ruminal. Contudo, um número limitado de estudos foi realizado avaliando a suplementação de biotina em bovinos de corte. De Silva (2018) descreveram que a suplementação de biotina (20 mg/dia) não alterou as taxas de crescimento de bovinos mestiços. Além disso, trabalhos anteriores indicaram que grande parte da biotina dietética escapou da degradação ruminal e que sua suplementação em altos níveis, combinada com outras vitaminas (*blends*) para bovinos confinados não afetou o desempenho animal, mas tendeu a diminuir a morbidade (Zinn et al., 1987). Melhor saúde dos cascos de vacas Hereford foram atribuídas à suplementação de biotina (10 mg/dia; Campbell et al., 2000). A combinação da biotina sintetizada por microrganismos ruminais e seu fornecimento na dieta basal parece ser suficiente para atender as exigências de biotina para bovinos de corte.

O NASEM (2016) não estabeleceu as exigências diárias de biotina para bovinos de corte. Ainda, Zinn (1992) estimou as exigências de biotina para bezerras em confinamento e/ou terminação em 0,13 mg/kg PC<sup>0,75</sup>. Em contraste, o OVN (2016) recomenda valores entre 10 e 20 mg/dia para otimizar a saúde do casco e o marmoreio da carne.

### Colina (Vitamina B<sub>8</sub>)

A colina geralmente não é considerada uma vitamina porque, ao contrário das vitaminas clássicas, sua síntese endógena é possível. Portanto, foi sugerido que este composto pode ser um nutriente essencial para ruminantes, independentemente de ser ou não classificado como uma vitamina verdadeira (Pinotti et al., 2020). Logo, a colina é necessária em quantidades relativamente grandes (gramas e não em miligramas), geralmente mais do que as outras vitaminas (NASEM, 2016).

Embora uma pequena quantidade de colina livre possa existir em alguns materiais vegetais, a fosfatidilcolina é principal forma natural de colina presente nos alimentos. A colina é essencial para a síntese de moléculas vitais no corpo (por exemplo, fosfatidilcolina e acetilcolina); assim, cumpre um papel essencial no metabolismo energético, proteico e lipídico (Berdanier, 2008). Além disso, é um importante doador do grupo metil, contribuindo para a biossíntese de outros compostos metilados no metabolismo animal (McDowell, 2006). Portanto, uma das vantagens da suplementação de colina é aumentar a disponibilidade de metionina para a síntese de proteínas, pois a partir desse aminoácido essencial também podem ser obtidos grupos metil biologicamente ativos (NRC, 2001).

As exigências de colina para bovinos de corte não foram adequadamente estabelecidas por várias razões. Por exemplo, os ingredientes das dietas contêm diferentes concentrações de colina. O teor de colina no milho é de aproximadamente 80,04 mg/kg, enquanto no farelo de soja essa concentração é de 1686,54 mg/kg (Chen et al., 2019). Ainda, a combinação de diferentes níveis e composição de proteínas, gorduras e carboidratos na dieta, bem como a idade, categoria, consumo de energia e taxa de crescimento dos animais influenciam a ação lipotrópica da colina e, portanto, as exigências desta vitamina (Mookerjee, 1971).

Apesar disso, a colina dietética só será disponível para bovinos adultos se escapar da degradação ruminal. Um dos poucos relatos disponíveis na literatura sobre os efeitos da suplementação de colina desprotegida para bovinos de corte não observou efeitos positivos sobre o desempenho produtivo, características de carcaça, acidose ou produtos de fermentação

ruminal em machos castrados alimentados com uma dieta concentrada suplementada com colina (Morris, 2001). A colina presente nos alimentos e os suplementos sintéticos são rapidamente e extensivamente degradados pela microbiota ruminal (Baldi e Pinotti, 2006). Os valores de degradação ruminal da colina variam entre 80 e 99%, dependendo da fonte (Sharma e Erdman, 1989). Assim, mesmo os alimentos ricos em colina podem contribuir apenas marginalmente para o fornecimento pós-ruminal de colina. Assim, um método eficaz para aumentar a disponibilidade de colina para ruminantes é alimentá-la de forma protegida da degradação ruminal.

Nesse sentido, a colina protegida, contendo cloreto de colina coberto por uma camada protetora de ácidos graxos, tem despertado o interesse para propósitos de pesquisa e produtivos (Jayaprakash et al., 2016). Alguns estudos relataram melhora do desempenho produtivo (Bindel et al., 2000; Pinotti et al., 2009) e características de carcaça (Drouillard et al., 1998) de bovinos de corte suplementados com colina protegida. Devido ao número limitado de pesquisas disponíveis e à inconsistência dos resultados, nenhuma recomendação prática de suplementação diária de colina protegida ou não foi feita neste capítulo. Contudo, tem sido sugerido que bezerros alimentados com leite devem receber suplementação de 0,26% de colina em substitutos do leite (NASEM, 2016).

### **Ácido Fólico (Vitamina B<sub>9</sub>)**

O ácido fólico, também conhecido como vitamina B<sub>9</sub>, folacina ou folato, está envolvido na transferência de unidades de um carbono, desempenhando papel crucial na biossíntese de purinas e pirimidinas, síntese de DNA e metabolismo de aminoácidos (McDowell, 2000). O ácido fólico atua sinergicamente com outras vitaminas, minerais, aminoácidos e metabólitos para manter um pool metabólico funcional de unidade de um carbono (por exemplo, colina, metionina, glicina, cobalto e outros; NASEM, 2016).

Os microrganismos ruminais sintetizam uma grande quantidade de ácido fólico, que depende da disponibilidade de energia (NRC, 2001). Zinn (1992) estimou que a síntese de ácido fólico no rúmen foi de 0,42 mg/kg MOD.

Assim, animais com rúmen funcional devem ter uma oferta adequada de ácido fólico (McDowell, 2000). Além disso, estima-se que aproximadamente 97% do ácido fólico suplementar é degradado por microrganismos ruminais (Zinn et al., 1992; Wang et al., 2017) e apenas 3% do ácido fólico dietético pode atingir o intestino delgado para ser absorvido (Santschi et al., 2005). Assim, a suplementação de ácido fólico em animais adultos só se justificaria com o uso de tecnologia de proteção contra a degradação ruminal.

Nesse contexto, estudos recentes demonstraram que a suplementação de ácido fólico protegido para machos castrados aumentou a concentração ruminal de AGV, a degradabilidade dos nutrientes, a síntese de proteína microbiana, a população bacteriana celulolítica, a atividade enzimática, o GMD e a eficiência alimentar (Liu et al., 2020; Wang et al., 2016, 2017). Zinn (1992), extrapolando dados coletados de suínos (NRC, 1998), concluiu que as exigências de ácido fólico foram de 0,75 mg/kg PC<sup>0,75</sup> para bovinos confinados. No entanto, os sistemas internacionais de exigências nutricionais para bovinos de corte (por exemplo, NASEM, 2016; OVN, 2016), assim como esta publicação não estabeleceram as exigências diárias de vitamina B<sub>9</sub>.

### **Cobalamina (Vitamina B<sub>12</sub>)**

A vitamina B<sub>12</sub> é um nome genérico usado para se referir a um grupo de compostos que possuem atividade de vitamina B<sub>12</sub>, como ciano, hidróxi, metil ou desoxiadenosilcobalamina. A cobalamina, forma biologicamente ativa da vitamina B<sub>12</sub>, está envolvida no metabolismo de ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos e lipídios (González-Montaña et al., 2020). Atender às necessidades de vitamina B<sub>12</sub> é de maior interesse em ruminantes do que em animais não ruminantes, pois é necessária para o adequado metabolismo do propionato. A metilmalonil-CoA mutase é uma enzima dependente de vitamina B<sub>12</sub> que é essencial para a conversão de propionato em succinato, que através da gliconeogênese é posteriormente convertido em glicose, influenciando a produção de energia nos animais (Mansur, 2009; Rowley e Kendall, 2019).



Diferentemente de outras vitaminas do complexo B, a vitamina B<sub>12</sub> não está presente nas plantas e é produzida por bactérias apenas se o fornecimento de cobalto for adequado, o que geralmente é utilizado como indicador do *status* de B<sub>12</sub> no organismo animal (González-Montaña et al., 2020). A microbiota ruminal pode sintetizar vitamina B<sub>12</sub> se as concentrações de cobalto livre no líquido ruminal forem superiores a 0,5 mg/mL (Underwood e Suttle, 2002). Assim, os ruminantes obtêm a vitamina B<sub>12</sub> pré-formada de sua flora bacteriana natural ou pela ingestão de produtos de origem animal.

Fisiologicamente, a captação seletiva de vitamina B<sub>12</sub> ativa requer interação entre proteínas pré-transportadoras, haptocorrina (HP), fator intrínseco (FI), transcobalamina (TC) e diferentes receptores. A HP é encontrada em muitos fluidos biológicos, como o suco gástrico, e ajuda a destruir os análogos da vitamina B<sub>12</sub>. O FI gástrico (humanos) ou pancreático (cães) liga-se seletivamente à B<sub>12</sub> e entra nas células intestinais via endocitose mediada por receptor. Subsequentemente, a vitamina B<sub>12</sub> absorvida é transmitida a TC e entregue aos tecidos via corrente sanguínea. É importante ressaltar, que a complexidade do sistema de transporte permite eficiência no processo de absorção da vitamina B<sub>12</sub>. Contudo, falha em qualquer ponto desse processo pode levar à deficiência dessa vitamina, o que levaria a danos neurológicos irreversíveis, anemia e até morte (Fedosov, 2012; Kather et al., 2020).

Em um estudo comparando a farmacocinética de duas formas de cobalamina (OHB12 e CNB12) associadas a microminerais para machos Holandeses castrados, Gonzalez-Rivas et al. (2021) verificaram que os animais que receberam a forma OHB12 apresentaram GMD 11% maior quando comparados aos tratados com CNB12 (1,17 e 1,06 kg/dia para machos castrados que receberam as formas OHB12 e CNB12 de cobalamina, respectivamente). Ainda, os autores afirmaram que uma única injeção de OHB12 foi eficaz em aumentar o nível sanguíneo de cobalamina nas primeiras 24 horas e seu armazenamento no fígado, que se manteve por pelo menos 28 dias em situação de deficiência. Em contraste, a suplementação de cobalamina na forma CNB12 não aumentou

a cobalamina no fígado (Gonzalez-Rivas et al., 2021).

## VITAMINAS LIPOSSOLÚVEIS

As vitaminas lipossolúveis são encontradas em associação com os constituintes lipídicos de plantas e animais e são caracterizadas por sua capacidade de armazenamento a longo prazo no organismo animal (McDowell, 2000). As vitaminas lipossolúveis A, D, E e K são absorvidas concomitantemente com a absorção de lipídios e dependem da presença de bile e formação de micelas no intestino (McDowell, 2000).

As vitaminas lipossolúveis têm várias funções essenciais no organismo dos ruminantes. Por exemplo, a vitamina A está envolvida na formação, regeneração e proteção do ectoderma e das membranas mucosas (Toledo et al., 2006). A vitamina E melhora a formação de anticorpos e o sistema imunológico humoral, além de ser necessária para o metabolismo celular (respiração celular e metabolismo de ácidos nucleicos), divisão celular e síntese de proteínas. Além disso, a vitamina E atua como um composto antioxidante para ácidos graxos insaturados e vitamina A, contribuindo para a melhoria da qualidade da carne (Leda et al., 2018; Toledo et al., 2006).

Por outro lado, a vitamina D regula a homeostase do cálcio (Ca) e fósforo (P), aumentando a captação intestinal e a reabsorção óssea. Além disso, aumenta a atividade de enzimas proteolíticas dependentes de Ca, o que pode levar a uma melhor qualidade da carne (Montgomery et al., 2000; Toledo et al., 2006). A vitamina K é necessária para a síntese de vários fatores de coagulação do plasma (fatores II, VII, IX e X) e também pode participar da homeostase do Ca (Dores et al., 2001).

### *Vitamina A*

Embora todas as vitaminas sejam igualmente importantes na manutenção da vida do ruminante, a vitamina A é a vitamina mais relevante para a produção de bovinos de corte, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento saudáveis (NRC, 2001). A vitamina A cumpre muitas funções no organismo do animal, sendo as mais importantes

associadas à visão (pigmento da visão), desenvolvimento embrionário, imunidade, manutenção da homeostase e manutenção do tecido esquelético e epitelial (Bendich, 1993; McDowell, 2006). A vitamina A e o  $\beta$ -caroteno são necessários para otimizar o desempenho reprodutivo de vacas Nelore (Gouvêa et al., 2018; Vasconcellos et al., 2018ab) e a qualidade do embrião (Amaral et al., 2004). Além disso, essa vitamina tem um papel benéfico sobre a espermatogênese de touros Nelore (Silva et al., 2020).

A vitamina A é uma família de moléculas agrupadas sob o nome de retinol, que é um composto quase incolor, de cadeia longa e insaturado. Como um composto lipossolúvel, são necessários processos normais de digestão e absorção de gorduras e teor adequado de gorduras na dieta para permitir sua absorção. O fígado e os tecidos adiposos são os locais do corpo onde o retinol absorvido pode ser armazenado. Vários estudos confirmaram que o

fígado (geralmente contém cerca de 90% da vitamina A total do corpo) pode armazenar vitamina A suficiente para preservar os animais de uma deficiência causada por longos períodos de baixa ingestão de vitamina A (McDowell, 2000).

A estrutura básica da vitamina A é o *all-trans* retinol, que pode originar vários isômeros. No entanto, as formas comuns de suplementação de vitamina A em alimentos comerciais são o *all-trans* acetato de retinil e o *all-trans* palmitato de retinil. Estes são normalmente produzidos como grânulos de gelatina endurecidos ou reticulados para melhorar a estabilidade. Assim, as exigências de vitamina A para ruminantes são descritas tanto em Unidades Internacionais (UI) quanto em Equivalentes de Retinol (ER; NASEM, 2016). As definições e relações entre UI e RE são apresentadas na Tabela 15.1.

Tabela 15.1 - Definições e relações entre as Unidades Internacionais (UI) ou Equivalentes de Retinol (ER) relacionadas à vitamina A

1 UI	0.3 $\mu$ g de <i>all-trans</i> retinol
1 UI	0.344 $\mu$ g de acetato de retinil
1 UI	0.55 $\mu$ g de palmitato de retinil
400 UI	1 mg $\beta$ -caroteno
1 RE	1 $\mu$ g de <i>all-trans</i> retinol, 2 $\mu$ g de <i>all-trans</i> $\beta$ -caroteno sintético suplementar, 6 $\mu$ g de <i>all-trans</i> $\beta$ -caroteno dietético, ou 12 $\mu$ g de outros carotenóides com atividade de pró-vitamina A dietéticos

\*Adaptada de NASEM (2016); Casals e Calsamiglia (2012).

O retinol não está presente em ingredientes vegetais comumente usados na dieta de ruminantes, mas seus precursores (carotenos ou carotenóides) ocorrem em diferentes formas. Contudo, a atividade do  $\beta$ -caroteno é substancialmente maior do que a de outros carotenóides. O  $\beta$ -caroteno (ou pró-vitamina A) é convertido em vitamina A (retinol) por enzimas localizadas nas células da mucosa intestinal. Ainda, outros carotenóides (por exemplo,  $\alpha$ -caroteno e criptoxantina) também podem ser convertidos em vitamina A. No entanto, a eficiência de conversão de carotenóides em retinol parece ser menor em bovinos de corte do que em animais não ruminantes (Ullrey, 1972). A redução da taxa de conversão de caroteno para retinol pode ser

devido à degradação ruminal da vitamina A (McDowell, 2000).

A degradação ruminal da vitamina A pode ser afetada pelo tipo de dieta fornecida aos bovinos de corte. Rode et al. (1990) relataram que o desaparecimento da vitamina A durante a fermentação ruminal *in vitro* aumentou de 20% para aproximadamente 80%, quando os animais doadores foram alimentados com uma dieta de alto concentrado em relação àqueles alimentados com uma dieta rica em forragem. Nesse sentido, novas tecnologias têm sido desenvolvidas comercialmente para proteger a vitamina A da degradação ruminal. Neste caso, os produtos comerciais são compostos por vitamina A e outros compostos, como carboidratos e

antioxidantes, visando sua estabilização (Alosilla et al., 2007).

Diversos fatores podem influenciar a composição dos carotenóides de um alimento, como as condições de produção (por exemplo, temperatura e umidade), maturidade no momento da colheita e condições de armazenamento e processamento pós-colheita (Pickworth et al., 2012). O Retinol e os carotenóides são muito sensíveis à oxidação, exposição à luz UV e à presença de ácidos, umidade e microminerais (NRC, 2001). O armazenamento prolongado em pré-misturas contendo microminerais (principalmente cobre), umidade elevada, peletização, processamento por extrusão ou a presença de lipídeos rancificados reduzem a estabilidade da vitamina A (Olson, 1991; Coelho, 2002).

A deficiência de vitamina A em bovinos de corte criados em condições tropicais pode ocorrer durante o inverno, pois a disponibilidade e a qualidade da massa de forragem (por exemplo, baixa concentração de  $\beta$ -caroteno) são baixas. A deficiência de vitamina A também pode ocorrer em dietas com alto teor de concentrado em sistemas de confinamento e quando os ingredientes da dieta forem expostos à luz solar e/ou altas temperaturas ou armazenados por um longo período (Akhtar et al. 2011). Considerando que a forragem fresca (por exemplo, pastagem) tem concentrações relativamente mais altas de  $\beta$ -caroteno do que as forragens conservadas (por exemplo, silagem), a quantidade de vitamina A suplementar necessária quando forragem fresca é fornecida seria menor. Embora a toxicidade por excesso dessa vitamina na dieta seja incomum em ruminantes devido à sua alta taxa de degradabilidade ruminal, ela também limita a quantidade de vitamina A disponível para o animal (Casals e Calsamiglia, 2012).

Alguns estudos *in vivo* documentaram que bovinos alimentados com 2.134-2.300 UI/kg MS de vitamina A suplementar apresentaram maiores ganhos e eficiência alimentar do que aqueles que consumiram aproximadamente 6.274-11.000 UI/kg MS (Zinn et al., 1996). Além disso, Gorocica-Buenfil et al. (2007bc; 2008) realizaram três experimentos avaliando a suplementação de vitamina A em níveis de 2.200 ou 2.700 UI/kg MS para bovinos de corte em terminação. Comparado com o grupo não suplementado, o grupo suplementado com

vitamina A apresentou maiores ganhos em um experimento (Gorocica-Buenfil et al., 2007b) e eficiência alimentar nos outros dois experimentos (Gorocica-Buenfil et al., 2007c; 2008). Bryant et al. (2010) avaliaram os efeitos da suplementação de vitamina A (0, 1.103, 2.205, 4.410 ou 8.820 UI/kg MS) sobre o desempenho e qualidade da carcaça de machos castrados recebendo dieta rica em grãos. Os autores não observaram diferenças para o PC final, eficiência alimentar, GMD e consumo de MS (CMS) entre os tratamentos dentro de cada período de 28 dias ou no período total de confinamento. Dessa forma, foi sugerido que a suplementação de vitamina A para bovinos em terminação deve ser cuidadosamente avaliada.

Segundo esses autores, dietas típicas de confinamento (aproximadamente 90% de concentrado na dieta total) têm em média 5.215 UI vitamina A/kg MS. As exigências de vitamina A para bovinos em terminação alimentados com dietas basais semelhantes é  $\leq 2.205$  UI/kg MS (NASEM, 2016). Assim, dietas com valores acima de 2.205 UI/kg MS de vitamina A podem sobrecarregar a capacidade do trato gastrointestinal inferior de absorver outros nutrientes, não necessariamente beneficiando a saúde e o desempenho animal.

Recentemente, Wellmann et al. (2020) avaliaram a suplementação de vitamina A atendendo as exigências estimadas (2.200 UI/kg MS) ou 5 vezes as exigências estimadas (11.000 UI/kg MS; NASEM 2016) para machos Nelore castrados e não observaram diferenças entre os tratamentos para o GMD, eficiência alimentar, peso da carcaça quente, área de olho de lombo ou espessura de gordura subcutânea. Portanto, a recomendação atual do NASEM (2016) de 2.200 UI vitamina A/kg MS parece ser adequada para manutenção do *status* de vitamina A de machos castrados em confinamento.

Estudos anteriores sugeriram que a estratégia de alimentação de vitamina A desempenha um papel crucial na deposição de gordura intramuscular em bovinos de corte (Oka, 1996; Gorocica-Buenfil et al., 2007a; Bryant et al., 2010; Knutson et al., 2020; Peng et al. al., 2020). Em contraste, um estudo mostrou que a restrição de vitamina A durante o período de engorda aumentou a deposição de gordura intramuscular em carcaças de bovinos através da hipertrofia dos adipócitos (Peng et al., 2021). Entretanto, a aplicabilidade geral da restrição de

vitamina A na produção de bovinos de corte ainda é equivocada e merece investigação adicional.

As exigências de vitamina A podem ser expressas em UI por kg de PC (UI/kg PC), por cabeça por dia (UI/dia) ou por kg de MS da dieta (UI/kg MS). Neste capítulo, as exigências foram expressas em UI/kg MS, quando baseadas no NASEM (2016) e em UI/dia, quando baseadas nas recomendações do OVN (2016), descritas na Tabela 15.6.

### **Vitamina D**

As principais fontes de vitamina D são colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>) e o ergocalciferol (vitamina D<sub>2</sub>). São fontes pré-formadas de vitamina D e diferem entre si pela presença de uma ligação dupla adicional e um grupo metil no esterol vegetal. A vitamina D<sub>3</sub> é conhecida como a forma natural encontrada em animais e pode ser sintetizada sob a pele pela ação dos raios ultravioleta exclusivamente a partir do 7-desidrocolesterol (pró-vitamina D<sub>3</sub>), que é derivado das moléculas de colesterol ou esqualeno presentes em grande quantidade na pele, parede intestinal e outros tecidos. A vitamina D<sub>2</sub> é a vitamina D presente nas plantas.

A síntese da vitamina D<sub>3</sub> consiste em várias etapas, as quais envolvem a modificação fotoquímica do 7-deidrocolesterol seguida de isomerização não enzimática (Castro, 2011). Assim, a quantidade de colecalciferol formada dependerá da frequência e intensidade dos raios ultravioleta que atingem a pele do animal. Portanto, as exigências de vitamina D dependerão do grau de exposição à luz solar. Consequentemente, a conversão da forma de provitamina em vitamina ativa será mais intensa nos trópicos do que nas zonas temperadas e árticas, em altitudes elevadas. Ainda, essa conversão será mais intensa no verão quando comparado ao inverno, e ao meio dia, quando comparado ao período da manhã.

Grande parte (aproximadamente 70%) da vitamina D consumida é degradada no rúmen (Ballet et al., 2000). Além disso, a degradação ruminal da vitamina D pode gerar metabólitos com atividade antivitaminas D, que protegem os ruminantes da toxicidade da vitamina D, quando ingerida em quantidades excessivas (Ballet et al., 2000). A vitamina D

restante pode ser absorvida no intestino delgado.

A vitamina D e seus metabólitos têm outras funções além de atuar no metabolismo do Ca e regular a mineralização óssea. Esses efeitos bem conhecidos da vitamina D estão relacionados a alterações bioquímicas que ocorrem no intestino, nos ossos e nos rins. A vitamina D também tem funções semelhantes a hormônios. Assim como os hormônios esteróides, a 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> (Calcitriol) regula a expressão gênica por meio da interação com proteínas receptoras específicas no núcleo. Além disso, a 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> está envolvida na regulação do crescimento e diferenciação de uma variedade de tipos de células, incluindo as células do sistema hematopoiético e imunológico (Lemire, 1992).

Hormônios esteróides, prolactina, hormônio do crescimento (GH) e fator de crescimento semelhante à insulina 1 (IGF-1) estimulam a síntese renal de 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> para regular a absorção de Ca e atender às necessidades mais altas de Ca durante a gestação, lactação, e crescimento em ruminantes (Holick, 2007). Quando esses hormônios não atuam de forma eficiente, os animais podem apresentar desempenho produtivo insuficiente.

Animais jovens podem apresentar raquitismo causado por uma diminuição nas concentrações de Ca, P ou ambos, e um aumento significativo na fosfatase ácida. Em animais adultos, a deficiência de vitamina D pode levar à “febre do leite” em vacas em lactação, principalmente em múltiparas. Isso ocorre porque animais mais velhos geralmente apresentam menor resposta ao Ca da dieta devido à diminuição da produção de 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>2</sub> e menor resposta do tecido alvo ao 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>, resultando em problemas metabólicos. O NASEM (2016) ainda utiliza as diretrizes do NRC (1984) para suplementação de vitamina D em bovinos de corte, o qual recomenda uma suplementação de 275 UI/kg MS ou aproximadamente 5,7 UI/kg PC.

### **Vitamina E**

A vitamina E é oriunda principalmente de compostos conhecidos como tocoferóis, que são definidos como antioxidantes lipossolúveis biológicos em tecidos animais. Assim, esta

vitamina é importante para o metabolismo dos ácidos graxos essenciais (Andriquetto e Perly, 1994). Além disso, previne a formação de peróxidos resultantes da oxidação *in vivo* de certos ácidos graxos (McDowell, 2000).

Dentre os diferentes tipos de tocoferóis, o  $\alpha$ -tocoferol é o mais biologicamente ativo (100% da atividade biológica em relação à vitamina E), sendo a vitamina E pré-formada predominante (McDowell, 2000) e a mais utilizada em suplementos comerciais (Scherf et al., 1996). O  $\alpha$ -tocoferol é um excelente antioxidante natural que protege o caroteno e outros compostos oxidáveis na alimentação e no corpo (Buckley et al., 1995), melhorando o GMD (Pehrson et al., 1991) e a eficiência alimentar de bovinos de corte (Mir et al., 2003).

A concentração de  $\alpha$ -tocoferol (vitamina E) nos alimentos é variável. Nas forrageiras, a concentração varia de acordo com o estágio vegetativo da planta, variando de 80 a 200 UI/kg MS ou de 80 a 200 mg de

acetato de  $\alpha$ -tocoferol (1 UI equivale a 1mg de acetato de  $\alpha$ -tocoferol; Insani et al., 2008; Acedo et al., 2018). Além disso, as concentrações de  $\alpha$ -tocoferol diminuem rapidamente após a colheita da planta (Acedo et al., 2018). Portanto, a silagem e o feno utilizados na dieta de ruminantes podem conter 20% a 80% menos  $\alpha$ -tocoferol que a planta antes do processo de conservação. Os alimentos concentrados contêm concentrações reduzidas de vitamina E.

As exigências de vitamina E podem ser atendidas por meio de suplementação dietética exógena, que pode melhorar o desempenho animal. As exigências de vitamina E para ruminantes podem ser expressas em UI,  $\mu$ mol e  $\alpha$ -tocoferol (mg/UI; NASEM, 2016). Definições e relações entre unidades para expressar vitamina E estão descritas na Tabela 15.2.

Tabela 15.2 - Fatores para converter unidades internacionais (UI) de vitaminas E em alfa-tocoferol em miligramas

Tipos de Vitamina E	Fator de conversão da USP <sup>b</sup>		Fatores de conversão molar <sup>c</sup> $\mu$ mol/UI	Fator de conversão $\alpha$ -tocoferol <sup>d</sup> mg/UI
	UI/mg	mg/UI		
<i>Vitamina E Sintética e Ésteres</i>				
Acetato de DL- $\alpha$ -tocoferol	1,00	1,00	2,12	0,45
Succinato de DL- $\alpha$ -tocoferol	0,89	1,12	2,12	0,45
DL- $\alpha$ -tocoferol <sup>e</sup>	1,10	0,91	2,12	0,45
<i>Vitamina E natural e Ésteres</i>				
Acetato de DL- $\alpha$ -tocoferol	1,36	0,74	1,56	0,67
Succinato de DL- $\alpha$ -tocoferol	1,21	0,83	1,56	0,67
DL- $\alpha$ -tocoferol <sup>f</sup>	1,49	0,67	1,56	0,67

<sup>a</sup> Adaptado de NASEM (2016); IOM (2000).

<sup>b</sup> Conversões oficiais da Farmacopeia dos Estados Unidos (USP) em que 1 UI é definido como 1 mg de acetato de all-rac- $\alpha$ -tocoferil (USP, 1979; 1999).

<sup>c</sup> Para converter mg em  $\mu$ mol, divida o mg pelo peso molecular do composto de vitamina E (acetato de  $\alpha$ -tocoferol = 472; Succinato de  $\alpha$ -tocoferol = 530;  $\alpha$ -tocoferol = 430) e multiplique por 1000. Como a quantidade de compostos livres e de Succinato é ajustada para seus diferentes pesos moleculares em relação ao acetato de  $\alpha$ -tocoferila, essas formas têm os mesmos fatores de conversão que os compostos de tocoferol correspondentes.

<sup>d</sup> Para converter o  $\mu$ mol do composto de vitamina E em mg de  $\alpha$ -tocoferol, multiplique o  $\mu$ mol pelo peso molecular do  $\alpha$ -tocoferol (430) e divida por 1000. As atividades dos três compostos sintéticos de  $\alpha$ -tocoferol foram divididas por 2, isso porque os 25 estereoisômeros contidos no  $\alpha$ -tocoferol sintético não são mantidos no sangue.

<sup>e</sup> DL- $\alpha$ -tocoferol-all-rac-(racêmico)  $\alpha$ -tocoferol = vitamina E sintética; todos rac- $\alpha$ -tocoferol = RRR-, RRS-, RSR-, RSS-, SSS, SRS-, SSR- e SRR-isômeros de  $\alpha$ -tocoferol.

<sup>f</sup> D- $\alpha$ -tocoferol = RRR- $\alpha$ -tocoferol = vitamina E natural.

Roeber et al. (2001) avaliaram os níveis de acetato de  $\alpha$ -tocoferol em bifes do traseiro, bisteca e carne moída de bovinos em terminação que foram suplementados com 500

e 1000 UI/dia de acetato de  $\alpha$ -tocoferol durante a exposição em prateleiras comerciais. A suplementação dietética de acetato de  $\alpha$ -tocoferol na dose de 1.000 UI/dia assegurou

uma vida de prateleira melhor para bisteca em comparação com a suplementação de 500 IU/dia. Além disso, cortes classificados como contendo alta concentração de  $\alpha$ -tocoferol apresentaram maior vida de prateleira (aumentada em 10,7 e 4,0 h para os bifes e carne moída, respectivamente). Assim, esses resultados sugerem uma relação entre as concentrações de  $\alpha$ -tocoferol e a vida de prateleira da carne moída e bifes. Em contraste, Pereira (2002) não observou efeito da suplementação com  $\alpha$ -tocoferol acetato (1.000 mg/dia) sobre as características químicas e físico-químicas da carne de machos não castrados Nelore em terminação. No entanto, a vida de prateleira não foi determinada neste estudo. Segundo Acedo et al. (2018), os efeitos benéficos da suplementação de vitamina E sobre a vida de prateleira de cortes cárneos estão relacionados à redução da oxidação da mioglobina e de sua conversão em metamioglobina, responsável por conferir a cor marrom/vermelho escuro à carne; e a redução da oxidação lipídica (efeito antioxidante).

Secrist et al. (1997) realizaram uma extensa revisão de literatura sobre os efeitos da suplementação de vitamina E no desempenho produtivo de bovinos de corte. Os autores resumiram 21 estudos e concluíram que a suplementação de vitamina E melhorou a taxa de ganho de peso e o PC final de bovinos confinados. Além disso, este estudo mostrou que a suplementação de vitamina E para bovinos de corte durante os primeiros dias de confinamento (período estressante devido ao transporte e adaptação a um novo ambiente) tendeu a melhorar a eficiência alimentar. Além disso, os autores relataram que a suplementação de vitamina E afetou positivamente o sistema imunológico dos bovinos, aumentando a resposta imune a doenças e patógenos, bem como a outros distúrbios que surgem no início do período de confinamento. Consequentemente, esses resultados sugerem que a vitamina E pode estar, em termos gerais, em um nível abaixo do ideal em dietas de confinamento, pois sua suplementação promoveu uma melhora geral no desempenho de bovinos confinados (Secrist et al., 1997). Portanto, quando uma quantidade adequada de vitamina E não é fornecida na

dieta, o desempenho animal pode ser prejudicado.

### **Vitamina K**

Vitamina K é um termo genérico utilizado para caracterizar um grupo homólogo de vitaminas lipossolúveis, constituído por uma 2-metil-1,4-naftoquinona, com vários isômeros de natureza e comprimento de cadeia lateral diferentes, com efeitos anti-hemorrágicos (NASEM, 2016). Além disso, existem alguns relatos na literatura que descreveram uma relação entre a vitamina K e algumas proteínas dependentes de vitamina K (proteínas C, S, Z e M), sugerindo outras funções além de sua ação coagulante. As proteínas C e S desempenham um papel anticoagulante em vez de pró-coagulante na hemostasia normal (Stenflo, 1999), e também estão envolvidas na regulação da renovação óssea (Binkley e Suttie, 1995). As funções das proteínas M e Z ainda são desconhecidas.

As formas de vitamina K podem ser agrupadas em: filoquinona ( $K_1$ ), menaquinonas ( $K_2$ ) e menadionas (K). A filoquinona e as menaquinonas são formas naturais da vitamina K. A filoquinona é extraída de plantas (cloroplastos) e apresenta uma cadeia lateral fitil composta por quatro unidades de isopreno. A menaquinona é sintetizada por bactérias a partir de compostos contendo vitamina K ativa via fermentação. Esta forma de vitamina K apresenta ligações duplas que se sucedem periodicamente. A menadiona sintética (K) possui um núcleo ativo (2-metil-1,4-naftoquinona) e não possui cadeia lateral. Geralmente é usado como vitamina K suplementar (Dôres et al., 2001).

A filoquinona e a menaquinona têm atividade biológica semelhante no processo de coagulação do sangue. No entanto, a atividade das menadionas e seus derivados depende do grau de estabilidade do produto sintético; e geralmente são menos eficazes que a filoquinona em substâncias antagonistas (sulfaquinoxalina, dicumarol, varfarina ou actinomicina D; McDowell, 2000).

A vitamina  $K_2$  é sintetizada em grandes quantidades pelas bactérias do rúmen (Berchielli et al., 2006). Assim, as exigências de vitamina K de ruminantes são atendidas por uma combinação de sua ingestão e biossíntese

microbiana ruminal e intestinal, que pode envolver microrganismos intestinais como a *Escherichia coli*. Ainda, os ruminantes podem absorver quantidades consideráveis de vitamina K sintetizada no rúmen e intestino delgado por meio de transporte ativo (Mendonça Júnior et al., 2010). De acordo com McDowell (2000), os machos são mais suscetíveis à deficiência de vitamina K na dieta do que as fêmeas, aparentemente devido ao estímulo do estrogênio na absorção da filoquinona.

### AVALIAÇÃO PRÁTICA DA SUPLEMENTAÇÃO VITAMÍNICA EM DIETAS DE BOVINOS DE CORTE

Dois estudos foram conduzidos concomitantemente para avaliar os efeitos da suplementação vitamínica sobre o metabolismo (Estudo 1) e desempenho produtivo (Estudo 2) de bovinos de corte em condições brasileiras. Para isso, o consumo de alimentos, a digestibilidade dos nutrientes e os parâmetros ruminais de bovinos Nelore alimentados com dietas contendo diferentes suplementos vitamínicos foram avaliados no Estudo 1 (Silva et al., 2022). No estudo 2, foram avaliados os efeitos de diferentes suplementos sobre o consumo de alimentos, GMD e eficiência alimentar de machos não castrados Nelore (Andrade, 2022).

Em ambos os estudos, os animais foram alimentados com uma dieta basal composta por 30% de silagem de milho e 70% de concentrado (na base da MS) em esquema fatorial  $2 \times 2$ . Os fatores consistiram em dois níveis de suplementação de um *blend* de vitaminas lipossolúveis (A, D e E; ADE- ou ADE+) e dois níveis de suplementação de um *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina; B-blend- ou B-blend+). Assim, os tratamentos avaliados consistiram em não suplementação vitamínica (ADE- B-blend-), suplementação com *blend* de vitaminas do complexo B (ADE- B-blend+), suplementação

com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE+ B-blend-), ou suplementação com uma combinação dessas duas misturas (ADE+ B-blend+). Os *blends* foram incluídos no concentrado e os níveis de suplementação vitamínica na dieta foram: 3,3 mg/kg MS de biotina (D-biotina), 111,1 mg/kg MS de niacina (niacina), 28,9 mg/kg MS de tiamina (cloridrato de tiamina), 6666,7 UI/kg MS de vitamina A (acetato de retinil), 5111,1 UI/kg MS de vitamina D (13% D3-Colecalciferol e 87% 25-Hidroxivitamina D3 - Hy-D®), e 70 UI/kg MS de vitamina E (DL-alfa-tocoferol acetato).

#### Estudo 1

Neste estudo, quatro machos Nelore não castrados fistulados no rúmen (idade =  $8 \pm 1.0$  meses; PC inicial =  $289 \pm 11,2$  kg) foram distribuídos em um delineamento em quadrado latino  $4 \times 4$ , com quatro tratamentos (diferentes suplementações vitamínicas) e quatro períodos. O experimento teve duração de 100 dias, com quatro períodos de 25 dias. Cada período consistiu de 14 dias para adaptação às dietas, 5 dias para coleta de fezes e urina, 3 dias para coleta de digesta omasal e ruminal e 3 dias para esvaziamento ruminal. Os principais resultados são descritos abaixo. Mais detalhes podem ser obtidos em Silva et al. (2022).

Os consumos de MS e de nutrientes, bem como a digestibilidade ruminal não foram afetados ( $P \geq 0,072$ ) por nenhuma das suplementações vitamínicas (Tabela 15.3). A digestibilidade aparente do trato total da MS, matéria orgânica (MO) e fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp) não foi influenciada pelas dietas experimentais ( $P > 0,114$ ). No entanto, um aumento na digestibilidade do trato total do amido foi verificado com a suplementação de vitaminas ADE ( $P = 0,031$ )

Tabela 15.3 - Consumo de matéria seca e de nutrientes, digestibilidade aparente ruminal e total de machos Nelore não castrados recebendo dietas com ou sem suplementação de *blends* vitamínicos

Item	Dietas experimentais <sup>1</sup>				EPM <sup>2</sup>	P-valor		
	ADE <sup>-</sup>		ADE <sup>+</sup>			B-blend	ADE	B-blend × ADE
	B-blend <sup>-</sup>	B-blend <sup>+</sup>	B-blend <sup>-</sup>	B-blend <sup>+</sup>				
<b>Consumo (kg/dia)</b>								
Matéria seca	7,3	7,2	7,3	6,7	0,54	0,312	0,545	0,558
Matéria orgânica	7,1	6,9	7,0	6,5	0,53	0,326	0,539	0,570
FDNcp <sup>3</sup>	1,5	1,5	1,5	1,4	0,12	0,301	0,630	0,765
Amido	3,7	3,6	3,6	3,3	0,29	0,331	0,465	0,549
<b>Consumo (g/kg PC)</b>								
Matéria seca	22,1	21,2	21,9	20,0	0,94	0,175	0,448	0,578
<b>Digestibilidade ruminal (g/kg)</b>								
Matéria seca	418,8	401,7	398,9	433,4	27,23	0,577	0,705	0,132
Matéria orgânica	494,7	477,2	475,4	510,4	23,35	0,557	0,637	0,111
FDNcp <sup>3</sup>	313,2	301,4	278,4	364,6	27,12	0,149	0,549	0,071
Amido	842,0	852,4	841,1	862,3	16,26	0,273	0,744	0,694
<b>Digestibilidade aparente total (g/kg)</b>								
Matéria seca	690,8	706,1	693,4	725,4	15,42	0,062	0,331	0,450
Matéria orgânica	707,6	720,5	707,4	742,2	15,04	0,056	0,327	0,322
FDNcp <sup>3</sup>	512,0	500,3	497,5	551,1	24,70	0,281	0,345	0,114
Amido	876,4	897,3	907,8	918,9	12,30	0,141	0,031	0,625

<sup>a-b</sup>Valores médios na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes. <sup>1</sup> ADE<sup>-</sup> = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE<sup>+</sup> = dieta suplementada com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-blend<sup>-</sup> = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-blend<sup>+</sup> = dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).<sup>2</sup>Erro padrão da média. <sup>3</sup>Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína.

As concentrações individuais e totais de AGV (% molar), assim como as concentrações de lactato não foram influenciadas ( $P \geq 0,133$ ) pela suplementação vitamínica (Tabela 15.4). Os animais suplementados com a combinação de ADE e B-blend apresentaram menores concentrações ruminais de NH<sub>3</sub>-N ( $P=0,008$ ). A

suplementação vitamínica de B-blend diminuiu o pH ruminal ( $P = 0,003$ ). Além disso, as concentrações séricas de 25-hidroxivitamina D (25(OH)D) foram maiores ( $P<0,01$ ), com valores médios de 38,7 e 31,5 (ng/mL), respectivamente, nos animais recebendo suplementação de ADE e ADE+B-blend (Figura 15.1).

Tabela 15.4 - Efeito da suplementação vitamínica sobre o pH ruminal e as concentrações de NH<sub>3</sub>-N, AGV e lactato em machos Nelore não castrados

Item	Dietas experimentais <sup>1</sup>				EPM <sup>2</sup>	P-valor		
	ADE <sup>-</sup>		ADE <sup>+</sup>			B-blend	ADE	B-blend × ADE
	B-blend <sup>-</sup>	B-blend <sup>+</sup>	B-blend <sup>-</sup>	B-blend <sup>+</sup>				
pH ruminal	6,1	5,8	6,0	5,9	0,27	0,003	0,679	0,24
NH <sub>3</sub> -N ruminal, mg/dL	11,8 <sup>a</sup>	9,3 <sup>b</sup>	9,7 <sup>b</sup>	10,0 <sup>b</sup>	1,38	0,058	0,205	0,008
AGV totais, mmol/L	94,7	97,8	92,9	88,8	6,75	0,907	0,215	0,396
<b>Individual, mmol/100mmol</b>								
Lactato	4,8	4,5	4,2	4,2	0,40	0,768	0,341	0,749
Acetato	63,6	63,2	64,5	66,5	1,50	0,485	0,106	0,318
Propionato	21,5	23,6	22,0	19,9	1,27	0,972	0,174	0,091
Butirato	10,2	8,7	9,3	9,4	0,50	0,198	0,917	0,137
Relação A:P	3,1	2,8	3,2	4,1	0,52	0,423	0,136	0,180

<sup>a-b</sup>Valores médios na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes. <sup>1</sup> ADE<sup>-</sup> = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE<sup>+</sup> = dieta suplementada com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-blend<sup>-</sup> = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-blend<sup>+</sup> = dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).<sup>2</sup>Erro padrão da média.



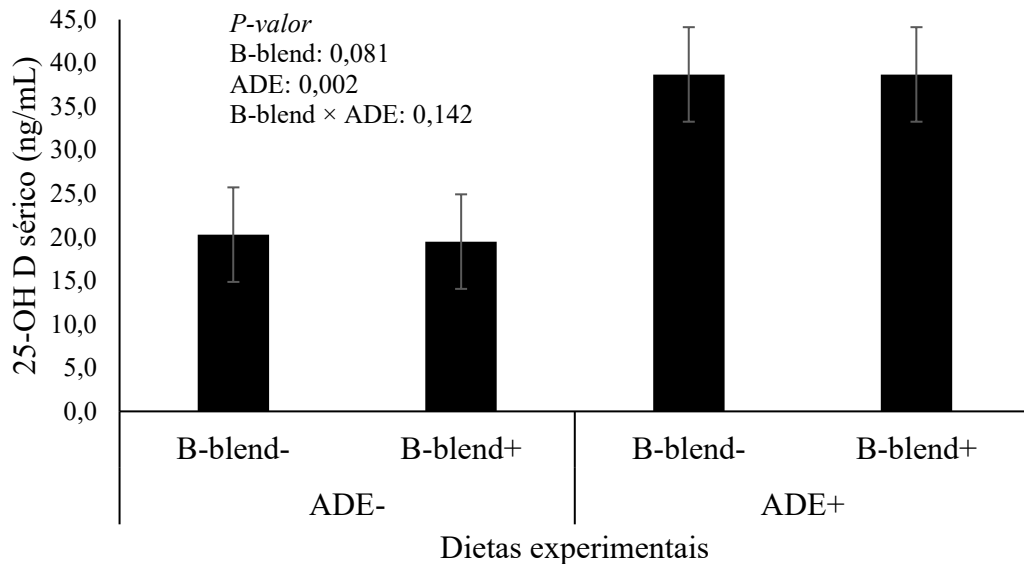


Figura 15.1 - Concentrações séricas de 25-hidroxivitamina D [25 (OH) D] em machos Nelore não castrados recebendo dietas com ou sem suplementação vitamínica. ADE- = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE+= dieta suplementada com *blend* de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-*blend*- = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-*blend*+ = dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).

Assim, este estudo demonstrou que a suplementação de machos Nelore não castrados com *blends* de vitaminas lipossolúveis (ADE) em dietas com alto teor de concentrado nas condições brasileiras aumentou a digestibilidade aparente total do amido. Ainda, a suplementação de machos Nelore não castrados com *blends* de vitaminas contendo 25(OH)D<sub>3</sub> foi uma estratégia bem-sucedida para aumentar as concentrações circulantes de 25(OH)D.

### Estudo 2

Neste estudo, foram utilizados 45 machos Nelore não castrados (idade =  $8 \pm 1,0$

meses; PC inicial =  $261 \pm 27,3$  kg). Cinco animais foram abatidos ao início do experimento (REF), para determinação do peso de corpo vazio (PCVZ) inicial dos animais que permaneceram no experimento. Os 40 animais restantes foram distribuídos aleatoriamente em 4 grupos de 10 animais cada. Os quatro tratamentos descritos anteriormente foram aleatoriamente designados para cada grupo. O experimento teve duração de 140 dias. Os consumos de MS ( $P > 0,05$ ) e MO (CMO) não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) pelas dietas experimentais (Figura 15.2; A e B).

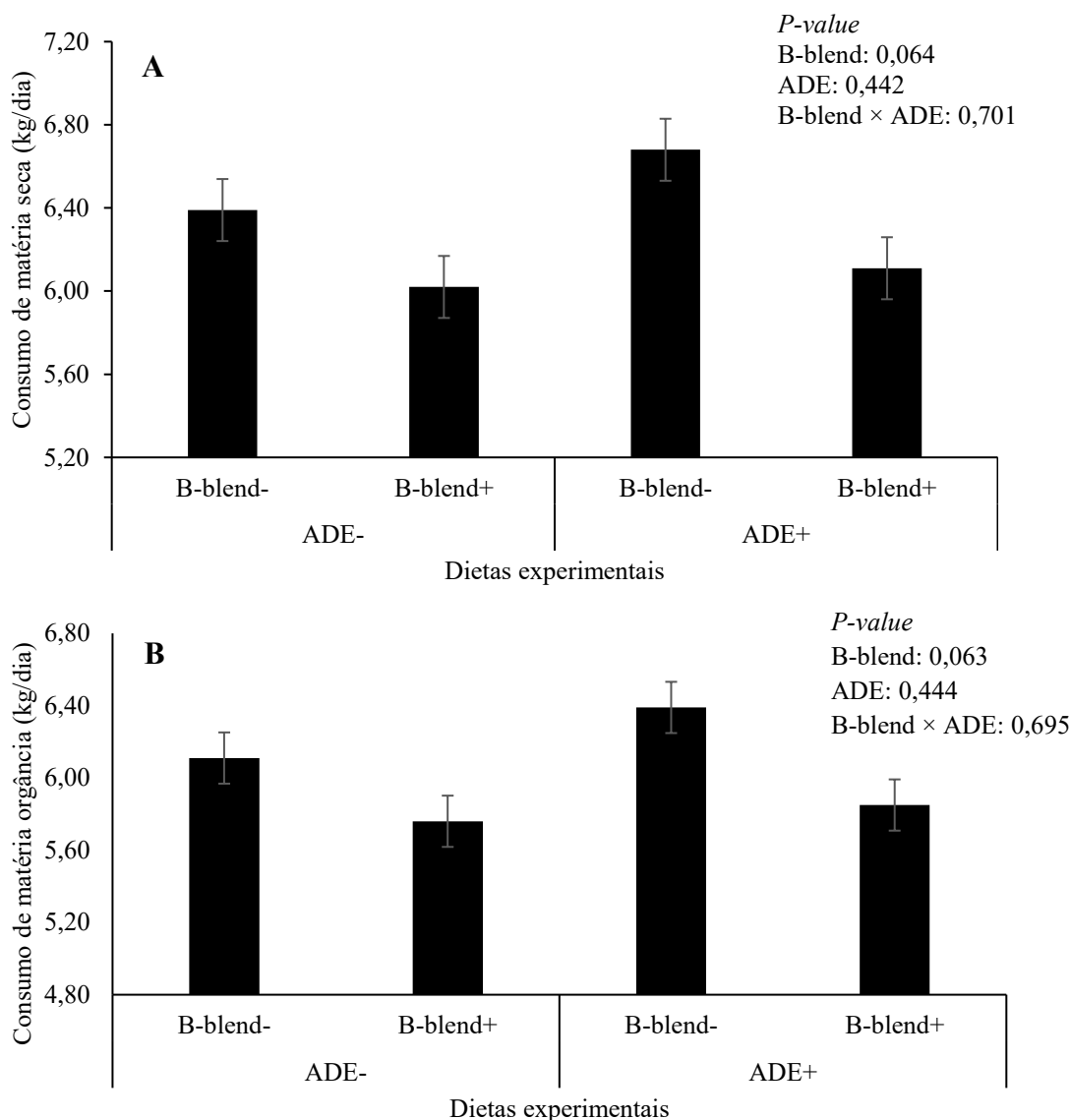


Figura 15.2 - Efeito da suplementação com *blends* de vitaminas lipossolúveis e/ou hidrossolúveis sobre o consumo de matéria seca (A) e de matéria orgânica (B) de machos Nelore não castrados. ADE- = sem suplementação com vitaminas lipossolúveis (ADE); ADE+= dieta suplementada com blend de vitaminas lipossolúveis (ADE), B-*blend*- = sem suplementação com vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina), B-*blend*+ = dieta suplementada com *blend* de vitaminas do complexo B (biotina, niacina e tiamina).

Não foi observado efeito ( $P > 0,05$ ) da suplementação vitamínica sobre o peso corporal final (PCf), PCVZ final (PCVZf), GMD, ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ), peso de carcaça fria (PCF), peso de carcaça quente (PCQ), espessura de gordura subcutânea (EGS), comprimento de carcaça (COC), área de olho de lombo (AOL) e rendimento de carcaça quente (RCQ; Tabela 15.5). Assim, não foram observados benefícios da suplementação de *blends* de vitaminas hidrossolúveis (B-*blend*) e/ou lipossolúveis (ADE-*blend*) sobre CMS, CMO,

desempenho produtivo e características de carcaça de machos Nelore não castrados recebendo dietas ricas em grãos em confinamentos brasileiros.

Mais pesquisas são necessárias em relação à suplementação vitamínica em dietas de confinamento. Assim, o comitê da atual edição do BR-CORTE sugere a utilização dos valores de exigências de vitaminas para bovinos de corte recomendados pelo NASEM (2016) e OVN (2016), apresentados na Tabela 15.6.

Tabela 15.5 - Efeito da suplementação vitamínica sobre o desempenho animal e características de carcaça de machos Nelore não castrados

Item <sup>1</sup>	REF	Dietas Experimentais <sup>2</sup>				EPM <sup>3</sup>	P-valor		
		ADE-		ADE+			B-blend	ADE	B-blend × ADE
		B-blend-	B-blend+	B-blend-	B-blend+				
Nº de animais	5	9	10	9	10	-	-	-	-
PCf (kg)	261	445	422	446	427	12,3	0,104	0,800	0,875
PCVZf (kg)	234	408	386	410	390	11,7	0,089	0,811	0,962
GMD (kg/dia)	-	1,25	1,14	1,26	1,19	0,054	0,120	0,608	0,693
GPCVZ (kg/dia)	-	1,19	1,08	1,20	1,12	0,050	0,075	0,624	0,834
PCF (kg)	-	258	244	259	247	8,1	0,131	0,823	0,882
PCQ (kg)	155	268	256	266	258	7,9	0,211	0,995	0,824
EGS (mm)	-	7,16	6,58	6,33	6,34	0,768	0,717	0,502	0,711
COC (cm)	-	127	126	126	125	1,8	0,523	0,564	0,978
AOL (cm <sup>2</sup> )	55,9	75,8	73,2	77,1	75,8	2,44	0,449	0,441	0,792
RCQ (%)	-	60,3	60,7	59,8	60,4	0,52	0,336	0,437	0,842

<sup>1</sup>PCf = Peso corporal médio final; PCVZf = Peso de corpo vazio final; GMD = Ganho médio diário; GPCVZ = Ganho de peso de corpo vazio; PCF = Peso de carcaça fria; PCQ = Peso de carcaça quente; EGS = Espessura de gordura subcutânea; COC = Comprimento de Carcaça; AOL = Área de olho de lombo; RCQ = Rendimento de carcaça quente.

<sup>2</sup>REF = grupo referência, animais referências foram usados para estimar o peso de corpo vazio inicial, carcaça, não-carcaça e composição corporal dos demais animais experimentais. Eles não foram incluídos na análise estatística; (ADE-/B-blend-) = suplementação mineral sem vitaminas; (ADE-/B-blend+) = suplementação mineral com vitaminas do complexo B (Tiamina = 28,9 mg/kg MS, Niacina = 111,1 mg/kg MS e Biotina = 3,3 mg/kg MS); (ADE+/B-blend-) = suplementação mineral com vitaminas lipossolúveis (A = 6.666,7 UI/Kg MS, D = 5.111,1 UI/Kg MS (13% D3 e 87% Hy-D®) e E = 70 UI/Kg MS); (ADE+/B-blend+) = suplementação mineral com vitaminas do complexo B (Tiamina = 28,9 mg/kg MS, Niacina = 111,1 mg/kg MS e Biotina = 3,3 mg/kg MS) e vitaminas lipossolúveis (A = 6.666,7 UI/Kg MS, D = 5.111,1 UI/Kg MS (13% D3 e 87% Hy-D®) e E = 70 UI/Kg MS).

<sup>3</sup>O erro padrão da média para os tratamentos CTRL e Vit ADE são: PCf = 13,0; PCVZf = 12,3; GMD = 0,057; GPCVZ = 0,052; PCF = 8,5; PCQ = 8,3; EGS = 0,809; COC = 1,8; AOL = 2,57; RCQ = 0,54.

**TABELAS DE EXIGÊNCIAS DE VITAMINAS  
(NASEM, 2016 e OVN, 2016)**

Na Tabela 15.6, estão apresentadas as principais recomendações de vitaminas para bovinos de corte em diferentes fases, descritas pelo NASEM (2016) e OVN (2016).

Tabela 15.6 - Exigências de vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis para bovinos de corte de acordo com NASEM (2016) e OVN (2016)

Vitaminas	Tabelas Referencias	Categoria/Fase					
		<sup>1</sup> Bezerros (0-3 meses)	<sup>2</sup> Crescimento	<sup>2</sup> Terminação e Engorda	<sup>2</sup> Vacas e novilhas prenhas	<sup>2</sup> Vacas e novilhas lactantes	<sup>2</sup> Cruzados
A <sup>3</sup>	OVN-DSM 2016 (UI/dia)	20000-32000	25000-50000	40000-80000	40000-70000	40000-70000	50000-80000
	NASEM- 2016 (UI/ Kg MS)	-	2200	2200	2800	3900	3900
B-caroteno	OVN-DSM 2016 (mg/dia)	100	-	-	300-500	300-500	-
D <sup>3</sup>	OVN-DSM 2016 (UI/dia)	1400-1800	6000-90000	5000-70000	5000-10000	5000-10000	5000-10000
	NASEM- 2016 (UI/ Kg MS)	-	275	275	-	-	-
E	OVN-DSM 2016 (mg/dia)	100-150	200-300	500-2000 <sup>4</sup>	300-500	300-500	300-500
	NASEM- 2016 (UI/ Kg MSI)	15-60	25-35 <sup>5</sup>	25-35 <sup>5</sup>	-	-	-
Tiamina	OVN-DSM 2016 (mg/dia)	2.5-5	60-250 <sup>6</sup>	60-250 <sup>6</sup>	-	-	-
Biotina	OVN-DSM 2016(mg/dia)	0.05-0.10	10-20 <sup>7</sup>	10-20 <sup>7</sup>	20	20	20

<sup>1</sup> Adicionado por kg de sucedâneo em pó; <sup>2</sup> Quantidade suplementar por animal por dia; <sup>3</sup> Quantidade suplementar por animal por dia; <sup>4</sup>Nível superior para maior vida útil da cor, 100 a 120 dias antes do abate; <sup>5</sup>400-500 UI/ dia para bezerros estressados recém-recebidos no confinamento; <sup>6</sup>Nível superior para bovinos com dietas de alto concentrado; <sup>7</sup>Para uma ótima saúde do casco e marmoreio da carne.

## REFERÊNCIAS

- Abel, H. J.; Immig, I.; Da Costa Gomez, C.; Steinberg, W. Effect of increasing dietary concentrate levels on microbial biotin metabolism in the artificial rumen simulation system (RUSITEC). *Archives of Animal Nutrition*. 55:371–376, 2001.
- Acedo, T. S., V. N. Gouvêa, e G. de S. F. M. Vasconcellos. 2018. Suplementação vitamínica para bovinos de corte: bases científicas e benefícios produtivos. Em: *Anais do XI Simpósio de Produção de Gado de Corte - SIMCORTE*. Scienza, Viçosa-MG. p. 71–546. Available from: [http://editorascienza.com.br/pdfs/doi/palestras\\_xi\\_simcorte.pdf](http://editorascienza.com.br/pdfs/doi/palestras_xi_simcorte.pdf).
- Ahmadian, M.; Bouyeh ; Seidavi, A.R. *A review of the effects of niacin on broiler productivity*, *World's Poultry Science Journal*, 77:3, 589-604, 2021.
- Andriquetto, J. M., e L. Perly. 1994. *Nutrição Animal: bases e fundamentos*. NBL Editora.
- Andrade, D.R. *Desempenho e exigências nutricionais de bovinos alimentados com dietas contendo diferentes blends vitamínicos*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2021.
- Alosilla, C. E.; McDowell, L. R.; Wilkinson, N. S.; Staples, C. R.; Thatcher, W. W.; Martin, F. G.; Blair, M. Bioavailability of vitamin A sources for cattle. *Journal of Animal Science*, 85:1235–1238, 2007.
- Amaral, B. C. do; Souza, J. C. de; Bertechini, A. G.; Viveiros, A. T. de M.; Teixeira, J. C.; Arantes, A. F. A. Efeito de diferentes dosagens de vitamina A injetável na produção e qualidade de embriões bovinos da raça Nelore. *Ciência e Agrotecnologia*, 28:662–667, 2004.
- Akhtar, S.; Anjum, F.M.; Anjum, M.A. Micronutrient fortification of wheat flour: Recent development and strategies. *Food Research International*, 44:652-659, 2011.
- Ammerman, C.B.; Baker, D.H.; Lewis, A.J. *Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals, and vitamins*. San Diego: Academic Press. xiv; p. 441, 1995.
- Aragón, J. R. 2018. *Respuesta productiva, costos de producción, calidad de la canal y de la carne de toretes suplementados con difosfato de tiamina y  $\beta$ - agonistas*. Universidad Autónoma Chapingo. Available from: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.
- Aschenbach, J. R., Zebeli, Q., Patra, A. K., Greco, G., Amasheh, S., & Penner, G. B. (2019). Symposium review: The importance of the ruminal epithelial barrier for a healthy and productive cow. *Journal of dairy science*, 102(2), 1866-1882.
- Baldi, A. and Pinotti, L. Choline metabolism in high-producing dairy cows: Metabolic and nutritional basis. *Canadian Journal of Animal Science*, 86:207-212, 2006.
- Baldwin, R. L., and Allison, M. J. Rumen metabolism. *Journal of Animal Sciences*. 57(2):461-477, 1983.
- Ball, G. F. M. 2004. *Vitamins: their role in the human body*. London: Blackwell Publishing.
- Ball, G. F. M. 2006. *Vitamins in foods: analysis, bioavailability and stability*. (Taylor & Francis Group. LLC, editor.). Boca Raton, FL, EUA.
- Ballet, N., J. C. Robert, e P. E. V Williams. 2000. *Vitamins in Forages Vitamin Requirements of Ruminants*. 19:399–431.
- Bässler, K. H. ., I. . Golly, D. . Loew, e K. Pietrzik. 2002. *Vitamin-Lexikon für Ärzte, Apotheker und Ernährungswissenschaftler*. 3rd ed. (Urban & Fischer, editor.). München and Jena.
- Beaudet, V.; Gervais, R.; Graulet, B.; Nozière, P.; Doreau, M.; Fanchone, A.; Castagnino, D. D. S.; Girard, C. L. Effects of dietary nitrogen levels and carbohydrate sources on apparent ruminal synthesis of some B vitamins in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(4):2730–2739, 2016.
- Bendich, A. Physiological role of antioxidants in the immune system. *Journal of Dairy Science*, 76: 2789, 1993.
- Berdanier, C. D.; Berdanier, L. A.; Zemleni, J. *Advanced nutrition: macronutrients, micronutrients, and metabolism*. CRC press, 2008.
- Berchielli, T. T., A. V. Pires, e S. G. Oliveira. 2006. *Nutrição de Ruminantes*. 636.2085. FUNEP, Jaboticabal, São Paulo.
- Binkley, N. C., e J. W. Suttie. 1995. Vitamin K nutrition and osteoporosis. *Journal of Nutrition*. 125:1812–1821.
- Bindel, D. J.; Drouillard, J. S.; Titgemeyer, E. C.; Wessels, R. H.; Löest, C. A. Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers. *Journal of Animal Science*, 78(10):2497–2503, 2000.

- Brent, B. E. 1976. Relationship of acidosis to other feedlot ailments. *Journal of Animal Science*. 43:930–935.
- Brent, B. E., & Bartley, E. E. (1984). Thiamin and niacin in the rumen. *Journal of Animal Science*, 59(3), 813-822.
- Briggs, M. H.; Heard, T. W.; Whitcroft, A., and Hoog, M. L.: Studies on urea-fed cattle. II. Rumen levels of B vitamins and related coenzymes. *Life Science*. 3: 11-14 (1964).
- Buckley, D. J., P. A. Morrissey, e J. I. Gray. 1995. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *Journal of animal science*. 73:3122–3130.
- Byers, F. M. 1981. Another look at niacin. *Animal Nutrition Health*. 36 (6):36.
- Bryant, T. C.; Wagner, J. J.; Tatum, J. D.; Galyean, M. L.; Anthony, R. V.; Engle, T. E. Effect of dietary supplemental vitamin A concentration on performance, carcass merit, serum metabolites, and lipogenic enzyme activity in yearling beef steers. *Journal of Animal Science*, 88: 1463–1478, 2010.
- Campbell, J. R.; Greenough, P. R.; Petrie, L. The effects of dietary biotin supplementation on vertical fissures of the claw wall in beef cattle. *Canadian Veterinary Journal*, 41(9):690–694, 2000.
- Castro, L. C. G. de. 2011. O sistema endocrinológico vitamina D. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*. 55:566–575.
- Casals, R., and Calsamiglia, S. Optimum vitamin nutrition in beef cattle. In: Linden, J. (Ed.), *Optimum Vitamin Nutrition in the Production of Quality Animal Foods*. 5M Publishing, Sheffield, United Kingdom, p. 309–333. 2012.
- Castagnino, D. S.; Seck, M.; Beaudet, V.; Kammes, K. L.; Linton, J. A. V.; Allen, M. S.; Gervais, R.; Chouinard, P. Y.; Girard, C. L. Effects of forage family on apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99:1884–1894, 2016.
- Chen, B.; Wang, C.; Liu, J.X. Effects of dietary biotin supplementation on performance and hoof quality of Chinese Holstein dairy cows. *Livestock Science*. 148:168–173, 2012.
- Chen, B.; Wang, C.; Wang, Y. M.; Liu, J. X. Effect of biotin on milk performance of dairy cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 94: 3537–3546, 2011.
- Chen, Y. F.; Huang, C. F.; Liu, L.; Lai, C. H.; Wang, F. L. Concentration of vitamins in the 13 feed ingredients commonly used in pig diets. *Animal Feed Science and Technology*, 247:1–8, 2019.
- Clemmons, B. A.; Powers, J. B.; Campagna, S. R.; Seay, T. B.; Embree, M. M.; Myer, P. R. Rumen fluid metabolomics of beef steers differing in feed efficiency. *Metabolomics*, 16: 1–9, 2020.
- Coelho, M. Vitamin stability in premixes and feeds a practical approach in ruminant diets. 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, 2002.
- Cummins, K. A. and C. J. Brunner. Effect of calf housing on plasma ascorbate and endocrine and immune function. *Journal of Dairy Science*. 74:1582-1588. 1991.
- Cunha, S., V. Lúcia, C. Bastos, C. Bastos, J. B. Salles, C. Martins, C. Salles, M. Cristina, R. A. Dias, L. M. De Lima, e C. A. Mandarim-de-lacerda. 2006. *Nível de Tiamina no Miocárdio, Área Transversa e Número de Núcleos de Cardiomiócitos de Ratos em uso de Furosemida*. 87:195–200.
- Da Costa Gomez, C.; Masri, M. A.; Steinberg, W.; Abel, H. Effect of varying hay/barley-proportions on microbial biotin metabolism in the rumen simulating fermenter Rusitec. In: *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, 7:30 (Abstr.). 1998.
- De Silva, L.A.F.; Amhold, E.; Rabelo, R.E.; de Freitas, S.L.R.; Buso, B.L.S.; Rodrigues, D.F.; Assis, B.M. Comparative study of biotin supplementation on weight gain and occurrence of digital diseases in cattle (*Bos taurus* x *Bos indicus*). *Revista Brasileira De Ciência Veterinária*, 25:6–12, 2018.
- Dôres, S. M. C. das, S. A. R. de Paiva, e Á. O. Campana. 2001. Vitamina K: Metabolismo e nutrição. *Revista de Nutrição*. 14:207–218.
- Drouillard, J. S., A. S. Flake, and G. L. Kuhl. 1998. *Effects of added fat, degradable intake protein, and ruminally protected choline in diets of finishing steers*. Cattlemen's Day Rep. Prog. 804. Kansas Agric. Exp. Sta., Manhattan. pp 71–75.
- Ebtehag, I. M. A.-E., A. A. Abdou, W. A. Riad, e M. R. M. Mostafa. 2016. Effect of dietary niacin and/or thiamin supplementations on growth and fattening performance of buffalo calves. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*. 19:415–425.

- Enjalbert F.; Micot, M.C.; Packington, A.J. Effects of per partum biotin supplementation of dairy cows on milk production and milk composition with emphasis on fatty acids profile. *Livestock Science*, 114: 287-295, 2008.
- Fedosov, S. N. 2012. *Physiological and Molecular Aspects of Cobalamin Transport*. Em: p. 347–367. Available from: [http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-2199-9\\_18](http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-2199-9_18)
- Finlayson, H. J., e R. C. Seeley. 1983. The synthesis and absorption of pantothenic acid in the gastrointestinal tract of the adult sheep. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 34:427–432.
- Flachowsky, G. 1993. Niacin in dairy and beef cattle nutrition. *Archiv für Tierernährung*. 43:195–213.
- Ford, J. E., K. D. Perry, e C. A. Briggs. 1958. Nutrition of lactic acid bacteria isolated from the rumen. *Journal of general microbiology*. 18:273–284.
- Girard, C. L., & Matte, J. J. (1998). Dietary supplements of folic acid during lactation: effects on the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81(5), 1412-1419.
- González-Montaña, J. R., F. Escalera-Valente, A. J. Alonso, J. M. Lomillos, R. Robles, e M. E. Alonso. 2020. Relationship between vitamin b12 and cobalt metabolism in domestic ruminant: An update. *Animals*. 10:1–36.
- Gonzalez-Rivas, P. A., M. Chambers, e J. Liu. 2021. A pilot study comparing the pharmacokinetics of injectable cyanocobalamin and hydroxocobalamin associated with a trace mineral injection in cattle. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 44:406–410.
- González, F. H. D., e S. C. Silva. 2019. *Minerais e vitaminas no metabolismo animal*. Available from: [https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2019/06/miner\\_vitam2019.pdf](https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wp-content/uploads/2019/06/miner_vitam2019.pdf)
- Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Bohn, T.; Schwartz, S. J.; Loerch, S. C. Effect of low vitamin A diets with high-moisture or dry corn on marbling and adipose tissue fatty acid composition of beef steers. *Journal of Animal Science*, 85: 3355–3366, 2007.
- Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Loerch, S. C. Effect of vitamin a restriction on carcass characteristics and immune status of beef steers. *Journal of Animal Science*, 86: 1609–1616, 2008.
- Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Reynolds, C. K.; Loerch, S. C. Effect of dietary vitamin A concentration and roasted soybean inclusion on marbling, adipose cellularity, and fatty acid composition of beef. *Journal of Animal Science*, 85: 2230–2242, 2007a.
- Gorocica-Buenfil, M. A.; Fluharty, F. L.; Reynolds, C. K.; Loerch, S. C. Effect of dietary vitamin A restriction on marbling and conjugated linoleic acid content in Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 85: 2243–2255, 2007b.
- Gouvêa, V. N. de; Colli, M. H. A.; Junior, W. A. G.; Motta, J. C. L.; Acedo, T. S.; Vasconcellos, G. de S. F. M. de; Tamassia, L. F. M.; Elliff, F. M.; Mingoti, R. D.; Baruselli, P. S. The combination of  $\beta$ -carotene and vitamins improve the pregnancy rate at first fixed-time artificial insemination in grazing beef cows. *Livestock Science*, 217:30–36, 2018.
- Habeeb, A. A., and Gad, A. E. Effect of biotin supplementation to the diet of pregnant goats on productive and reproductive traits and performance of their kids during suckling period. *Journal of Animal Sciences and Livestock Production*, 3:1, 2019.
- Hayes, B. W., G. E. Mitchell, Jr., C. O. Little and N. W. Bradley. 1966. Concentrations of B-vitamins in ruminal fluid of steers fed different levels and physical forms of hay and grain. *Journal Animal Science*. 25:53.
- Higuchi, H.; Maeda, T.; Kawai, K.; Kuwano, A; Kasamatsu, M.; Nagahata, H. Physiological changes in the concentrations of biotin in the serum and milk and in the physical properties of the claw horn in Holstein cows. *Veterinary Research Communications*. 27:407–413, 2003.
- Holick, M. F. (2007). Vitamin D deficiency. *New England journal of medicine*, 357(3), 266-281.
- Insani, E. M., A. Eyherabide, G. Grigioni, A. M. Sancho, N. A. Pensel, e A. M. Descalzo. 2008. Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina. *Meat Science*. 79:444–452.
- Karapinar, T., M. Dabak, e O. Kizil. 2010. Thiamine status of feedlot cattle fed a high-concentrate diet. *Canadian Veterinary Journal*. 51:1251–1253.
- Jayaprakash, G.; Sathiyabarathi, M.; Robert, M. A.; Tamilmani, T. Rumen-protected choline: A significance effect on dairy cattle nutrition. *Veterinary World*, 9:837–841, 2016.

- Kather, S., N. Grützner, P. H. Kook, F. Dengler, e R. M. Heilmann. 2020. Review of cobalamin status and disorders of cobalamin metabolism in dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 34:13–28.
- Kon, S. K., e J. W. G. Porter. 1954. The Intestinal Synthesis of Vitamins in the Ruminant. *Vitamins and Hormones*. 12:53–68.
- Knutson, E. E.; Menezes, A. C. B.; Sun, X.; Fontoura, A. B. P.; Liu, J. H.; Bauer, M. L.; Maddock-Carlin, K. R.; Swanson, K. C.; Ward, A. K. Effect of feeding a low-vitamin A diet on carcass and production characteristics of steers with a high or low propensity for marbling. *Animal*, 14(11):2308-2314, 2020.
- Leda, F., A. Catharina, B. Suelen Gonçalves, F. Isabela Pereira, F. Vanessa Pires de, B. Antônio, e L. Patrícia de Fátima. 2018. Micronutrientes e sua importância no período gestacional. *Revista Saber Científico*. 7:68–82.
- Lemire, J. M. 1992. Immunomodulatory role of 1,25-dihydroxyvitamin D3. *Journal of Cellular Biochemistry*. 49:26–31.
- Lischer, C. J.; Hunkeler, A.; Geyer, H.; Ossent, P. *The effect of biotin in the treatment of uncomplicated claw lesions with exposed corium in dairy cows. Part II: The healing process in supplemented animals*. Page 31 IN: Proc. 9th Int. Symp. Disorders Ruminant Digit Int. Conf. Lameness Cattle. Koret School of Veterinary Medicine, Rehovot, Israel. 1996.
- Liu, Y. J.; Chen, J. Z.; Wang, D. H.; Wu, M. J.; Zheng, C.; Wu, Z. Z.; Wang, C.; Liu, Q.; Zhang, J.; Guo, G.; Huo, W. J. Effects of guanidinoacetic acid and coated folic acid supplementation on growth performance, nutrient digestion, and hepatic gene expression in Angus bulls. *British Journal of Nutrition*, 126: 510 – 517, 2020.
- Liu, Q., C. Wang, H. Q. Li, G. Guo, W. J. Huo, S. L. Zhang, Y. L. Zhang, C. A. Pei, e H. Wang. 2018. Effects of dietary protein level and rumen-protected pantothenate on nutrient digestibility, nitrogen balance, blood metabolites and growth performance in beef calves. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 27:202–210.
- Li, H. Q., Q. Liu, C. Wang, G. Guo, W. J. Huo, S. L. Zhang, Y. L. Zhang, C. X. Pei, W. Z. Yang, e H. Wang. 2017. Effects of rumen-protected pantothenate on ruminal fermentation, microbial enzyme activity, cellulolytic bacteria and urinary excretion of purine derivatives in growing beef steers. *Livestock Science*. 202:159–165.
- Luo, D., Y. Gao, Y. Lu, Q. Zhang, M. Qu, X. Xiong, L. Xu, X. Zhao, K. Pan, e K. Ouyang. 2019. Niacin supplementation improves growth performance and nutrient utilisation in chinese Jinjiang cattle. *Italian Journal of Animal Science*. 18:57–62.
- Mansur, L. M. 2009. *Vitaminas Hidrossolúveis No Metabolismo*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1–12.
- McCormick, D. B. *Vitamin B6*. Present Knowledge in Nutrition, 1: 269–277, 2006.
- McDowell, L. R. Vitamin nutrition of livestock animals: Overview from vitamin discovery to today. *Canadian Journal of Animal Science*, 86(2):171–179, 2006.
- McDowell, L. R. *Vitamins in animal and human nutrition*. Iowa State University Press, Ames. 2000.
- McMahon, R. J. (2002). *Biotin in metabolism and molecular biology*. Annual review of nutrition, 22(1), 221-239.
- Mendonça Júnior, A. F., A. P. Braga, A. P. M. dos S. Rodrigues, e L. E. M. Sales. 2010. *Vitaminas : uma abordagem prática de uso na alimentação de ruminantes*. Agropecuária Científica no Semi-Árido. 6:1–16. Available from: [www.cstr.ufcg.edu.br/acsa](http://www.cstr.ufcg.edu.br/acsa)
- Miller, B. L.; Meiske, J. C.; Goodrich, R. D. Effects of grain source and concentrate level on B-vitamin production and absorption in steers. *Journal of Animal Science*. 62:473–483. 1986.
- Miller, B. L., J. C. Meiske, e R. D. Goodrich. 1986. Effects of Dietary Additives on B-Vitamin Production and Absorption in Steers. *Journal of Animal Science*. 62:484–496.
- Mir, P. S., T. A. McAllister, S. Zaman, S. D. Morgan Jones, M. L. He, J. L. Aalhus, L. E. Jeremiah, L. A. Goonewardene, R. J. Weselake, e Z. Mir. 2003. Effect of dietary sunflower oil and vitamin E on beef cattle performance, carcass characteristics and meat quality. *Canadian Journal of Animal Science*. 83:53–66.
- Mohammed, N.; Onodera, R.; Itabashi, H.; Lila, Z. A. Effects of ionophores, vitamin B<sub>6</sub> and distiller's grains on in vitro tryptophan biosynthesis from indolepyruvic acid, and production of other related compounds by ruminal bacteria and protozoa. *Animal Feed Science and Technology*, 116(3–4): 301–311, 2004.



- Mookerjea, S. *Action of choline in lipoprotein metabolism*. Federation Proceedings. 30:143–150, 1971.
- Montgomery, J. L., F. C. Parrish, D. C. Beitz, R. L. Horst, E. J. Huff-Lonergan, e A. H. Trenkle. 2000. The use of vitamin D3 to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 78:2615–2621.
- Morris, J. G. *Vitamins in Animal and Human Nutrition*: 2nd ed, by Lee Russell McDowell, 2000, Iowa State University Press, Ames, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74: 413, 2001.
- Mulling, C.; Bragulla, H. H.; Resse, S.; Budras, K. D.; Steinberg, W. How structures in bovine hoof epidermis are influenced by nutritional factors. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 28:103–108, 1999.
- NASEM - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th ed. Nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington, DC. 2016.
- Niehoff, I. D., L. Hüther, e P. Lebzien. 2009. Niacin for dairy cattle: A review. *British Journal of Nutrition*. 101:5–19.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (6th Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- NRC. National Research Council. 1979. *Nutrient Requirements of Swine*: Eighth revised edition, 1979. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/19882>.
- NRC. National Research Council. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*: 10th Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/6016>.
- NRC. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. 2001.
- Oka, A. Effects of vitamin A on beef quality and body weight of Japanese Black steers. *The Journal of animal genetics*, 24: 31-36, 1996.
- Olson, J. A. *Vitamin A*. In: *Handbook of Vitamins*, 2nd ed. L. J. Machlin, ed. Marcel Dekker Inc., New York, NY. p.17–18, 1991.
- OVN. *Optimun vitamin nutrition - vitamin supplementation guidelines for animal nutrition*-DSM. v. 12, p. 14, 2016.
- Pan, X. H., L. Yang, Y. Beckers, F. G. Xue, Z. W. Tang, L. S. Jiang, e B. H. Xiong. 2017. Thiamine supplementation facilitates thiamine transporter expression in the rumen epithelium and attenuates high-grain-induced inflammation in low-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 100:5329–5342.
- Pan, X. H., L. Yang, F. G. Xue, H. R. Xin, L. S. Jiang, B. H. Xiong, e Y. Beckers. 2016. Relationship between thiamine and subacute ruminal acidosis induced by a high-grain diet in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 99:8790–8801.
- Pehrson, B., J. Hakkarainen, M. Törnquist, K. Edfors, e C. Fossum. 1991. Effect of Vitamin E Supplementation on Weight Gain, Immune Competence, and Disease Incidence in Barley-Fed Beef Cattle. *Journal of Dairy Science*. 74:1054–1059.
- Pereira, A. S. C. 2002. *Qualidade da carne de bovinos Nelore (Bos taurus indicus) suplementados com vitamina E*. Universidade de São Paulo.
- Peng, D. Q.; Jo, Y. H.; Kim, S. J.; Kim, N. Y.; Nejad, J. G.; Lee, H. G. Oral vitamin A supplementation during neonatal stage enhances growth, pre-adipocyte and muscle development in Korean native calves. *Animal Feed Science and Technology*, 268:114609, 2020.
- Peng, D. Q.; Smith, S. B.; Lee, H. G. Vitamin A regulates intramuscular adipose tissue and muscle development: promoting high-quality beef production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1): 1–10, 2021.
- Pickworth, C. L.; Loerch, S. C.; Kopec, R. E.; Schwartz, S. J.; Fluharty, F. L. Concentration of pro-vitamin A carotenoids in common beef cattle feedstuffs. *Journal of Animal Science*, 90(5): 1553–1561, 2012.
- Pinotti, L.; Manoni, M.; Fumagalli, F.; Rovere, N.; Tretola, M.; Baldi, A. *The role of micronutrients in high-yielding dairy ruminants: Choline and vitamin E*. Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi, 67(2): 209–214, 2020.
- Pinotti, L.; Paltanin, C.; Campagnoli, A.; Cavassini, P.; Dell'orto, V. Rumen protected choline supplementation in beef cattle: Effect on growth performance. *Italian Journal of Animal Science*, 8: 322–324, 2009.
- Ragaller, V., P. Lebzien, K. H. Südekum, L. Hüther, e G. Flachowsky. 2011. Pantothenic acid in ruminant nutrition: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 95:6–16.
- Roeber, D. L., K. E. Belk, J. D. Tatum, J. W. Wilson, e G. C. Smith. 2001. Effects of three levels of  $\alpha$ -tocopheryl acetate supplementation to feedlot cattle on performance of beef cuts during retail display. *Journal of Animal Science*. 79:1814–1820.

- Rode, L. M.; McAllister, T.A.; Cheng, K. J. Microbial degradation of vitamin A in rumen fluid of steers fed concentrate, hay, or straw diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 70:227–233, 1990.
- Rodwell, V., P. Kennelly, D. Bender, P. Weil, e K. Botham. 2015. *Micronutrientes: vitaminas e minerais*. In Bender, McGraw Hill Education, México.
- Rosendo, O.; Staples, C. R.; McDowell, L. R.; McMahon, L. R.; Badinga, L.; Martin, F. G.; Shearer, F. G.; Seymour, J. F.; Wilkinson, W. M. Effects of biotin supplementation on peripartum performance and metabolites of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 87:2535–2545, 2004.
- Rowley, C. A., e M. M. Kendall. 2019. To B 12 or not to B 12: Five questions on the role of cobalamin in host-microbial interactions. *PLoS Pathogens*. 15:6–11.
- Santschi, D. E.; Berthiaume, R.; Matte, J. J.; Mustafa, A. F.; Girard, C. L. Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88, (6): 2043–2054, 2005.
- Scherf, H., L. J. Machlin, T. M. Frye, B. A. Krautmann, e S. N. Williams. 1996. Vitamin E biopotency: Comparison of various ‘natural-derived’ and chemically synthesized  $\alpha$ -tocopherols. *Animal Feed Science and Technology*. 59:115–126.
- Schwab, E. C., and Shaver, R. D. *B-vitamin nutrition for dairy cattle*. In: Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, Grantville. p. 1–10, 2005.
- Schwab, E. C.; Schwab, C. G.; Shaver, R. D.; Girard, C. L.; Putnam, D. E.; Whitehouse, N. L. Dietary forage and nonfiber carbohydrate contents influence B-vitamin intake, duodenal flow, and apparent ruminal synthesis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(1):174–187, 2006.
- Sharma, B.K., and Erdman, R.A. In vitro degradation of choline from selected feedstuffs and choline supplements. *Journal of Dairy Science*, 72: 2772–2776, 1989.
- Secrist, D. S., F. N. Owens, D. R. Gill, L. J. Boyd, e J. E. Oldfield. 1997. Effects of Vitamin E on Performance of Feedlot Cattle: A Review. *Professional Animal Scientist*. 13:47–54. doi:10.15232/S1080-7446(15)31844-1.
- Silva, J.T. *Effect of vitamin supplementation on the ingestive, digestive, and ruminal parameters of nellore cattle*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2020.
- Silva, L. G. L.; Urzêda, M.; Ramos, G. M.; Castro, R. D. De; Santos, I. R. Dos; Santos, A. Da S.; Souza, W. J. de; *Reproductive characteristics of pre-pubertal bulls supplemented with vitamin A*. Research, Society and Development, 9, 2020.
- Spears, J. W., e W. P. Weiss. 2014. Invited review: mineral and vitamin nutrition in ruminants. *Professional Animal Scientist*. 30:180–191.
- Stenflo, J. 1999. *Contributions of Gla and EGF-Like Domains to the Function of Vitamin K-Dependent Coagulation Factors*. Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression. 9:59–88.
- Toledo, G. S. de, P. Kloeckner, J. Lopes, e P. T. Costa. 2006. Níveis das vitaminas A e E em dietas de frangos de corte de 1 a 42 dias de idade. *Ciência Rural*. 36:624–629.
- Underwood, E. J., e N. F. Suttle. 2002. *Los Minerales en la Alimentación del Ganado*. 3rd. versi. Acribia: Zaragoza, Spain.
- Ullrey, D. E. Biological availability of fat-soluble vitamins: vitamin A and carotene. *Journal of animal science*, 35: 648–657, 1972.
- Vasconcellos, G. S. F. M; Gonçalves-Junior, W.A.; Colli, M. H.A; Gouvea, V. N.; Acedo, T.S.; Tamassia, L.M.; Mingoti, R.D.; Baruselli, P.S. PSXVII-8 Effects of  $\beta$ -carotene and vitamins in grazing Nellore multiparous cows submitted to fixed timed artificial insemination (FTAI). *Journal of Animal Science*, 96:450–450, 2018.
- Vasconcellos, G. S. F. M; Gonçalves-Junior, W.A.; Colli, M. H.A; Gouvea, V. N.; Acedo, T.S.; Tamassia, L.M.; Mingoti, R.D.; Baruselli, P.S. PSXVII-9 Effects of  $\beta$ -carotene and vitamins in grazing Nellore primiparous cows submitted to fixed timed artificial insemination (FTAI). *Journal of Animal Science*, 96: 450–451, 2018.
- Völker, D., L. Hüther, G. Daş, e H. Abel. 2011. Pantothenic acid supplementation to support rumen microbes? *Archives of Animal Nutrition*. 65:163–173.
- Wang, C.; Liu, Q.; Guo, G.; Huo, W.J.; Liang, Y.; Pei, C.X.; Zhang, S.L.; Yang, W.Z.; Wang, H. Effects of different dietary protein levels and rumen-protected folic acid on ruminal fermentation, degradability, bacterial populations and urinary excretion of purine derivatives in beef steers. *Journal of Agricultural Science*, 155:1477–1486, 2017.

- Wang, C.; Liu, Q.; Guo, G.; Huo, W.J.; Ma, L.; Zhang, Y.L.; Pei, C.X.; Zhang, S.L.; Wang, H., Effects of dietary supplementation of rumen protected folic acid on rumen fermentation, degradability and excretion of urinary purine derivatives in growing steers. *Archives of Animal Nutrition*, 70: 441–454, 2016.
- Weiss, W. P.; Zimmerly, C. A. *Effects of biotin on metabolism and milk yield of dairy cows*. in In: Proc. Cornell Nutrition Conf. Syracuse. Cornell Univ., Ithaca, NY. p. 22, 2000.
- Wellmann, K. B.; Kim, J.; Urso, P. M.; Smith, Z. K.; Johnson, B. J. Evaluation of the dietary vitamin A requirement of finishing steers via systematic depletion and repletion, and its effects on performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 98(9), 2020.
- Wolin, M. J., T. L. Miller, e C. S. Stewart. 1997. Microbe-microbe interactions. Em: C. S. S. P.N. Hobson, editor. *The Rumen Microbial Ecosystem*. Blackie Academic & Professional (Chapman & Hall), London (UK). p. 467–491.
- Wu, H. M.; Zhang, J.; Wang, C.; Liu, Q.; Guo, G.; Huo, W. J.; Chen, L.; Zhang, Y. L.; Pei, C. X.; Zhang, S. L. Effects of riboflavin supplementation on performance, nutrient digestion, rumen microbiota composition and activities of Holstein bulls. *British Journal of Nutrition*, p.1–8, 2021.
- Zempleni, J.; Mock, D.M. Biotin biochemistry and human requirements. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 10: 128-138, 1999.
- Zinn, R. A. *B-vitamins in beef cattle nutrition*. In: Takeda Technical Symposium. 53rd Minnesota Nutrition Conference. September 21. 1992.
- Zinn, R. A., & Plascencia, A. (1996). Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *Journal of animal science*, 74(6), 1194-1201.
- Zinn, R. A.; Owens, F. N.; Stuart, R. L.; Dunbar, J. R.; Norman, B. B. B-vitamin supplementation of diets for feedlot calves. *Journal of Animal Science*, 65(1): 267–277, 1987.

