UNILAVRAS

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANA FLÁVIA MEMENTO DE SIQUEIRA

LAVRAS-MG

2023

UNILAVRAS
Centro Universitário de Lavras
www.unilavras.edu.br

ANA FLÁVIA MEMENTO DE SIQUEIRA

ANÁLISE MINERAL DE PRECISÃO NA NUTRIÇÃO E SAÚDE ANIMAL: APLICAÇÃO DA ICP-OES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Lavras, como parte das exigências para obtenção do título de bacharel em Medicina Veterinária.

ORIENTADOR
Prof. Dr. Thiago Pasqua Narciso

LAVRAS-MG
2023

Ficha Catalográfica preparada pelo Setor de Processamento Técnico
da Biblioteca Central do UNILAVRAS

Siqueira, Ana Flávia Memento.
S618a Análise mineral de precisão na nutrição e saúde animal: aplicação da ICP-OES / Ana Flávia Memento de Siqueira. – Lavras: Unilavras, 2023.

32f.:il.

Portfólio acadêmico (Graduação em Medicina Veterinária) – Unilavras, Lavras, 2023.

Orientador: Prof. Thiago Pasqua Narciso.

1. ICP-OES. 2. Espectrometria de emissão óptica. 3. Nutrição animal. I. Narciso, Thiago Pasqua (Orient.). II. Título.

UNILAVRAS
Centro Universitário de Lavras
www.unilavras.edu.br

ANA FLÁVIA MEMENTO DE SIQUEIRA

ANÁLISE MINERAL DE PRECISÃO NA NUTRIÇÃO E SAÚDE ANIMAL: APLICAÇÃO DA ICP-OES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Lavras, como parte das exigências para obtenção do título de bacharel em Medicina Veterinária.

APROVADO EM 24/11/2023

ORIENTADOR
Prof. Dr. Thiago Pasqua Narciso

LAVRAS-MG
2023

Dedico aos meus pais e minha irmã, que me incentivaram e não mediram esforços para que eu seguisse os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder saúde, perseverança e sabedoria para superar as adversidades enfrentadas ao longo desses anos.

Aos meus amados pais, Varne e Ester, agradeço por todo o esforço dedicado durante o curso, pelo incentivo e apoio que me permitiram prosseguir. Além disso, agradeço pela educação e ensinamentos transmitidos, que foram fundamentais para a minha evolução. À minha irmã Thamires, agradeço pelo apoio, amizade e auxílio em momentos decisivos, sempre presente quando precisei.

Aos queridos amigos da graduação, que contribuíram para que o processo se tornasse menos árduo e mais prazeroso, e ainda pela companhia e cooperação diante dos desafios enfrentados juntos.

Por fim, a instituição e a todos os professores pelo conhecimento proporcionado, pela compreensão, dedicação, bem como por estarem sempre disponíveis para ajudar no que fosse necessário.

Agradeço ainda a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a minha trajetória acadêmica.

“Aprender é a única coisa que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número absoluto (N) e frequência (F%) de análises acompanhadas, no período de 21 de agosto a 2 de outubro de 2023 (Lavras/Minas Gerais) 17
Tabela 2: Número absoluto (N) e frequência (F%) de secagem e amostragem de amostras realizadas, no período de 21 de agosto a 2 de outubro de 2023 (Lavras/Minas Gerais) 18
Tabela 3: Microminerais e suas principais funções 25

LISTA DE IMAGENS

Figura 1: Recepção de amostras 11
Figura 2: Sala de secagem 12
Figura 3: Bancada central 13
Figura 4: Bancada lateral esquerda..... 13
Figura 5: Bancada lateral direita 13
Figura 6: Capela de exaustão..... 14
Figura 7: Sala de análise NIRS 15
Figura 8: Sala ICP-OES..... 16

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
2 DESENVOLVIMENTO 10
2.1 Funcionamento e equipe 10
2.2 Instalações e equipamentos 10
2.3 Atividades desenvolvidas 16
2.4 Casuística acompanhada 17
3 AUTOAVALIAÇÃO 18
4 CONCLUSÃO 18
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
ANÁLISE MINERAL DE PRECISÃO NA NUTRIÇÃO E SAÚDE ANIMAL: APLICAÇÃO DA ICP-OES 20
RESUMO 20
ABSTRACT 20
Introdução 20
Princípios básicos do ICP-OES 21
Introdução da amostra 22
Preparo das amostras 22
Importância dos minerais 23
Macrominerais 23
Microminerais 25
Aplicações do ICP-OES na nutrição e saúde animal 26
Vantagens e limitações 27
Comparação com outras técnicas 27
Considerações finais 28
Referências 30

1 INTRODUÇÃO

O interesse em cursar Medicina Veterinária surgiu tardiamente em minha trajetória acadêmica. Após concluir o ensino médio em 2017, inicialmente almejei cursar biomedicina e tive a oportunidade de ingressar na Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS). Contudo, percebi que o curso não correspondia às minhas expectativas e, diante dessa constatação, optei por Medicina Veterinária, iniciando-o no ano de 2019. Essa decisão foi motivada pelo carinho que nutro pelos animais desde a infância, bem como pela minha aspiração em adquirir conhecimentos e habilidades, aliadas às perspectivas promissoras de um amplo mercado de trabalho. Após me formar, tenho como objetivo, prosseguir com estudos em uma pós-graduação e trabalhar na área.

O Estágio Supervisionado II foi realizado em um Laboratório de Nutrição Animal localizado em Lavras, MG, onde ativamente participei de diversas áreas. A relevância dessa vivência se deu pelo contato com diferentes áreas da nutrição animal, o que me proporcionou um conhecimento sólido e abrangente sobre o tema.

O presente portfólio teve como objetivo a descrição das atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado, bem como a elaboração de uma revisão bibliográfica abordando a aplicação da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) no contexto da nutrição animal.

2 DESENVOLVIMENTO

O estágio supervisionado foi realizado em um laboratório de nutrição animal pertencente a uma empresa de análises agropecuárias localizada na cidade de Lavras, Minas Gerais. Esta empresa atua em âmbito nacional, oferecendo uma gama de serviços que incluem análises químicas, análises de processamento, análises NIRS (Near Infrared Reflectance), análises por ICP-OES, bem como análises de solo, água, foliar, corretivos e fertilizantes.

2.1 Funcionamento e equipe do local do estágio

A empresa, classificada como de porte médio, mantém uma equipe de até cinquenta colaboradores, garantindo um horário de atendimento ao cliente das 8h às 18h, e um horário de funcionamento interno das 6h às 23h.

A organização é subdividida em dois setores distintos: nutrição animal e agricultura. No primeiro setor, onde realizei o estágio, são conduzidas análises químicas, tanto por métodos tradicionais quanto por técnicas avançadas como NIRS e ICP-OES, em produtos destinados à alimentação animal. A equipe responsável por esse setor é composta por uma gerente, uma coordenadora geral de laboratório, cinco analistas de laboratório I, uma analista de laboratório II, três auxiliares de laboratório e três estagiárias.

2.2 Instalações e equipamentos do local do estágio

O setor de nutrição animal é composto por diversas áreas e instalações essenciais para o processamento e análise das amostras. Dentre essas áreas, estão a recepção de amostras, a sala de secagem, a sala de moagem, a sala de análise NIRS, a sala de análise ICP-OES, o laboratório de nutrição animal e a sala da capela.

A recepção de amostras (Figura 1) é um espaço dedicado ao recebimento de amostras, essas podem ser entregues por clientes pessoalmente ou enviadas pelos Correios.

Figura 1: Recepção de amostras

Fonte: do autor, 2023

Este espaço é equipado com duas bancadas destinadas à separação das amostras e dois computadores. A principal função dessa área consiste em receber as amostras e registrá-las de maneira adequada, assegurando a rastreabilidade de todo o processo. Cada amostra é identificada com um código de barras, cadastrada no sistema e, em seguida, encaminhada para a sala de secagem.

A sala de secagem (Figura 2), é o local onde as amostras são preparadas e submetidas a um processo de secagem, visando a eliminação da umidade e tornando-as prontas para análise. Os recursos nesta sala incluem um computador, uma balança semi-analítica, quatro micro-ondas, uma geladeira e duas estantes para armazenamento das amostras.

Figura 2: Sala de secagem

Fonte: do autor, 2023

Uma vez que as amostras estão secas, são direcionadas para a sala de moinhos, onde serão submetidas à moagem antes de serem analisadas. A sala é equipada com dois dispositivos de moagem.

No laboratório de análises químicas, podemos identificar três bancadas distintas. A primeira delas é a bancada central (Figura 3), que possui quatro dessecadores, uma seladora e armários. Além disso, há uma pia e dois destiladores de proteína. A segunda bancada encontra-se à esquerda (Figura 4), e está equipada com três computadores, quatro balanças analíticas, uma mesa agitadora e uma estufa. Já na bancada situada à direita (Figura 5), estão presentes três equipamentos de banho-maria, uma pia, dois dispositivos de análise de FDN (Fibra em Detergente Neutro) e FDA (Fibra em Detergente Ácido), bem como um dispositivo para a análise de extrato etéreo.

Figura 3: Bancada central

Fonte: do autor, 2023

Figura 4: Bancada lateral esquerda

Fonte: do autor, 2023

Figura 5: Bancada lateral direita

Fonte: do autor, 2023

Na sala da capela (Figura 6) encontram-se uma capela de exaustão, duas chapas digestoras e dois blocos digestores.

Figura 6: Capela de exaustão

Fonte: do autor, 2023

A capela é utilizada na preparação de amostras e na execução de digestões químicas, além de ser utilizada em outros procedimentos que envolvem a manipulação de materiais ou substâncias potencialmente prejudiciais à saúde. As chapas digestoras e blocos digestores são utilizados em procedimentos específicos relacionados à preparação de amostras e análises químicas.

A sala de análises NIRS (Espectroscopia de Infravermelho Próximo) (Figura 7) é um espaço equipado com um computador, um dispositivo NIRS e um soprador utilizado para remover quaisquer vestígios de amostras da bancada e do leitor de amostras do equipamento. A NIRS é uma técnica que utiliza a absorção de luz na faixa do infravermelho próximo para determinar a composição de substâncias, permitindo análises não destrutivas e rápidas de amostras

Figura 7: Sala de análise NIRS

Fonte: do autor, 2023

Contudo, na área situada entre a recepção de amostras e a capela, estão localizadas as estufas e muflas. As estufas são empregadas para realizar um aquecimento controlado, essencial na preparação adequada dos materiais antes das análises. Por outro lado, as muflas proporcionam o aquecimento em alta temperatura necessário para processos específicos em certas análises.

Por fim, na sala do ICP-OES (Figura 8), encontra-se o equipamento ICP-OES, um computador e um exaustor. O ICP-OES é responsável por realizar análises químicas de alta precisão, utilizando um plasma de alta energia para excitar elementos presentes nas amostras, permitindo a quantificação precisa de suas concentrações.

Figura 8: Sala ICP-OES

Fonte: do autor, 2023

2.3 Atividades desenvolvidas no estágio

Durante meu período de estágio, participei de diversas atividades relacionadas à análise nutricional. Isso incluiu a triagem e o preparo de amostras, além da realização de análises por meio de métodos diretos e indiretos. Ademais, tive a oportunidade de acompanhar auditorias no setor de qualidade e participar de treinamentos que destacaram a importância da qualidade e segurança no laboratório.

No decorrer do processo de preparo das amostras, minha função envolvia uma série de etapas. Inicialmente, era responsável pela secagem das amostras, utilizando micro-ondas. Após a completa secagem, procedia-se à etapa de moagem das amostras na sala especializada. Posteriormente a moagem, as amostras eram dispostas em saquinhos individuais, cada um deles etiquetado com códigos de identificação específicos de cada amostra. Em sequência, as amostras eram encaminhadas para análise, sendo transferidas para o laboratório principal ou a sala de análise NIRS onde seriam submetidas às análises programadas.

No laboratório de nutrição animal, participei ativamente das análises de diversos parâmetros, incluindo proteína, minerais, Nitrogênio Não Proteico (NNP), Extrato Etéreo (EE), Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), cloreto e água. No que se refere à análise de proteína,

meu papel envolvia auxiliar na pesagem das amostras, na destilação e titulação das mesmas. Quanto à análise de minerais, após a pesagem das amostras, eu as conduzia até a chapa digestora para o processo de digestão; após a digestão, transferia as amostras para pequenos tubos para que pudessem ser pesadas pelo analista.

No contexto das análises de FDN e FDA, realizei o procedimento de banho das amostras com auxílio do determinador de fibra. Para a análise de Extrato Etéreo, eu inseria as amostras no equipamento, seguida pela adição de éter etílico no tubo reboiler, aguardando a conclusão do processo para posteriormente retirar as amostras e colocá-las na estufa. Na análise de NNP, desempenhei funções que englobaram a adição de solução, preparação das amostras na mesa agitadora, filtragem, adição da mistura catalisadora e destilação. Na análise de cloreto, efetuei as etapas de filtração, análise de pH e titulação. Já na análise de água, executei todo o processo, utilizando um fotômetro YSI. Na sala de avaliação via NIRS e sala do ICP-OES, pude acompanhar a analista responsável realizando as análises e interpretando os resultados.

2.4 Casuística acompanhada no estágio

No decorrer do período de estágio, compreendido entre 21 de agosto a 2 de outubro de 2023, participei de atividades tanto no laboratório quanto na sala de secagem, auxiliando ativamente de um número considerável de análises bromatológicas (tabela 1).

Tabela 1: Número de análises (n) e frequência (F%) de análises acompanhada, no período de 21 de agosto a 2 de outubro de 2023 em laboratório comercial de análises bromatológicas situado em Lavras/Minas Gerais.

Análise	**n**	**F(%)**
Minerais	218	36,64
Proteína	193	29,78
Nitrogênio Não Proteico	124	19,13
Cloreto	40	6,17
FDN e FDA	39	6,01
Extrato Etéreo	26	4,01
Água	8	1,23
Total	**648**	**100**

Fonte: do autor, 2023.

Tabela 2: Número de procedimentos (n) e frequência (F%) de secagem e amostragem de amostras realizadas, no período 21 de agosto a 2 de outubro de 2023 (Lavras/Minas Gerais).

Atividade	**n**	**F (%)**
Secagem	97	64,66
Amostragem	55	36,18
Total	**152**	**100**

Fonte: do autor, 2023.

3 AUTOAVALIAÇÃO

No estágio supervisionado tive a oportunidade de vivenciar diversas áreas da nutrição animal em uma única empresa, além de conviver com profissionais experientes, que sempre estiveram dispostos a transmitir o conhecimento acumulado ao longo dos anos.

Ao estagiar nessa empresa, pude aprimorar minhas habilidades de comunicação, aprendendo a me comunicar efetivamente com profissionais de diferentes níveis hierárquicos, trabalhar em equipe, lidar com erros, ser paciente e saber resolvê-los, além de ganhar mais confiança. Todos esses pontos foram fundamentais para o meu desenvolvimento pessoal.

No âmbito da nutrição animal, compreendi principalmente a relevância da análise de alimentos destinados aos animais. Durante meu tempo no laboratório de análises bromatológicas, pude aprender sobre cada técnica, como devem ser realizadas e a importância de cada uma delas. Além disso, destaco os aprendizados relacionados às boas práticas laboratoriais, à segurança e ao rigoroso controle de qualidade implementados no ambiente laboratorial.

4 CONCLUSÃO

Essa experiência foi extremamente valiosa, contribuindo significativamente para o aprimoramento e a ampliação do meu conhecimento na área. Durante esse período relativamente curto, absorvi uma quantidade significativa de aprendizados que, sob outras circunstâncias, seria necessário um longo tempo para serem assimilados. Como resultado, adquiri habilidades técnicas e conhecimentos específicos para atuar na área de nutrição animal.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Artigo redigido dentro das normas da revista Revista Cientifica Pro Homine, ISSN 2675-6668.

RCPH Revista Científica ProHomine UNILAVRAS

Artigo de Revisão de Literatura

ANÁLISE MINERAL DE PRECISÃO NA NUTRIÇÃO E SAÚDE ANIMAL: APLICAÇÃO DA ICP-OES

Precision Mineral Analysis in Animal Nutrition and Health: Application of ICP-OES

Ana Flávia Memento de Siqueira[1], Prof. Dr. Thiago Pasqua Narciso[2]

[1]Estudante de Medicina Veterinária, Unilavras, Lavras-MG, Brasil
[2] Professor e Orientador de Medicina Veterinária, Unilavras, Lavras-MG, Brasil

RESUMO

A Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) é uma técnica analítica altamente sensível amplamente aplicada na nutrição e saúde animal. Seu principal papel reside na capacidade de realizar análises quantitativas de minerais em amostras biológicas, sendo relevante na elaboração de dietas equilibradas para animais. Isso garante a ingestão adequada de minerais essenciais, fundamentais para o crescimento, desenvolvimento e manutenção da saúde. A ICP-OES oferece vantagens notáveis, como medições precisas, capacidade de análise de vários elementos em uma única amostra e detecção de elementos em concentrações extremamente baixas. No entanto, o custo significativo dos equipamentos e a necessidade de manutenção rigorosa representam desafios. No contexto da nutrição e saúde animal, a ICP-OES se consolida como uma ferramenta fundamental, contribuindo para o monitoramento da qualidade da alimentação, identificação de elementos tóxicos e promoção da segurança alimentar, fatores que, por sua vez, impactam positivamente no bem-estar dos animais.
Palavras-chave: ICP-OES. Espectrometria de Emissão Óptica. Nutrição animal.

ABSTRACT

The Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) is a highly sensitive analytical technique widely applied in animal nutrition and health. Its main role lies in the ability to perform quantitative analysis of minerals in biological samples, playing a crucial role in the development of balanced diets for animals. This ensures adequate intake of essential minerals, fundamental for growth, development and maintenance of health. ICP-OES offers notable advantages such as accurate measurements, ability to analyze multiple elements in a single sample, and detection of elements at extremely low concentrations. However, the significant cost of equipment and the need for rigorous maintenance present challenges. In the context of nutrition and animal health, ICP-OES is consolidated as a fundamental tool, contributing to the monitoring of food quality, identification of toxic elements and promotion of food safety, factors that, in turn, have a positive impact on animal welfare. being of animals.
Keywords: ICP-OES. Optical Emission Spectrometry. Animal nutrition.

Introdução

A nutrição animal desempenha um papel inegável na criação e manutenção da saúde animal, sejam eles silvestres, de estimação ou de produção. Para alcançar um desenvolvimento adequado e manter a sanidade desses animais, especialmente quando fora de seus habitats naturais, é essencial que a alimentação seja cuidadosamente planejada e analisada pelo homem. Isso visa assegurar que os alimentos sejam fornecidos em quantidades e proporções adequadas para garantir a saúde e, quando necessário, a produtividade dos animais (ARAÚJO; ZANETTI, 2019).

Nesse contexto, a compreensão dos componentes presentes nos alimentos destinados à nutrição animal é fundamental para a formulação de dietas equilibradas. A composição química dos alimentos inclui elementos como água, matéria seca, matéria mineral e matéria orgânica, com esta última sendo composta por carboidratos, proteínas, lipídios e vitaminas, enquanto a matéria mineral abrange macrominerais e microminerais (ARAÚJO; ZANETTI, 2019).

Os minerais têm importância fundamental no organismo animal e estão presentes em concentrações variáveis nos tecidos e órgãos. Embora constituam apenas cerca de 4% da massa corporal total dos animais, esses minerais têm funções distintas no organismo (SILVA *et al*., 2018). São divididos em macroelementos e microelementos, sendo considerados essenciais para a nutrição animal (CONRAD *et al*., 1985).

A deficiência de minerais na dieta pode afetar negativamente o desempenho e a saúde dos animais, uma vez que cada nutriente tem uma concentração ideal e forma específica para manter o funcionamento adequado dos mecanismos biológicos. A manutenção desse equilíbrio é essencial para evitar lesões bioquímicas e garantir o funcionamento adequado das funções fisiológicas dos animais (MORAES, 2001).

Assim, a análise mineral de precisão desempenha um papel essencial como ferramenta na nutrição e saúde animal, possibilitando a avaliação precisa dos componentes minerais dos alimentos e contribuindo para a formulação de dietas balanceadas. Neste cenário, a Espectroscopia de Emissão Óptica por Plasma Induzido (ICP-OES) se destaca como uma técnica analítica promissora, oferecendo a precisão necessária na determinação doselementos minerais essenciais para a saúde e o bem-estar dos animais.

Nesta revisão de literatura, exploraremos a aplicação da ICP-OES na análise mineral de precisão para a nutrição e saúde animal, destacando seus benefícios e contribuições para esse campo crucial.

Princípios básicos do ICP-OES

A técnica de Emissão Óptica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) teve origem nos Estados Unidos, com Fassel, e no Reino Unido, com Greenfield, por volta de 1970. Esse avanço tecnológico surgiu como uma resposta às limitações das técnicas de espectrometria atômica, que dependiam de lâmpadas e envolviam análises demoradas. O ICP oferece uma série de vantagens, como análise multielementar e tempos de análise incrivelmente rápidos, levando apenas aproximadamente 2 minutos (SETTLE, 1997). Desde então, essa técnica evoluiu para se tornar uma ferramenta analítica poderosa largamente utilizada em análises de rotina para identificação de metais, semimetais e não metais em várias amostras (KRUG *et al*., 2001).

A Espectrometria de Emissão Óptica faz parte do grupo de técnicas espectroanalíticas que aproveitam o espectro eletromagnético nas faixas do ultravioleta,

infravermelho próximo e visível para gerar informações analíticas. Esse espectro eletromagnético resulta das transições eletrônicas nas camadas dos átomos e íons da amostra quando expostos a uma fonte de excitação (KRUG *et al*., 2001).

A técnica ICP-OES se baseia no uso do plasma de argônio como fonte de excitação e ionização. Nesse processo, o argônio, um gás neutro que é ionizado, atinge temperaturas de até 10.000 K. Essa temperatura extremamente elevada resulta na vaporização completa do analito, o que, por sua vez, possibilita uma atomização eficaz e uma excitação/ionização eficiente.

Quando átomos ou íons, no estado gasoso, são estimulados termicamente ou eletricamente, eles emitem radiações em comprimentos de onda específicos. Essas radiações abrangem uma faixa que vai desde o ultravioleta até a região visível no espectro eletromagnético. A emissão dessas radiações é essencial na identificação do elemento emissor. Ademais, a intensidade das emissões serve como uma ferramenta precisa para determinar a concentração desse elemento na amostra sob análise (YEUNG *et al*., 2017).

A ICP-OES é constituída por diversas partes essenciais. Isso inclui um sistema de amostragem, que abrange um nebulizador, uma câmara de nebulização e uma tocha de quartzo para gerar o plasma. Além disso, esses instrumentos possuem uma fonte de radiofrequência, um sistema óptico que separa eficazmente os vários comprimentos de onda e um sistema para detecção. Para análises multielementares, o plasma de argônio é amplamente adotado como a fonte de excitação mais comum devido à sua eficácia em atomizar a maior parte dos elementos. Isso garante uma sensibilidade elevada, uma extensa faixa linear de trabalho e estabilidade temporal adequada (KRUG *et al*., 2001).

Introdução da amostra

A análise tem início com a condução da solução da amostra por meio de uma bomba peristáltica, que a transporta através de um tubo capilar flexível até um nebulizador. O nebulizador transforma essa solução em um aerossol composto por pequenas gotículas dispersas em gás. Uma câmara de nebulização efetua a função de separar as partículas presentes no aerossol, descartando aquelas com um tamanho médio superior a 10 a 20 µm (VAITSMAN; CIENFUEGOS, 2000)

Durante o transporte da amostra por esse sistema, o aerossol passa por várias fases sequenciais. Primeiramente, as gotículas uniformes do aerossol passam por um processo de dessolvatação no plasma de alta temperatura. Isso resulta na remoção do solvente da amostra e na geração de partículas microscópicas de sais. Subsequentemente, as partículas sólidas são vaporizadas após a eliminação do solvente. A separação dos compostos em átomos individuais ocorre em uma região do plasma onde o elemento sob análise absorve radiação em um comprimento de onda específico. Após a dessolvatação, vaporização, atomização e ionização dos elementos na amostra, esses átomos podem ser excitados. Por fim, ocorre a emissão de radiação, que é detectada pelo instrumento para análise (VAITSMAN; CIENFUEGOS, 2000).

Preparo das amostras

A fim de possibilitar a análise das amostras pelo ICP-OES, é necessário que estejam em solução aquosa. Na preparação de amostras para análise, existem dois métodos predominantes: via seca e via úmida. Na via úmida, a amostra é aquecida na presença de ácidos acompanhados por um agente oxidante adicional para auxiliar na degradação da matéria orgânica (KRUG; ROCHA, 2016).

No método via úmida, as amostras podem ser decompostas utilizando radiação de micro-ondas ou aquecimento condutivo, sendo a radiação de micro-ondas considerada mais rápida, eficiente e segura em comparação com o aquecimento condutivo. Isso ocorre porque a radiação de micro-ondas é absorvida diretamente por todas as moléculas na solução, resultando em um aumento rápido da temperatura, sem aquecer o recipiente. Em contrapartida, o aquecimento condutivo envolve a transferência de calor, o que leva mais tempo para atingir a temperatura desejada (TARANTINO, 2012).

Importância dos minerais

Minerais exercem função vital nos processos metabólicos do organismo. Embora representem apenas aproximadamente 4% do peso total corporal, sua presença é indispensável à vida, assim como as vitaminas. Uma classificação geral divide esses minerais em duas categorias: macrominerais e microminerais (SILVA *et al*., 2018).

Os macrominerais são aqueles que ocorrem em quantidades substanciais no corpo e compõem a maior parte do conteúdo mineral do organismo, incluindo cálcio, fósforo, magnésio, enxofre, ferro e eletrólitos como sódio, potássio e cloreto. Por outro lado, os microminerais, frequentemente chamados de oligoelementos, abrangem um grupo mais amplo de minerais que estão presentes no corpo em quantidades muito reduzidas, como ferro, iodo, zinco, cobre, cobalto, manganês e selênio. Apesar de sua presença em pequenas quantidades na dieta, esses minerais são essenciais no organismo (MCDOWELL, 2003).

Os minerais exercem diversas funções no organismo. Eles ativam reações enzimáticas, oferecem suporte ao sistema esquelético, contribuem para a transmissão de impulsos nervosos e contrações musculares, participam da composição de proteínas de transporte e hormônios, e são indispensáveis na regulação do equilíbrio hídrico e eletrolítico. Existem interações significativas entre muitos desses minerais, afetando a absorção, o metabolismo e a função deles. Especificamente, excessos ou carências de determinados minerais podem ter um impacto considerável na capacidade do corpo de utilizar outros minerais presentes na dieta. Portanto, ao planejar a dieta, é importante considerar o nível de minerais em relação a outros componentes alimentares, buscando alcançar um equilíbrio dietético ideal (CASE *et al*., 2010).

A importância de um mineral parece depender de quatro fatores interligados: a manutenção de níveis relativamente constantes nos tecidos saudáveis dos animais; a ocorrência de anormalidades estruturais e/ou fisiológicas em dietas deficientes em outros nutrientes; a introdução do mineral em dietas carentes que previne ou reverte essas anormalidades; e a presença de deficiências minerais que estão associadas a mudanças bioquímicas específicas, que retornam ao estado normal quando a deficiência é corrigida (NUNES, 1998).

Macrominerais

Os macrominerais, como cálcio e fósforo, desempenham funções fundamentais na nutrição animal. O cálcio, mineral mais abundante em mamíferos, é essencial para a formação de ossos e dentes, além de estar envolvido na transmissão de impulsos nervosos, coagulação sanguínea e contração muscular, bem como atuar como segundo mensageiro em reações intracelulares. Enquanto isso, o fósforo também possui diversas funções, como a contribuição para a constituição de ossos e dentes, a presença em fosfolipídios e fosfoproteínas, participação em sistemas enzimáticos e equilíbrio ácido-base, e como

componente do ATP (adenosina trifosfato). Para ruminantes, o fósforo é particularmente relevante devido à sua importância na nutrição dos microrganismos do rúmen, com reciclagem via saliva, e a sua deficiência pode ter impactos negativos na produção de proteína microbiana e na degradação da fibra (ARAÚJO; ZANETTI, 2019).

A deficiência tanto de cálcio quanto de fósforo pode levar ao raquitismo em animais jovens e à osteomalácia em animais adultos. O raquitismo pode ocorrer em bovinos e equinos, sendo associado à deficiência de fósforo em bovinos e de cálcio em equinos. Além disso, a osteomalácia, caracterizada pela desmineralização óssea, afeta animais em idade avançada ou com alta demanda de cálcio, como vacas leiteiras, cadelas gestantes e poedeiras. Outras condições, como a osteofibrose ou "cara inchada" em bovinos e equinos, também estão relacionadas à relação inadequada de cálcio e fósforo na dieta. Adicionalmente, a paresia puerperal afeta vacas leiteiras, causando paralisia generalizada devido à falta de cálcio para a contração muscular (ARAÚJO; ZANETTI, 2019).

Os minerais como sódio, potássio e cloro desempenham papéis cruciais no volume celular, pressão osmótica, permeabilidade da membrana, equilíbrio hídrico e ácido-base, reações enzimáticas, contração muscular e transmissão de impulsos nervosos. No ambiente intracelular, o potássio predomina, enquanto sódio e cloro apresentam concentrações mais elevadas no meio extracelular. As interações entre esses minerais afetam o pH dos fluidos corporais, e desequilíbrios nesse pH podem desencadear acidose ou alcalose, com consequências negativas, como o impacto sobre o metabolismo de vitamina D e a desmineralização óssea (SANTOS,2016).

A deficiência de sódio é a mais comum entre as deficiências minerais, especialmente em animais que pastam, devido à baixa concentração desse mineral em plantas. Os principais sinais de deficiência em ruminantes incluem comportamentos como alotrofagia, pelo áspero e seco, baixa produtividade e perda de peso, além de manifestações mais graves, como incoordenação motora, fraqueza e arritmias cardíacas que podem levar à morte (GONZALEZ, 2019). A deficiência de cloro geralmente se apresenta com sintomas semelhantes à deficiência de sódio. Para evitar ambas as deficiências, a suplementação com sal mineral é essencial, embora o excesso desses minerais deva ser evitado, especialmente quando a água é limitada (GONZALEZ, 2019).

Por outro lado, a deficiência de potássio, a princípio, é rara em dietas normais, mas pode ocorrer em dietas ricas em concentrados para ruminantes, como as usadas em confinamentos. Também, condições como vômitos, diarreias e estresse, assim como um consumo elevado de sal (NaCl), podem predispor à deficiência de potássio. Os sintomas incluem crescimento retardado, fraqueza muscular, paralisia, redução na ingestão de alimentos, acidose intracelular, degeneração de órgãos vitais e desordens nervosas (ARAÚJO; ZANETTI, 2019).

O enxofre é um componente fundamental de vários compostos orgânicos, como sulfato de condroitina, mucina, heparina, insulina, biotina, tiamina e queratina. Além de contribuir para o equilíbrio iônico e atuar em sistemas enzimáticos, como pontes dissulfeto na glutationa peroxidase, o enxofre é essencial para a síntese de aminoácidos sulfurados em ruminantes. A falta desse elemento pode manifestar-se por meio de sintomas como crescimento insuficiente e formação inadequada de compostos sulfurados, como casco, lã e pelos. Ruminantes, frequentemente suplementados com enxofre, enfrentam o risco de intoxicação, especialmente quando expostos a plantas tóxicas e ambientes inadequados. A intoxicação pode resultar em anemia hemolítica e, em ambientes confinados, a inalação de sulfeto de hidrogênio pode acarretar problem as respiratórios. Os níveis tóxicos variam entre não ruminantes e ruminantes, ressaltando a

importância de uma monitorização cuidadosa das dietas animais (ARAÚJO; ZANETTI, 2019).

O magnésio possui uma importância significativa no metabolismo, apresentando relações com o cálcio e o fósforo. Desta forma, no trato gastrointestinal, o íon magnésio exerce um efeito ligeiramente laxativo, opondo-se ao efeito do íon cálcio, que contribui para o endurecimento das fezes (SANTOS,2016).

Microminerais

Os microminerais, em contraste com os macrominerais, são requeridos pelos animais em concentrações significativamente menores, no entanto, ocupam um papel igualmente crucial na saúde e no desempenho dos animais (SANTOS,2016). A tabela 3 a seguir apresenta as principais funções de alguns microminerais essenciais.

Tabela 3: Microminerais e suas principais funções

Microminerais	Funções
Ferro	Transportação de oxigênio.
Manganês	Essencial em inúmeros de sistemas enzimáticos relacionados ao metabolismo de proteínas, carboidratos e lipídeos, além de influenciar enzimas envolvidas na condrogênese.
Cobre	Importante na promoção da absorção de ferro, na conversão da tirosina em melanina, na síntese de elastina e colágeno, e em várias funções de sistemas enzimáticos.
Zinco	Essencial para a saúde reprodutiva das fêmeas. Além disso, é fundamental na síntese de mais de 200 enzimas e proteínas, bem como no funcionamento do sistema imunológico.
Cobalto	Apresenta importância significativa na síntese de vitamina B12 pela microbiota ruminal.
Selênio	Fundamental para o metabolismo antioxidante, agindo por meio da enzima glutationa peroxidase.
Iodo	Componente vital dos hormônios tireoidianos que regulam o metabolismo basal.

Fonte: Adaptada de Santos (2016).

Explorando as funções vitais dos microminerais, é igualmente relevante compreender as graves consequências das deficiências desses elementos no organismo dos animais. A deficiência de ferro, por exemplo, não apenas resulta em mudanças na constituição do sangue, mas também se manifesta em sinais como menor ganho de peso, uma aparência lânguida e perda de elasticidade das veias e artérias, diminuindo a resistência à pressão circulatória. Desta forma, os animais afetados podem apresentar respiração forçada após um exercício leve, bem como uma redução no apetite e na capacidade do organismo de combater infecções (DANTAS; NEGRÃO, 2010). A deficiência de manganês, embora difícil de detectar, pode levar a uma série de problemas, incluindo a redução do crescimento, maior propensão a fraturas ósseas, ataxia, fraqueza muscular e problemas de fertilidade, como falha na concepção, ovários subdesenvolvidos, distúrbios do estro e diminuição da sobrevivência embrionária (GONZALEZ, 2019).

Após o sódio e o fósforo, a deficiência de cobre é uma das limitações mais severas enfrentadas por animais que pastam em regiões tropicais. Os sinais de deficiência de cobre incluem anemia, diarreia, distúrbios ósseos, problemas de reprodução, complicações no sistema nervoso e cardiovascular, como insuficiência cardíaca, acromotriquia e distúrbios na queratinização de pelo e lã (GONZALEZ, 2019). No caso do zinco, a deficiência pode causar dermatose, despigmentação do pelo retardo no

crescimento e distúrbios na reprodução. No entanto, um excesso de zinco também pode ter impactos negativos em vários outros minerais, ressaltando a importância de manter um equilíbrio adequado (SANTOS,2016).

A deficiência de cobalto é notável por diminuir a produção de glóbulos vermelhos, resultando em uma anemia em que, surpreendentemente, os glóbulos mantêm tamanho e coloração normais. Da mesma forma, a deficiência de cobalto afeta o metabolismo energético, levando ao emagrecimento do animal e fraqueza geral (ARAÚJO; ZANETTI, 2019). O selênio é um micromineral cuja essencialidade é incontestável, mas os limites entre níveis essenciais e tóxicos são estreitos. A deficiência de selênio leva ao retardamento do crescimento, condições patológicas e, em casos extremos, à morte. Por outro lado, a toxicidade do selênio se manifesta com sintomas como perda de apetite, atrofia cardíaca e, em última instância, leva à morte (DANTAS; NEGRÃO, 2010).

A deficiência de iodo resulta em um decréscimo no metabolismo geral, tornando os animais mais suscetíveis a doenças e, em alguns casos, resultando em bócio. Em recém-nascidos, a deficiência de iodo pode levar a fraqueza extrema ou morte, geralmente com escassez ou ausência de pelos. Nos animais adultos, a carência de iodo se reflete em problemas reprodutivos, como diminuição da libido, falha no cio, reabsorção fetal, abortos, retenção de placenta e outros distúrbios. Nas aves, a deficiência de iodo leva a uma redução na postura e na eclodibilidade dos ovos, bem como problemas no empenamento (DANTAS; NEGRÃO, 2010).

A compreensão da importância dos minerais, sejam macrominerais ou microminerais, é fundamental para a nutrição e a saúde dos animais. A suplementação mineral adequada se faz necessária na prevenção de deficiências e no suporte ao funcionamento ideal do organismo (SANTOS,2016).

Aplicações do ICP-OES na nutrição e saúde animal

A Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) é uma técnica amplamente utilizada em várias áreas, incluindo análise de elementos traço em alimentos, amostras biológicas e controle de qualidade industrial (SKOOG, 2010). No contexto da nutrição animal, a análise de alimentos destinados aos animais é de importância fundamental na saúde e produtividade dos animais. Além da análise de alimentos, o ICP-OES é aplicado em diversas outras pesquisas relacionadas à nutrição animal e saúde animal.

Um exemplo das aplicações do ICP-OES na nutrição animal é o estudo conduzido por Santos (2020) que ilustra a utilidade do ICP-OES na determinação de diversos elementos em amostras de líquido ruminal, músculo e fezes de bovinos alimentados com diferentes dietas. Os métodos foram validados utilizando materiais de referência certificados, derivando resultados satisfatórios e limites de detecção adequados. Diferenças significativas foram observadas nas dietas em relação a vários elementos nas amostras de fezes e líquido ruminal. Cu, Zn, Co, Mo e Se foram analisados nas fezes, enquanto o músculo foi avaliado apenas quanto a Cu e Zn.

Outra aplicação importante está na identificação de metais pesados. A análise precisa desses elementos na alimentação animal é de extrema importância, devido à sua toxicidade, que representa um sério problema tanto do ponto de vista ambiental como da saúde, considerando a possibilidade de bioacumulação na cadeia alimentar. Nesse sentido, métodos confiáveis, como o ICP-OES, são importantes para a garantia da segurança e qualidade dos produtos alimentares destinados aos animais (KULKARNI, 2018). Os resultados do estudo realizado Kulkarni (2018), enfatizam a capacidade do

ICP-OES na determinação precisa do teor de metais pesados na ração animal. Este método apresenta limites de detecção mais baixos, maior precisão e melhor reprodutibilidade em comparação com outras técnicas, validando ainda mais o sucesso dessa abordagem na análise de amostras de ração animal.

O estudo realizado por Silva (2016) ilustrou a aplicação do ICP-OES na identificação e quantificação de metais pesados, como Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Cromo (Cr) e Cobre (Cu), presentes nas penas e fígado de aves silvestres em Pernambuco. Essas aves se tornam indicadoras valiosas do ambiente, pois refletem a presença desses metais, são cruciais como bioindicadores ambientais. A detecção desses metais nas aves analisadas ressalta a importância de aprofundar pesquisas para determinar a origem dessas substâncias e, assim, orientar a elaboração de medidas efetivas para proteger a fauna e reduzir o impacto ambiental causado por esses compostos tóxicos. A utilização do ICP-OES se mostrou útil nesse contexto, permitindo análises precisas para melhor compreender a exposição dessas aves aos metais pesados e, consequentemente, guiar estratégias de conservação e mitigação do impacto ambiental.

No estudo conduzido por Zafalon *et al.* (2021), o ICP-OES foi empregado para avaliar as concentrações de vários elementos, tais como alumínio, antimônio, arsênio, bário, berílio, boro, cádmio, cromo, cobalto, ferro, chumbo, mercúrio, níquel, selênio, estanho, urânio e vanádio nas amostras utilizadas na produção de alimentos destinados a animais de estimação e nos alimentos comerciais disponíveis no mercado brasileiro. Os resultados obtidos foram comparados com os valores de níveis máximos tolerados recomendados para cães e gatos. A pesquisa também investigou possíveis disparidades nas concentrações de metais tóxicos em alimentos secos e úmidos, bem como entre as diversas categorias de alimentos, que englobam econômicos, premium e super premium. Adicionalmente, o estudo analisou a presença de metais tóxicos em alimentos destinados a cães e gatos, explorando potenciais variações relacionadas às fontes de proteína e carboidratos.

Outra aplicação do ICP-OES está relacionada à determinação da concentração de suplementos de dióxido de titânio (TiO2) em diferentes matrizes, como alimentos, fezes e digesta. Essa técnica é reconhecida por sua confiabilidade e eficiência na análise de suplementos de TiO2 em várias matrizes e é frequentemente utilizada em estudos de digestibilidade em diferentes espécies animais. Ao determinar a concentração de dióxido de titânio em várias matrizes, os pesquisadores podem avaliar a digestibilidade dos nutrientes e a eficiência do aproveitamento dos alimentos (BOGUHN *et al.*, 2009).

Além das aplicações supracitadas, é interessante destacar a relevância do ICP-OES em outras áreas. Por exemplo, um estudo conduzido por Santos *et al*. (2010) utilizou a técnica ICP-OES para a determinação de Thimerosal em vacinas humanas e veterinárias. O Thimerosal é um conservante utilizado em vacinas, e a análise precisa de sua concentração é crucial na garantia da segurança dessas vacinas.

Em suma, a Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) emerge como uma ferramenta essencial que não apenas possibilita a análise precisa de elementos em diversas matrizes nutricionais e alimentares, mas também tem importância na garantia da segurança, qualidade e eficácia dos produtos relacionados à nutrição e saúde animal

Vantagens e limitações da ICP-OES

A ICP-OES se destaca uma ferramenta analítica versátil para a determinação de múltiplos elementos em diversos tipos de amostras. Suas principais vantagens incluem

uma sensibilidade apurada, que permite limites de detecção relativamente baixos, a capacidade de realizar análises simultâneas, rápidas e precisas em amplas faixas de concentração (MACHADO, 2020).

Contudo, como em outras técnicas analíticas, a ICP-OES é sensível a interferências de matriz e variações nas condições instrumentais, o que pode impactar a qualidade dos resultados. Ademais, para efetuar análises por meio da ICP-OES, é necessário que a amostra esteja em estado líquido ou dissolvida em um solvente apropriado. No caso de amostras sólidas, é necessária uma etapa de preparo que converta a amostra em uma solução aquosa adequada para sua introdução no espectrômetro (DRUZIANA, 2016).

A técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado tem experimentado uma crescente aceitação no mercado, em virtude de sua estabilidade, ruído diminuído, imunidade a diversos tipos de interferências. Entretanto, ainda apresenta um custo elevado e demanda profissionais especializados (SKOOG, 2010).

Comparação com outras técnicas

A análise instrumental tem grande importância na determinação de concentrações de elementos traço em diversas matrizes. Nesse contexto, destacam-se as técnicas de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) e a Espectrofotometria de Absorção Atômica (AAS). Cada uma dessas técnicas possui suas próprias vantagens e desvantagens, tornando-as adequadas para diferentes aplicações em laboratórios de análise.

O ICP-OES destaca-se por emitir um alto número de fótons por elemento, apresentar um espectro de emissão com várias linhas e permitir a seleção de linhas atômicas ou iônicas. Adicionalmente, a coleta de emissões médias aprimora a precisão e critérios de diagnóstico, como a temperatura do gás, temperatura de excitação e densidade eletrônica, contribuem para a robustez da técnica. No entanto, desafios incluem a sobreposição de linhas espectrais, a presença de ruído e sinal de fundo, bem como limitações na quantificação de espécies mono-ionizadas e a impossibilidade de medir isótopos (BEAUCHEMIN *et al.*, 2000).

ICP-MS, por sua vez, se destaca pela obtenção de informações isotópicas, sendo esta a principal vantagem da técnica. Por conseguinte, oferece um espectro mais simples e baixo ruído. No entanto, desvantagens incluem a medida sequencial dos isótopos, velocidade limitada na coleta de sinais isotópicos, baixa contagem por átomo, eficiência de transmissão de íons e incapacidade de detectar espécies neutras. Dessa maneira, a informação fornecida pela ICP-MS é geralmente local, limitada a uma determinada altura de amostragem no plasma, e a técnica é mais complexa e envolve custos mais elevados (BEAUCHEMIN *et al.*, 2000).

Comparativamente, a ICP-OES tem a capacidade de determinar concentrações de múltiplos elementos em uma única amostra com uma única aspiração, conferindo uma vantagem significativa em termos de velocidade em relação à técnica de AAS, especialmente quando se deseja quantificar diversos elementos em uma única amostra. Por acréscimo, a ICP-OES supera a AAS na análise de elementos em compostos refratários, que são notoriamente estáveis em altas temperaturas e podem não ser completamente atomizados na chama da AAS. A maioria dos compostos refratários é facilmente atomizada em temperaturas mais elevadas proporcionadas pela tocha de plasma (MILLER; RUTZKE, 2010)

A escolha entre as técnicas de ICP-OES, ICP-MS e AAS depende das necessidades analíticas específicas. O ICP-OES é a escolha preferida quando é necessária a análise rápida de múltiplos elementos em uma única amostra e quando se lida com compostos refratários. A ICP-MS é essencial quando informações isotópicas são cruciais. Por outro lado, o AAS é uma opção econômica e adequada para amostras com concentrações na faixa de microgramas por litro a miligramas por litro, desde que não seja necessário analisar múltiplos elementos na mesma amostra. Cada técnica tem suas vantagens e limitações, e a escolha deve ser feita com base nas exigências específicas de cada aplicação analítica.

Considerações Finais

A análise mineral de precisão desempenha um papel importante na nutrição e saúde animal. Nesse contexto, a Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Induzido (ICP-OES) é uma ferramenta valiosa, oferecendo precisão e confiabilidade na determinação de elementos minerais essenciais para a saúde dos animais. A manutenção do equilíbrio mineral na dieta é fundamental para evitar deficiências ou excessos que possam prejudicar a saúde e a fisiologia dos animais.

A revisão também ilustrou a aplicação bem-sucedida do ICP-OES em diversos estudos, desde a análise de minerais em amostras de tecido animal até a determinação de metais pesados em alimentos e produtos para animais de estimação. Essas aplicações demonstram a versatilidade e relevância do ICP-OES.

Desse modo, é evidente que o ICP-OES se destaca como uma ferramenta versátil e confiável, capaz de realizar análises simultâneas, rápidas e precisas em uma ampla faixa de concentração. No entanto, é importante salientar que, como em outras técnicas analíticas, a ICP-OES apresenta suas próprias limitações, incluindo a sensibilidade a interferências de matriz, a necessidade de preparação adequada das amostras e o alto custo.

Portanto, à medida que avançamos em pesquisa e tecnologia, é essencial buscar aprimoramentos contínuos visando à promoção da saúde animal, garantindo que os animais desfrutem de uma vida saudável. A análise mineral de precisão, com o auxílio do ICP-OES, contribui para a formulação de dietas equilibradas, com a garantia da segurança alimentar e com o avanço das pesquisas nesse campo.

Referências

ALMEIDA, M. T. C. et al. Predições da espectroscopia no infravermelho próximo podem determinar a digestibilidade e o consumo alimentar de cordeiros confinados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 597-605, 2018.

ARAÚJO, Lúcio F.; ZANETTI, Marcus A. **Nutrição animal**. Baueri, 2019. E-book. ISBN 9788520463499. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463499/. Acesso em: 12 out. 2023.

BEAUCHEMIN, D.; Gregoire, D.C.; Gunther, D.; Karanassios, V; Mermet, J.-M.; Wood, T.J.; Discrete sample introduction techniques for inductively coupled plasma mass spectrometry, **Elsevier**. Chapter 1, 1-212. 2000

BOGUHN, J. et al. Determination of titanium dioxide supplements in different matrices using two methods involving photometer and inductively coupled plasma optical emission spectrometer measurements. **Archives of Animal Nutrition**, v. 63, n. 4, p. 337–342, 29 jul. 2009.

CASE, Linda P. et al. Canine and feline nutrition: a resource for companion animal professionals. **Elsevier Health Sciences**, 2010.

CONRAD,J. H.; McDOWELL, L. R.; ELLIS, G. L.; LOOSLI, J. K. Minerais Para Ruminantes em Pastejo em Regiões Tropicais. **CNPGC-EMBRAPA**, Campo Grande, 1985.

DANTAS, C. C. O.; NEGRÃO, F. de M. Funções e sintomas de deficiência dos minerais essenciais utilizados para suplementação dos bovinos de corte. **UNICIÊNCIAS**, [S. l.], v. 14, n. 2, 2015.

DRUZIANA, G. T.; GIESBRECHTA, C. K.; ROSA, F. C.; GUIMARÃES, R. C. L.; GUARNIERIB, R. A.; MELLO, P. A. & FLORES, E. M. M. Determinação simultânea de metais e enxofre por ICP-OES em resíduos de destilação de petróleo. **Química Nova**, 39(9), 1065-1070, 2016.

GONZALEZ, F. H. D.; **Minerais e Vitaminas no Metabolismo Animal**. 159p. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2019.

KRUG, F. J.; ROCHA, F. R. P. Métodos de preparo de amostras para análise elementar. São Paulo: EditSBQ – **Sociedade Brasileira de Química**, 572 p., 2016.

KRUG, F.J.; NOBREGA, J. A.; NOGUEIRA, A. R. A.; OLIVEIRA, P. V. "Guia prático de perguntas e respostas sobre ICP-OES, ICP-MS e preparo de amostras". São Carlos: DQ/UFSCar, 2001. p. 2-63.

MACHADO, R. C.; SILVA, A. B. S.; AMARAL, C. D. B.; VIRGILIO, A. & NOGUEIRA, A. R. A. Internal standardization as a strategy to overcome nonspectral interferences in the determination of As, Cd and Pb in mineral fertilizers by synchronous vertical dual view (SVDV) ICP OES. **Analytical Methods**, 12, 39-45, 2020.

MCDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. Amsterdam: Elsevier, 2003.

MILLER, Dennis D.; RUTZKE, Michael A. Atomic Absorption Spectroscopy, Atomic Emission Spectroscopy, and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. **Food Science Texts Series**, [S.L.], p. 421-442, 2010. Springer US.

MORAES, S. S. Importância da suplementação mineral para bovinos de corte. **EMBRAPA**, Campo Grande, 2001

NUNES, I. N. **Nutrição básica**. v. 2, Belo Horizonte: FEP-MVZ, 1998.

SANTOS, E.; HERRMANN, A.B; SANTOS, A.B; BAIKA, L.M; SATO, C.S; TORMEN, L; STURGEON, R. E; CURTIUS, A. J. Determination of thimerosal in human and veterinarian vaccines by photochemical vapor generation coupled to ICP OES**. Journal Of Analytical Atomic Spectrometry**, [S.L.], v. 25, n. 10, p. 1627, 2010. Royal Society of Chemistry (RSC).

SANTOS, J. P. F. **Nutrição Animal**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2016. p. 68–72

SANTOS, M. **Análise Exploratória de Constituintes Inorgânicos em Tecido, Líquido Ruminal e Fezes De Bovinos Da Raça Nelore (Bos Taurus Indicus)**. Dissertação de Mestrado em Química. Universidade Federal de São Carlos, 2020

SETTLE, F. A**. Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry**. Prentice-Hall: New Jersey, 1997 pp.373-414.

SILVA N. C. D.; MARTINS, T. L. T.; BORGES, I. Macrominerais: deficiências e interações com a produção e nutrição de ruminantes. **ScientiaAgraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, jul./set., p. 263-271, 2018.

SILVA, L. T. R. Pesquisa de metais pesados em aves silvestres no estado de Pernambuco. Dissertação de Mestre em Ciência Veterinária. **Universidade Federal Rural de Pernambuco**. 2016

TARANTINO, T. D. B. **Desenvolvimento de um procedimento alternativo para determinação de elementos traço em arroz empregando digestão assistida por micro-ondas com ácido nítrico diluído**. 2012. 132 p. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade federal da Bahia, Salvador, 2012.

VAITSMAN, D. S.; CIENFUEGOS, F. Análise instrumental. Rio De Janeiro: **Interciência**, 2000.

YEUNG, V; MILLER, D. D.; RUTZKE, M. A. Atomic absorption spectroscopy, atomic emission spectroscopy, and inductively coupled plasma-mass spectrometry. **Food Analysis**. 2017, p. 129-150.

ZAFALON. F. V. A. **Determinação de metais pesados em ingredientes e alimentos comerciais para cães e gatos**. Dissertação de Mestre em Ciências. Universidade de São Paulo. 2020.

Recebido em 10/11/23.
Revisado em 10/11/23.
Aceito em 24/11/23.

Endereço para correspondência: Ana Flávia Memento de Siqueira. Rua Nicarágua, 95, Parque das Américas, Varginha, Mg, Brasil. email: ***ana.memento@gmail.com***